

РОССИЙСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР  
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

# ИСТОРИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ СОВЕТСКОГО СОЮЗА И РОССИИ

ВЫПУСК 4

Уроки аварии на Чернобыльской АЭС

Москва

ИздАТ

2002

УДК 621.039  
ББК 31.4

И 85      История атомной энергетики Советского Союза и России.  
Под редакцией Сидоренко В.А. Выпуск 4. М., ИздАТ,  
2002 — 544 с.

ISBN 5-86656-128-X

Книга представляет собой четвертый выпуск серии изданий РНИЦ "Курчатовский институт" по истории атомной энергетики Советского Союза и России. В четвертом выпуске собраны документы и официальные материалы, посвященные причинам, последствиям и урокам аварии на 4-м блоке Чернобыльской АЭС в 1986 году.

ISBN 5-86656-128-X

УДК 621.039  
ББК 31.4

© Автор, 2002  
© Оформление ИздАТ, 2002

## ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА К ЧЕТВЕРТОМУ ВЫПУСКУ

Четвертый выпуск серии по истории атомной энергетики полностью посвящен аварии на 4-м блоке Чернобыльской АЭС в 1986 году. Это событие коренным образом изменило и само дальнейшее развитие атомной энергетики в стране, и отношение к ней населения, а также создало сильно выраженное недоверие зарубежных специалистов к советской ядерной технике и технологии и усилило противодействие развитию этого направления энергетики во всех странах.

Формирование общественного мнения шло в условиях сильного искажения реальных событий и сопровождалось нагнетанием истерии средствами массовой информации и многими политиками.

Все это делает важным глубокое понимание причин, достоверное представление о последствиях аварии, а также взвешенное и серьезное извлечение уроков из этих событий на будущее.

По представлению редактора наиболее ценным для этих целей являются документы и материалы, подготовленные в последовавшие за аварией годы наиболее компетентными и квалифицированными группами специалистов, как отечественных, так и зарубежных. Именно эти материалы собраны в четвертом выпуске серии.

Эти материалы не касаются ликвидации последствий аварии и многих других вопросов, связанных с аварией, но сосредотачивают свое внимание на той стороне проблемы, которую редактор обозначил, как "Уроки аварии на Чернобыльской АЭС". В сборнике они расположены в хронологическом порядке, что позволяет проследить как формировалось объективное представление о причинах и последствиях аварии.

В.А. Сидоренко

## **ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ К УРОКАМ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ**

**Сидоренко В.А.**

В предлагаемом выпуске, задуманном как четвертый выпуск серии материалов, освещающих историю атомной энергетики Советского Союза, собраны документы, представляющие наиболее квалифицированный взгляд на события и факты, связанные с чернобыльской аварией, которые, тем не менее, отражают не во всем совпадающие оценки различных факторов, определивших и повлиявших на случившееся. Естественно, что отбор материалов отражает понимание и позицию составителя, которому пришлось быть активным участником описываемых событий на всех стадиях, как предшествующих аварии, так и ее нейтрализации и изучения и последующей ликвидации последствий.

Собранные материалы не касаются ликвидации последствий аварии, сооружения объекта "Укрытие", работы в аварийной зоне и на зараженных территориях и др. Они ограничиваются изложением обстоятельств, предшествовавших аварии, фактов и факторов, обусловивших ее возможность и характер, основных оценок ее причин и характеристикой последствий.

В сборнике полностью или фрагментарно приводятся тексты документов, официальных докладов и отчетов, заключений комиссий и других официальных материалов, ответственно представляющих мнение и позицию их составителей по затронутому кругу вопросов и проблем. Повторяющееся изложение фактов и событий позволило в ряде случаев сократить объем воспроизводимого текста документов, сохранив текст, содержащий оценки и другие принципиальные положения.

Ниже обращается внимание читателя на наиболее содержательные документальные материалы, формирующие в совокупности достаточно объективное представление о тех сторонах чернобыльской аварии, которым посвящен настоящий сборник.



В рамках этого перечня и составлен сборник:

- Доклад Правительственной комиссии по расследованию причин аварии на Чернобыльской АЭС 26 апреля 1986. (июнь 1986 года).
- Объяснительная записка в КПК при ЦК КПСС Сидоренко В.А. (июль 1986г.)
- Авария на Чернобыльской АЭС и ее последствия. Информация, подготовленная для совещания экспертов МАГАТЭ (25-29 августа 1986г., Вена).
- Авария на Чернобыльской АЭС: год спустя (28 сентября — 2 октября 1987г., Вена).
- Итоговый доклад о совещании по рассмотрению причин и последствий аварии в Чернобыле. Доклад Международной консультативной группы по ядерной безопасности (1988г., Вена, INSAG-1).
- Международный чернобыльский проект. Экспертиза радиологических последствий и оценка защитных мероприятий. Доклад международного консультативного комитета (1991г.).
- Причины и обстоятельства аварии на 4-м блоке Чернобыльской АЭС. Меры по повышению безопасности АЭС с реакторами РБМК (заключение экспертов Минатомэнергопрома СССР), (1991г.).
- О причинах и обстоятельствах аварии на 4-м блоке Чернобыльской АЭС 26 апреля 1986 года. Доклад комиссии Госпромомнадзора СССР (1991г.).
- Чернобыльская авария: Обновление INSAG-1. Доклад Международной консультативной группы по ядерной безопасности (INSAG-7, 1992г., Вена).
- 10 лет чернобыльской катастрофы. Итоги и проблемы преодоления ее последствий в России. Российский национальный доклад (1996г.).
- Международная конференция "Десять лет после Чернобыля: Подведение итогов по последствиям аварии". Краткое изложение результатов конференции (1996г., Вена).
- Чернобыльская катастрофа. Итоги и проблемы преодоления ее последствий в России. 1986-2001гг. Российский национальный доклад (2001г.).

В 70-е годы в среде специалистов стало формироваться понимание возможности и последствий крупных аварий на атомных станциях. Значительным продвижением в этом комплексе проблем стало опубликование в 1974 году доклада проф. Расмуссена, посвященного анализу вероятности возникновения и возможных последствий тяжелых аварий на атомных станциях, приводящих к разрушению активной зоны реактора.

Внимание к тяжелым авариям переросло на западе в систематическую и организованную работу по их изучению и предотвращению после аварии на американской атомной станции Три-Майл Айленд. Много внимания стали уделять подготовке эксплуатационного персонала и тренажерной базе.

Официальная реакция в Советском Союзе сводилась в первую очередь к игнорированию возможности подобных событий на наших станциях, что в практическом плане проявилось в отсутствии каких-либо серьезных действий в этом направлении.

В Институте атомной энергии была проведена оценка масштаба возможного радиационного воздействия на население в случае тяжелой аварии на какой-либо из действующих АЭС. Был сопоставлен уровень риска для населения в районах различных станционных площадок.

В общем отношении к проблеме угрозы тяжелых аварий на АЭС превалировал фактор малой плотности населения в условиях Советского Союза и значительного расстояния от больших скоплений населения (крупных городов) до атомных станций.

Условия в странах Западной Европы, развивавших атомную энергетику, были существенно более напряженными, и это служило некоторой моральной базой определенно меньшего внимания к техническим мерам предотвращения тяжелых аварий на АЭС в нашей стране. "Фактор расстояния" всегда присутствовал в нормировании и обеспечении приемлемого уровня безопасности.

В то же время (еще до аварии на Три-Майл-Айленд) начались разработки атомных энергоисточников с высокой "внутренней безопасностью", с очень малой вероятностью тяжелых аварий, риск от применения которых был не чувствителен к фактору размещения. Пионерами в этих разработках стали атомные станции теплоснабжения.

В формировании такой стратегии на первом плане стояли факторы возможного прямого влияния излучения и радиоактивных веществ на здоровье и жизнь людей. Отглядываясь назад и имея за плечами трагический опыт чернобыльской аварии можно сказать, что специалисты в области безопасности, в том числе и медики, сильно недооценивали роль общественных (социальных) факторов, формирующих последствия аварии. Сам факт крупной аварии и сопровождающие действия по ликвидации ее последствий могут оказывать больший вред и разрушительное влияние на общество, чем прямой ущерб здоровью людей, подвергнувшихся аварийному облучению.

В 70-е годы наиболее четко обратил внимание на социальные последствия возможных тяжелых аварий на АЭС проф. Фармер из

Великобритании (F.R. Farmer. Выбор обоснованных норм риска. Доклад на симпозиуме МАГАТЭ. 1973г.).

Оценивая возможные радиационные последствия предполагаемых тяжелых аварий можно признать, что предельному приемлемому уровню риска нанесения ущерба индивидууму (на уровне  $10^{-5}$  на одно лицо в год) соответствует вероятность крупных аварий в пределах  $10^{-3}$ - $10^{-4}$  на реактор в год. Приемлемый коллективный риск общества оценивается автором величиной меньшей  $10^{-4}$  (т.е. общественный ущерб ставит более жесткие ограничения, чем индивидуальный ущерб), исходя из следующих соображений: "Если крупная авария произойдет в течение следующих 10 лет, (оценка делалась в 1973 году!) или около этого, тогда дальнейшее развитие ядерной энергетики может быть задержано, работающие АЭС будут остановлены. В результате население какое-то время будет испытывать нехватку электроэнергии и будет вынуждено оплачивать по более высокой цене другие источники энергии. Обычно говорят, что подобное событие не должно случиться. Это означает, что вероятность совершения подобного события должно быть очень малой.

Если крупная авария произойдет в следующие 20-30 лет, тогда ряд стран, которые будут сильно зависеть от развития ядерной энергетики, вряд ли легко воспримут последствия остановки работающих АЭС. Можно предвидеть вероятность резких ограничений в правилах эксплуатации, проведение дополнительных мероприятий по модификации оборудования и инспекционных осмотров. Отсюда следует необходимость создания таких условий, чтобы событие имело малую вероятность совершения применительно по всем АЭС, строящихся по существующей технологии, и, по крайней мере, применительно к тем АЭС, строительство которых запланировано до 1980 года. К тому времени будут эксплуатироваться или строиться около 500 АЭС, так что суммарный опыт эксплуатации к тому времени составит свыше десяти тысяч реакторо-лет".

Отсюда появляется как приемлемая вероятность крупной аварии — менее  $10^{-4}$  на реактор в год, как верхний предел. Если поставить цель из соображений снижения социального риска снизить уровень вероятности тяжелой аварии в 10 или 100 раз, тогда задача сводится к достижению значений вероятности аварии в расчете на реактор в год до  $10^{-5}$ - $10^{-6}$ .

Можно напомнить, что в момент аварии на Чернобыльской АЭС общий опыт эксплуатации атомных станций составлял около 400 реакторо-лет, т.е. реализовалось событие с частотой около  $2 \cdot 10^{-4}$ .

Общественные последствия известны: приостановка намеченного развития атомной энергетики в Советском Союзе, резкий рост оппозиции такому развитию в ряде других стран с принятием

ряда политических решений по постепенному закрытию атомной энергетики.

Еще более болезненный круг социальных последствий в Советском Союзе оказался связан с населением, попавшим в зону радиационного воздействия аварии. Непосредственно радиационное поражение оказалось меньшим, чем можно было ожидать для тяжелой аварии (т.е. превалирование общественного ущерба над индивидуальным оказалось еще большим, чем оценивал проф. Фармер). Подробней об этом будет сказано далее.

В то же время, анализируя характер чернобыльской аварии, трудно представить более крупную аварию по масштабам разрушения реактора и выходу радиоактивности в окружающую среду. Можно сказать, что реализовалась практически предельная авария.

Возможность подобной аварии в существующей конструкции реактора РБМК была рассмотрена в отчете ИАЭ им. Курчатова, выпущенном в 1983 году ("Расчет выбега нейтронной мощности в РБМК-1500 при аварии с потерей теплоносителя").

Развитие событий вокруг отчета ИАЭ, в котором возможность тяжелой аварии на РБМК была зафиксирована не в гипотетическом плане, а как возможное следствие недостатков в конструкции органов управления реактора, фактически отражало это чрезмерно спокойное отношение к недопустимости серьезной аварии на атомной электростанции.

Возможность положительного выбега реактивности при опускании органов СУЗ, связанная с особенностью конструкции исполнительных органов, очевидная физически и экспериментально зафиксированная на пускаемых атомных станциях, беспокоила специалистов ИАЭ, занимавшихся физикой РБМК. Был проведен расчетный анализ аварийных процессов при возможных неблагоприятных состояниях активной зоны и эксплуатационных режимах. Результат испугал расчетчиков, поскольку характер возможной аварии выходил далеко за рамки рассматривавшихся аварийных процессов. Письмо о полученных результатах, направленное в Министерство и Главному конструктору, было составлено без панических интонаций и с признанием того, что опасное состояние активной зоны далеко от обычных эксплуатационных состояний, однако с четким указанием на необходимость устранения выявленного недостатка конструкции.

Последующая реакция Главного конструктора, принятая Главным управлением министерства, делала упор на то, что этот недостаток известен, практически реализация опасного режима маловероятна, и откладывала кардинальное решение проблемы на будущее, когда планировалось изменить конструкцию органов

управления. Настойчивости со стороны научного руководства, достойной реальной опасности работающей конструкции органов управления, проявлено не было. Круг замкнулся.

Психологическая неготовность воспринять масштаб произошедшей аварии, сама возможность которой оставалась для эксплуатационников и большинства разработчиков за рамками реальности, полностью проявилась в первые минуты и часы после аварии.

Судя по последующей информации, свидетельствам и воспоминаниям руководство и персонал станции при первых же осмотрах аварийного блока увидел полностью разрушенный реакторный зал, разбросанные на значительном расстоянии графитовые блоки замедлителя, другие признаки, свидетельствующие о неординарном характере аварии. Тем не менее, информация с места долго оставалась в рамках "хлопки в реакторном зале" и т.п. Непрерывная связь со станцией из кабинета начальника Главатоэнерго Веретенникова, переговоры с главным инженером Фоминым создавали картину ограниченной аварии, что вызывало упорные советы подавать охлаждающую воду в реактор и др. В результате вся подаваемая вода попадала в приямки и лишь затопляла минусовые отметки сообщающихся помещений всех блоков станции. Любая вразумительная информация о характере и масштабе разрушения неизбежно сформировала бы распоряжение сверху если не о немедленной эвакуации города Припяти и окружающих населенных пунктов, то, во всяком случае, о немедленной подготовке к эвакуации.

Реальное осознание произошедшего у членов правительственной комиссии, добравшейся до окрестностей станции к вечеру 26 апреля, появилось лишь при виде зарева пожара над четвертым блоком.

После первой же информации от членов группы аварийной поддержки, прибывшей на станцию ранее, и информации о радиационной обстановке и пострадавших стал ясен масштаб аварии и характер первоочередных действий. На заседании комиссии еще до полночи было принято однозначное решение об эвакуации Припяти и выданы необходимые распоряжения по ее обеспечению. Как известно, все было подготовлено к середине следующего дня.

Реальная неподготовленность к подобной аварии проявлялась на всех стадиях ее нейтрализации и ликвидации последствий и во всех слоях и звеньях участников и руководства.

Формально существовавшая система аварийного планирования и мер аварийной защиты оказалась совершенно неэффективной, и в этой связи из всех служб служба гражданской обороны, создававшаяся как центральная служба для действий в подобных ситуациях, оказалась наиболее бесполезной.

Системные действия формировались правительственной комиссией на ходу на основании текущего анализа событий и накапливающейся информации, эффективность действия каждой службы определялась грамотностью руководства и профессиональными навыками участников соответствующих команд.

Это относится к эксплуатационному персоналу, пожарным, медикам, дозиметристам, метеорологам, летчикам и другим конкретным специализированным группам.

Психологическая неготовность к действиям в реальных условиях аварии неожиданно проявилась, например, у руководства санитарной службы страны. Формально пользуясь "критериями аварийного вмешательства" их представители практически последними признали необходимость срочной эвакуации, хотя динамика изменения радиационной обстановки и понимание характера аварии делали ситуацию предельно очевидной.

Достаточно за прошедшие годы было сказано о неготовности всей системы власти до ее верхних этажей к реальному восприятию случившегося и практическому реагированию, соответствующему этим реалиям.

Прямой противоположностью этому исходному состоянию неготовности стала уникальная способность централизованной системы управления хозяйством и различными службами страны мобилизовать ресурсы и людей для решения всех проблем и задач, которые возникали и формировались в ходе ликвидации аварии.

Аналогично тому, как при рассмотрении возможности тяжелой аварии недооценивали ее возможные социальные последствия (другими словами можно сказать — "системные" последствия), так при анализе причин уже случившейся аварии, прежде всего в центре внимания оказывались непосредственные причины и на второй план уходили более глубокие, системные причины. На мой взгляд, при изучении уроков чернобыльской аварии последние заслуживают повышенного внимания в той же мере, в какой системные последствия аварии вышли на первый план по отношению к прямым факторам.

Не выходя на уровень общественно-политических категорий и оценок я бы выделил ряд системных факторов, сделавших аварию возможной.

- Переход атомных станций из полувоенного атомного ведомства в гражданское общезыбергетическое ведомство. Признавая многие недостатки закрытой системы Министерства среднего машиностроения, можно утверждать, что отдаление эксплуатации атомных электростанций от квалифицированной базы со своим набором "компенсационных" механизмов, настроенных на специфику ядерной технологии, сыграло свою отрицательную роль.

- Форсирование развития атомной энергетики при объективной ограниченности располагаемых средств создавало хроническую недостаточность технической базы, на которую опиралось обоснование принимаемых проектных и конструкторских решений. Примеров этому можно привести очень много, обращу внимание лишь на один, напрямую связанный с катастрофическим развитием черновыльсхой аварии. Недостаточность вычислительных средств, которыми располагали разработчики атомных станций, не позволили получить достоверные значения парового коэффициента реактивности реактора. Все проектные и эксплуатационные решения опирались на сравнительно "неопасный" вид зависимости этого коэффициента от паросодержания. Экспериментальные исследования на стадии проектирования не могли исправить этот недостаток из-за чрезмерной дороговизны представительных экспериментов. После аварии правильный вид зависимости парового коэффициента был получен довольно быстро на ранее недоступной вычислительной базе.

- Система независимого государственного надзора за безопасностью атомной энергетики была организована слишком поздно. К моменту аварии эта система еще не успела сформироваться и квалифицироваться. Конкретной иллюстрацией тому стали действия инспектора - резидента по ядерной безопасности на Чернобыльсхой АЭС, который никак не отреагировал на совершенно неприемлемую по канонам ядерной безопасности программу испытания турбогенератора в режиме выбега. При этом следует подчеркнуть, что образованная в Средмаше десятилетие ранее ведомственная служба Госатомнадзора не могла бы также "отловить" черновыльсхую аварию на стадии подготовки испытания, так как круг ведения это Комитета ограничивался лишь проблемами безопасности цепной реакции деления, не рассматривая станцию как цельную ядерно-опасную систему.

- При рассмотрении в послеаварийный период прямых причин аварии (как причин "аварийного события" так и причин "катастрофического развития аварии") совокупность этих причин обобщалась понятием низкой "культуры безопасности", что можно заменить выражением низкой "культуры ядерной технологии". Это проявилось и на стадии эксплуатации, и на стадии разработки, а также и в сфере административного управления. Этот фактор по его сути следует отнести к системным факторам (или "системным причинам аварии").

Более остро и заинтересованно обсуждались в послеаварийный период непосредственные причины аварии, поскольку разбор этих причин прямо переходил к выявлению виновных, а затем и к наказаниям.

Постоянным напоминанием об этой стороне дела стал и суд над эксплуатационниками (включая инспектора по ядерной безопасности ГАЭН), которые были обвинены в нарушениях, обусловивших возникновение самого факта аварии. Судебный процесс проходил на несовершенной юридической базе, когда из-за отсутствия других статей в законодательстве подсудимые обвинялись в нарушении правил работы на "взрывоопасном производстве". Суд принял решение вынести в отдельное рассмотрение виновность разработчиков реактора, однако такое рассмотрение не состоялось. Остался в тени механизм, по которому это решение было "спущено на тормозах". Безусловно то, что верхние эшелоны власти не были заинтересованы в дальнейшем раскручивании юридической стороны событий. Помимо этого выпячивание технических причин катастрофического развития аварии могло дискредитировать всю технологическую основу отечественной атомной энергетики.

Эти позиции однозначно проявились в представлении причин аварии советской делегацией на специальной конференции МАГАТЭ в Вене. Серия нарушений эксплуатационным персоналом оказалась на первом плане, а неблагоприятные характеристики реактора оказались лишь базой для этих нарушений и фоном, определившим катастрофическое развитие аварии. Наиболее психологически неприятный недостаток конструкции реактора — положительная реактивность при срабатывании аварийной защиты — вообще замалчивался. Этот недостаток пытались замолчать даже через год на повторном рассмотрении чернобыльской аварии в МАГАТЭ. Это было явно неразумно, поскольку зарубежные эксперты на основании собственного анализа опубликованных деталей конструкции уже разобрались в этом недостатке. Специальные усилия потребовались, чтобы убедить председателя правительственной комиссии Б.Е. Щербину снять запрет партийного аппарата на опубликование в годовом докладе советской делегации фактора "положительной реактивности аварийной защиты". При всем этом следует иметь в виду, что в основном документе правительственной комиссии (секретном) все обстоятельства аварии были названы достаточно полно, хотя в деталях, выделяющих роль каждого из факторов аварии, единодушия у членов комиссии не было.

Различные группы советских специалистов по разному оценивали влияние конструктивного дефекта органов аварийной защиты на ход аварии, и расхождение сохраняется до настоящего времени. По крайнему суждению сам катастрофический разгон реактора был вызван срабатыванием аварийной защиты. Разработчики реактора многие годы проводили расчетное моделирование аварийного процесса, в результате которого делали вывод о том, что



количественное влияние "положительного АЗ" недостаточно для реализации случившегося. Для этого должен был сработать дополнительный механизм ввода положительной реактивности. Такая направленность послеаварийного анализа определенно была вызвана потребностью реабилитации и подталкивалась "дамкловым мечом" наказания.

Выдвижение в первый ряд причин аварии выявленных нарушений предписанного порядка эксплуатации блока, описанных в докладе советской делегации, отразилось и на содержании доклада группы экспертов МАГАТЭ INSAG-1. Впоследствии, после дополнительного анализа всех обстоятельств аварии, группа ИНСАГ была вынуждена опубликовать дополнение к своему первоначальному докладу (INSAG-7), где уточнила свое понимание значения каждого из обсуждаемых факторов.

Попытки выработать объективное суждение о причинах аварии, ее развитии и последствиях продолжались несколько лет.

Результаты этих анализов появились, в том числе, и в форме документов официальных комиссий Минатомэнергопрома СССР и Госатомэнергонадзора СССР. Акценты в этих документах также были расставлены по-разному.

Комиссия Госатомнадзора подчеркивала превалирующую роль недостатков конструкции и характеристик реактора, неполноту и несовершенство эксплуатационной документации и обращала внимание на "некритичность" или отсутствие влияния на возникновение и развитие аварии многих нарушений эксплуатационным персоналом предписанного порядка эксплуатации, которые в первичных заключениях преподносились как причина случившегося.

Существовало, отражено в документах и имеет серьезное основание более строгое суждение по оценке действий эксплуатационного персонала, поскольку при эксплуатации такого сложного и потенциально опасного объекта ни в какой мере не допустимы произвольные действия, нарушающие заранее установленный порядок, обеспечивающий безопасность управления этого объекта. Оказавшееся нейтральным в одних условиях нарушение предписанного порядка в других условиях может оказаться критичным. Каноны безопасности в ядерной технологии требуют неукоснительного исполнения. В этом смысле строгость оценки действий эксплуатационного персонала следовало бы признать оправданной, а вывод из-под юридического удара конструктивных факторов аварии остается лишь историческим фактом.

Необычность аварии породила многочисленные фантазии о возможных причинах аварии, в том числе такие, как заранее спланированные диверсии, локальные землетрясения и проявление

принципиально новых, ранее не учитывавшихся физических явлений. Исчерпывающая логика анализа реальных событий не оставляет почвы для подобных "открытий", однако некоторые из них продолжают до сих пор, как например версия рокового землетрясения, которая упорно пропагандируется авторами невзирая на многократные отрицательные заключения экспертиз, решения ученых советов и т.п.

Изучение развития аварийного процесса, конкретных его деталей, позволяет уточнить механизм разрушения реактора и дает некоторый дополнительный материал для оценки роли различных факторов, влиявших на ход аварии и ее последствия, однако эти материалы не охватываются настоящей публикацией.

Многократно при обсуждении недостатков атомных станций с реакторами РБМК обращалось внимание на отсутствие над реактором защитной оболочки ("контейнмента"). При этом часто выражалась надежда, что его присутствие нейтрализовало бы аварию. Объективное суждение невозможно получить без конкретных и обоснованных проектных проработок, однако качественная оценка позволяет предложить такое логическое заключение. Любое проектное решение по защитному "колпаку" не закладывало бы в качестве максимальной проектной аварии событие, аналогичное случившемуся, поскольку такая возможность должна была быть исключена по имевшимся нормативным требованиям. Следовательно, строительные конструкции "колпака" были бы неизбежно разрушены. Расходование энергии взрыва на разрушение защитного устройства изменило бы характер выброса радиоактивности. Скорее всего, была бы уменьшена высота проникновения радиоактивных веществ в атмосферу и уменьшен масштаб их разноса по поверхности земного шара. Одновременно с этим могло бы существенно увеличиться заражение прилегающей территории, включающей и близлежащие населенные пункты. Более определенное суждение требует упомянутой выше выверенной математической модели аварии а также детальных и объемных проектных и расчетных работ, которые не проводились.

Практически пережив реальные социальные последствия чернобыльской аварии важно представить при этом масштаб ее прямых последствий.

За прошедшее годы выпущены обстоятельные материалы по загрязнению территорий ближних областей и дальних стран. По итогам 10 и 15 лет, прошедших после аварии, проведен анализ медицинских последствий облучения населения и участников ликвидации аварии. На международном уровне итог подводился в форме специальных проектов и программ и в форме специальной международной конференции 1996 года.

Общий итог приведенных в сборнике материалов позволяет выделить некоторые принципиальные положения.

Ущерб здоровью населения, связанный со стрессами, изменениями условий жизни в результате неоправданных переселений и т.п. существенно превышает прямой ущерб от облучения.

В этой связи хотелось бы обратить внимание читателя на "Предисловие" академика АН СССР С.Т. Беляева, предваряющее публикацию Доклада Международного консультативного комитета по Международному чернобыльскому проекту (1991 год).

Конференция 1996 года продемонстрировала, что в результате многочисленных исследований и анализа фактических данных по медицинским и экологическим последствиям чернобыльской аварии сложилось достаточно взвешенное представление, что эти последствия далеки от тех представлений, которые навязывались людям на базе шока и истерии первых лет, многократно усиленных давлением политических факторов.

Данные Российского государственного регистра, который содержит индивидуальную медико-дозиметрическую информацию примерно на 570 тыс. чел, свидетельствуют о том, что радиационное воздействие обусловило увеличение заболеваемости лейкозами среди ликвидаторов, а также раком щитовидной железы у детей, что в достаточной степени подтверждает прогноз заболеваемости, сделанный в первые годы после аварии.

В 1992-1995 годах, т.е. после окончания латентного периода, было зарегистрировано примерно двойное увеличение частоты заболеваемости лейкозами среди ликвидаторов над ожидаемым (спонтанным) уровнем. В последние годы наблюдения (1996-2000) частота вновь выявленной заболеваемости лейкозами среди ликвидаторов уменьшается. Всего среди ликвидаторов выявлено 145 лейкозов, из которых 50 случаев обусловлены радиационным фактором.

Кроме того, у ликвидаторов наблюдается повышение заболеваемости раком щитовидной железы. Из 55 выявленных случаев заболевания 12 отнесены к воздействию радиационного фактора.

На основе прямых эпидемиологических методов не удалось однозначно доказать превышение частоты заболеваемости ликвидаторов другими видами онкологических заболеваний, так называемыми солидными раками, над спонтанным уровнем. Эта ситуация прогнозировалась ранее.

Показатель смертности ликвидаторов от всех причин, включая онкологические заболевания, не превышает аналогичного показателя для мужского населения страны.

В то же время именно ликвидаторы аварии составили ту значительную группу населения, которое получили максимальные дозовые нагрузки, организованно регулируемые и выводимые на объявленный допустимый уровень. Остается спорным вопрос, в какой мере оправданным был тот сознательный дополнительный риск, который определялся характером работ, преследовавших определенные политические цели. К таким работам можно отнести форсированную очистку и подготовку к пуску 3-го блока, соседствовавшего с аварийными. Я могу утверждать, что по крайней мере, два участника состоявшихся обсуждений, помимо автора этих строк, Л.Д. Рябев и Л.А. Ильин, пытались безрезультатно убедить председателя правительственной комиссии Б.Е. Щербину избежать неоправданного облучения участников ликвидации аварии и не форсировать ввод в строй 3-го блока. Аргументом за проведение этих работ в высоком радиационном поле (помимо демонстрации факта введения в работу энергоблоков на аварийной АЭС) было улучшение общей радиационной обстановки на вводимой в работу станции.

Сравнительно умеренные масштабы прямого радиационного ущерба жизни и здоровью людей, затронутых аварией, масштабы которой квалифицируются как "крупнейшая техническая катастрофа", обусловлены весьма значительным разрывом между уровнями облучения, регламентирующими защитные меры и рассматриваемые как неприемлемые, и уровнями облучения, вызывающими реальные изменения здоровья.

Проблема отношения к "малым дозам" является длительное время предметом научных дискуссий и ненаучных спекуляций, но в реальных последствиях чернобыльской аварии на первый план выходят объективные данные, базирующиеся на строгих медицинских методах анализа.

В то же время хотелось бы предостеречь от чрезмерно оптимистичного отношения к радиационным последствиям чернобыльской аварии. Судьба распорядилась так, что "по жизни" реализовались не самые худшие возможности. Окажись направление ветра в момент аварии в сторону города Припять, масштаб человеческих жертв оказался бы намного большим. Объективная опасность требует к себе серьезного отношения.

**ДОКЛАД  
ПРАВИТЕЛЬСТВЕННОЙ КОМИССИИ  
ПО РАССЛЕДОВАНИЮ ПРИЧИН АВАРИИ  
НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС 26 АПРЕЛЯ 1986 года  
(июнь 1986 г.)**

## СОСТАВ КОМИССИИ

Щербина Борис Евдокимович	— Заместитель Председателя Совета Министров СССР (председатель)
Воробьев Евгений Иванович	— первый заместитель Министра здравоохранения СССР
Другов Василий Иванович	— заместитель Министра внутренних дел СССР
Легасов Валерий Алексеевич	— академик, первый заместитель директора Института атомной энергии имени И.В. Курчатова Минсредмаша
Майорец Анатолий Иванович	— Министр энергетики и электрификации СССР
Мешков Александр Григорьевич	— первый заместитель Министра среднего машиностроения
Николаев Николай Федорович	— Заместитель председателя Совета Министров Украинской ССР
Плющ Иван Степанович	— председатель исполкома Киевского областного Совета народных Депутатов
Сидоренко Виктор Алексеевич	— первый заместитель Председателя Госатомэнергонадзора
Симочатов Николай Петрович	— председатель ЦК профсоюза рабочих электростанций и электротехнической промышленности
Сорока Олег Васильевич	— заместитель Генерального Прокурора СССР
Щербак Федор Алексеевич	— начальник 6 Управления КГБ СССР

## СОДЕРЖАНИЕ \*

1. Развитие атомной энергетики СССР .....	20
2. Чернобыльская АЭС .....	23
3. Авария на энергоблоке № 4 Чернобыльской АЭС .....	24
4. Меры по локализации и ликвидации аварии .....	26
5. Причины аварии .....	29
6. Ответственные за аварию .....	31
7. Выводы в связи с аварией .....	33
8. Меры повышения безопасности атомных электростанций .....	36

---

\* В настоящем сборнике приводится текст разделов 1-8 "Доклада правительственной комиссии".

В соответствии с поручением Правительственная комиссия по расследованию аварии на Чернобыльской АЭС докладывает.

## 1. Развитие атомной энергетики СССР

Начало развитию атомной энергетики в СССР было положено сооружением и вводом в действие в 1954 году Минсредмашем Первой атомной электростанции в г.Обнинске под Москвой. Мощность этой АЭС 5 тыс.кВт, на ней установлен уран-графитовый реактор канального типа.

В 1964 году на Нововоронежской АЭС был введен в действие первый энергоблок с реактором водо-водяного типа (ВВЭР) мощностью 210 тыс.кВт, в 1969 году - второй блок мощностью 365 тыс.кВт. Опыт эксплуатации этих энергоблоков подтвердил технико-экономическую целесообразность сооружения атомных электростанций.

На первых этапах создания отечественной атомной энергетики в Советском Союзе действовала научно-техническая концепция безопасности АЭС, исходившая из возможности предотвращения разгерметизации радиоактивного первого контура путем обеспечения высококачественного изготовления оборудования и технологических коммуникаций. В качестве максимально возможной аварии на этом этапе рассматривалась лишь разгерметизация первого контура, эквивалентная разрыву трубы диаметром 32 мм.

В зарубежной атомной энергетике (США) была принята концепция безопасности, предусматривающая предотвращение выбросов радиоактивности при разгерметизации первого контура АЭС, связанной с разрушением трубопроводов наибольшего диаметра. Достигается это путем сооружения защитной оболочки, рассчитанной на такую аварию.

В СССР аналогичные принципы были заложены в 1973 году в нормативы обеспечения безопасности атомных станций при проектировании, строительстве и эксплуатации. Эти нормы были уточнены и дополнены в 1982 году (ОПБ-82) и в настоящее время они в основном соответствуют современным требованиям, сложившимся в мировой атомной энергетике.

В сентябре 1966 г. постановлением Совета Министров СССР было принято предложение Госплана СССР, Минерудмаша и Минэнерго СССР о развитии атомной энергетики СССР на 1966-1975 годы и строительстве Ленинградской АЭС в составе двух энергоблоков с реакторами РБМК-1000. Предусматривалось обеспечить за десятилетие ввод в действие 11,9 млн.кВт энергетических мощностей на отечественных атомных электростанциях, в том числе



8 млн.кВт с реакторами РБМК-1000 (на Курской, Чернобыльской и Смоленской АЭС). На АЭС в странах - членах СЭВ - 2,8 млн.кВт.

Минсредмашу было поручено разработать проект реакторной установки РБМК мощностью 1 млн.кВт с использованием опыта строительства и эксплуатации водографитовых реакторов промышленного назначения на объектах этого Министерства и проектное задание на строительство Ленинградской АЭС, а также совместно с машиностроительными министерствами разработать и изготовить оборудование для первого (головного) энергоблока указанной АЭС.

На Минерудмаш были возложены функции главного конструктора и научного руководителя реакторных установок, а также выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, руководство пусками реакторов с доведением их параметров до проектных мощностей, изготовление, поставка и последующая переработка тепловыделяющих элементов, государственный надзор за ядерной безопасностью атомных электростанций.

Минэнерго СССР поручалось проектирование, строительство и эксплуатация атомных электростанций, сооружаемых в СССР (кроме Ленинградской) и проектирование атомных электростанций, сооружаемых за рубежом при техническом содействии СССР.

На Третье главное управление при Минздраве СССР возложено осуществление государственного санитарного надзора, в том числе за радиационной безопасностью при проектировании, строительстве и эксплуатации АЭС, а на Госгортехнадзор СССР - государственный надзор за технической безопасностью при сооружении и эксплуатации АЭС, за исключением АЭС Минсредмаша и специальных установок.

Минсредмаш осуществил ввод в действие первого энергоблока мощностью 1 млн.кВт на Ленинградской АЭС в 1973 году, а Минэнерго СССР — на Курской АЭС в 1976 году. В 1974 году Минсредмашем начато строительство Игналинской АЭС с реакторами РБМК мощностью 1,5 млн.кВт, на которой первый блок введен в действие в 1984 году.

В настоящее время в СССР построены на атомных электростанциях энергоблоки общей мощностью 28,1 млн.кВт ( 9% общей мощности электростанций страны), в том числе 15 блоков с водографитовыми реакторами РБМК мощностью 15,5 млн.кВт, 19 блоков с реакторами ВВЭР мощностью 12 млн.кВт и один энергоблок с реактором на быстрых нейтронах мощностью 0,6 млн.кВт. За рубежом при техническом содействии СССР построены атомные станции с реакторами типа ВВЭР-440 общей мощностью 8,1 млн.кВт, в том числе в ГДР и НРБ — по 1,8 млн.кВт, ЧССР — 2,6 млн.кВт, а также в ВНР и Финляндии - по 0,9 млн.кВт.

Из отечественных атомных электростанций не соответствуют современным требованиям безопасности реакторные установки первого поколения - 9 энергоблоков типа ВВЭР-440 на 3,15 млн.кВт, а также 10 энергоблоков типа ВВЭР-440 в ГДР, НРБ и ЧССР. Безопасность этих блоков предусмотрено повысить за счет реконструкции, однако в полной мере они не будут отвечать современным нормам безопасности.

Следует особо отметить, что все блоки РБМК, в том числе действующие и строящиеся, ввиду их конструктивных особенностей обеспечивают не полную, а избирательную локализацию возможных аварий.

В настоящее время в СССР расширяются и строятся 29 атомных электростанций проектной мощностью 79,6 млн.кВт. В двенадцатой пятилетке на этих станциях предусмотрено ввести в действие 40,5 млн.кВт новых мощностей, в том числе 30 блоков с реакторами ВВЭР - 29,4 млн.кВт, 8 блоков с реакторами РБМК - 9,5 млн.кВт и 2 блока с реакторами на быстрых нейтронах - 1,6 млн.кВт. В этот период намечено также ввести в действие в странах - членах СЭВ на атомных станциях, сооружаемых при техническом содействии СССР, энергоблоки с реакторами ВВЭР общей мощностью 10,7 млн.кВт.

За весь период эксплуатации атомными станциями СССР выработано более 900 млрд.кВт.ч электроэнергии (в 1985 году - 167,4 млрд. кВт.ч, или 10,8% общего ее производства), что эквивалентно высвобождению почти 300 млн.тонн условного органического топлива (в 1985 году - 55 млн.тонн). В 1990 году установленную мощность АЭС намечается довести до 68 млн.кВт (18%) и выработать 390 млрд. кВт.ч электроэнергии (21% общего производства по стране).

Себестоимость производства 1 кВт.ч электроэнергии составляет 0,93 копейки, что на 10-15% ниже, чем на тепловых электростанциях. Стоимость 1 кВт сооружаемых АЭС с реакторами ВВЭР составляет в среднем 420 рублей и с реакторами РБМК 550, рублей (в США - 1500+3000 долларов).

К началу 1986 года во всех странах мира на действующих атомных электростанциях установлено 372 энергоблока общей мощностью 266 млн.кВт, в 1985 году ими произведено 1,5 триллиона кВт.ч электроэнергии (13,4% мирового производства). Больше всего действующих атомных электростанций в США - 94 блока общей мощностью 82 млн.кВт, в 1985 году введено в действие 8 млн.кВт, произведено 404 млрд.кВт.ч электроэнергии. Во Франции 45 блоков - 39 млн.кВт, в 1985 году введено в действие 5 млн.кВт и

произведено 224 млрд.кВт.ч — 62% от общей выработки электроэнергии в стране. В Японии 33 блока — 24,7 млн.кВт, в 1985 году введено в действие 3,2 млн.кВт и произведено 152,6 млрд.кВт.ч электроэнергии.

## 2. Чернобыльская АЭС

Чернобыльская АЭС мощностью 4 млн.кВт является одной из крупных действующих атомных электростанций страны. Проектная мощность станции 6 млн.кВт. Строительство ее предусмотрено в три очереди по 2 энергоблока мощностью 1 млн.кВт каждый. Проект первой очереди разработан организациями Минэнерго СССР и Минсредмаша, второй очереди — Минэнерго СССР и согласован в установленном порядке.

Каждый энергоблок состоит из реактора РБМК-1000 (реактор большой мощности, канальный) и двух турбогенераторов по 500 тыс. кВт. Технологическая схема блока одноконтурная. Образующаяся в технологических каналах реактора пароводяная смесь поступает в барабаны-сепараторы, где пар отделяется от воды и направляется непосредственно в турбины.

Управление энергоблоками осуществляется дистанционно с блочного и местных щитов. Технологический контроль ведется информационно-вычислительной системой "Скала". Водоснабжение АЭС обратное из открытого искусственного пруда-охладителя объемом 140 млн.м<sup>3</sup> с подпиткой из р.Припяти. По открытому подводящему каналу вода поступает к насосным станциям, от которых циркуляционными насосами подается в открытый напорный бассейн емкостью 20 тыс. м<sup>3</sup>. Из него вода самотеком поступает в конденсаторы турбин.

Строительство станции начато в 1970 году. Первый блок был введен в действие в 1977 году, второй — в 1978, третий — в 1981 и четвертый — в декабре 1983 г. Сооружаются последующие энергоблоки. Затраты на строительство введенных в действие энергоблоков составили 1290 млн.рублей, в том числе четвертого энергоблока — 313 млн.рублей. Государственная комиссия приняла в эксплуатацию все блоки станции с оценкой "хорошо".

Коллектив эксплуатационников Чернобыльской АЭС до аварии насчитывал 6367 человек, в том числе 4227 человек промышленно-производственного персонала. Членов КПСС 757 человек, членов ВЛКСМ 1445; 928 человек имеют высшее специальное образование. Коллектив электростанции стабильный, текучесть кадров в 1985 году составила 3,3%.

С начала эксплуатации по 26 апреля 1986 г. энергоблокам Чернобыльской АЭС выработано 150 млрд. кВт.ч электроэнергии. Коэффициент использования установленной мощности АЭС в 1985 году составил 83,2%.

С 1979 по 1984 год на станции имели место нарушения технологических регламентов и правил эксплуатации реакторных установок.

В 1985 году и за 4 месяца 1986 года таких случаев не зарегистрировано. В одиннадцатой пятилетке на станции произошло 104 аварийные остановки блоков, в том числе 35 по вине работников АЭС и 34 — из-за некачественного изготовления оборудования.

Наиболее серьезным нарушением была ядерная авария на энергоблоке № 1 в сентябре 1982 г. с разрушением технологического канала и выбросом тепловыделяющей сборки в графитовую кладку. За допущенную аварию Министерство освободило от занимаемой должности главного инженера АЭС т.Акинфиева и объявило строгий выговор директору станции т.Брюханову.

### 3. Авария на энергоблоке № 4 Чернобыльской АЭС

Энергоблок № 4 построен в 1979-1983 годах. С 25 ноября по 31 декабря 1983 г. были проведены физические эксперименты и энергетический пуск блока. Проектная мощность достигнута 26 марта 1984 г. и с того времени блок работал по диспетчерскому графику в основном на номинальной мощности. За время эксплуатации блок останавливался 9 раз из-за отказов электрической части и 4 раза для проведения плановых ремонтов.

В соответствии с графиком 25 апреля с.г. предусматривалось остановить энергоблок № 4 на 40 суток для проведения очередного планового ремонта. Перед остановкой было намечено провести испытания турбогенератора № 8 в режимах совместного выбега с нагрузкой собственных нужд по рабочей программе, составленной наладочным предприятием "Донтехэнерго" Минэнерго СССР совместно с эксплуатационным персоналом Чернобыльской АЭС, и утвержденной главным инженером станции т.Фоминим. Программа испытаний не была согласована с Минсредмашем (научным руководителем и главным конструктором реактора) и Госатомэнергонадзором.

Указанные испытания проводились в соответствии с техническими решениями, выданными генеральным проектировщиком АЭС - институтом "Гидропроект" им.С.Я.Жука Минэнерго СССР. Аналогичные испытания, проведенные в 1982 и 1984 годах на других турбогенераторах этой станции, не были завершены.

25 апреля с.г. в 1 час блок № 4 работал на тепловой мощности 3,1 млн.кВт (электрическая нагрузка 930 тыс.кВт) при номинальных технологических параметрах. С этого времени было начато снижение мощности реактора. В 13 час.05 мин. был остановлен турбогенератор № 7 и реактор продолжал работать на 50-процентной мощности (с турбогенератором № 8). В 14 часов была отключена система аварийного охлаждения реактора, что запрещено технологическим регламентом при работе реактора.

В связи с трудностями в обеспечении предстоящего вечернего максимума нагрузок электрической мощностью по указанию диспетчера энергосистемы "Киевэнерго" остановка блока была перенесена на ночь с 25 на 26 апреля 1986 г.

В 23 час.10 мин. персонал АЭС с участием привлеченных специалистов Донтехэнерго приступил к проведению испытаний и снижению тепловой мощности блока до 700 тыс.кВт.

26 апреля в 0 час.35 мин. из-за неисправности локального регулятора тепловая мощность реактора в течение 12 минут снижалась до 35-40 тыс.кВт. К 1 час.06 мин. она была выведена на 200 вместо 700 тыс.кВт по программе. При этом активная зона реактора не была обеспечена минимально необходимым оперативным запасом реактивности (регламентом предусмотрен запас не менее 15 стержней-поглотителей, фактически их было 6-8). В связи с этим значительно усложнилось управление реактором и ухудшились характеристики аварийной защиты. В этом случае реактор должен быть остановлен немедленно, однако персонал этого не сделал.

Не был остановлен реактор, как это следовало сделать, и до начала испытания (до закрытия стопорных клапанов на турбине). Автоматическая аварийная защита (АЗ-5), обеспечивающая остановку реактора при отключении турбины, была заблокирована, не действовала.

В 1 час.23 мин.04 сек. были закрыты стопорные клапаны турбины и начаты испытания выбега турбогенератора с нагрузкой собственных нужд. В интервале времени до 1 час.23 мин.40 сек. происходило уменьшение суммарной производительности главных циркуляционных насосов (ГЦН) с 58-57 тыс.м<sup>3</sup>/час до 50-52 тыс.м<sup>3</sup>/час. При этом несколько возросла производительность насосов, электродвигатели которых были подключены к резервному трансформатору, и значительно снизилась у насосов, электродвигатели которых были подключены к шинам, запитанным от "выбегающего" турбогенератора. Это привело к увеличению паросодержания в каналах и росту реактивности.

В 1 час.23 мин.40 сек. оперативный персонал вручную ввел в действие аварийную защиту (АЗ-5). В это время увеличилась в

реакторе положительная реактивность за счет роста паросодержания в технологических каналах и за счет вытеснения воды из каналов системы управления и защиты (СУЗ) при начальном движении вниз стержней СУЗ, что привело к "разгону" реактора. Быстрое повышение мощности и разогрев топлива привели в 1 час. 23 мин. 46 сек. К тепловому взрыву, усиленному химическими реакциями пара с материалами конструкций. При "разгоне" реактора тепловая мощность за несколько секунд увеличилась более чем в 13 раз (с 200 до 2680 тыс. кВт). В результате взрыва активная зона реактора и его конструкции были разрушены, большая часть размельченного при взрыве топлива вместе с графитом выброшены за пределы энергоблока и частично за пределы электростанции. В машзале и на кровле главного корпуса станции возник пожар.

Дежурный персонал электростанции немедленно приступил к ликвидации аварии, ввел в действие "План защиты персонала и населения при общей аварии", вызвал военизированную пожарную часть, в 1 час. 52 мин. доложил об аварии в Москву дежурному диспетчеру Союзатомэнерго. В 2 часа 56 минут был остановлен энергоблок № 3. Усилиями эксплуатационного персонала и самоотверженными действиями пожарных команд через 2,5 часа пожар потушен и предотвращено распространение аварии на соседние энергоблоки. 27 апреля энергоблоки № 1 и 2 Чернобыльской АЭС остановлены и переведены в резерв.

При аварии и тушении пожара погибло 2 человека - старший оператор Ходемчук В.И. и наладчик Шатенок В.Л. 130 человек, получившие большую дозу радиации, были госпитализированы.

#### 4. Меры по локализации и ликвидации аварии

Первоначальная информация, поступившая с Чернобыльской АЭС, не давала точной оценки случившегося. Сообщалось, что реактор остановлен, вода на его охлаждение подается, с блочного щита управления осуществляется контроль за температурой реактора и что возможна разгерметизация контура циркуляции. О радиационной обстановке не сообщалось.

После уточнения характера аварии 26 апреля с.г. в 10 часов было принято решение о создании Правительственной комиссии по расследованию аварии на Чернобыльской АЭС. В 20 час. 20 мин. Комиссия на месте в полном составе приступила к работе. Прибывшие ранее специалисты Минэнерго СССР и Минсредмаша осмотрели место аварии. Из докладов работников Минэнерго СССР, Гражданской обороны СССР и Химических войск Минобороны определился масштаб и опасность аварии. Первоочередного

внимания к себе требовали вопросы эвакуации населения из г. Припяти, остановки работающих блоков станции, подавления радиоактивных выбросов из реактора. Образованные под руководством членов Комиссии группы по направлениям работ приступили к выполнению поручений.

В течение ночи вблизи г. Припяти было сосредоточено 1100 автобусов, 200 грузовых автомобилей и 2 железнодорожных пассажирских состава. В места переселения выехали работники ЦК КПСС, партийных и советских органов Украинской ССР и Киевской области. 27 апреля после совещания с партийно-хозяйственным активом в 14 часов началась эвакуация жителей города. Завершилась она в 16 часов 40 минут. Впоследствии с учетом складывающейся обстановки осуществлена эвакуация жителей из других населенных пунктов с повышенным уровнем радиации. Всего из районов Киевской, Житомирской и Гомельской областей эвакуировано 135,3 тыс. жителей. С установленным диагнозом лучевой болезни зарегистрировано 189 человек. По состоянию на 17 июня с.г. умерли 28 человек, включая двух погибших при аварии.

В связи с тем, что в проектах атомных электростанций и по линии гражданской обороны ликвидация подобных аварий не предусматривалась, группа ученых и специалистов в срочном порядке подготовила первоочередные мероприятия, в том числе по охлаждению реактора, предотвращению проплавления фундамента и определению изотопного состава радиоактивных выбросов, к выполнению которых приступили 27 апреля.

Министерством обороны в район Чернобыльской АЭС в срочном порядке направлялись вертолетные подразделения, войска химической защиты и специальная техника. Впоследствии было создано единое командование для руководства работами по дезактивации.

С первых же дней Политбюро ЦК КПСС взяло в свои руки всю организацию работы по быстрой ликвидации аварии, ограничению ее последствий.

29 апреля 1986 г. была создана Оперативная группа Политбюро ЦК КПСС под руководством т. Рыжкова Н.И. 2 мая с.г. товарищи Рыжков Н.И., Лигачев Е.К. посетили район Чернобыльской АЭС. Они ознакомились с обстановкой на месте, рассмотрели с участием Правительственной комиссии, руководителей ЦК Компартии Украины и Правительства Украинской ССР, партийных и советских органов Киевской области и г. Чернобыля меры, принимаемые для ликвидации аварии и оказания помощи населению.

По предложениям Оперативной группы Центральным Комитетом КПСС и Советом Министров СССР приняты постановления о материальном обеспечении работающих на ликвидации аварии и в

зоне Чернобыльской АЭС, о мерах по вводу в эксплуатацию находящихся в резерве энергоблоков АЭС, о проведении дезактивационных работ, о мерах по консервации объектов, связанных с аварией на энергоблоке № 4, и предотвращению стока вод с территории электростанции, о трудоустройстве и обеспечении жильем и социально-бытовым обслуживанием эвакуированного населения и другие.

Выступление по телевидению товарища Горбачева М.С., в котором он откровенно и всесторонне осветил аварию в Чернобыле и принимаемые меры по ее локализации и ограничению последствий, получило полную поддержку советских людей. Поставленные вопросы о международной безопасности ядерной энергетики определили новые подходы к одной из важнейших проблем современности.

В результате принятых Политбюро ЦК КПСС мер решение вопросов, связанных с ликвидацией последствий аварии, приобрело общепартийный, общегосударственный масштаб.

Сложившаяся в зоне Чернобыльской АЭС ситуация потребовала поэтапного проведения работ по ликвидации аварии.

На первом этапе были разработаны и осуществлены методы активного воздействия на поврежденный реактор. В зону реактора было сброшено 4,5 тыс. тонн песка, глины, доломита, борной кислоты и свинца. Принятые неотложные меры по локализации аварии позволили снизить радиоактивные выбросы из поврежденного реактора и уменьшить территорию загрязнения.

На втором этапе проводились работы по предотвращению возможного проникновения расплавленного топлива сквозь фундаментную плиту реактора в грунт. В настоящее время закончено бетонирование железобетонной плиты с охлаждающей трубопроводной системой. Изолированы инженерные сети и коммуникации блока № 4 от других блоков, начато возведение разделительной железобетонной стены между вторым и третьим блоками с целью ускорения работ по подготовке первых двух блоков к пуску в октябре с.г., как это предусмотрено решением ЦК КПСС и Совета Министров СССР. Выполнено обвалование и начаты работы по устройству "стены в грунте" для предотвращения выноса в р. Припять радиоактивных вод с территории станции.

Задача третьего этапа - проведение широкомасштабных работ и осуществление сложных инженерных решений, связанных с дезактивацией загрязненной территории и консервацией поврежденного реактора.

На ликвидации аварии в настоящее время задействованы организации 11 министерств и ведомств с общей численностью работающих 43 тыс. человек. Выполнены первоочередные дезактивационные работы по зданиям, сооружениям и территории электростанции.



Деактивированы помещения главного корпуса энергоблоков № 1 и 2, вокруг зданий этих блоков на площади более 70 тыс. кв. метров снят верхний слой грунта и перевозится в хранилища радиоактивных отходов, забетонированы автодороги и площадки.

В результате проведенных первоочередных мероприятий уровень радиации снизился. Наивысший уровень в 10-километровой зоне атомной станции был зарегистрирован 29 апреля 1986 г. (д.Зимовище) и составлял 140 мр/час, к 6 мая он снизился до 100 мр/час и 19 июня — 20 мр/час. На прилагаемой карте показаны изменения уровней радиации в прилегающих к станции районах (по данным Госкомгидромета).

Вода в р.Припяти и Киевском водохранилище находится в пределах нормы.

В соответствии с разработанными Госкомгидрометом, Минздравом СССР и Минобороны рекомендациями определены районы отчуждаемых территорий, наиболее опасных по радиоактивному загрязнению и непригодных для проживания населения, площадью 1195 кв.км, в том числе в Украинской ССР - 645 кв.км и Белорусской ССР - 550 кв.км. В зоне отчуждения расположено 47 населенных пунктов, проживало 65,3 тыс. человек.

## 5. Причины аварии

Созданные Комиссией экспертные группы специалистов изучили причины аварии. Рассмотрены материалы и документы первичной информации (записи в оперативных журналах, показания автоматических приборов, магнитофонные записи разговоров и объяснительные записки дежурного персонала). Часть документов Комиссия не смогла использовать в связи с тем, что они оказались на поврежденном блоке в зоне с высоким уровнем радиации. По этой же причине не представилась возможность произвести осмотр состояния оборудования.

Заключения по аварии представили Институт атомной энергии имени И.В.Курчатова и Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники Минередмаша, а также Всесоюзный научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций и Всесоюзный проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт "Гидропроект" имени С.Я.Жука Минэнерго СССР. В Комиссию поступил от организаций и отдельных граждан ряд писем по вопросам, связанным с аварией, и рекомендаций по повышению надежности реакторов.

Выводы экспертных групп и поступившие предложения рассмотрены Комиссией.

Причиной возникновения аварии на энергоблоке №4 Чернобыльской АЭС явились прежде всего ошибки эксплуатационного персонала. Нарушения руководящим и оперативным персоналом электростанции требований технологического регламента по эксплуатации энергоблоков выразились в том, что:

- программа испытаний турбогенератора №8 не предусматривала обеспечения безопасного режима работы реакторной установки. Несмотря на то, что программа затрагивала ядерную безопасность реактора, она не была согласована с Госатомэнергонадзором, а также научным руководителем и главным конструктором;
- реакторная установка работала при оперативном запасе реактивности значительно ниже допустимого;
- допущена работа реакторной установки при невыдержанном соотношении расхода питательной воды и производительности главных циркуляционных насосов, что привело к снижению устойчивости термогидравлического режима контура циркуляции и способствовало проявлению положительного коэффициента реактивности.

В этих условиях системы аварийной защиты реактора не выполнили своих функций.

Развитие аварии, приведшей к разрушению реактора, произошло из-за недостатков конструкции реактора, и в частности:

- наличие положительного парового коэффициента реактивности при выбранной в конструкции реактора структуре активной зоны;
- появление положительного быстрого мощностного коэффициента реактивности, который должен быть отрицательным при всех нормальных и аварийных режимах.

Проектом не предусмотрены технические решения по предотвращению таких ситуаций;

- неудовлетворительная конструкция стержней системы управления и защиты реактора (СУЗ), которые могут вводить положительную реактивность при начальном движении их в активную зону. В проекте реакторной установки отсутствует устройство, показывающее текущее значение оперативного запаса реактивности или предупреждающее о подходе к опасному пределу.

Происшедшая на Чернобыльской АЭС авария является самой крупной за всю историю развития атомной энергетики по степени разрушения реактора, выходу радиоактивных продуктов деления, величине и уровню загрязнения территории и масштабам ущерба, нанесенного народному хозяйству и населению.

## 6. Ответственные за аварию

Директор Чернобыльской АЭС т. Брюханов, главный инженер АЭС т. Фомин, утвердивший программу испытаний, и заместитель главного инженера АЭС т. Дятлов, осуществлявший руководство испытаниями. Они допустили грубые ошибки в эксплуатации станции и не обеспечили ее безопасность. Из имевших место на станции многочисленных случаев аварий и отказов ими не делались должные выводы.

Программа испытаний турбогенератора в режимах совместного выбега с нагрузкой собственных нужд после двух незавершенных экспериментов никем из руководителей станции не была глубоко проработана.

Тт. Брюханов и Фомин не дали Комиссии удовлетворительных объяснений по поводу допущенных ими ошибок в подготовке и проведении этих испытаний. Комиссия единогласно оценила поведение тт. Брюханова и Фомина как безответственное;

Министерство энергетики и электрификации СССР (т. Майорев) и, прежде всего, заместитель Министра т. Шашарин, начальник объединения "Союзатомэнерго" т. Веретенников и главный инженер этого объединения т. Прушинский, допустившие порочную практику проведения различных испытаний и не регламентных работ в ночное время и бесконтрольность за этими работами. Министерство терпимо относилось к физико-техническим недостаткам реакторов РБМК, которые проявлялись в процессе физпусков и при их эксплуатации, и не добились от главного конструктора и научного руководителя осуществления необходимых мер по повышению надежности этих реакторов. Расследование ядерной аварии, происшедшей на энергоблоке № 1 Чернобыльской АЭС в 1982 году, было проведено формально, причины и виновные не были выявлены.

Министерство и объединение не обеспечили надлежащей подготовки эксплуатационных кадров, их профессионального отбора и проверки, а также своевременного создания необходимых учебно-тренировочных центров. По случаю происшедшей аварии Министерством не дана объективная оценка действиям эксплуатационного персонала станции. Назначение т. Фомина главным инженером АЭС следует считать ошибочным в связи с тем, что он не является специалистом по ядерным установкам. На должности главных инженеров АЭС должны назначаться специалисты-технологи атомных энергетических установок.

Министерство и его коллегия не уделяют должного внимания анализу причин аварий на атомных станциях и не принимают действенных мер к их недопущению. С 1983 года вопросы

безопасности атомных станций на заседании коллегии не обсуждались;

Министерство среднего машиностроения (т.Славский) и, прежде всего, главный конструктор (тт.Доллежалъ, Емельянов) и научный руководитель (т.Александров), которые не приняли своевременных мер по повышению надежности реакторов типа РБМК в полном соответствии с требованиями "Общих положений обеспечения безопасности атомных станций при проектировании, сооружении и эксплуатации". Минсредмаш не критически оценивает надежность реактора РБМК, не обеспечил необходимого научного сопровождения этого направления в развитии атомной энергетики. В проекте реакторной установки не предусмотрены достаточные технические решения по обеспечению безопасности работы реактора.

Значимость научных проблем по реактору и их развитие недооценивались. Ряд важных исследований по этим вопросам не проводился или не доводился до завершения. Проблемы повышения безопасности реактора уступали стремлениям добиться высокой его экономичности.

Проекты реакторов при наличии отдельных недостатков конструкции в части безопасности, в общем верно ориентированные на недопустимость какой-либо аварии, в то же время значительное место отводят не техническим средствам предотвращения аварии, а регламентам эксплуатации. Ни в одном проекте не разработана организация и технология ликвидации ядерной аварии.

Межведомственный технический совет по атомным электростанциям при Минсредмаше не обеспечивает в полной мере проведения единой технической политики в атомной энергетике и контроля за принимаемыми решениями.

Госатомэнергонадзор не обеспечил надлежащего контроля за соблюдением правил и норм по ядерной и технической безопасности, а также требований инструкций и регламентов по эксплуатации атомных электростанций, не в полной мере использует предоставленные Комитету права.

Руководители Комитета гг.Кулов и Сидоренко действуют нерешительно, не пресекают нарушений норм и правил безопасности со стороны работников министерств и ведомств, атомных станций, предприятий, поставляющих оборудование и приборы, нередко идут им на уступки, чем подрывают дисциплину и снижают их ответственность за эксплуатационную надежность атомных станций.

## 7. Выводы в связи с аварией

Авария на Чернобыльской АЭС вскрыла крупные недостатки в развитии атомной энергетики и обеспечении ее надежности. Уровень руководства работами по обеспечению безопасности в атомной энергетике не отвечает в полной мере высоким требованиям, предъявляемым на всех стадиях создания и эксплуатации атомных электростанций.

На атомных станциях, в министерствах и ведомствах сформировавшаяся психология "неуязвимости" атомной энергетики переросла в убеждения. Утрачено чувство неотложности работ, связанных с повышением эксплуатационной надежности. Имеют место стремления сглаживать, приглушать происшедшие отказы и даже аварии, укрывать такие случаи.

Минсредмаш и Минэнерго СССР ограничились отдельными мерами, повышающими эксплуатационную устойчивость реакторов типа РБМК, не устранили его главный конструктивный недостаток — положительную паровую реактивность, что делает его ненадежным в ряде нерегламентных режимов эксплуатации. Эти блоки остаются потенциально опасными. Согласованных решений по устранению указанных недостатков до сих пор не принято. Предварительные расчеты показывают, что предлагаемые меры по реконструкции и усовершенствованию существенно ухудшают экономичность станций, приведут к снижению мощности реакторов и увеличению себестоимости производства электроэнергии. Проведение первоочередных технических и организационных мер при строгом соблюдении регламентов позволит продолжить эксплуатацию действующих атомных электростанций с указанными реакторами.

Одновременно должны быть проведены дополнительные исследования и расчеты по обеспечению безопасности действующих и строящихся реакторов РБМК, о целесообразности введения еще одной быстродействующей аварийной защиты, более детальной оценке водородной опасности и локального перегрева. Необходимы безотлагательные меры по введению диагностики оборудования на наиболее ответственных участках.

Отмечая, что уровень научных работ в стране по безопасности атомной энергетики в традиционных направлениях достаточно высок, он практически не развит во вновь возникающих областях, в частности в вопросах оптимизации систем контроля и диагностики, а также моделирования аварийных процессов. Эти работы потребуют усиления стендовой и вычислительной базы и международного сотрудничества.

Существующее положение с набором и подготовкой эксплуатационного персонала не отвечает темпам развития атомной энергетики. У работников станций слабо воспитывается чувство ответственности за строгое соблюдение режима и регламентов эксплуатации.

Отсутствие тренажеров не позволяет тщательно отрабатывать профессиональные навыки и действия оперативного персонала в различных и, прежде всего, нестационарных режимах работы энергоблоков.

Авария на Чернобыльской АЭС показала неподготовленность Минэнерго СССР к аварийным ситуациям. Не были заранее подготовлены запасы материальных ресурсов, дозиметрических приборов, техники, спецодежды, дезактивирующих материалов, инвентарных приспособлений и оснастки, механизмов с дистанционным управлением. Это значительно снизило оперативность при ликвидации аварии, потребовало изыскания и срочной доставки из разных районов большого количества ресурсов и техники, создания новых машин и механизмов. Часть их приобреталась за рубежом.

В проектах на строительство атомных станций и поселков при них не предусмотрены надлежащие мероприятия по защите работающей смены АЭС и населения от радиационной опасности. Отсутствуют системы дистанционного автоматического контроля за радиационной обстановкой на территориях атомных станций и прилегающих к ним районов. Планы мероприятий на случай аварий на АЭС нечетко определяют порядок оповещения населения о радиационной опасности, передвижения людей и транспортных средств на загрязненной территории, проведения санитарной обработки и медицинского обследования. Не регламентированы условия эвакуации населения.

Предусмотренные планом Гражданской обороны СССР формирования, а также медицинские организации оказались неподготовленными к работе в обстановке, сложившейся в связи с аварией на атомной станции. Службы радиационного контроля не оснащены необходимыми контрольно-измерительными приборами и оборудованием, передвижными радиометрическими лабораториями, обеспечивающими работу в условиях высокого уровня радиации.

Подразделения воинских частей, Гражданской обороны СССР, Минэнерго СССР и Минсредмаша не оснащены специальной дистанционно управляемой техникой для сбора, транспортировки и захоронения радиоактивных загрязнений, отсутствуют методика и эффективные средства дезактивации зданий, сооружений, оборудования, водоемов, почвы и лесных угодий. В стране отсутствует высокоэффективная пожарная техника.

На темпах и качестве развития атомной энергетики и управлении ее безопасностью сказались недостатки общего уровня машиностроения и химической промышленности, а также чрезмерная монополизация научно-конструкторских разработок в одном ведомстве.

Академия наук СССР и ГКНТ не имеют организаций, способных обеспечить на должном уровне научную экспертизу и объективную оценку проектов, конструкций, физико-технических характеристик создаваемых реакторов.

Учитывая несоответствие существующих проектов реакторов РБМК современным требованиям безопасности, Комиссия считает, что не следует начинать строительство новых атомных станций с реакторами такого типа. С учетом безусловного выполнения дополнительных мероприятий по повышению безопасности завершить сооружение энергоблоков № 3 и № 4 Смоленской АЭС, № 5 и № 6 Чернобыльской и Курской атомных электростанций, находящихся в стадии строительства.

Госплану СССР и Бюро Совета Министров СССР по топливно-энергетическому комплексу совместно с заинтересованными министерствами и ведомствами рассмотреть вопрос об ускоренном строительстве на Урале, в Западной Сибири и в других районах электростанций на газе и угле вместо намечавшихся к сооружению в двенадцатой пятилетке и последующих годах атомных станций с реакторами РБМК. Совместно с ГКНТ и Академией наук СССР в 3-месячный срок подготовить предложения по указанному вопросу, а также о плане дальнейшего строительства атомных станций и уточнении Энергетической программы СССР.

Как предусмотрено постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР атомная энергетика будет развиваться в основном за счет сооружения энергоблоков с корпусными реакторами ВВЭР большой мощности. На них также следует осуществить комплекс мер по усилению надежности путем значительного повышения качества изготовления оборудования и его комплектности, использования современных средств автоматического управления и диагностики, применения огнестойких материалов для изготовления кабельно-проводниковой и электротехнической продукции. При проектировании и строительстве АЭС предусмотреть максимальную автономность энергоблоков, их технологических систем и автоматизированных систем управления процессами.

## 8. Меры повышения безопасности атомных электростанций

В целях повышения эксплуатационной надежности и безопасности атомных электростанций необходимо:

Минередмашу, Минэнерго СССР, Академии наук СССР и Госатомэнергонадзору в 2-недельный срок разработать первоочередные мероприятия для каждого реактора РБМК, в которых предусмотреть:

предотвращение быстрого роста мощности реактора при отказах оборудования или в случае ошибочных действий персонала;

устранение положительных парового и мощностного коэффициентов и уточнение минимального оперативного запаса реактивности;

дополнительную установку поглотителей и изменение конструкции стержней СУЗ;

устройство автоматической остановки реактора при снижении оперативных запасов по реактивности и температуре теплоносителя до минимально допустимых значений.

По каждому мероприятию установить сроки, назначить ответственных и обеспечить строгий контроль за выполнением;

Минэнерго СССР, Минсредмашу и Госатомэнергонадзору в 2-месячный срок пересмотреть и утвердить "Типовой технологический регламент по эксплуатации блоков АЭС с реактором РБМК-1000".

Минэнерго СССР и Минсредмашу:

- в кратчайший срок в полной мере реализовать согласованные с Госатомэнергонадзором организационные и регламентные меры по обеспечению повышения безопасности атомных станций, обратив при этом особое внимание на то, чтобы любые испытания на энергоблоках осуществлялись с разрешения министерств и по согласованию с главным конструктором и научным руководителем реактора. Запретить проведение каких-либо испытаний в ночное время. Пуски и плановые остановки энергоблоков с реакторами РБМК осуществлять в присутствии главного инженера АЭС или его заместителя по науке и инспектора Госатомэнергонадзора. Обеспечить, как правило, работу энергоблоков с реакторами РБМК в базовом режиме;
- создать на группы атомных станций региональные мобильные аварийно-технические службы по ликвидации аварий в случае их возникновения и устранению последствий. Госплану СССР и Госснабу СССР совместно с Минэнерго СССР,



Минсредмашем и другими министерствами определить номенклатуру специальной техники, приборов радио- и дозиметрического контроля, оснастки и приспособлений, защитных и других необходимых для ликвидации аварий средств и обеспечить в 1986 году полное укомплектование указанных служб материально-техническими ресурсами;

- коренным образом пересмотреть систему подготовки эксплуатационного персонала, провести в 1986 году внеочередную аттестацию работников станций. Совместно с Академией наук СССР и Минвузом СССР переработать действующие программы обучения кадров АЭС с учетом опыта их подготовки, накопленного в стране и за рубежом;
- совместно с МВД СССР провести внеочередную проверку противопожарного состояния на атомных станциях и готовности средств пожаротушения. Принять меры к полному укомплектованию в июне-июле с.г. всех атомных станций средствами индивидуальной защиты и спецодежды, усилить охрану станций. В целях обеспечения дальнейшего развития ядерной энергетики с учетом более высоких требований к ее безопасности:
- ГКНТ, Академии наук СССР, Госплану СССР, Бюро Совета Министров СССР по топливно-энергетическому комплексу, Бюро Совета Министров СССР по машиностроению, Минсредмашу и Минэнерго СССР с участием министерств и ведомств разработать и представить в Совет Министров СССР в 1986 году программу коренного повышения технического уровня атомных станций;
- Академии наук СССР, ГКНТ, Минсредмашу и Минэнерго СССР существенно поднять уровень научно-исследовательских и проектных работ в атомной энергетике, повысить ответственность институтов и конструкторских организаций за обеспечение безопасности создаваемых изделий и систем и разработку соответствующих нормативов и регламентов, а также ускорить разработку перспективных реакторов нового поколения;
- ГКНТ с привлечением соответствующих министерств и ведомств в 2-месячный срок провести техническую экспертизу проектов действующих и строящихся атомных станций, дать оценку их соответствия современным требованиям по безопасности и подготовить предложения;
- Госплану СССР и Госстрою СССР совместно с Минэнерго СССР, Минсредмашем, Минобороны и Академией наук СССР в 3-месячный срок уточнить места размещения проектируемых атомных станций в густонаселенных районах, около крупных городов и в регионах повышенной сейсмичности. Одновременно

рассмотреть целесообразность расширения и строительства Армянской, Крымской, Азербайджанской, Грузинской и Молдавской атомных станций;

- Межведомственному техническому совету по атомным электростанциям при Минсредмаше определить дополнительные меры, обеспечивающие современные требования ядерной безопасности на энергоблоках, построенных по старым проектам;
- Минэнерго СССР, Минсредмашу и ГКЭСу ускорить реализацию разработанных мероприятий по повышению надежности и безопасности отечественных и построенных в странах - членах СЭВ при техническом содействии СССР атомных электростанций с реакторами типа ВВЭР-440 и установить строгий контроль за их выполнением;
- Минэлектротехпрому, Минэнерго СССР и Минсредмашу ускорить разработку для энергоблоков с реакторами РБМК информационно-вычислительных систем "Скала-Микро" и обеспечить начиная с 1987 года замену отработавших ресурс систем "Скала" на действующих энергоблоках и оснащение строящихся энергоблоков с такими реакторами;
- Минприбору, Минэнерго СССР и Минсредмашу совместно с Академией наук СССР принять дополнительные меры к завершению в 1987 году разработки проекта автоматизированной системы управления технологическими процессами на базе микропроцессорной техники и единого программного обеспечения для АЭС с реакторами ВВЭР-1000 с тем, чтобы обеспечить с 1988 года укомплектование этими системами строящихся энергоблоков, как это предусмотрено постановлением Совета Министров СССР от 11 ноября 1982 г.;
- Учитывая, что значительное количество аварий на атомных станциях происходит из-за низкого качества оборудования, Бюро Совета Министров СССР по машиностроению в 2-месячный срок разработать конкретные меры, обеспечивающие своевременное изготовление и поставку для атомных станций оборудования высокого качества и максимальной комплектности, а также установить действенный контроль за реализацией этих мер;
- Минэнергомашу, Минэлектротехпрому, Минхиммашу, Минприбору, Минэнерго СССР и соответствующим министерствам принять неотложные меры к ускорению ввода в действие мощностей в производственных объединениях "Атоммаш", "Красный котельщик" и на других предприятиях, изготавливающих оборудование, приборы и специальные изделия для атомных станций, а также осуществить в кратчайшие сроки реконструкцию и техническое перевооружение действующих

производств с целью увеличения производства оборудования для АЭС с реакторами ВВЭР;

- Госплану СССР с привлечением соответствующих министерств и ведомств в месячный срок разработать предложения об организации производства специальной дистанционно управляемой техники для тушения пожаров, сбора, транспортировки и захоронения радиоактивных продуктов и отходов, проведения радиометрических измерений, дезактивационных и других работ в зонах с высоким уровнем радиации;
- Минсредмашу принять меры к повышению обогащения топлива, используемого в реакторах РБМК. Минэнерго СССР совместно с Минсредмашем и Минтяжмашем разработать в месячный срок и осуществить мероприятия по ускоренному строительству хранилищ для отработавшего топлива, установок по переработке твердых и жидких радиоактивных отходов, а также по изготовлению контейнеров для перевозки топлива и отходов;
- Минздраву СССР совместно со Штабом гражданской обороны СССР, Минэнерго СССР и Минсредмашем разработать конкретные планы развертывания медицинского обеспечения на случай аварий, обучения и подготовки специалистов и медицинского персонала к работам в условиях высокого уровня радиации, а также усилить научно-исследовательские работы в этом направлении и обеспечить соответствующую информацию населения. Минэнерго СССР и Минсредмашу с участием Минздрава СССР и Советов Министров союзных республик определить в безопасных зонах места размещения эксплуатационного персонала в случае аварий на атомных станциях и в этих целях разработать и осуществить необходимые мероприятия;
- Минэнерго СССР и Минсредмашу повысить качество строительно-монтажных работ, прежде всего сварочных, а также обеспечить своевременный ввод в эксплуатацию энергоблоков атомных станций, их тщательное испытание. Государственную комиссию по приемке в эксплуатацию энергетических блоков атомных электростанций должен возглавлять заместитель Министра и при этом нести личную ответственность за качество вводимых объектов. Государственная комиссия должна назначаться решением Бюро Совета Министров СССР по топливно-энергетическому комплексу.

С учетом происшедших событий на Чернобыльской АЭС ГКНТ, Академии наук СССР, Миннефтехимпрому СССР, Минхимпрому, Мингазпрому, Минудобрений, Минавтопрому и Минмедбиопрому детально рассмотреть состояние научно-исследовательских работ по обеспечению безопасной эксплуатации энергонасыщенных

или масштабно-опасных объектов, практическую обеспеченность их надежного функционирования и готовность к ликвидации аварийных ситуаций в случае их возникновения.

Для повышения уровня управления атомной энергетикой, создания систем безопасности атомных станций и радиационной защиты населения Комиссия предлагает:

- образовать на базе предприятий, институтов, конструкторских и других организаций Минэнерго СССР и Минсредмаша общесоюзное Министерство атомной энергетики, возложив на него ответственность за ведение научных исследований, выполнение конструкторских и проектных работ, эксплуатацию атомных станций и осуществление функций заказчика по их строительству.

Необходимость такого решения вызвана тем, что недостатки, сложившиеся в атомной энергетике, в значительной мере являются следствием разобщенности сил проектных, конструкторских, научных и других организаций. Конструкторские работы выполняются организациями Минсредмаша, проектные - институтами Минэнерго СССР и Минсредмаша, научное руководство возложено на Институт атомной энергии имени И.В.Курчатова Минсредмаша, созданный Межведомственный технический совет по атомным электростанциям образован при Минсредмаше, за эксплуатацию станций (кроме некоторых) несет ответственность Минэнерго СССР;

- коренным образом перестроить работу Госатомэнергонадзора, наделить его более широкими правами контроля на всех стадиях создания и эксплуатации атомных станций, вменить в его обязанности осуществление контроля за безопасностью АЭС в целом, а также реакторов промышленного назначения. Укрепить центральный аппарат Комитета и инспекции на местах опытными высококвалифицированными специалистами, повысить влияние и участие Комитета в разработке правил и норм для объектов атомной энергетики. Пересмотреть положение о Госатомэнергонадзоре.

Создать в системе Комитета научно-технический центр по ядерной безопасности;

- сохранить деятельность Межведомственного технического совета по атомным электростанциям. Руководство Советом возложить на ГКНТ.

ГКНТ и Академии наук СССР совместно с Бюро Совета Министров СССР по топливно-энергетическому комплексу и Бюро Совета Министров СССР по машиностроению разработать в 2-месячный срок предложения об уточнении положения и персональном составе указанного Совета;

- поручить Министерству обороны разработать меры дальнейшего совершенствования Гражданской обороны СССР, возложив на нее выполнение работ по ликвидации последствий крупных аварий на атомных электростанциях, а также общее руководство привлекаемыми к этим работам организациями. Обратить особое внимание на разработку и осуществление совместно с Минздравом СССР, Госагропромом СССР, Госкомгидрометом и Госатомэнергонадзором мероприятий по радиационной защите населения, дезактивации промышленных объектов и жилых зданий, контролю за продуктами питания и источниками водоснабжения.

Атомная энергетика, ее дальнейшее развитие - одно из важнейших направлений в долгосрочной стратегии научно-технического прогресса, путь решения многих экологических проблем. Советский Союз первым в мире построил атомную электростанцию и открыл путь использования атомной энергии в мирных целях, создал новые типы реакторов разного назначения, развил атомное машиностроение.

Крупномасштабные планы развития атомной энергетики требуют более качественного решения ее проблем и прежде всего безопасности, как первоочередной национальной задачи.

Учитывая возрастающую роль атомной энергетики в обществе, ее дальнейшее ускоренное развитие и усиление международных связей, представляется необходимым принять закон об использовании атомной энергии, проект которого поручить подготовить Академии наук СССР, ГКНТ, соответствующим министерствам и ведомствам.

Б. Щербина  
Е. Воробьев  
В. Другов  
В. Легасов  
А. Майорец  
А. Мешков  
Н. Николаев  
И. Плющ  
В. Сидоренко  
Н. Симочатов  
О. Сорока  
Ф. Щербак



**ОБЪЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА СИДОРЕНКО В.А.  
В КОМИТЕТ ПАРТИЙНОГО КОНТРОЛЯ  
ПРИ ЦК КПСС**

**(июль 1986 года)**

## В Комитет Партийного Контроля при ЦК КПСС

В связи с аварией на Чернобыльской АЭС и моим отношением к этому поясняю следующее.

Произошедшая авария является самой крупной, случившейся где-либо на объектах атомной энергетики, и выходит по своим масштабам за рамки ожидавшихся событий на атомных станциях. Я, будучи членом Правительственной комиссии, полностью разделяю изложенную комиссией оценку событий, причины аварии и виновность организаций и отдельных лиц. Непосредственной причиной аварии явилась целая цепь нарушений правил эксплуатации реактора и установленного порядка работы на атомной электростанции со стороны эксплуатационного персонала. И непосредственную ответственность за безопасную эксплуатацию, в соответствии с правилами, установленными в отечественной и мировой ядерной энергетике, несет дирекция АЭС и эксплуатирующая организация. Если бы не было этих нарушений или хотя бы некоторых из них, не произошло бы никакой аварии, тем более - подобной катастрофы. Однако помимо непосредственной причины аварии были предпосылки, сделавшие аварию возможной, и они тоже обсуждаются в заключении Комиссии. Среди этих предпосылок важнейшими являются недостатки конструкции реактора, а необычный масштаб аварии выводит эти недостатки из ряда предпосылок в разряд причин. Причиной аварии являются допущенные нарушения, а причиной ее катастрофического развития являются особенности реактора. Принципы создания ядерных реакторов, каноны и правила, которые выработаны многолетними исследованиями и направлены на исключение ядерных аварий, т.е. аварий связанных с неуправляемой цепной реакцией и распространением радиоактивных веществ, образующихся в активной зоне реактора. Правила эти жесткие, и требования к ядерной технике существенно выше требований обычной энергетики, поскольку ядерная установка является носителем специфической радиационной опасности. Технология ядерной энергетики относится к сложным технологиям, сбой и аварии в ней не могут быть абсолютно исключены, но выработанные принципы и установленные правила обеспечивают разнообразные меры по нейтрализации возникающих повреждений и аварий и по уменьшению их опасных последствий. Оснащенность этими средствами и соответствие



характеристик установленным требованиям определяет уровень безопасности реактора и станции. Современный уровень безопасности сформировался не сразу. В 1971-73 году были введены в действие "Общие положения обеспечения безопасности атомных электростанций при проектировании, строительстве и эксплуатации (ОПБ-73)", которые вывели отечественные требования на уровень, принятый в мире. Вновь сооруженные станции создавались на основе этих требований, которые в некоторых деталях были уточнены в 1982 году (ОПБ-82). Реактор 4-го блока Чернобыльской АЭС соответствовал требованиям ОПБ-73. Однако послеаварийный анализ показывает, что обоснованность этого соответствия оказалась недостаточной, и в результате доказательность — ошибочной. Теперь можно утверждать, что некоторым важным требованиям правил реактор не удовлетворяет. Это относится к такой характеристике как мощностной коэффициент реактивности и к эффективности системы аварийной защиты. Причины этого довольно сложные. Следует назвать низкий уровень обеспеченности отечественной атомной энергетики исследовательской базой и современной вычислительной техникой. К примеру, отдельные расчеты физических характеристик реактора на требуемом уровне точности удалось реализовать в результате специальных усилий лишь в особых обстоятельствах послеаварийного периода. Уточненные расчеты дают недопустимо высокие значения положительного парового коэффициента реактивности. Доказательства безопасности базировались на умеренных значениях этого коэффициента, которые давали проектные расчеты. Экспериментальные проверки можно было осуществить на упрощенных стендах, не воспроизводящих эксплуатационные условия, из-за большой сложности и дороговизны подобных установок.

В то же время особенности конструкции реактора, его габариты, более высокая стоимость сооружения по сравнению с реактором корпусного типа (ВВЭР) побуждали разработчиков искать пути его удешевления и заставляли избегать "чрезмерной осторожности" в конструктивных решениях и исключать из конструкции "необоснованные и ненужные" устройства безопасности. К таким особенностям реактора относится отсутствие защитной оболочки — здания над реактором. Основание для этого — невозможность разрыва более чем одного канала в активной зоне реактора. Доказательность этого была признана всеми научно-техническими экспертизами. Сейчас видно, что это утверждение было ошибочным. В результате в обеспечении безопасности предпочтение отдавалось организационно-ограничительным мерам вместо конструктивно-технических. Такая тенденция в выборе технических решений

поддерживалась руководством Министерства среднего машиностроения, опиравшимся в своей позиции на опыт промышленных реакторов. Многие из руководителей, включая Министра (т. Славский Е.П.) и Главного конструктора (академик Доллежалъ А.Н.) считали требования новых правил безопасности необоснованными и вредными. Министерство энергетики противодействовало распространению и внедрению в своем ведомстве реакторов РБМК, мотивируя это их дороговизной и сложностью сооружения и эксплуатации. Усложнение защитных устройств привело бы к еще большему их удорожанию. Положение еще усложнялось плохим взаимопониманием и взаимодействием института Научного руководителя (ИАЭ им. Курчатова) и института Главного Конструктора (НИКИЭТ). Внедрение предложений ИАЭ, направленных на повышение безопасности, как правило блокировалось или тормозилось, несмотря на решения научно-технических советов и т.п.

Моя работа в ИАЭ им. Курчатова с самого начала была сосредоточена на разработке реакторов ВВЭР. Далее я много сил вынужден был уделять вопросам безопасности атомных станций. По моей инициативе и под моим руководством была проведена межведомственная разработка упомянутых "Общих положений безопасности" и продолжена работа по их совершенствованию. Тем самым был узаконен уровень требований безопасности отечественных АЭС, соответствующий современному. Эта моя причастность к изучению и развитию вопросов безопасности АЭС по существу и явилась причиной последующего привлечения меня к организации и работе в Госатомэнергонадзоре.

В ИАЭ с определенного периода на меня были возложены в разных формах административные функции по руководству реакторными подразделениями института (последние годы — директор Отделения ядерных реакторов).

В это время в сферу моего административного руководства попали и подразделения, осуществляющие научное руководство разработками РБМК (научный руководитель - директор института А.П. Александров). Хотя за эти годы на базе новых правил было создано новое поколение реакторов РБМК, существенно более безопасных, чем первое поколение, усилена экспериментальная база этого направления, в сложившихся условиях многотемности института, ограниченности ресурсов и общей тенденции передачи работ по внедренным типам реакторов в Минэнерго не удалось добиться такого усиления реакторных работ в Институте и в других организациях министерства, которые бы гарантировали высокий уровень доказанности и обоснованности технических решений по этому реактору и в том числе решений, обеспечивающих безопасность.

Авария показала, что необходимого уровня обоснованности также не удалось достичь. В этом я вижу свою моральную вину.

Как один из руководителей Госатомэнергонадзора я повинен в тех недостатках работы Комитета, которые способствовали возникновению аварийной ситуации на Чернобыльской станции.

Персонал инспекции, в первую очередь начальник инспекции т. Фроловский и инспектор по ядерной безопасности т. Лаушкин упустили из поля зрения нерегламентные работы, связанные с испытаниями турбогенератора, не понимали в достаточной мере потенциальную опасность таких режимов, не обеспечили такой постановки надзора за работой станции, которая бы исключила многочисленные нарушения эксплуатационным персоналом регламентных требований.

В этом сказался и недостаток подбора и подготовки кадров, обеспечиваемых руководством Комитета.

Формирование инспекторского состава на станциях проводилось слишком медленно. Планируемая и проводимая учеба инспекторского состава велась в нужном направлении, но, как показала авария, нужного эффекта еще не дала. Авария "обогнала" процесс становления надзорной работы.

Следуя признать справедливым, что после аварии Комитет упрекали в "сужении своих задач" в надзорной работе, в том что, организуя работу, Комитет включал в свое поле зрения не всю станцию целиком, а лишь системы, влияющие на безопасность. Такая ориентировка существует и в руководстве Комитета, и она конечно воспринималась инспекторами. Следует признать, что такое выпадение из надзора "второстепенных систем" легко переходит в неэффективность всей системы надзора. Анализируя поведение инспекторов можно видеть как этот недочет в работе проявился в предаварийной ситуации на Чернобыльской АЭС.

Я, как второе лицо в Комитет, вижу свою вину в том, что понимая ошибочность такой тенденции, развивавшейся Председателем Комитета, не сумел ей противостоять. Первейшая задача сейчас - перестроить работу Комитета в этой части.

Справедливо утверждение в заключении Правительственной комиссии, что руководители комитета т. Кулов и т. Сидоренко "действуют нерешительно", "нередко идут на уступки" работникам Министерств и ведомств, "чем подрывают дисциплину и снижают их ответственность за эксплуатационную надежность атомных станций".

*Член КПСС с 1966 года, партийный билет № 04877950, Сидоренко Виктор Алексеевич, Первый заместитель Председателя Государственного Комитета СССР по надзору за безопасным ведением работ в атомной энергетике.*



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ  
ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ СССР

АВАРИЯ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС  
И ЕЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

Информация, подготовленная для совещания  
Экспертов МАГАТЭ

(25-29 августа 1986 г. ВЕНА)

Часть I. Обобщенный материал

Август 1986 г.

Представленная информация исходит из выводов Правительственной комиссии о причинах аварии на четвертом блоке Чернобыльской АЭС и подготовлена привлеченными Государственным комитетом СССР по использованию атомной энергии экспертами в составе:

Абагян А.А.  
Мысенков А.И.  
Асмолов В.Г.  
Павловский О.А.  
Гуськова А.К.  
Петров В.Н.  
Демин В.Ф.  
Пикалов В.К.  
Ильин Л.А.  
Проценко А.Н.  
Израэль Ю.А.  
Рязанцев Е.П.  
Калугин А.К.  
Сивинцев Ю.В.  
Конвиз В.С.  
Сухоручкин В.К.  
Кузьмин И.И.  
Токаренко В.Ф.  
Кунцевич А.Д.  
Хрулев А.А.  
Легасов В.А.  
Шах О.Я.  
Малкин С.Д.

При подготовке информации были использованы материалы, полученные из следующих организаций: Института атомной энергии им. И.В. Курчатова, Научно-исследовательского и конструкторского института энерготехники, Радиевого института им. В.Г. Хлопина, Института "Гидропроект" им. С.Я. Жука, Всесоюзного научно-исследовательского института АЭС, Института биофизики, Института прикладной геофизики, ГК АЭ, Госкомгидромета, Минздрава, Госатомэнергонадзора, Министерства обороны, Главного управления пожарной охраны Министерства внутренних дел и Академии наук СССР.

## ВВЕДЕНИЕ

На четвертом блоке Чернобыльской АЭС 26 апреля 1986 г. в 1 ч 23 мин произошла авария с разрушением активной зоны реакторной установки и части здания, в котором она располагалась.

Авария произошла перед остановкой блока на плановый ремонт при проведении испытаний режимов работы одного из турбогенераторов. Мощность реакторной установки внезапно резко возросла, что привело к разрушению реакторной установки и выбросу части накопившихся в активной зоне радиоактивных продуктов в атмосферу.

В процессе аварии ядерная реакция в реакторе четвертого блока прекратилась. Был ликвидирован возникший пожар и начаты работы по ограничению и ликвидации последствий аварии.

Была проведена эвакуация населения из районов, непосредственно прилегающих к площадке атомной электростанции, и из зоны радиусом 30 км вокруг нее.

Учитывая чрезвычайный характер происшедшей в Чернобыле аварии, в Политбюро ЦК КПСС была организована оперативная группа во главе с Председателем СМ СССР Рыжковым Н.И. для координации деятельности министерств и других государственных ведомств по ликвидации последствий аварии и оказанию помощи населению.

Была образована Правительственная комиссия, которой было поручено изучить причины аварии и осуществить необходимые аварийные и восстановительные мероприятия. Были задействованы необходимые научные, технические и экономические возможности и резервы страны.

В СССР были приглашены представители МАГАТЭ, которым была предоставлена возможность ознакомиться с положением дел на ЧАЭС и мерами по ликвидации аварии. Свою оценку положения они довели до сведения мирового сообщества.

Правительства ряда стран, а также многие правительственные, общественные и частные организации, отдельные граждане из разных стран мира обратились в различные организации СССР с предложениями об участии в ликвидации последствий аварии. Часть этих предложений была принята.

За тридцать лет своего развития ядерная энергетика заняла существенное место в мировом энергопроизводстве и в целом продемонстрировала высокие показатели безопасности для человека и

окружающей среды. Будущее мировой экономики невозможно представить без ядерной энергетики. Однако ее дальнейшее развитие должно сопровождаться еще большими усилиями науки и техники для обеспечения ее надежности и безопасности эксплуатации.

Авария в Чернобыле — результат совпадений нескольких маловероятных событий. Советский Союз делает из этой аварии должные выводы.

Отказ от ядерных энергоисточников потребовал бы значительного увеличения добычи и сжигания органических топлив. Это непременно увеличило бы риск заболеваний для людей, потерю вод и лесов из-за непрерывного поступления в биосферу вредных химических веществ.

Развитие мировой ядерной энергетики кроме выгод в области энергообеспечения и сохранения природных ресурсов несет с собой и опасности, носящие международный характер. Сюда относятся и трансграничные переносы радиоактивности, в частности, при крупных радиационных авариях, и проблема распространения ядерного оружия, и опасность международного терроризма, и специфическая опасность ядерных объектов в военных условиях. Все это определяет принципиальную необходимость глубокого международного сотрудничества в области развития ядерной энергетики и обеспечения ее безопасности.

Таковы реальности.

Насыщенность современного мира потенциально опасными промышленными производствами, значительно усугубляя последствия военных действий, ставит в новой плоскости вопрос о бессмысленности и недопустимости войны в современных условиях.

В выступлении по советскому телевидению 14 мая М.С. Горбачев сказал: "Для нас непререкаемый урок Чернобыля состоит в том, что в условиях дальнейшего развертывания научно-технической революции вопросы надежности техники, ее безопасности, вопросы дисциплины, порядка и организованности приобретают первостепенное значение. Нужны самые строгие требования везде и во всем.

Далее. Мы считаем необходимым выступить за серьезное углубление сотрудничества в рамках Международного агентства по атомной энергии".

(В настоящей публикации не приводится текст раздела 1. "Описание Чернобыльской АЭС с реакторами РБМК-1000" и ряд рисунков, приложенных к докладу. В связи с этим некоторые фразы текста изменены).



## 2. ХРОНОЛОГИЯ РАЗВИТИЯ АВАРИИ

Четвертый блок Чернобыльской АЭС был введен в эксплуатацию в декабре 1983 г. К моменту остановки блока на средний ремонт, которая была запланирована на 25.04.86 г., активная зона содержала 1659 ТВС со средним выгоранием 10,3 МВт.сут/кг, 1 ДП и 1 незагруженный канал. Основная часть ТВС (75%) представляла собой кассеты первой загрузки с выгоранием 12 — 15 МВт.сут/кг.

Перед остановкой были запланированы испытания турбогенератора № 8 в режиме выбега с нагрузкой собственных нужд. Цель этих испытаний — экспериментально проверить возможности использования механической энергии ротора отключенного по пару турбогенератора для поддержания производительности механизмов собственных нужд блока в условиях обесточивания. Этот режим используется в одной из подсистем быстродействующей системы аварийного охлаждения реактора (САОР). При надлежащем порядке выполнения испытаний и принятии дополнительных мер безопасности проведение такого рода испытаний на работающей АЭС не запрещалось.

Подобные испытания уже проводились ранее на этой станции. Тогда было выяснено, что напряжение на шинах генератора падает намного раньше, чем расходуется механическая энергия ротора при выбеге. В испытаниях, намеченных на 25.04.86 г., предусматривалось использование специального регулятора магнитного поля генератора, который должен был устранить этот недостаток. Однако "Рабочая программа испытаний турбогенератора № 8 Чернобыльской АЭС", в соответствии с которой они должны были проводиться, не была должным образом подготовлена и согласована.

Качество программы оказалось низким, предусмотренный в ней раздел по мерам безопасности составлен чисто формально. (В нем указано лишь то, что в процессе испытаний все переключения делаются с разрешения начальника смены станции, в случае возникновения аварийной ситуации персонал должен действовать в соответствии с местными инструкциями, а перед началом испытаний руководитель испытаний — инженер-электрик, не являющийся специалистом по реакторным установкам, — проводит инструктаж дежурной вахты.) Помимо того что в программе по существу не были предусмотрены дополнительные меры безопасности, ею предписывалось отключение системы аварийного охлаждения реактора. Это означало, что в течение всего периода испытаний, т.е. ~ 4 ч, безопасность реактора окажется существенно сниженной.

В силу того что безопасности этих испытаний не было уделено должного внимания, персонал к ним готов не был, не знал о возможных опасностях. Кроме того, как это будет видно из дальнейшего, персонал допускал отклонения от выполнения программы, создавая тем самым условия для возникновения аварийной ситуации.

25 апреля в 1 ч 00 мин персонал приступил к снижению мощности реактора, работавшего на номинальных параметрах, и в 13 ч 05 мин турбогенератор № 7 (ТГ № 7) был отключен от сети при тепловой мощности реактора 1600 МВт. Электропитание собственных нужд (4 ГЦН, 2 питательных электронасоса (ПЭН) и др.) было переведено на шины ТГ № 8.

В 14 ч 00 мин в соответствии с программой испытаний от КМПЦ была отключена САОР. Однако по диспетчерскому требованию вывод блока из работы был задержан. В нарушение регламента эксплуатация блока в это время продолжалась с отключенной САОР.

В 23 ч 10 мин снижение мощности было продолжено. В соответствии с программой испытаний выбег генератора с нагрузкой собственных нужд предполагалось произвести при мощности реактора 700 — 1000 МВт (тепл.). Однако при отключении системы ЛАР, что предусмотрено регламентом эксплуатации реактора на малой мощности, оператор не смог достаточно быстро устранить появившийся разбаланс измерительной части АР. В результате этого мощность упала до величины ниже 30 МВт (тепл.). Только к 1 ч 00 мин 26.04.86 г. ее удалось стабилизировать на уровне 200 МВт (тепл.). В связи с тем что в этот период продолжалось "отравление" реактора, дальнейший подъем мощности был затруднен из-за малого оперативного запаса реактивности, который к этому моменту был существенно ниже регламентного.

И все же испытания решено было проводить. В 1 ч 03 мин и 1 ч 07 мин дополнительно к шести работавшим ГЦН было включено еще по одному ГЦН с каждой стороны, с тем чтобы после окончания эксперимента, в котором в режиме выбега должны были работать четыре ГЦН, в КМПЦ осталось бы четыре ГЦН для надежного охлаждения активной зоны.

Поскольку мощность реактора, а следовательно, и гидравлическое сопротивление активной зоны и КМПЦ были существенно ниже запланированного уровня и в работе находились все восемь ГЦН, суммарный расход через реактор возрос до  $(56 - 58) \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}$ , а по отдельным ГЦН до  $8000 \text{ м}^3/\text{ч}$ , что является нарушением регламента эксплуатации. Такой режим работы запрещен из-за опасности срыва подачи насосов и возможности возникновения вибраций

магистралей контура вследствие кавитации. Подключение дополнительных ГЦН и вызванное этим увеличение расхода воды через реактор привело к уменьшению парообразования, падению давления пара в барабанах-сепараторах, изменению других параметров реактора. Операторы пытались вручную поддерживать основные параметры реактора: давление пара и уровень воды в барабанах-сепараторах, однако в полной мере сделать это не удалось. В этот период в барабанах-сепараторах наблюдались провалы по давлению пара на 0,5 — 0,6 МПа и провалы по уровню воды ниже аварийной уставки. Чтобы избежать остановки реактора в таких условиях, персоналом были заблокированы сигналы аварийной защиты по этим параметрам.

Тем временем реактивность реактора продолжала медленно падать. В 1 ч 22 мин 30 с оператор на распечатке программы быстрой оценки запаса реактивности увидел, что оперативный запас реактивности составлял величину, требующую немедленной остановки реактора. Тем не менее это персонал не остановило, и испытания начались.

В 1 ч 23 мин 04 с были закрыты стопорно-регулирующие клапаны (СРК) ТГ № 8. Реактор продолжал работать на мощности ~ 200 МВт(тепл.). Имеющаяся аварийная защита по закрытию СРК двух турбогенераторов (ТГ № 7 был отключен днем 25.04.86 г.) была заблокирована, чтобы иметь возможность повторить испытание, если первая попытка окажется неудачной. Тем самым было сделано еще одно отступление от программы испытаний, в которой не предусматривалась блокировка аварийной защиты реактора по отключению двух турбогенераторов.

Через некоторое время после начала испытания началось медленное повышение мощности.

В 1 ч 23 мин 40 с начальник смены блока дал команду нажать кнопку АЗ-5, по сигналу от которой в активную зону вводятся все регулирующие стержни и стержни аварийной защиты. Стержни пошли вниз, однако через несколько секунд раздались удары, и оператор увидел, что стержни-поглотители остановились, не дойдя до нижних концевиков. Тогда он обесточил муфты сервоприводов, чтобы стержни упали в активную зону под действием собственной тяжести.

По свидетельству очевидцев, находившихся вне четвертого блока, примерно в 1 ч 24 мин раздались последовательно два взрыва, над четвертым блоком взлетели какие-то горящие куски и искры, часть из которых упала на крышу машинного зала и вызвала пожар.

### 3. АНАЛИЗ ПРОЦЕССА РАЗВИТИЯ АВАРИИ НА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

В системе централизованного контроля (СЦК) "Скала" реактора РБМК-1000 предусмотрена программа диагностической регистрации параметров (ДРЕГ), в соответствии с которой периодически с заданным циклом (минимальное время цикла 1 с) опрашивается и запоминается несколько сотен аналоговых и дискретных параметров.

В связи с проведением испытаний с большой частотой регистрировались только те параметры, которые были важны с точки зрения анализа результатов проводимых испытаний. Поэтому восстановление процесса развития аварии производилось расчетным путем на математической модели энергоблока с использованием не только распечаток программы ДРЕГ, но и показаний приборов и результатов опроса персонала.

Для обеспечения ускоренного анализа вариантов и версий рассматриваемой аварийной ситуации использовалась интегральная математическая модель энергоблока с реактором РБМК-1000, реализованная на ЭВМ в реальном масштабе времени. Зависимости реактивности от паросодержания и перемещения стержней-поглотителей определялись по результатам расчетов на распределенных, в том числе трехмерных, нейтронно-физических моделях.

При расчетном восстановлении процесса развития аварии весьма важно было убедиться, что математическая модель энергоблока правильно описывает поведение реактора, а также другого оборудования и систем именно в тех условиях, в которых они оказались перед разрушением. Как уже отмечалось в предыдущем разделе, реактор после 1 ч 00 мин 26.04.86 г. работал неустойчиво, и операторы практически непрерывно вносили "возмущения" в объект управления с целью стабилизации его параметров. Это позволило на довольно большом интервале времени при разнообразных воздействиях на реакторную установку сопоставить фактические данные, достаточно надежно зафиксированные средствами регистрации, с данными, полученными при численном моделировании. Результаты сопоставления оказались вполне удовлетворительными, что свидетельствует об адекватности математической модели и реального объекта.

Для того чтобы можно было яснее представить влияние предыстории на характер развития аварии, проанализируем расчетные данные начиная с 1 ч 19 мин 00 с, т.е. за 4 мин до начала испытания с выбегом ТГ. Этот момент времени удобен тем, что оператор

начал одну из операций по подпитке барабанов-сепараторов (вторую с 1 ч ночи), которая внесла сильные возмущения в объект регулирования. В этот момент программа ДРЕГ зафиксировала положения стержней всех трех АР, т.е. были четко зафиксированы начальные условия для расчета.

Оператор начал подпитку барабанов-сепараторов с целью не допустить в них провала уровня воды. Через 30 с ему удалось удержать уровень, увеличив расход питательной воды более чем в 3 раза. По-видимому, оператор решил не только удержать уровень воды, но и повысить его. Поэтому расход воды продолжал увеличиваться и примерно через минуту уже в 4 раза превышал исходный.

Как только более холодная вода из барабанов-сепараторов дошла до активной зоны, генерация пара заметно уменьшилась, вызвав уменьшение объемного паросодержания, что привело к перемещению вверх стержней АР. Через ~ 30 с они вышли на верхние концевики, и оператор вынужден был "помочь" им стержнями ручного регулирования, уменьшая тем самым оперативный запас реактивности. (Эта операция не была зафиксирована в оперативном журнале, но без нее удержать мощность на уровне 200 МВт было бы совершенно невозможно.) Оператор, переместив ручные стержни вверх, добился перекомпенсации, и одна из групп стержней АР опустилась на 1,8 м.

Уменьшение генерации пара привело к небольшому падению давления. Примерно через минуту в 1 ч 19 мин 58 с закрылось быстродействующее редуccionное устройство (БРУ-К), через которое излишки пара стравливались в конденсатор. Это способствовало некоторому уменьшению скорости падения давления. Однако вплоть до начала испытания давление продолжало медленно падать. За этот период времени оно изменилось более чем на 0,5 МПа.

В 1 ч 22 мин 30 с на СЦК "Скала" была получена распечатка фактических полей энерговыделений и положений всех стержней регулирования. Именно к этому моменту времени была сделана попытка "привязки" расчетного и зарегистрированного нейтронного поля.

Общая характеристика нейтронного поля в этот момент времени такова: в радиально-азимутальном направлении оно практически выпуклое, а по высоте в среднем двугорбое с более высоким энерговыделением в верхней части активной зоны. Такое распределение поля является вполне естественным для того состояния, в котором находился реактор: выгоревшая активная зона, почти все стержни регулирования наверху, объемное паросодержание в верхней части активной зоны значительно больше, чем внизу, отравление  $^{135}\text{Xe}$  в центральных частях реактора больше, чем в периферийных.

В 1 ч 22 мин 30 с запас реактивности составлял всего 6 — 8 стержней. Эта величина была по крайней мере вдвое меньше предельно допустимого запаса, установленного технологическим регламентом эксплуатации. Реактор находился в необычном, нерегламентном состоянии, и для оценки последующего развития событий крайне важно было определить дифференциальную эффективность стержней регулирования и аварийной защиты при реальных нейтронных полях и размножающих характеристиках активной зоны. Численный анализ показал высокую чувствительность погрешности определения эффективности стержней регулирования к погрешности восстановления высотного поля энерговыделений. Если к тому же учесть, что на таких малых уровнях мощности (~ 6 — 7%) относительная погрешность измерения поля существенно выше, чем при номинальных условиях, то становится ясной необходимость анализа весьма большого числа расчетных вариантов, чтобы убедиться в достоверности или ошибочности той или иной версии.

К 1 ч 23 мин параметры реактора были наиболее близки к стабильным за рассматриваемый промежуток времени, и испытания начались. За минуту до этого оператор резко снизил расход питательной воды, что повлекло увеличение температуры воды на входе в реактор с запаздыванием, равным времени прохода теплоносителя от барабанов-сепараторов до реактора. В 1 ч 23 мин 04 с оператор закрыл СРК ТГ № 8, и начался выбег турбогенератора. Из-за уменьшения расхода пара из барабанов-сепараторов его давление начало слабо расти (в среднем со скоростью 6 кПа/с). Суммарный расход воды через реактор начал падать из-за того, что четыре из восьми ГЦН работали от "выбегającego" турбогенератора.

Повышение давления пара, с одной стороны, и снижение расхода воды через реактор, а также подачи питательной воды в барабаны-сепараторы, с другой стороны, являются конкурирующими факторами, определяющими объемное паросодержание, а следовательно, мощность реактора. Следует особо подчеркнуть, что в том состоянии, в которое попал реактор, небольшое изменение мощности приводит к тому, что объемное паросодержание, прямо влияющее на реактивность, увеличивается во много раз сильнее, чем на номинальной мощности. Конкуренция этих факторов в конечном итоге привела к росту мощности. Именно это обстоятельство могло быть причиной нажатия кнопки АЗ-5.

Кнопка АЗ-5 была нажата в 1 ч 23 мин 40 с. Начался ввод стержней аварийной защиты. К этому времени стержни АР, частично компенсируя предшествующий рост мощности, уже находились в нижней части активной зоны, а работа персонала с недопустимо малым оперативным запасом реактивности привела к тому,

что практически все остальные стержни-поглотители находились в верхней части активной зоны.

В создавшихся условиях допущенные персоналом нарушения привели к существенному снижению эффективности аварийной защиты. Суммарная положительная реактивность, появившаяся в активной зоне, начала расти. Через 3 с мощность превысила 530 МВт, а период разгона стал намного меньше 20 с. Положительный паровой эффект реактивности способствовал ухудшению ситуации. Частично компенсировал вводимую в это время реактивность только доплер-эффект.

Продолжающееся снижение расхода воды через технологические каналы реактора в условиях роста мощности привело к интенсивному парообразованию, а затем к кризису теплоотдачи, разогреву топлива, его разрушению, бурному вскипанию теплоносителя, в который попали частицы разрушенного топлива, резкому повышению давления в технологических каналах, их разрушению и тепловому взрыву, разрушившему реактор и часть конструкций здания и приведшему к выбросу активных продуктов деления во внешнюю среду.

В математической модели разрушение топлива имитировалось резким увеличением эффективной поверхности теплообмена, когда удельное энерговыделение в топливе превысило 300 кал/г. Именно в это время давление в активной зоне настолько возросло, что произошло резкое снижение расхода воды от ГЦН (захлопнулись обратные клапаны). Это отчетливо видно и из результатов, полученных на математической модели, и из результатов измерений, зафиксированных программой ДРЕГ. Только разрыв технологических каналов привел к частичному восстановлению расходов от ГЦН, однако вода от них поступала уже не только в уцелевшие каналы, но и в реакторное пространство.

Парообразование и резкое повышение температуры в активной зоне создали условия для возникновения пароциркуляционной и других химических экзотермических реакций. Их проявление в форме фейерверка вылетающих раскаленных и горячих фрагментов наблюдали очевидцы.

В результате этих реакций образовалась содержащая водород и оксид углерода смесь газов, способная к тепловому взрыву при смешении с кислородом воздуха. Это смешение могло произойти после разгерметизации реакторного пространства.

## 4. ПРИЧИНЫ АВАРИИ

Как показал приведенный выше анализ, авария на четвертом блоке ЧАЭС относится к классу аварий, связанных с вводом избыточной реактивности. Конструкция реакторной установки предусматривала защиту от подобного типа аварий с учетом физических особенностей реактора, включая положительный паровой коэффициент реактивности.

К числу технических средств защиты относятся системы управления и защиты реактора по превышению мощности и уменьшению периода разгона, блокировки и защиты по неисправностям или переключениям оборудования и систем энергоблока, система аварийного охлаждения реактора.

Кроме технических средств защиты предусматривались также строгие правила и порядок ведения технологического процесса на АЭС, определяемые регламентом эксплуатации энергоблока. К числу наиболее важных правил относятся требования о недопустимости снижения оперативного запаса реактивности ниже 30 стержней.

В процессе подготовки и проведения испытаний турбогенератора в режиме выбега с нагрузкой собственных нужд блока персонал отключил ряд технических средств защиты и нарушил важнейшие положения регламента эксплуатации в части безопасного ведения технологического процесса.

В таблице приведен перечень наиболее опасных нарушений режима эксплуатации, совершенных персоналом четвертого блока ЧАЭС.

Основным мотивом в поведении персонала было стремление быстрее закончить испытания. Нарушение установленного порядка при подготовке и проведении испытаний, нарушение самой программы испытаний, небрежность в управлении реакторной установкой свидетельствуют о недостаточном понимании персоналом особенностей протекания технологических процессов в ядерном реакторе и о потере им чувства опасности.

Разработчики реакторной установки не предусмотрели создание защитных систем безопасности, способных предотвратить аварию при имевшем место наборе преднамеренных отключений технических средств защиты и нарушений регламента эксплуатации, так как считали такое сочетание событий невозможным.

Таким образом, первопричиной аварии явилось крайне маловероятное сочетание нарушений порядка и режима эксплуатации, допущенных персоналом энергоблока.



№ п/п	Нарушение	Мотивация	Последствия
1.	Снижение оперативного запаса реактивности существенно ниже допустимой величины	Стремление выйти из «Йодной ямы»	Аварийная защита реактора оказалось неэффективной
2.	Провал мощности ниже предусмотренного программой испытания	Ошибка оператора при отключении ЛАР	Реактор оказался в трудноуправляемом состоянии
3.	Подключение к реактору всех ГЦН с превышением расходов по отдельным ГЦН, установленных регламентом	Выполнение требований программы испытаний	Температура теплоносителя КМПЦ стала близкой к температуре насыщения
4.	Блокировка защиты реактора по сигналу остановки двух ТТ	Намерение при необходимости повторить эксперимент с отключением ТТ	Потеря возможности автоматической остановки реактора
5.	Блокировка защит по уровню воды и давлению пара в барабане-сепараторе	Стремление провести испытания, несмотря на неустойчивую работу реактора	Защита реактора по тепловым параметрам была полностью отключена
6.	Отключение системы Защиты от максимальной проектной аварии (отключение САОР)	Стремление избежать ложного срабатывания САОР во время проведения испытания	Потеря возможности снижения масштаба аварии

Катастрофические размеры авария приобрела в связи с тем, что реактор был приведен персоналом в такое нерегламентное состояние, в котором существенно усилилось влияние положительного коэффициента реактивности на рост мощности.

## 5. ПЕРВООЧЕРЕДНЫЕ МЕРЫ ПО ПОВЫШЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС С РЕАКТОРАМИ РБМК

Принято решение переставить на действующих АЭС с реакторами РБМК концевые выключатели регулирующих стержней так, чтобы в крайнем положении все стержни были погружены в активную зону на глубину 1,2 м. Эта мера повышает скоростную эффективность защиты и устраняет возможность повышения размножающих свойств активной зоны в нижней ее части при движении стержня с верхнего концевика. Одновременно увеличивается количество поглощающих стержней, постоянно находящихся в активной зоне, до 70 — 80, что снижает паровой эффект реактивности

до допустимой величины. Эта мера временная, и в будущем она будет заменена переводом реакторов РБМК на топливо с начальным обогащением 2,4% и установкой в активную зону дополнительных поглотителей, обеспечивающих не превышение более 1 $\beta$  положительного выбега реактивности при любом изменении плотности теплоносителя.

Устанавливаются ряд дополнительных сигнализаторов кавитационного запаса ГЦН и автоматическая система расчета запаса реактивности с выдачей сигнала аварийной остановки реактора при уменьшении запаса ниже заданного уровня. Эти мероприятия несколько ухудшают экономические показатели АЭС с РБМК, но гарантируют необходимую безопасность.

Помимо технических осуществляются организационные мероприятия по укреплению технологической дисциплины и повышению качества эксплуатации.

## 6. ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ РАЗВИТИЯ АВАРИИ И УМЕНЬШЕНИЕ ЕЕ ПОСЛЕДСТВИЙ

### 6.1. Борьба с пожаром на АЭС

Первоочередной задачей после аварии на реакторе была борьба с начавшимся пожаром.

В результате взрывов в реакторе и выброса разогретых до высокой температуры фрагментов его активной зоны на крыши некоторых помещений служб реакторного отделения, деаэрационной этажерки и машинного зала возникло свыше 30 очагов горения. Из-за повреждения отдельных маслопроводов, коротких замыканий в электрических кабелях и интенсивного теплового излучения от реактора образовались очаги пожара в машинном зале над ТГ № 7, в реакторном зале и примыкающих к нему частично разрушенных помещениях.

В 1 ч 30 мин на место аварии выехали дежурные подразделения пожарной части по охране АЭС из городов Припяти и Чернобыля.

Ввиду прямой угрозы распространения пожара по покрытию машинного зала на соседний, третий блок и быстрого его усиления первоочередные меры были направлены на ликвидацию пожара именно на этом участке. Было также организовано тушение возникающих очагов горения внутри помещений с использованием огнетушителей и стационарных внутренних пожарных кранов. К 2 ч 10 мин на крыше машинного зала и к 2 ч 30 мин на крыше реакторного отделения основные очаги пожара были подавлены. К 5 ч утра пожар был ликвидирован.

## 6.2. Оценка состояния топлива после аварии

Авария привела к частичному разрушению активной зоны реактора и полному разрушению системы ее охлаждения. В этих условиях состояние среды в шахте реактора определялось следующими процессами:

- остаточным тепловыделением топлива за счет распада продуктов деления;
- тепловыделением в результате различных химических реакций, происходящих в шахте реактора (горение водорода, окисление графита и циркония и т.д.);
- теплоотводом из шахты реактора за счет ее охлаждения потоками атмосферного воздуха через образовавшиеся отверстия в герметичных (до аварии) оболочках, окружающих активную зону.

Для решения проблемы предотвращения развития аварии и ограничения ее последствий в первые же часы после аварии значительные усилия были направлены на оценку состояния топлива и его возможного изменения с течением времени. С этой целью необходимо было выполнить следующие исследования:

- оценить возможные масштабы плавления (из-за остаточного тепловыделения) топлива, находящегося в шахте реактора;
- изучить процессы взаимодействия расплавленного топлива с конструкционными материалами реактора и шахты реактора (металлами, бетоном и т.д.);
- оценить возможность плавления конструкционных материалов реактора и его шахты под действием тепловыделения от топлива.

В первую очередь были проведены расчеты по оценке состояния топлива в шахте реактора с учетом утечки продуктов деления (ПД) в зависимости от времени, прошедшего после аварии.

Изучение динамики истечения ПД из реактора в первые дни после аварии показало, что изменение температуры топлива с течением времени имело немонотонный характер. Можно предположить, что в температурном режиме топлива имелось несколько стадий. В момент взрыва произошел разогрев топлива. Оценка температуры по величине относительной утечки (доли истекающего из топлива изотопа от полного его содержания в топливе в рассматриваемый момент времени) радионуклидов йода показала, что эффективная температура оставшегося в реакторном здании топлива составляла после взрыва 1600 — 1800 К. В течение последующих нескольких десятков минут температура топлива снизилась за счет отдачи тепла графитовой кладке и конструкциям реактора. Это соответственно привело к снижению утечки летучих ПД из топлива.

При этом учитывалось, что величина выбросов ПД из шахты реактора определялась в этот период в основном процессами горения графита и связанными с ними процессами миграции мелкодисперсного топлива и ПД, внедренных в графит в результате аварийного взрыва в реакторе. В последующем температура топлива за счет остаточного тепловыделения стала подниматься. В результате возросла утечка из топлива летучих радионуклидов (инертных газов, йода, теллура, цезия). При дальнейшем повышении температуры топлива появилась утечка других, так называемых нелетучих радионуклидов. К 4 — 5 мая эффективная температура топлива, оставшегося в реакторном блоке, стабилизировалась, а затем стала снижаться.

В результате расчетных исследований состояния топлива получены параметры, характеризующие остаточное содержание радионуклидов в топливе, а также изменение температуры топлива при учете утечки из него ПД в зависимости от времени, прошедшего после аварии.

Расчеты показали:

- максимальная температура топлива не может достигнуть температуры его плавления;
- ПД выходят на поверхность топлива порциями, что может приводить только к локальным перегревам на границе топливо — среда.

ПД, вышедшие из топлива, в соответствии со своими температурами конденсации и осаждения попадают на конструкционные и другие материалы, окружающие реактор в реакторном блоке. При этом радионуклиды криптона, ксенона выходят за пределы реакторного блока практически полностью, летучие ПД (йод, цезий) — частично, остальные практически полностью остаются в пределах реакторного здания.

Таким образом, происходит рассеяние энергии ПД во всем объеме реакторного блока.

В результате этих факторов плавление окружающей топливо среды и движение топлива становятся маловероятными.

### 6.3. Ограничение последствий аварии в активной зоне реактора

Потенциальная возможность концентрирования части расплавленного топлива и создания условий для образования критмассы и возникновения самопроизвольной цепной реакции требовала принять меры против этой опасности. Кроме того, разрушенный реактор представлял собой источник выбросов значительного количества радиоактивности в окружающую среду.

В начальный момент после аварии была предпринята попытка понизить температуру в шахте реактора и предотвратить разгорание графитовой кладки с помощью аварийных и вспомогательных питательных насосов для подачи воды в пространство активной зоны. Эта попытка оказалась неэффективной.

Необходимо было немедленно принять одно из двух решений:

- локализовать очаг аварии за счет забрасывания шахты реактора теплоотводящими и фильтрующими материалами;
- дать возможность процессам горения в шахте реактора естественным образом прекратиться.

Был принят первый вариант, так как при втором варианте возникала опасность радиоактивного заражения значительных территорий с угрозой здоровью населения крупных городов.

Группа специалистов на военных вертолетах начала забрасывать аварийный реактор соединениями бора, доломитом, песком, глиной, свинцом. С 27 апреля по 10 мая всего было сброшено около 5000 т материалов, причем большая часть из них с 28 апреля по 2 мая включительно. В результате этих действий шахта реактора была покрыта слоем сыпучей массы, интенсивно адсорбирующей аэрозольные частицы. К 6 мая выброс радиоактивности перестал быть существенным фактором, снизившись до нескольких сотен, а к концу месяца — десятков кюри в сутки.

Одновременно решалась проблема снижения разогрева топлива. Для уменьшения температуры и снижения концентрации кислорода в пространство под шахтой реактора подавался азот от компрессорной станции.

К 6 мая рост температуры в шахте реактора прекратился и началось ее снижение в связи с образованием стабильного конвективного потока воздуха через активную зону в свободную атмосферу.

В качестве перестраховки от весьма маловероятного (но возможного в первые дни после аварии) разрушения нижнего яруса строительных конструкций было принято решение срочно создать под фундаментом здания искусственный теплоотводящий горизонт в виде плоского теплообменника на бетонной плите. К концу июня запланированные работы были закончены.

Опыт показал, что принятые решения были в основном правильными.

С конца мая обстановка в значительной мере стабилизировалась. Разрушенные части здания реактора находятся в устойчивых положениях. Радиационная обстановка после распада короткоживущих изотопов улучшается. Мощность экспозиционной дозы составляет единицы рентген в час в подреакторных помещениях, в машинном зале и помещениях щитов управления. Вынос радиоактивности

из блока в атмосферу связан в основном с ветровым уносом аэрозолей. Активность выбросов не превышает десятков кюри в сутки. Температурный режим в шахте реактора стабилен. Максимальные температуры различных участков составляют несколько сотен градусов Цельсия при устойчивой тенденции к снижению со скоростью —  $0,5^{\circ}\text{C}$  в сутки. Нижняя плита шахты реактора сохранилась, и топливо в основном ( $\sim 96\%$ ) локализовано в шахте реактора и в помещениях пароводяных и нижних водяных коммуникаций.

#### **6.4. Мероприятия на первом — третьем блоках**

После аварии на четвертом блоке на первом — третьем блоках были проведены следующие мероприятия:

- первый и второй блоки были остановлены соответственно в 1 ч 13 мин и 2 ч 13 мин 27 апреля;
- третий блок, который технически тесно связан с аварийным четвертым блоком, но практически не пострадал от взрыва, был остановлен в 5 ч 26 апреля;
- первый — третий блоки подготовлены к длительной стоянке в холодном состоянии;
- оборудование АЭС после аварии переведено в состояние холодного резерва.

Первый — третий блоки и оборудование АЭС контролируются дежурным персоналом.

Значительное радиоактивное загрязнение оборудования и помещений первого — третьего блоков АЭС было вызвано поступлением радиоактивных веществ через вентиляционную систему, которая продолжала работать в течение некоторого времени после аварии.

Значительные уровни радиации имели отдельные участки машинного зала, так как его загрязнение происходило через разрушенную кровлю третьего блока.

Правительственной комиссией была поставлена задача провести дезактивационные и другие работы на первом — третьем блоках. Цель этих работ — подготовка блоков к пуску и эксплуатации.

Дезактивация проводилась с использованием специальных растворов. Их состав подбирался с учетом отмываемого материала (пластикат, сталь, бетон, различные покрытия), характера и уровня загрязнения поверхностей.

После дезактивации уровни гамма-излучения снизились в 10 — 15 раз. Мощность дозы излучения для помещений первого и второго блоков в июне составила 2 - 10 мР/ч.

Окончательная дезактивация и стабилизация радиационной

обстановки на первом — третьем блоках может быть обеспечена только после завершения дезактивационных работ на площадке АЭС и консервации аварийного блока.

### 6.5. Контроль и диагностика состояния аварийного блока

Организация диагностических измерений предусматривала решение следующих основных задач:

- установление надежного контроля за перемещением топлива;
- определение масштабов загрязнений на прилегающей к АЭС местности;
- оценка масштабов разрушений и проведение дозиметрической разведки внутри блока, определение возможностей работы в сохранившихся помещениях;
- определение распределения топлива, продуктов деления и др. для выработки исходных данных на проектирование сооружения для консервации.

Среди первоочередных измерений наряду с оценкой радиационной обстановки на станции и вокруг нее был организован контроль состояния реактора с воздуха. С вертолетов проводились радиационные измерения, съемки разрушенного здания реактора и его элементов в инфракрасных лучах с целью измерения распределения температурных полей, проводился анализ химического состава выделяющихся из шахты реактора газов и ряд других измерений. После того как было установлено, что в нижней части реакторного здания сохранились помещения и оборудование, появилась возможность провести первые измерения и установить приборы аварийного контроля. В первую очередь в обезвоженном бассейне-барботере были установлены измеритель нейтронного потока, мощности дозы гамма-излучения, температуры и теплового потока. Термометрическая аппаратура была задублирована. Оценка ситуации в бассейне-барботере показала отсутствие близкой по времени опасности проплавления строительных конструкций. Это создало уверенность в безопасности условий проведения работ по созданию нижней защитной плиты.

Общая стратегия измерений была построена по следующим основным направлениям:

- дозиметрическая и визуальная разведка внутри аварийного блока;
- радиометрическое и визуальное обследование с вертолетов;
- измерение наиболее важных параметров (радиоактивность, температура, потоки воздуха) в сохранившихся конструкциях и доступных помещениях.

Основные усилия по измерениям на начальном этапе были направлены на контроль возможного перемещения топлива вниз.

Решение диагностических проблем было осложнено следующими обстоятельствами:

- штатная система измерений полностью выведена из строя;
- выводы возможно сохранившихся датчиков недоступны для персонала;
- информация о состоянии помещений и радиационной обстановке в них ограничена.

На следующем этапе необходимо было определить местонахождение в здании выброшенного из шахты реактора топлива и оценить его температуру и условия теплосъема.

Для решения этой задачи были использованы традиционные методы дозиметрической разведки, а также были вскрыты сохранившиеся технологические трубопроводы для доставки по ним измерительных зондов. В результате этих исследований было в основном определено распределение топлива внутри здания.

Температура в подреакторных помещениях с июня не превышала 45С, что свидетельствует о хорошем теплосъеме.

С учетом полученной информации методы контроля и диагностики были уточнены.

## 6.6. Дезактивация площадки АЭС

Во время аварии радиоактивные материалы были разбросаны по территории станции, попали на крышу машинного зала, крышу третьего блока, на металлические опоры трубы.

Территория станции, стены, кровли зданий имели значительные загрязнения также в результате оседания радиоактивных аэрозолей радиоактивной пыли. Загрязненность территории имела неравномерный характер.

Для снижения разноса радиоактивной пыли территория, крыша здания машинного зала, обочины дорог обрабатывались различными полимеризующимися растворами, чтобы закрепить верхние слои грунта и исключить пыление.,

С целью создания условий для комплексного проведения работ по дезактивации территория АЭС была разбита на отдельные зоны. Дезактивация в каждой зоне проводится в следующем порядке:

- уборка с территории мусора и загрязненного оборудования;
- дезактивация крыш и наружных поверхностей зданий;
- снятие грунта толщиной 5 - 10 см и вывоз его в контейнерах в хранилище твердых отходов пятого блока;
- укладка, при необходимости, бетонных плит на грунт или подсыпка чистого грунта;



- покрытие плит и незабетонированной территории пленкообразующими составами.

В результате выполненных мероприятий удалось снизить общий гамма-фон в районе первого блока до 20 — 30 мР/ч. Этот остаточный фон обусловлен в основном внешними источниками (поврежденным блоком), что говорит о достаточной эффективности дезактивации территории и зданий.

## 6.7. Долговременная консервация четвертого блока

Консервация четвертого блока должна обеспечить нормальную радиационную обстановку на окружающей территории и в воздушном пространстве, а также предотвращение выхода радиоактивности в окружающую среду.

Для консервации блока предусматривается возвести следующие строительные конструкции:

- внешние защитные стены по периметру;
- внутренние бетонные разделительные стены в машинном зале между третьим и четвертым блоками, в блоке "В" и в деаэрационной вдоль машинного зала и со стороны завала у баллонной САОР;
- металлическую разделительную стену в машинном зале между вторым и третьим блоками;
- защитное перекрытие над машинным залом, а также провести герметизацию центрального зала и других помещений реактора и бетонирование завала у баллонной СЛОП, помещений северных ГЦН для консервации завала и создания защиты от радиоактивного излучения со стороны реакторного блока.

Толщина защитных бетонных стен 1 м и более в зависимости от конструктивных решений и радиационной обстановки.

В проекте вентиляции рассматриваются два варианта:

- разомкнутая схема с очисткой воздуха на аэрозольных фильтрах и выбросом в атмосферу через существующую трубу вентиляционного центра;
- замкнутая схема с обеспечением отвода тепла в теплообменнике, располагаемом в верхней части вентилируемого объема, с поддержанием разрежения в объеме здания, обеспечиваемого отсосом воздуха из верхней части объема и выбросом его через фильтры и трубу в атмосферу.

Предусматривается следующий порядок выполнения указанных выше работ.

1. На территории, прилегающей к блоку, производится снятие поверхностного слоя грунта на локальных участках с помощью специальной техники.

2. Производится бетонирование территории с выравниванием поверхности, обеспечивающее передвижение самоходных кранов и другой техники.
3. Производится дезактивация кровель и стен здания.  
В местах высокого радиоактивного излучения используются специальные полимерные приклеиваемые пасты различных составов.
4. После очистки и бетонирования площадки производится монтаж металлокаркасов защитных стен и последующее их бетонирование.
5. По мере возведения стен выполняются работы по сооружению основных строительных конструкций, обеспечивающих полную консервацию четвертого блока.

#### 6.8. Дезактивация 30-километровой зоны и возврат ее в хозяйственную деятельность

Значительное радиоактивное загрязнение прилегающих территорий вокруг АЭС заставило принять ряд чрезвычайных решений относительно создания контролируемых зон, эвакуации населения, запрета или ограничений на хозяйственное использование земель и т.п.

Было принято решение о введении трех контролируемых зон: особой, 10- и 30-километровой. В них был организован строгий дозиметрический контроль транспорта, развернуты пункты дезактивации. На границах зон организована пересадка работающих людей из одних транспортных средств в другие для уменьшения переноса радиоактивных веществ.

Радиационная обстановка в пределах 30-километровой зоны будет продолжать изменяться, особенно в районах с высоким градиентом уровней загрязнения. Произойдет существенное перераспределение радионуклидов по элементам ландшафта в соответствии с особенностями рельефа. Вопрос о реэвакуации населения может быть поставлен лишь после стабилизации радиационной обстановки на всей территории загрязненной зоны: захоронения четвертого блока, дезактивации площадки АЭС и закрепления радиоактивности в местах с повышенным уровнем загрязнения. С июня ведется строительство комплекса гидротехнических сооружений для защиты от загрязнения подземных и поверхностных вод в районе ЧАЭС, в том числе:

- противофильтрационной стены в грунте по неполному периметру промплощадки АЭС и скважин водопонижения;
- дренажной завесы пруда-охладителя;

- отсекающей дренажной завесы правого берега Припяти;
- перехватывающей дренажной завесы в юго-западном секторе АЭС;
- очистных сооружений дренажных вод.

К настоящему времени на основе выполненных оценок обстановки в отношении загрязнения почвенно-растительного покрова 30-километровой зоны разработаны и осуществляются специальные агротехнические и дезактивационные мероприятия, позволившие приступить к возвращению загрязненных земель в народное хозяйство. В комплекс таких мероприятий входит: изменение традиционных систем обработки почв в данном районе, использование специальных составов для пылеподавления, изменение способов уборки и переработки урожая и др.

## 7. КОНТРОЛЬ ЗА РАДИОАКТИВНЫМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ЗДОРОВЬЕМ НАСЕЛЕНИЯ

### 7.1. Оценка количества, состава и динамики выброса продуктов деления из поврежденного реактора

В качестве исходной информации для проведения такой оценки использованы результаты:

- систематических исследований радионуклидного состава проб аэрозолей, отбравшихся над аварийным блоком АЭС с 26 апреля 1986 г.;
- аэрогаммасъемки района АЭС;
- анализа проб выпадений;
- систематических данных измерений метеостанций страны.

Выброс радионуклидов за пределы аварийного блока ЧАЭС представлял собой растянутый во времени процесс, состоящий из нескольких стадий.

На первой стадии произошел выброс диспергированного топлива из разрушенного реактора. Состав радионуклидов на этой стадии выброса примерно соответствует их составу в облученном топливе, но обогащен летучими нуклидами йода, теллура, цезия, благородных газов.

На второй стадии с 26 апреля по 2 мая 1986 г. мощность выброса за пределы аварийного блока уменьшалась из-за предпринимаемых мер по прекращению горения графита и фильтрации выброса. В этот период состав радионуклидов в выбросе также близок к их составу в топливе. На этой стадии из реактора выносилось мелкодиспергированное топливо потоком горячего воздуха и продуктами горения графита.

Третья стадия выброса характеризуется быстрым нарастанием мощности выхода продуктов деления за пределы реакторного блока. В начальной части этой стадии отмечается преимущественный вынос летучих компонент, в частности йода, а затем состав радионуклидов вновь приближается к их составу в облученном топливе (на 6 мая 1986 г.).

Это обусловлено нагревом топлива в активной зоне до температур выше  $1700^{\circ}\text{C}$  за счет остаточного тепловыделения. При этом в результате температурно-зависимой миграции продуктов деления и химических превращений оксида урана происходила утечка продуктов деления из топливной матрицы и их вынос в аэрозольной форме на продуктах сгорания графита.

Последняя, четвертая стадия, наступившая после 6 мая, характеризуется быстрым уменьшением выброса (табл. 1). Это явилось следствием принятых специальных мер, образованием более тугоплавких соединений продуктов деления в результате их взаимодействия с введенными материалами, стабилизацией и последующим снижением температуры топлива.

Нуклидный состав выброса представлен в табл. 2.

В пробах воздуха и выпадений продукты деления находились в форме отдельных радионуклидов (в основном летучие) и в

Таблица 1.

**Ежесуточный выброс  $q$  радиоактивных веществ в атмосферу из аварийного блока (без радиоактивных благородных газов)\***

Дата	Время после аварии, сут	$q$ , Мки**)
26.04.	0	12
27.04	1	4,0
28.04	2	3,4
29.04	3	2,6
30.04	4	2,0
01.05	5	2,0
02.05	6	4,0
03.04	7	5,0
04.05	8	7,0
05.05	9	8,0
06.05	10	0,1
09.05	14	~0,01
23.05	28	$20 \cdot 10^{-6}$

\* Погрешности оценки выброса  $\pm 50\%$ . Она определяется погрешностью дозиметрических приборов, радиометрических измерений радионуклидного состава проб воздуха и почвы, а также погрешностью, обусловленной усреднением выпадений по площади.

\* Значения  $q$  пересчитаны на 06.05.86 с учетом радиоактивного распада. (В момент выброса 26.04.86 активность составляла 20-22 Мки.) Состав выброса см. в табл. 2.

Таблица 2.

**Оценка радионуклидного состава выброса аварийного блока  
ЧАЭС\***

Нуклид**	Активность выброса, МКи		Доля активности, выброшенной из реактора к 06.05.86, %
	26.04.86	06.05.86***	
<sup>133</sup> Xe	5	45	Возможно, до 100
<sup>85m</sup> Kr	0, 15	-	"
<sup>85</sup> Kr	-	0,9	"
<sup>131</sup> I	4,5	7,3	20
<sup>132</sup> Te	4	1,3	15
<sup>134</sup> Cs	0,15	0,5	10
<sup>137</sup> Cs	0,3	1,0	13
<sup>99</sup> Mo	0,45	3,8	3,2
<sup>103</sup> Ru	0,6	3, 2	2,9
<sup>106</sup> Ru	0,2	1,6	2,9
<sup>140</sup> Ba	0,5	4,3	5,6
<sup>141</sup> Ce	0,4	2,8	2,3
<sup>144</sup> Ce	0,45	2,4	2,8
<sup>89</sup> Sr	0,25	2,2	4,0
<sup>90</sup> Sr	0,015	0,22	4,0
<sup>238</sup> Pu	$0,1 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$	3,0
<sup>239</sup> Pu	$0,1 \cdot 10^{-3}$	$0,7 \cdot 10^{-3}$	3,0
<sup>240</sup> Pu	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	3,0
<sup>241</sup> Pu	0,02	0,14	3,0
<sup>242</sup> Pu	$0,3 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	3,0
<sup>242</sup> Cm	$0,3 \cdot 10^{-2}$	$2,1 \cdot 10^{-2}$	3,0
<sup>239</sup> Np	2,7	1,2	3,2

\* Погрешность оценки -  $\pm 50\%$ , объяснение см. в примечание к табл. 1.

\*\* Приведены данные по активности основных радионуклидов, измеряемых при радиометрических анализах.

\*\*\* Суммарный выброс к 06.05.86.

составе топливных частиц. При этом были выявлены частицы (ассоциаты) с повышенным содержанием отдельных радионуклидов (Cs, Ru и др.), образовавшиеся в результате миграции продуктов деления в топливе, в материалах засыпки и конструкций, сорбции на поверхностях.

Суммарный выброс продуктов деления (без радиоактивных благородных газов) составил около 50 МКи, что соответствует примерно 3,5% общего количества радионуклидов в реакторе на момент аварии. Эти данные рассчитаны на 06.05.86г. с учетом радиоактивного распада. Выброс радиоактивных веществ завершился в основном к этому сроку.

Состав радионуклидов в аварийном выбросе примерно соответствует их составу в топливе поврежденного реактора, отличаясь от него повышенным содержанием летучих йода, теллура и цезия, инертных газов.

## 7.2. Система контроля

В момент аварии начала работать по аварийному плану штатная система метеорологического, радиационного и санитарно-гигиенического контроля. Как только стали ясны масштабы аварии, система контроля начала расширяться за счет привлечения дополнительных групп специалистов и техники. В первые дни после аварии основное внимание уделялось срочным задачам радиационного, санитарно-гигиенического и медико-биологического контроля.

Вместе с тем началось расширение системы контроля с учетом долгосрочных задач. В ее формировании принимали участие организации Госкомгидромета СССР, Минздрава СССР и союзных республик, АН СССР, АН УССР, АН БССР, ГКАЭ СССР, Госагропрома и др.

Для лечения облученных людей были привлечены специализированные медицинские учреждения Москвы и Киева.

Вместе с формированием системы контроля подготовлена и начала выполняться программа радиоэкологических, медико-биологических и других научных исследований по проблемам оценки и прогноза воздействия ионизирующих излучений на человека, флору и фауну.

Первоочередными задачами контроля являлись:

- оценка возможного уровня внешнего и внутреннего облучения персонала ЧАЭС, населения Припяти и 30-километровой зоны;
- оценка возможного уровня облучения населения ряда районов за пределами 30-километровой зоны, уровень радиоактивного загрязнения которых мог превысить допустимые пределы;
- разработка рекомендаций по мерам защиты населения и персонала от облучения выше установленных пределов.

К числу этих рекомендаций относятся:

- эвакуация населения;
- ограничение или запрет на употребление пищевых продуктов с повышенным содержанием радиоактивных веществ;
- рекомендации по режиму поведения населения в домах и на открытой местности.

Для решения этих первоочередных задач осуществлялся систематический контроль за:

- уровнем гамма-излучения в загрязненных районах;
- концентрацией биологически значимых радионуклидов в воздухе и воде водоемов, в особенности обеспечивающих питьевое водоснабжение;
- плотностью радиоактивного загрязнения почвы и растительности и его радионуклидным составом;
- содержанием радиоактивных веществ в пищевых продуктах, в особенности  $^{131}\text{I}$  в молоке;

- радиоактивным загрязнением спецодежды, личной одежды и обуви, транспортных средств и т.п.;
- накоплением радионуклидов во внутренних органах людей и др.

### 7.3. Основные характеристики радиоактивного загрязнения атмосферы и местности, возможные экологические последствия

Радиоактивное загрязнение природной среды в результате аварии на ЧАЭС-4 определялось динамикой радиоактивных выбросов и метеорологическими условиями.

Распространение радиоактивно загрязненной воздушной струи происходило первоначально в западном и северном направлениях, в течение последующих 2 - 3 суток после аварии — в северном направлении, с 29 апреля в течение нескольких дней — в южном направлении. Загрязненные воздушные массы распространялись затем на большие расстояния по территории БССР, УССР и РСФСР. Высота струи 27 апреля превосходила 1200 м, уровни радиации в ней составляли на удалении 5- 10 км от места аварии 1000 мР/ч. Съемка струи и формирующегося радиоактивного следа регулярно осуществлялась авиационными средствами Госкомгидромета, оборудованными пробоотборной, рентгенометрической и гамма-спектрометрической аппаратурой, и на сети метеорологических станций.

В воздушных пробах выделены продукты деления, а также продукты наведенной активности  $^{239}\text{Np}$  и  $^{134}\text{Cs}$ .

Основные зоны загрязнения местности после аварии сформировались в западном, северо-западном и северо-восточном направлениях от АЭС, а затем в меньшем масштабе — в южном направлении. Уровни радиации вблизи АЭС превышали 100 мР/ч, на западном следе максимальные уровни радиации через 15 дней после аварии составляли 5 мР/ч на расстоянии 50 - 60 км от зоны аварии (максимальные расстояния), на севере — на расстоянии 35 - 40 км. В Киеве уровни радиации в начале мая достигали 0,5 - 0,8 мР/ч.

В ближней зоне следа были идентифицированы (в дополнение к перечисленным выше) изотопы плутония (их распространение на местности незначительно). В этой зоне фракционирование изотопов было незначительно, но на дальнем следе радиоактивные продукты были существенно обогащены изотопами теллура, йода и цезия.

Интегрирование загрязненных площадей позволило определить полную активность выпавших радиоактивных веществ (за пределами промышленной площадки). В зоне ближних и дальних выпадений на европейской территории СССР она составляла около 3,5% (см. разд. 7.1) от полной активности продуктов деления и активации, накопившихся в реакторе (на ближнем следе около 1,5 -2%).

Суммирование активности радионуклидов, выпавших на ближайшем следе и определенных путем отбора проб грунта, дает близкое значение — от 0,8 до 1,9%.

Уровни загрязнения изотопами плутония в перечисленных зонах не являются определяющими с точки зрения проведения работ по дезактивации и принятия хозяйственных решений.

Информация о радиоактивном загрязнении рек и водоемов была получена регулярным анализом проб воды из р. Припять, Ирпани, Тетерева, Десны и Днепровского водозабора. Начиная с 26 апреля 1986 г. в Киевском водохранилище пробы воды отбирались по всей акватории. Наиболее высокие концентрации  $^{131}\text{I}$  наблюдались в Киевском водохранилище 3 мая 1986 г. —  $3 \cdot 10^{-8}$  Ки/л. Необходимо отметить, что пространственное распределение радионуклидов в водной среде характеризуется значительной неоднородностью.

С первых дней аварии был организован контроль за содержанием радионуклидов в донных отложениях водоемов как внутри, так и за пределами 30-километровой зоны. Концентрация радионуклидов в донных отложениях на отдельных участках Киевского водохранилища, примыкающих к району аварии, составляла во второй декаде июня  $10^{-7} \div 10^{-8}$  Ки/кг, в воде —  $10^{-10}$  Ки/л.

Облучение водных организмов в Киевском водохранилище не окажет сколько-нибудь серьезного воздействия на популяционном уровне. Заметное радиационное воздействие на водную экосистему может иметь место лишь в пруду-охладителе ЧАЭС.

Гидробионты, населяющие пруд-охладитель ЧАЭС, испытали наиболее значительные дозовые нагрузки. Для некоторых видов водных растений мощность дозы внутреннего облучения достигала 10 рад/ч, а вблизи дна пруда-охладителя уровень внешнего облучения составлял в среднем 4 рад/ч (на конец мая 1986 г.).

По оценкам специалистов, уровни облучения до  $10^{-2}$  рад/сут заметного воздействия на наземные экосистемы не оказывают. Внутри 30-километровой зоны вокруг ЧАЭС на отдельных участках загрязненной радиоактивными выпадениями территории наблюдались более высокие уровни облучения, что может привести к заметному изменению состояния радиочувствительных видов растений на этих участках.

Уровни облучения за пределами 30-километровой зоны вокруг ЧАЭС не могут оказать заметного воздействия на видовой состав растительных и животных сообществ.

Полученные результаты имеют предварительный характер. Изучение последствий Чернобыльской аварии на живые организмы и экосистемы продолжается.



#### 7.4. Дозы облучения населения в 30-километровой зоне вокруг ЧАЭС

Анализ радиоактивного загрязнения окружающей среды в этой зоне позволил оценить реальные и прогнозируемые дозы облучения населения городов, поселков, сел и других населенных пунктов.

На основе этих оценок были приняты решения об эвакуации населения Припяти и ряда других населенных пунктов. Было эвакуировано 135 тыс. человек.

Эти и другие принятые меры позволили предотвратить облучение населения выше установленных пределов.

Были оценены радиологические последствия для населения в ближайшие несколько десятков лет. Эти последствия будут незначительны на фоне естественных раковых и генетических заболеваний.

#### 7.5. Данные об облучении персонала АЭС и аварийных служб. Опыт лечения

В результате участия в противоаварийных мероприятиях в первые часы после аварии часть лиц из этого персонала получили большие дозы ( $> 100$  бэр), а также ожоги при участии в тушении пожара. Всем пострадавшим была оказана немедленная медицинская помощь. К 6 ч утра 26 апреля 1986 г. было госпитализировано 108 человек, а в течение дня — еще 24 человека из числа обследованных. Один пострадавший в 6 ч утра 26 апреля 1986 г. умер от тяжелых ожогов и один человек из числа работавших на аварийном блоке не был обнаружен. Возможное его место работы находилось в зоне завала и высокой активности.

На основе принятых в СССР критериев ранней диагностики к исходу первых 36 ч были отобраны для срочной госпитализации лица, у которых развитие острой лучевой болезни (ОЛБ) прогнозировалось с наибольшей вероятностью. Были выбраны для госпитализации ближайшие к месту аварии клинические учреждения в Киеве и специализированный стационар в Москве с целью обеспечить максимальный объем помощи и компетентный анализ результатов наблюдений.

В Москву за первые двое суток были направлены 129 пациентов. Из них за первые трое суток 84 человека были определены как больные ОЛБ II — IV степени тяжести и 27 человек — ОЛБ I степени. В Киеве было больных ОЛБ II — IV степени 17 человек, ОЛБ I степени — 55 человек.

Подробная информация о методах и результатах лечения этих больных приведена в приложении.

Общее число погибших от ожогов и ОЛБ среди персонала на

начало июля составило 31 человек. Среди населения нет лиц, которые получили большие дозы, приводящие к ОЛБ.

## **8. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

### **8.1. Научно-технические аспекты**

Консультативный совет по координации научных исследований в области безопасности АС в 1985 г. утвердил "Перечень приоритетных работ", который представляет собой основу для планирования экспериментальных и расчетно-теоретических исследований по безопасности ядерной энергетики СССР, направленных на более детальное обоснование требований по безопасности, оценку реального уровня безопасности АС и приведение этого уровня для АЭС, введенных в действие до 1975 г., в соответствие с установленными требованиями.

После аварии на Чернобыльской АЭС проведена ревизия и оценка состояния расчетных и экспериментальных исследований по обеспечению безопасности АЭС и выработаны меры по их расширению, совершенствованию и интенсификации.

Совершенствуются расчетные программы анализа безопасности поведения АЭС во всевозможных переходных и аварийных режимах, включая непроектные, развиваются моделирующие системы и комплексы.

Расширяются исследования по возможности создания реакторов с пассивными системами безопасности — так называемых реакторов с "внутренне присущей" безопасностью, активные зоны которых не могут разрушиться при любых авариях.

Будут усилены исследования по количественно-вероятностному анализу безопасности, анализу риска от ядерной энергетики, разработке концептуальных и методологических основ оптимизации радиационной безопасности и сравнения радиационной опасности с другими видами опасностей от промышленной деятельности.

### **8.2. Организационно-технические мероприятия**

Существующая в СССР система надзора и нормативно-технических документов охватывает все основные вопросы обеспечения безопасности АЭС и продолжает совершенствоваться. Под эгидой Госатомэнергонадзора в 1985 г. в СССР создан Сводный перечень и план разработки правил и норм в области атомной энергетики, координирующий и направляющий деятельность всех ведомств по разработке и систематизации соответствующей нормативно-технической документации.

Сравнение существующих отечественных документов по вопросам проектирования и эксплуатации АЭС с иностранными аналогами не выявляет каких-либо принципиальных различий. Существующие нормативные требования, связанные с безопасностью, в основном не нуждаются в пересмотре. Однако их практическая реализация требует более тщательного контроля. Необходимо поднять качество подготовки и переподготовки персонала, усилить контроль со стороны конструкторов и проектировщиков за качеством изготавливаемого оборудования, монтажом и проведением пусконаладочных работ и их ответственность за последующую эффективность и безопасность эксплуатируемых АЭС.

После аварии на Чернобыльской АЭС осуществляются организационные мероприятия по повышению безопасности АЭС, которые могут быть разделены на два этапа.

Первый этап, который был выполнен до детального научно-технического анализа прохождения аварии по результатам первичной информации с места событий, относится к действующим атомным электростанциям с реакторами типа РБМК и включает оперативные мероприятия на действующих АЭС с РБМК, разработанные, прежде всего, для предотвращения режимов, которые непосредственно предшествовали аварии.

Второй этап — мероприятия, разработанные по результатам научно-технического анализа прохождения аварии, включает в себя и мероприятия по повышению безопасности АЭС всех типов.

Намеченные мероприятия обеспечат безопасную работу АЭС с реакторами типа РБМК.

Для АЭС с другими типами реакторов намечена реализация ранее предусмотренных мероприятий по повышению безопасности, связанных в основном с новыми достижениями науки и техники, опытом эксплуатации, возможностями диагностики состояния металла трубопроводов и оборудования, устройств автоматического управления технологическими процессами.

В целях повышения уровня руководства и ответственности за развитие ядерной энергетики, улучшения эксплуатации атомных электростанций образовано общесоюзное Министерство атомной энергетики.

Намечен целый ряд мероприятий по усилению государственного надзора за безопасностью в ядерной энергетике.

### 8.3. Меры международного характера

Отдавая должное проводимой в настоящее время международной деятельности по безопасности ядерной энергетики и руководствуясь стремлением дальнейшего укрепления международной безопасности, Советский Союз, в свете Чернобыльской аварии, выступил с инициативами о создании международного режима безопасного развития ядерной энергетики и расширении международного сотрудничества в этой области. Эти предложения изложены в выступлениях Генерального секретаря ЦК КПСС М.С. Горбачева от 14 мая и 9 июня 1986 г.

Международный режим безопасного развития ядерной энергетики — это система международно-правовых актов, международных организаций и структур, а также организационных мер и действий, обеспечивающих охрану здоровья населения и защиту окружающей среды в сфере мировой ядерно-энергетической деятельности. Создание такого режима могло бы быть обеспечено путем выработки международных договоренностей, подписания соответствующих международных конвенций, дополнительных соглашений, осуществления совместных скоординированных научных программ по проблемам ядерной безопасности, обмена научно-технической информацией, создания международных банков данных и материальных средств, необходимых для целей безопасности, и т.д.

При непосредственном участии международных организаций могли бы быть созданы фонды для оказания чрезвычайной помощи, в том числе для срочного обеспечения необходимыми специальными медицинскими препаратами, дозиметрическим и диагностическим оборудованием и приборами, предоставления пищевых продуктов, кормов и другой материальной помощи. Необходимо также наладить систему оперативного оповещения и предоставления информации в случае аварий на АЭС, в первую очередь имеющих трансграничные последствия. Заслуживает внимания разработка вопроса о материальном и морально-психологическом ущербе в случаях аварий.

Еще одна сторона ядерной безопасности — недопущение ядерного терроризма. Отсюда вытекает исключительной важности задача — разработка надежной системы мер по предотвращению ядерного терроризма в любых его проявлениях.

Большую роль в создании международного режима безопасного развития ядерной энергетики должно сыграть МАГАТЭ.

Сегодня можно с удовлетворением отметить, что уже предприняты первые шаги по реализации предложений о создании международного режима безопасного развития ядерной энергетики.

Начата активная работа по подготовке к заключению двух международных конвенций "Об оперативном оповещении о ядерной аварии" и "О помощи в случае ядерных аварий и радиологических аварийных ситуаций". Активно обсуждаются вопросы расширения международного сотрудничества, в частности, исследовательских программ МАГАТЭ по ядерной безопасности.

Инициативы по созданию международного режима безопасного развития ядерной энергетики вплотную связаны с проблемами военной разрядки и ядерного разоружения. Авария на Чернобыльской АЭС еще раз продемонстрировала опасность выхода ядерной энергии из-под контроля и дала почувствовать, к каким разрушительным последствиям может привести ее военное применение или повреждение мирных ядерных установок в ходе военных действий. Разрабатывая и решая задачи безопасного использования ядерной энергии, абсурдно одновременно разрабатывать пути и способы наиболее опасного и бесчеловечного ее применения.

## 9. РАЗВИТИЕ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В СССР

Энергетической программой СССР за счет опережающего развития ядерной энергетики намечено сокращение роста расхода органического топлива тепловыми электростанциями в европейской части страны, более чем вдвое должна быть сокращена доля мазута в электроэнергетике. Затем ядерная энергетика должна обеспечить основную часть прироста потребности народного хозяйства в электроэнергии. Предусмотрено также максимально возможное использование ядерного горючего для централизованного отопительного и промышленного теплоснабжения, создание ядерно-технологических комплексов.

Советский Союз — пионер в использовании энергии атома в мирных целях. Тридцать два года работает первая в мире АЭС с канальным уран-графитовым реактором. Осуществленная затем программа создания в СССР так называемых демонстрационных энергетических реакторов для АЭС с относительно небольшими электрическими мощностями позволила отобрать из них наиболее перспективные для дальнейшего развития и совершенствования.

Наличие трех типов и модификаций ядерных реакторов, принятых в СССР для наращивания ядерно-энергетических мощностей, позволяет обеспечить большую гибкость и надежность энергоснабжения, существенно более полное использование ядерных топливных ресурсов, а также хорошо соответствует особенностям развития энергомашиностроительной базы.

Строящиеся в СССР АЭС базируются на реакторах типов ВВЭР, РБМК и БН. Первые два — реакторы на тепловых нейтронах с легководным теплоносителем. БН — реакторы-размножители на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем, которые строятся в настоящее время с целью промышленной переработки принятых технических решений и постепенного развития на их основе в будущем замкнутого топливного цикла с плутониевым горючим.

Основу ядерной электроэнергетики СССР составляют сейчас АЭС с реакторами ВВЭР и РБМК. Установленные мощности в стране достигли почти 30 миллионов киловатт. АЭС СССР отличаются высокой эксплуатационной готовностью. Коэффициент использования установленной мощности на АЭС в течение последних лет достаточно высок.

В соответствии с "Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1986 — 1990 годы и на период до 2000 года" предусмотрено опережающее развитие ядерной энергетики в европейской части СССР и на Урале. В 1985 г. выработка электроэнергии на АЭС составила около 170 млрд. кВт.ч и к 2000 г. она увеличится в 5 — 7 раз.

Такое развитие позволяет АЭС занять первое место по вводу новых мощностей в энергосистемах европейской части, исключив строительство новых ТЭС на органическом топливе для покрытия приростов базисной части графика нагрузок.

В СССР ведется разработка ядерных источников теплоснабжения на базе высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов. Создание безопасных станций с такими реакторами позволит вырабатывать высокотемпературное тепло для ряда промышленных технологий.

Советский Союз активно участвует в международном сотрудничестве в области ядерной энергетики, деятельно сотрудничает в органах и комиссиях ООН, в МАГАТЭ, МИРЭК и др.

Развитие ядерной энергетики СССР осуществляется в тесной кооперации со странами СЭВ.

## Список сокращений

АЗ	- аварийная защита,
АЗ-5	- сигнал к вводу в активную зону всех регулирующих стержней и стержней аварийной защиты,
АН	- Академия наук,
АР	- автоматический регулятор,
АС	- атомная станция,
АЭС	- атомная электрическая станция,
БН	- реактор-размножитель на быстрых нейтронах,
БРУ-К	- быстродействующее редукционное устройство,
БС	- барабан-сепаратор,
БССР	- Белорусская Советская Социалистическая Республика,
ВВЭР	- водо-водяной энергетический реактор,
ГКАЭ	- Государственный комитет по использованию атомной энергии СССР,
Госагропром	- Государственный агропромышленный комитет СССР,
Госатомэнергонадзор	- Государственный комитет СССР по безопасному ведению работ в атомной энергетике,
Госкомгидромет	- Государственный комитет СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды,
ГПК	- главные предохранительные клапаны,
ГЦН	- главный циркуляционный насос,
ДП	- дополнительный поглотитель,
ДРЕГ	- диагностическая регистрация параметров (программ),
КГО	- контроль герметичности оболочек,
КМПЦ	- контур многократной принудительной циркуляции,
КЦТК	- контроль целостности труб каналов,
ЛАЗ	- локальная аварийная защита,
ЛАР	- локальное автоматическое регулирование,
МАГАТЭ	- Международное агентство по атомной энергии,
Минздрав СССР	- Министерство здравоохранения СССР,
МИРЭК	- Мировой энергетический конгресс,
НВК	- нижние водяные коммуникации,

ОЛБ	- острая лучевая болезнь,
ООН	- Организация Объединенных Наций,
ПВК	- пароводяные коммуникации,
ПД	- продукты деления,
ПЭН	- питательный электронасос,
РБМК	- реактор большой мощности канальный,
РГК	- раздаточный групповой коллектор,
РЗМ	- разгрузочно-загрузочная машина,
РДЭС	- резервная дизельная электростанция,
РП	- реакторное пространство,
РР	- ручной регулятор,
РСФСР	- Российская Советская Федеративная Социалистическая Республика,
РУ	- реакторная установка,
САОР	- система аварийного охлаждения реактора,
СЛА	- система локализации аварии,
СМ СССР	- Совет Министров СССР,
СРК	- стопорно-регулирующие клапаны,
СУЗ	- система управления и защиты,
СЭВ	- Совет Экономической Взаимопомощи,
ТВС	- тепловыделяющая сборка,
ТГ	- турбогенератор,
ТК	- технологический канал,
УСП	- укороченные стержни-поглотители,
УССР	- Украинская Советская Социалистическая Республика,
ЧАЭС	- Чернобыльская АЭС,
ЭВМ	- электронная вычислительная машина.



**МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ**

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ И БЕЗОПАСНОСТИ  
ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

**Вена, Австрия, 28 сентября – 2 октября 1987 года**

**АВАРИЯ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС:**

**ГОД СПУСТЯ**

## АВАРИЯ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС: ГОД СПУСТЯ

В.Г. Асмолов, А.А. Боровой, В.Ф. Демин, А.К. Калугин,  
И.И. Кузьмин, В.М. Кулаков, В.А. Легасов, Г.Л. Лунин,  
Н.Н. Пономарев-Степной, А.Н. Проценко, В.К. Сухоручкин,  
А.А. Хрулев, О.Я. Шах

Институт атомной энергии им. И.В. Курчатова

Е.О. Адамов, Л.Н. Подлазов, Ю.М. Черкашов  
Научно-исследовательский  
и конструкторский институт энерготехники

А.А. Абагян, В.М. Дмитриев, А.А. Шкурпелов  
Всесоюзный научно-исследовательский институт  
атомных станций

Л.А. Ильин, О.А. Павловский  
Институт биофизики Минздрава СССР

И.Н. Рябов, В.Е. Соколов  
Институт морфологии и экологии животных АН СССР

А.П. Поваляев  
Госагропром СССР

С.И. Авдюшин, Ю.А. Израэль, В.Н. Петров, В.В. Писарев  
Госкомгидромет СССР

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Делегацией советских экспертов на специальном совещании, проведенном МАГАТЭ 25 — 29 августа 1986 г. в Вене, была представлена информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствиях [1]. Эта информация содержала результаты исследования причин аварии, а также описание и предварительный анализ эффективности первоочередных мероприятий, проведенных с целью ограничения и ликвидации ее последствий по данным, полученным до 1 августа 1986 г.

В последующий период усилия были сосредоточены на следующих направлениях.

1. Продолжение работ по ликвидации последствий аварии, в том числе:

- завершение проектирования и сооружения объекта Укрытие, обеспечивающего надежную защиту окружающей среды от попадания в нее радиоактивных веществ из разрушенного блока и от радиоактивного излучения;
- дальнейшая дезактивация территории ЧАЭС, зданий и помещений I, II и III энергоблоков и населенных пунктов в зоне, подвергшейся радиоактивному загрязнению;
- введение в эксплуатацию I и II энергоблоков ЧАЭС;
- завершение мероприятий по социально-бытовому обеспечению эвакуированного населения и его трудоустройству;
- проведение необходимых медико-санитарных мероприятий по обеспечению безопасности населения и охране его здоровья.

2. Разработка программы и организация долгосрочных исследований по изучению отдаленных последствий аварии, а также мероприятий по их ограничению и ликвидации, в том числе:

- мониторинг радиоактивного загрязнения окружающей среды;
- определение необходимости и проведение дальнейших дезактивационных работ;
- проведение научно-исследовательских контрольных и профилактических работ в Укрытии;
- проведение научных исследований по изучению долговременных последствий радиоактивного загрязнения биосферы.

Все научные исследования координируются специально созданным советом при АН СССР.

3. Разработка и внедрение мер по повышению безопасности действующих АЭС.

4. Рассмотрение планов дальнейшего развития ядерной энергетики и возможностей повышения уровня ее безопасности, включающее разработку концепции ядерных реакторов нового поколения и расширение научных исследований по всем аспектам оценки и обеспечения безопасности ядерной энергетики.

В представляемом докладе рассматриваются ход и результаты работ по указанным направлениям.

## 2. СООРУЖЕНИЕ УКРЫТИЯ

К числу важнейших мер по ликвидации последствий аварии относилось сооружение Укрытия, которое должно обеспечить долговременную консервацию аварийного блока.

Объект Укрытие по своему назначению и функциям не является ни хранилищем ядерного топлива, ни могилищем высокоактивных отходов, ни каким-либо другим объектом, ранее встречавшимся в ядерной технологии. Необходимость создания Укрытия потребовала разработать основные положения, определяющие назначение объекта и требования к нему, сформулировать концепцию его безопасности.

Безопасным состоянием объекта Укрытие является состояние, при котором поддерживаются условия, исключаяющие:

- возникновение самоподдерживающейся цепной реакции;
- нарушение условий теплосъема, приводящих к плавлению остатков топливных масс;
- образование взрывоопасных концентраций водорода.

Основное назначение Укрытия:

- предотвращение выхода в окружающую среду радиоактивных веществ из поврежденного реактора;
- защита прилегающей территории от проникающего излучения.

Основные требования к проекту Укрытия:

- сведение к минимуму времени строительства при использовании простых, надежных и апробированных средств;
- сохранение функций Укрытия при возможном воздействии различных природных явлений (ураганы, землетрясения и т.п.), которые могут происходить на площадке ЧАЭС;
- обеспечение отвода остаточного тепловыделения и радиолизного водорода;
- минимизация доз облучения у строителей при возведении сооружения;
- обеспечение доступа в консервируемые помещения с невысокими уровнями радиации для проведения научных исследований;
- возможность контроля и диагностики состояния активной массы.

Сразу после аварии были начаты радиационные и температурные измерения внутри и за пределами здания реактора, исследования состояния сохранившихся элементов конструкции реактора и реакторного здания, которые легли в основу временной системы контроля тепловых и радиационных параметров.

Основным способом проведения измерений в помещениях разрушенного блока была избрана радиационная и теплофизическая разведка, что позволило установить различного типа датчики, составить карту степени загрязненности помещений и приблизиться к помещениям с большими скоплениями топлива. Следует отметить, что опыт использования как отечественных, так и зарубежных робототехнических устройств показал их малую пригодность для решения основных задач разведки и дистанционного выполнения работ в сложных по конфигурации помещениях блока, при наличии разрушений и завалов, а также значительных полей гамма-излучения.

Начиная с мая в пространстве над реакторной шахтой проводились измерения температуры и полей гамма-излучения с помощью датчиков, спускаемых с вертолетов. В начале августа специальные датчики (диагностические буи) были установлены на развале активной зоны в районе расположения верхней плиты реактора и на периферии развала. Измерялись поля гамма-излучения, кондуктивные и конвективные тепловые потоки, температуры воздуха и скорости движения воздуха по вертикали и горизонтали. Наблюдаемые колебания температуры зависели от скорости ветра и движения воздуха. Измеренные скорости движения воздуха составляли по вертикали 0,8 - 1,0 м/с, по горизонтали 0,5 - 0,8 м/с, температура — 30 - 50° С в различных точках измерений, кондуктивный тепловой поток — до 200 Вт/м<sup>2</sup>, конвективный тепловой поток — до 10 кВт/м<sup>2</sup>. Интенсивность гамма-излучения была более 10<sup>4</sup>Р/ч в приблизительном центре реактора. Всего с помощью вертолетов было установлено девять диагностических буюв. В районе основания реактора через различные коммуникации установлены термопары и гамма-датчики в трубах в пространстве вокруг активной зоны. Измерения показали поле излучения от 10<sup>3</sup> до 10<sup>5</sup> Р/ч, что подтверждало наличие топлива, а температура колебалась приблизительно от 30 до 50° С в зависимости от циркуляции воздуха по трубам.

В конце сентября с помощью строительных кранов на развал (до начала перекрытия) были поставлены еще четыре диагностических буюв. Расходы приточных потоков воздуха через искусственно созданные проходы в бассейн-барботер измерялись с помощью анемометров.

Число точек измерения по мере доступа к различным участкам разрушенного реактора постоянно увеличивалось.

Измерения, проведенные по исследовательской программе "Диагностические буй", позволили не только осуществлять оперативный контроль, но и произвести оценку количества ядерного топлива, оставшегося в здании реактора, по его энерговыделению. Эта оценка согласуется с данными о радиоактивных выбросах и выпадениях на местности в результате аварии, согласно которым в шахте реактора и помещениях IV блока находится ~ 96% топлива от полной загрузки реактора.

Проведенная "тепловая локация" основных источников энерговыделения показала, что значительная их часть сосредоточена в шахте реактора и подреакторных помещениях.

В процессе исследований в подреакторных помещениях были обнаружены значительные количества расплавленного песка ( $\text{SiO}_2$ ), в котором содержалось до 2% топливной массы. Эта находка подтвердила предварительную оценку значения температуры во время аварии (~ 2000 К).

При решении постоянно возникавших проблем был накоплен уникальный опыт работы в условиях аварийного блока и опробованы различные методы диагностики, которые послужили фундаментом для дальнейших исследований.

Проводимые измерения позволяли надежно контролировать тепловой режим топливной массы в период строительных работ.

Полученная экспериментальная информация имела важное значение для проектирования систем вентиляции и Укрытия в целом.

Проведенные расчетные оценки показали, что при тепловыделении ~ 2 МВт и среднем подогреве воздуха ~(30- 40)° С расход воздуха через зону реактора  $G \sim 50 - 60$  кг/с, что согласовывалось с результатами прямых измерений. При этом должен возникать перепад давления по высоте шахты, равный 2 - 6 мм водяного столба.

Для обоснования систем вентиляции с использованием полученных экспериментальных данных проведены специальные опыты на макете, которые показали правомерность следующей схемы вентиляции: естественный приток воздуха в подреакторные помещения (бассейн-барботер) и принудительная вытяжная вентиляция со сбросом в атмосферу через систему специальных фильтров. Для реализации этой схемы необходимо обеспечить свободный доступ воздуха к топливной массе и удаление нагретого воздуха, прошедшего через шахту реактора. Выбранная схема вентиляции позволяет при дальнейшей эксплуатации Укрытия по мере естественного падения остаточного тепловыделения перейти к естественной циркуляции воздуха через топливную

массу, а в дальнейшем и к замкнутой схеме циркуляции воздуха внутри Укрытия.

Накопление экспериментальных данных привело к дальнейшему развитию математических моделей, описывающих процессы охлаждения. Были проанализированы несколько возможных механизмов этих процессов. Трассерные эксперименты, проведенные на аварийном блоке, показали, что адекватной реальной ситуации является модель фильтрационного охлаждения, позволившая естественным образом объяснить основные особенности изменения теплового режима активной зоны после аварии [4].

Строгое математическое исследование нелинейной системы уравнений показало, что при квазистационарном режиме фильтрационного охлаждения в завале не возникают (с вероятностью, близкой к единице) зоны очень интенсивных локальных перегревов, даже при наличии интенсивных локализованных источников тепла. Вынос тепла из активной зоны фильтрационным потоком обеспечивает эффективное охлаждение всей массы завала.

Исследование условий существования квазистационарных режимов охлаждения позволило определить критерий существования режима квазистационарного фильтрационного охлаждения. В число определяющих параметров критерия входят интегральная мощность источников тепла и характеристики проницаемости завала. Условие квазистационарного охлаждения может оказаться нарушенным при уплотнении завала и соответствующем уменьшении его проницаемости.

Показано, что отсутствие квазистационарного решения приводит к нестационарному процессу, который был назван "сухим кипением". Этот процесс сопровождается мелкими разрывами сплошности и приводит к разрыхлению завала, а тем самым к увеличению его проницаемости. В результате система переходит в новое состояние, в котором квазистационарный режим охлаждения стабилизируется.

Для оценки параметров процесса охлаждения аварийного блока на основе математической модели фильтрационного охлаждения была создана программа численного расчета полей температур и других теплофизических характеристик в завале. Были проведены расчеты соответствующих полей при различных распределениях источников тепла в завале, которые коррелируют с данными экспериментальных измерений.

Учитывая исключительную важность сооружаемого объекта, для принятия окончательного решения было проработано и рассмотрено большое количество вариантов строительных конструктивных решений. Все они сводились к двум принципиальным направлениям:

- первое — над разрушенным энергоблоком возвести арочное перекрытие пролетом 230 м или выполнить купольное сводчатое и консольное перекрытие пролетом до 120 м;
- второе — выполнить перекрытия из конструктивных элементов пролетом 55 м, используя в качестве опор для них сохранившиеся стены и перекрытия задания.

Проработки и технико-экономические расчеты показали, что работы по первому направлению потребуют 1,5 — 2 года, тогда как работы по второму направлению позволят значительно сократить сроки строительства и расход материалов. Поэтому второе направление было принято в качестве основного решения, заложенного в проект.

Проектная документация по мере готовности выдавалась на строительство, где при необходимости уточнялась или дополнялась бригадой авторского надзора с учетом складывающихся конкретных условий. При разработке проектной документации были найдены также инженерные решения, позволившие максимально сократить трудовые затраты и сроки строительства в условиях сложной радиационной обстановки.

Объемно-пространственная структура Укрытия образована рядом каскадно-поднимающихся блоков, размеры и очертания которых определены особенностями элементов ограждающих конструкций. Между III и IV энергоблоками предусмотрена бетонная разделительная стена (при этом максимально использованы существующие стены). В машинном зале между II и III энергоблоками сооружена металлическая разделительная стенка.

Одновременно с сооружением Укрытия осуществлялась большая программа по созданию системы контроля за состоянием объекта и определения его влияния на радиационную обстановку на площадке ЧАЭС и за ее пределами. Были сформулированы технические требования и исходные данные для создания информационно-диагностического комплекса (ИДК), предназначенного для контроля и диагностики состояния топливной массы, элементов конструкции, радиационной обстановки, а также для контроля технологических систем объекта Укрытие.

ИДК состоит из:

- системы контроля и диагностики;
- информационно-вычислительного центра;
- системы связи с внешними пользователями. Система контроля и диагностики включает в себя подсистемы:
- технологического контроля (ТК);
- радиационного дозиметрического контроля (РДК);



- систему диагностики (ДС) физико-механического состояния активной массы и конструкций сооружений.

Задача подсистемы ТК — контроль работы вентиляционного оборудования, обеспечивающего теплоотвод, и параметров теплоотводящей среды.

Подсистема РДК должна обеспечивать контроль за состоянием и переносом радиоактивности внутри сооружения и выбросом радиоактивных продуктов в окружающую среду.

Функцией ДС является определение физико-механического состояния активной массы, возникающих вибраций, смещений элементов конструкций сооружения и разрушения за счет внутренних процессов.

Для обеспечения контроля и диагностики состояния Укрытия проводятся измерения температуры в объеме под перекрытием центрального зала и на верхней поверхности шахты реактора, элементов нижней опорной плиты, поверхностей перекрытий в бассейне-барботере. С целью уточнения распределения и определения интенсивности источников тепловыделения измеряется тепловой поток в доступных точках подреакторных помещений и на верхней поверхности разрушенной активной зоны. Интенсивность гамма-излучения измеряется во всех помещениях, где осуществляются контроль состояния работающего оборудования, его обслуживание и ремонт. Кроме того, измеряются поля гамма-излучения в большинстве доступных помещений здания, а также в объеме под перекрытием и на верхней поверхности разрушенной активной зоны. Проводится постоянный контроль концентрации  $H_2$ ,  $CO$  и  $H_2O$  в воздухе.

С целью обнаружения маловероятной самоподдерживающейся цепной реакции установлены нейтронные датчики и ведется контроль появления короткоживущих изотопов йод-131 на выходе системы вентиляции. Разработаны и реализованы мероприятия по ядерной безопасности законсервированного IV блока, которые обеспечивают возможность аварийного гашения процесса в случае развития цепной реакции деления в шахте реактора за счет ввода жидкого поглотителя нейтронов.

Для контроля за механической стабильностью топливной массы и элементов конструкции установлены виброакустические датчики, обеспечивающие регистрацию виброускорений, виброскоростей и виброперемещений.

Информационно-диагностический комплекс надежно обеспечивает контроль за состоянием объекта, который 1 декабря 1986 г. передан эксплуатирующей организации на техническое обслуживание.

Анализ имеющихся экспериментальных данных о мощностях дозы гамма-излучения, температуре и тепловом потоке указывает на стабильность состояния топливной массы. Мощность дозы гамма-излучения снижается в соответствии с распадом топлива. Среднесуточный суммарный выброс радиоактивных продуктов деления не превышает 3 мКи\*. На территориях, прилегающих к г. Припять, за период август — сентябрь не обнаружено образования новых пятен радиоактивного загрязнения или увеличения интегрального загрязнения территории. Снижение интенсивности гамма-излучения соответствовало теоретическим оценкам.

По завершении работ на объекте Укрытие разрушенный энергоблок перестал являться источником повышенного выделения аэрозольной активности, как вследствие выноса ее за счет вентиляции, так и в результате ветровой эрозии.

Фотография Укрытия приведена на рис. 2.1. Изменения интенсивности гамма-излучения внутри Укрытия и температуры в наиболее "горячей" точке в одном из подреакторных помещений, приведенные к их значению на 1 января 1987 г., показаны на рис. 2.2.

В настоящее время в соответствии с долговременной программой научных исследований проводятся и планируются работы по следующим основным направлениям:

- уточнение количества и размещения ядерного топлива внутри блока;
- определение механического и физико-химического состояния топлива;
- исследование нейтронными методами размножающих, поглощающих и замедляющих свойств скоплений материалов, содержащих ядерное топливо;
- изучение свойств конструкционных материалов в полях гамма-излучений при взаимодействии с остатками топливной массы.

---

\* Для работающего реакторного блока мощностью 1000 МВт предельно допустимый выброс смеси долгоживущих радионуклидов составляет 15 мКи/сут [6].

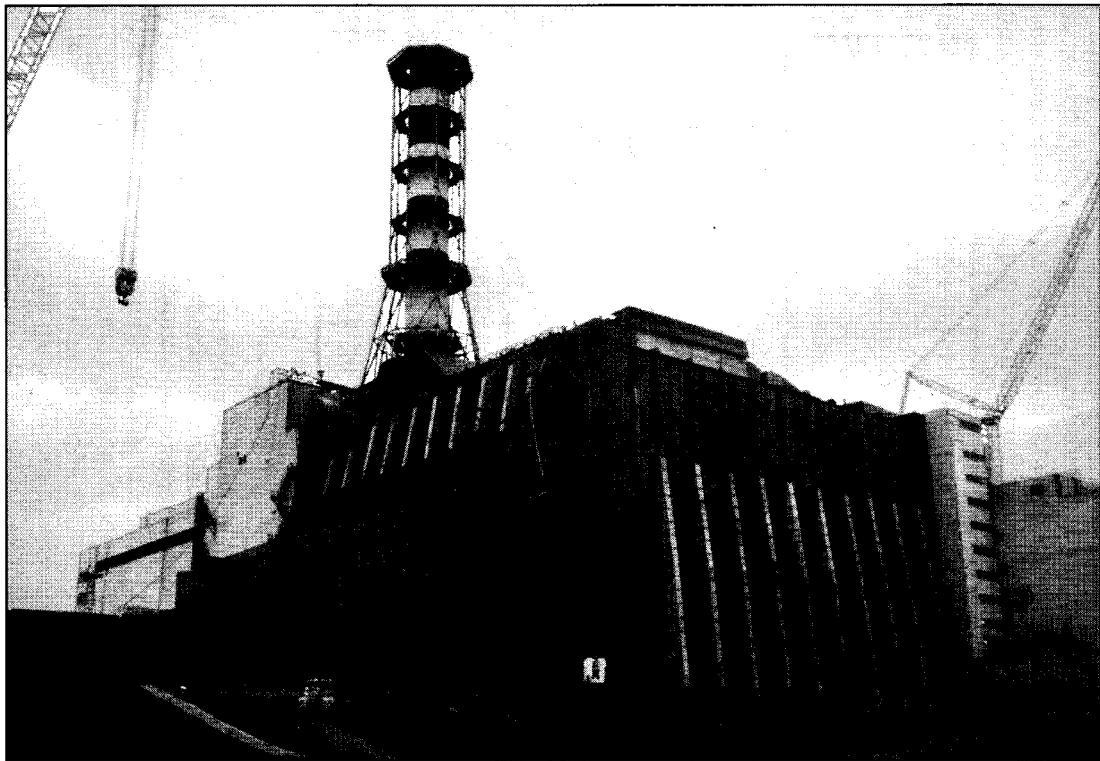


Рис. 2.1. Внешний вид Укрытия после завершения его строительства.

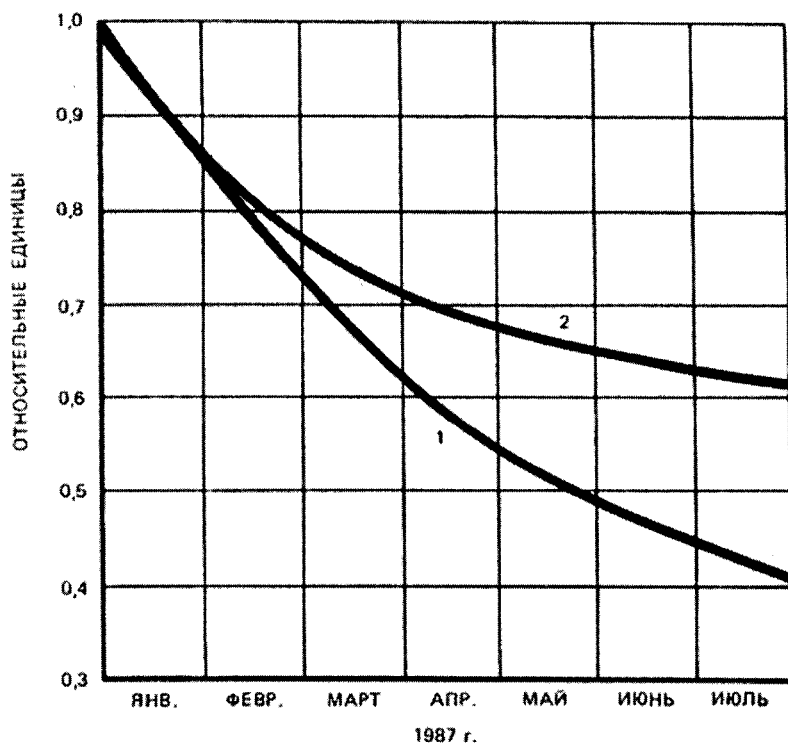


Рис. 2.2. Изменение интенсивности гамма-излучения внутри укрытия (1) и температуры в наиболее "горячей" точке в одном из подреакторных помещений (2).

### 3. ВОЗОБНОВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЛОКОВ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Вопросы возобновления эксплуатации I, II и III блоков Чернобыльской АЭС, проведения необходимых для этого работ были в ряду важнейших в плане ликвидации последствий аварии и решались параллельно с работами по консервации IV блока.

После аварии на IV блоке I и II блоки остались в нормальном работоспособном состоянии и были остановлены в I ч 13 мин и в 2 ч 13 мин соответственно 27 апреля.

Третий блок, который технически связан с IV блоком, был остановлен в 3 ч 26 апреля. Было произведено нормальное расхолаживание всех остановленных блоков.

После расхолаживания реакторы I, II и III блоков были переведены в глубоко подкритическое состояние путем ввода в активную зону всех стержней СУЗ и загрузки в реакторы I и II блоков по 20 дополнительных поглотителей (ДП), а в реактор III блока — 200 стерженьков-поглотителей в центральную трубку ТВС. Контроль за нейтронным потоком осуществлялся штатной аппаратурой.

Для отвода остаточного тепловыделения все технологические каналы (ТК) и контур многократной принудительной циркуляции (КМПЦ) оставались заполненными водой. Остаточное тепловыделение снималось в режиме естественной циркуляции. Температура воды в активной зоне поддерживалась на уровне 20 — 80°C, температура графита — 30 — 90°C.

Восстановительные работы были начаты с дезактивации основных и вспомогательных зданий и сооружений энергоблоков, находящегося в них оборудования и рабочих мест персонала, а также прилегающей территории.

Наибольшие уровни загрязнения имели отдельные горизонтальные участки поверхностей машинного зала [до  $10^6$  (β-част./см<sup>2</sup> · мин)], так как его загрязнение происходило через разрушенную кровлю IV блока. Мощность дозы гамма-излучения в загрязненных помещениях I и II блоков на 20 мая 1986 г. составляла 10 — 100 мР/ч, машинного зала — 20 — 600 мР/ч.

Дезактивация проводилась с использованием специальных растворов, состав которых подбирался с учетом отмываемого материала, характера и уровня загрязнения поверхности. Применялись струйные и пароежекционные методы, методы сухой дезактивации с помощью полимерных покрытий. Часть помещений и оборудования дезактивировалась вручную протиркой ветошью, смоченной дезактивирующими растворами.

Контроль за эффективностью дезактивации осуществлялся прямым замером мощности дозы гамма-излучения и методом "мазка". В результате дезактивации уровни загрязнения поверхностей помещений и оборудования в основном были снижены до нормативных требований.

На I и II блоках работы по дезактивации были завершены в начале третьего квартала 1986 г.

Продолжаются дезактивационные работы на III блоке, что ведет к дальнейшему улучшению радиационной обстановки на действующих блоках.

Завершается сьем загрязненной мягкой кровли на крышах зданий блоков. При этом успешно используются специальные клеющие средства, которые дистанционно наносятся на загрязненные участки кровли и затем снимаются с помощью кранов. В результате выполнения части запланированных работ мощность дозы в машинном зале III блока к концу июля 1987 г. резко снижена и составила 7 - 50 мР/ч.

В настоящее время после завершения сооружения объекта Укрытие и проведения комплекса работ по дезактивации территории станций на I и II блоках радиационная обстановка окончательно стабилизировалась и практически доведена до установленных норм.

Для измерения температуры воды использовались дополнительные термодатчики, установленные в центральные отверстия теплообменников сборок на левой и правой половинах реактора. Температурный режим графитовой кладки и КМПЦ контролировался штатными температурными каналами.

Заданный температурный режим реактора и КМПЦ обеспечивался включением в работу системы продувки и расхолаживания (СПИР). Графитовая кладка периодически продувалась азотом либо сухим воздухом с влажностью не более 0,5 г/м<sup>3</sup>. Контур СУЗ после полного расхолаживания реакторов был обезвожен.

Все необходимое вспомогательное оборудование I и II блоков поддерживалось в состоянии готовности к работе. Системы вентиляции до проведения работ по дезактивации воздухопроводов и вентиляционного оборудования и монтажа дополнительной установки по очистке приточного воздуха находились в отключенном состоянии. Система пожаротушения поддерживалась в состоянии готовности к работе в автоматическом режиме. Система дозиметрического контроля I и II блоков была включена в работу в полном объеме. Электрические схемы собственных нужд обеспечивали нормальное электропитание с готовностью принять нагрузку любых механизмов, задействованных в режиме ожидания до пуска. Системы машинного зала поддерживались в законсервированном

состоянии. Контроль за состоянием реакторных установок и оборудования блоков вел оперативный персонал АЭС.

Поддерживание систем и оборудования блоков в работоспособном либо законсервированном состоянии обеспечивало возможность в дальнейшем в короткие сроки выполнить восстановительные работы на блоках и ввести их в эксплуатацию.

Длительное пребывание I и II блоков в остановленном состоянии, воздействие радиационного облучения и дезактивирующих веществ потребовали тщательной ревизии и диагностической проверки всего основного и вспомогательного оборудования и систем автоматики, проведения ремонта и комплекса пусконаладочных работ.

Объем работ по подготовке и проведению пуска I и II блоков определялся "Программой комплексного опробования и пуска I и II блоков ЧАЭС" и соответствовал требованиям, предъявляемым к пуску вновь вводимых блоков. В соответствии с этой программой в предпусковой период была проведена поузловая проверка систем блока, включавшая в себя проверку работоспособности арматуры, КИП, мнемосхем, защит, блокировок, сигнализации, АВР, включение системы в работу, доведение качества рабочей среды до эксплуатационных норм, проверку срабатывания систем и механизмов по сигналам аварийных защит. По результатам ремонтно-восстановительных работ и поузловой проверки составлялся акт о готовности системы к пуску блока и общий акт о готовности оборудования, систем, технической документации и персонала ЧАЭС к проведению пуска блока.

В предпусковой период первоочередное внимание уделялось подготовке эксплуатационного персонала. Учитывая наличие вокруг станции зоны с радиоактивным загрязнением, важно было создать условия для проживания персонала. Решение этих вопросов было найдено в организации эксплуатации ЧАЭС по вахтовому методу, суть которого заключается в следующем:

- в период вахтовых (рабочих) дней оперативный и эксплуатационный персонал проживает в вахтовом поселке, расположенном за пределами 30-километровой зоны;
- выходные дни эксплуатационный персонал проводит в городах Киеве и Чернигове, где им предоставлены необходимые условия.

Продолжительность рабочего дня для оперативного персонала принята равной 12 часам (с 8.00 до 20.00 и с 20.00 до 8.00), для эксплуатационного персонала и всех сотрудников станции (как и для всех работающих в 30-километровой зоне) — 10 часам (с 9.00 до 19.00). Продолжительность вахты для оперативного персонала принята равной 5 дням с 7 выходными днями, для всех остальных сотрудников продолжительность вахты и отдыха по 15 дней.

Вахтовый метод в условиях радиационной обстановки в 30-километровой зоне оправдал себя и позволил создать условия как для работы, так и для отдыха персонала.

С окончанием строительства города эксплуатационников — Славутича в 1988 г. будут восстановлены нормальные условия жизни и работы коллектива станции.

Специфические задачи пуска I и II блоков — заключались в проверке и уточнении характеристик и режимов работы оборудования после длительной стоянки и в проверке эффективности выполненных мероприятий по повышению безопасности АЭС с реакторами РБМК. Для решения этих задач пуск блоков проводился в три этапа:

- 1-й этап — формирование активной зоны и проведение физического пуска;
- 2-й этап — освоение мощности блока на уровне 700 МВт (эл.) с проведением комплексного опробования работы оборудования систем блока;
- 3-й этап — освоение уточненной номинальной мощности.

Целью мероприятий по повышению безопасности прежде всего было уменьшение парового эффекта реактивности и увеличение быстродайствия аварийной защиты. Для достижения этих целей и с учетом особенностей реактора перед физическим пуском 50% стержней были введены в активную зону в положение 1,4 м по указателю положения (УП), количество укороченных стержней-поглотителей увеличено до 32, а их перемещение ограничено интервалом от 1,2 до 3,5 м по УП.

В процессе физического пуска вместо части ТВС устанавливались ДП. Оперативный запас реактивности при эксплуатации реакторов установлен равным 43 - 48 стержням. Сформированная начальная загрузка реактора I блока содержала 1648 ТВС (из них 124 свежие), 30 ДП, 14 ТК с водой и 1 заглушенную ячейку, а начальная загрузка реактора II блока — 1610 ТВС (из них 313 свежих), 81 ДП, 2 ТК с водой. Количество ДП в реакторе II блока было увеличено в целях дальнейшего уменьшения значения парового коэффициента реактивности.

По окончании физического пуска реакторов были подготовлены и включены в работу в соответствии с требованиями технологического регламента системы и оборудование блоков и начато проведение работ по настройке и испытаниям оборудования, проверке технологических параметров, освоению мощности 700 МВт(эл.) и поочередному пробному выходу ТГ-1 (3) , ТГ-2 (4) на мощность 500 МВт (эл.).



В процессе подъема мощности и комплексных испытаний на уровне 700 МВт(эл.) на I и II блоках существенных недостатков в работе основного и вспомогательного оборудования не обнаружено. Качество воды КМПЦ и КОСУЗ, питательной воды соответствовало нормам. Регуляторы блока обеспечивали поддержание заданных регламентом значений технологических параметров. Характеристики активной зоны реактора оставались удовлетворительными.

Распределение энерговыделения в рабочих каналах измерялось с достаточной достоверностью и легко поддерживалось в пределах уставок отклонений. Радиохимический состав теплоносителя КМПЦ соответствовал требованиям регламента. Радиационная обстановка в помещениях позволила ввести в эксплуатацию I и II блоки.

Полученные при комплексном опробовании блоков на мощности 700 МВт (эл.) данные позволили сделать вывод о возможности подъема мощности I и II блоков ЧАЭС до проектного номинального значения 1000 МВт(эл.) и выполнения 3-го этапа пуска блоков. Подъем мощности производился ступенями по 100 МВт с проведением комплексного опробования оборудования блоков на каждой ступени.

Значения технологических параметров и физические характеристики реактора при работе на номинальной мощности удовлетворяют требованиям технологического регламента. Нарушений в работе оборудования, препятствующих эксплуатации I и II блоков на номинальном уровне мощности, не было выявлено. На основании этого I и II блоки ЧАЭС работают на номинальной проектной мощности.

Управление реакторами I и II блоков после осуществления мероприятий по повышению безопасности не вызывало трудностей. Этому способствовало то, что на ЧАЭС в технологическую цепочку подготовки и выбора перегрузок включена ЭВМ ЕС-1035.

Результаты пуска I и II блоков ЧАЭС могут быть суммированы следующим образом.

1. Принятые меры значительно повысили безопасность на I и II блоках ЧАЭС. Возросла начальная скорость ввода отрицательной реактивности до  $> 0,5\beta/\text{с}$ . По результатам измерений скоростной эффективности стержней аварийной защиты принято решение несколько уменьшить глубину погружения регулирующих стержней в активную зону — с 1 - 2 до 0,7 м, что снижает деформацию высотного поля и в то же время сохраняет приемлемые скоростные характеристики АЗ.

Уменьшилось значение парового коэффициента реактивности. К настоящему времени количество ДП на I блоке также увеличено до 80.

2. В текущем году начинается загрузка реакторов ТВС с обогащением 2,4%, что позволит уменьшить значение парового коэффициента реактивности до нуля.

#### **4. ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ РАДИОАКТИВНЫМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ПРИРОДНЫХ СРЕД**

Радиоактивное загрязнение площадки ЧАЭС, прилегающего региона привело к необходимости проведения комплекса мероприятий по ликвидации последствий аварии.

В материалах [1] содержится описание этого комплекса. Основное внимание в них было уделено срочным неотложным мероприятиям (оценка радиационной обстановки, эвакуация населения, изоляция источника радиоактивных выбросов, активная дезактивация и др.).

После выполнения этих мероприятий и стабилизации обстановки в регионе ЧАЭС появилась возможность перейти к регулярной работе по ликвидации последствий аварии и мероприятиям долгосрочного характера.

##### **4.1. Контроль за радиоактивным загрязнением природных сред в регионе ЧАЭС**

Регулярный сбор и представление информации о радиационной обстановке в зоне аварии и на территории всей страны были начаты 26 апреля 1986 г. Контроль за радиоактивным загрязнением природных сред осуществлялся и продолжает осуществляться организациями Госкомгидромета СССР совместно с организациями Минздрава, Госагропрома, АН СССР, Министерства обороны СССР, ГКАЭ СССР и др.

С учетом масштабов аварии действовавшая система радиационного контроля была значительно расширена путем привлечения дополнительных групп специалистов (несколько тысяч человек) и техники. В частности, для контроля за радиоактивностью атмосферы были привлечены авиационные подразделения Министерства обороны СССР.

Сбор данных осуществлялся на действующих постоянных или временных станциях, постах наблюдения, самолетами или вертолетами радиационной разведки, экспедициями, передвижными группами и т.п.

Эти данные включают:

- результаты гамма- и бета-радиометрии и спектрометрии загрязненных площадей;
- анализ проб воздуха, воды, почвы, растительной массы;
- анализ проб радиоактивных выпадений.

После решения неотложных краткосрочных задач система контроля за радиоактивным загрязнением трансформировалась в постоянно действующую систему мониторинга в районе радиоактивного загрязнения. Эта система дополнилась проведением научных исследований по радиоэкологии и миграции радиоактивных веществ в природных средах (включая пищевые цепочки), по прогнозам изменения радиоактивного загрязнения, дозам облучения объектов живой природы и населения. В рамках Академии наук, Минздрава, Госагропрома и других ведомств страны созданы специальные научные организации по выполнению долгосрочных научных программ в регионе ЧАЭС.

Программа научно-исследовательских работ по контролю радиационной обстановки в зоне ЧАЭС включала:

- 1) создание комплексного метода радиационного контроля земной поверхности, объединяющего:
  - спектрометрическую и дозиметрическую разведки (полупроводниковая полевая спектрометрия);
  - радиохимические и ядерно-физические методы анализа проб почвы, воды, аэрозолей;
  - установление корреляционных соотношений между содержаниями плутония и стронция-90 и содержанием церия-144, определяемого по гамма-спектру образцов;
- 2) создание новых методов регистрации плутония и стронция на основе низкофоновых установок с жидкими сцинтилляторами;
- 3) разработку метода непрерывного дистанционного контроля радиационной обстановки по измерению свечения воздуха в УФ области спектра;
- 4) создание банка оцененных данных по почвенным загрязнениям, а также системы экспертной оценки, обработки и анализа получаемой информации о радиационной обстановке.

Информация о радиоактивном загрязнении легла в основу принятия решений по обеспечению радиационной безопасности населения и хозяйственной деятельности на загрязненной территории. К этим решениям относятся:

- эвакуация и реэвакуация населения ряда населенных пунктов загрязненной зоны;
- дезактивация территории, зданий и т.п.;

- выделение зон отчуждения или ограничения производственной деятельности;
- защита гидросферы от радиоактивного загрязнения.

Данные о радиоактивном загрязнении использовались также для уточнения общего количества, динамики и радионуклидного состава радиоактивных выбросов аварийного блока ЧАЭС.

#### 4.2. Радиоактивное загрязнение местности в ближней зоне, примыкающей к ЧАЭС

Ближняя и дальняя зоны радиоактивных загрязнений сформировались с 26 апреля по 7 — 8 мая 1986 г. Особенности их формирования определялись динамикой и высотой выброса, метеорологическими условиями в регионе ЧАЭС и в отдаленных районах по направлению распространения загрязненных воздушных масс.

Данные о радиоактивных выбросах и радиоактивном загрязнении, полученные в первые несколько месяцев после аварии, приведены в докладе советской делегации на совещании экспертов МАГАТЭ в августе 1986 г. [1].

За прошедший с того времени год проведен большой объем работ по уточнению и детализации картины радиоактивного загрязнения в ближней и дальней зонах радиоактивных выпадений. Создан и постоянно пополняется банк данных о радиоактивном загрязнении в регионе ЧАЭС. Банк содержит также данные о радиационном фоне до 26 апреля 1986 г.

*Радиационный фон* до аварии в регионе ЧАЭС характеризовали следующие данные:

- мощность экспозиционной дозы гамма-излучения 0,01 — 0,015 мР/ч;
- плотность загрязнения цезием-137 и стронцием-90 (за счет глобальных выпадений от ядерных испытаний) 0,1 и 0,07 Ки/км<sup>2</sup> соответственно.

Радиоактивные выпадения в результате аварии на ЧАЭС привели к загрязнению природной среды. Некоторое представление об этом дают рис. 4.1 и 4.6 (см. также [1]).

На загрязненной территории можно выделить три ветви радиоактивного следа — северную, южную и западную.

После прекращения радиоактивных выбросов аварийным блоком изменение радиоактивного загрязнения определялось в основном радиоактивным распадом, ветровым переносом, смывом и переносом дождевыми и паводковыми водами (после таяния снегов), диффузией в почву и т.п.

К осени 1986 г. из-за распада относительно короткоживущих радионуклидов ( $T_{1/2} \leq$  несколько месяцев) первый процесс стал играть меньшую роль. Окончательное формирование радиоактивного загрязнения природных сред закончится практически в течение 1988 г.

В ближней зоне ЧАЭС в период после аварии регулярно осуществляются измерения гамма-полей, аэрогамма-съемка загрязненной местности. Карта распределения уровней радиации на местности на 1 мая 1987 г. приведена на рис. 4.1.

По данным распределения мощностей доз гамма-излучения на местности в различные времена после аварии оценено суммарное количество радиоактивных продуктов, выпавших на ближнем следе, и изменение этого количества во времени за счет радиоактивного распада и других факторов. На рис. 4.2 показано изменение во времени мощности дозы гамма-излучения суммарного количества радиоактивных продуктов на ближнем следе, которое хорошо согласуется с аналогичными данными, полученными на основе анализа радиоактивных продуктов почвенных проб, отобранных в западных и северных областях ближнего следа [3].

Суммарное количество гамма-радиоактивных продуктов на ближнем следе через год после аварии уменьшилось примерно в 55 раз и составляет  $2,7 \cdot 10^6 \text{ Р} \cdot \text{м}^2 / \text{ч}$  на 1 мая 1987 г.

Миграция радионуклидов в почву приводит к уменьшению мощности  $\text{Р}$  экспозиционной дозы гамма-излучения от радиоактивных выпадений. Как показывают наблюдения, к осени 1986 г. на типичных легких дерново-подзолистых и супесчаных почвах глубина миграции достигала 0,6 — 1,2 см. Это должно приводить к ослаблению мощности дозы  $\text{Р}_\gamma$  на высоте 1 м в 1,5 — 2,5 раза. Этот эффект подтверждался прямыми измерениями на местности [2].

Площади, ограниченные изоуровнями мощностей доз, на 1 мая 1987 г. равны:  $\text{Р} = 1,0 \text{ мР/ч} — 500 \text{ км}^2$ ;  $\text{Р} = 2,0 \text{ мР/ч} — 280 \text{ км}^2$ ;  $\text{Р} = 5,0 \text{ мР/ч} — 70 \text{ км}^2$ ;  $\text{Р} = 10 \text{ мР/ч} — 20 \text{ км}^2$ ;  $\text{Р} = 20 \text{ мР/ч} — 8,0 \text{ км}^2$ ;  $\text{Р} = 50 \text{ мР/ч} — 3,0 \text{ км}^2$ . Через год после аварии площади, ограниченные указанными изоуровнями мощностей доз, уменьшились от 50 до 150 раз. На рис. 4.3 показана взаимосвязь площадей радиоактивных выпадений на ближнем следе и изоуровней мощности дозы, ограничивающих площадь, и с учетом приведения данных аэрогамма-съемок, проведенных в различные времена после аварии, к одному времени, а именно к 29 мая 1986 г. согласно данным рис. 4.3 [5].

Радиоизотопный состав ближних выпадений определяется радионуклидами, приведенными в [3], за исключением короткоживущих. После распада относительно короткоживущих радионуклидов

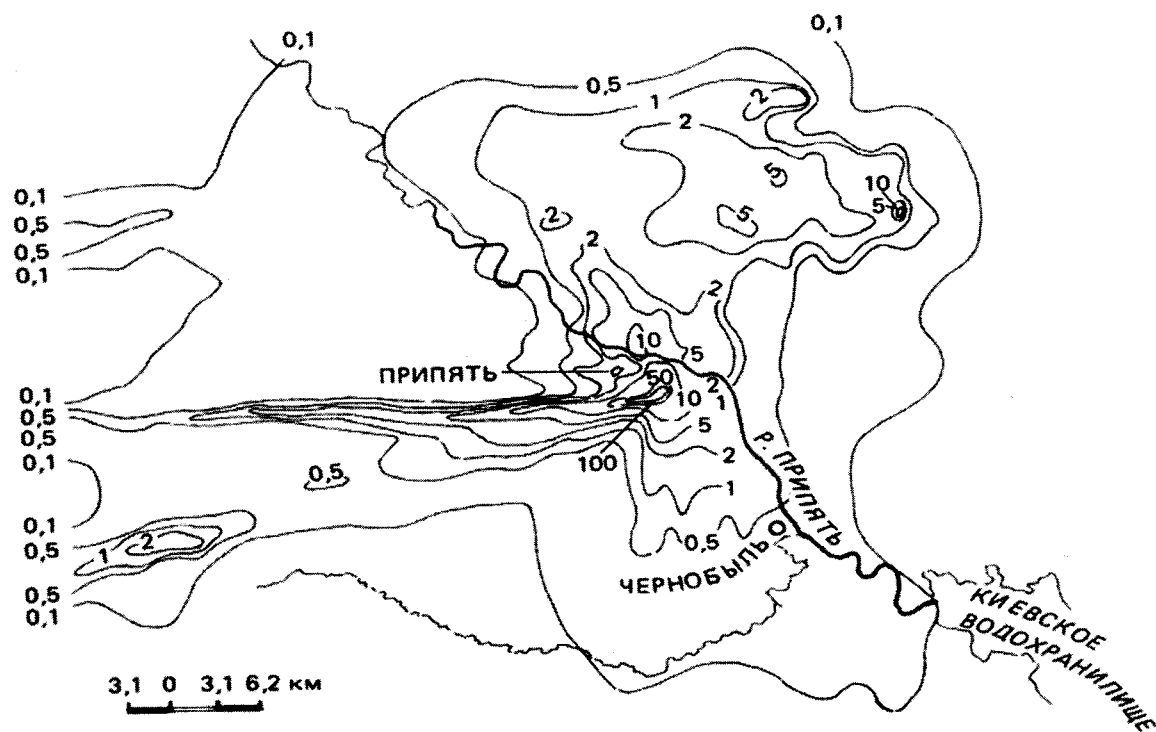
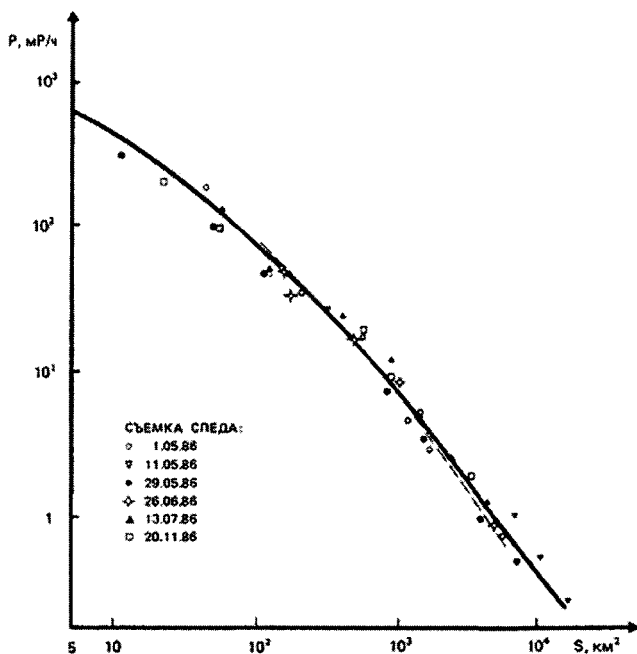
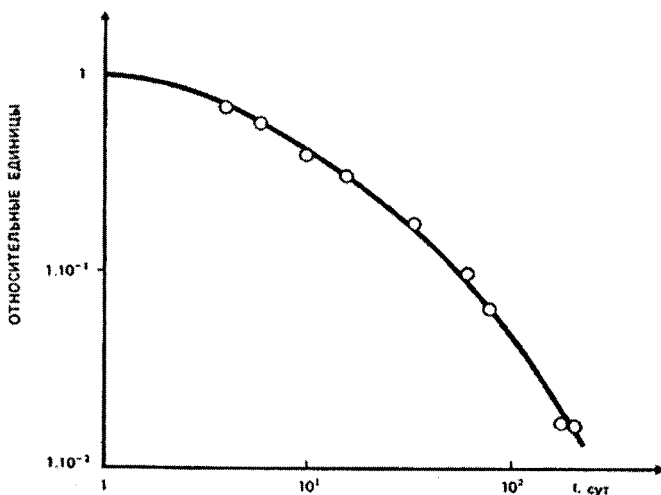


Рис. 4.1. Карта гамма-поля (мР.ч) на 1 мая 1987 г.



наибольшую радиобиологическую значимость имеют такие радионуклиды, как цезий-134, -137, а также изотопы стронция и плутония. Построены карты загрязнения этими радионуклидами, а также цирконием-95, ниобием-95, рутением-103, лантаном-140 и др.

Исследования изотопного состава на радиоактивном следе показали, что существенное фракционирование радиоизотопов наблюдается на расстояниях, превышающих 15 — 30 км; например, на северном следе обнаружено значительное обогащение радиоактивных выпадений цезием-137 (в 10 и более раз).

Загрязнение цезием имеет "пятнистый" характер. Это обусловлено как динамикой выброса, так и неравномерностью выпадения дождей в зонах прохождения радиоактивного облака. Имеются участки с плотностью загрязнения по цезию-137 (+ цезий-134) до 20 — 30 Ки/км<sup>2</sup>, а в отдельных местах порядка 80 Ки/км<sup>2</sup>.

Количество цезия-137, выпавшего на ближнем следе, по данным аэроспектральной съемки и анализа проб почв, составляет ~ 0,2 МКи. Эта величина несколько меньше, чем та, которая приведена ранее [3]. Она получена путем использования данных отношений плотности радиоактивных выпадений данного радионуклида (Ки/км<sup>2</sup>) к мощности дозы Р (мР/ч) для различных секторов на ближнем следе.

На ближнем следе плотность загрязнения плутонием достигает 0,1 — 1,0 Ки/км<sup>2</sup>. В непосредственной близости к промышленной площадке местами наблюдается плотность, превышающая 10 Ки/км<sup>2</sup>. Уровень загрязнения местности плутонием относительно быстро убывает с расстоянием. Следует отметить, что плутоний, стронций и ряд других долгоживущих радионуклидов в настоящее время находятся в составе частиц топлива. Это необходимо учитывать при анализе экологических и биологических последствий, а также при рассмотрении миграции этих радионуклидов в различных средах.

#### **4.3. Метеорологические данные о направлениях ветра в период аварии и динамика выхода радиоактивных продуктов, выпавших на ближнем следе**

Метеорологическая информация в период основного выхода радиоактивных продуктов в атмосферу после аварии включала данные шаропилотных наблюдений о направлениях и скоростях ветра в аэропортах городов Киев (Жуляны, Борисполь), Мозырь, Гомель, Чернигов и данные радиозондирования в г. Киеве с 26 апреля по 1 мая 1986 г. По специальной программе из первичных наблюдений вычислялись средние направления и скорости ветра в слое от поверхности земли до заданной высоты. На рис. 4.4 представлены



рассчитанные значения средней скорости и направлений ветра в слоях 0 - 500 и 0 - 1000 м за время наблюдений в течение пяти суток после аварии. Эти данные использовались для расчета переноса частиц в атмосфере в слоях 0 - 500 и 0 - 1000 м.

Анализ метеорологических данных о направлениях ветра, представленных на рис. 4.4, показывает, что в течение пяти суток с 26 по 30 апреля 1986 г. направление переноса воздушных частиц в слое от уровня земли до 1000 м изменилось на  $360^\circ$ , фактически описав полный круг. Учет отмеченных метеорологических особенностей переноса радиоактивных веществ из зоны реактора в сопоставлении с характером распределения ближних радиоактивных выпадений позволил получить дополнительные характеристики динамики выброса [5].

Данные о ежесуточном выбросе радиоактивных веществ в атмосферу из зоны реактора приведены в [1]. Относительное изменение этого выброса в первые пять суток хорошо аппроксимируется зависимостью

$$Q(t) = 0,32e^{-0,28t}, t = 0, 1, \dots, 4 \text{ сут.}$$

Формирование радиоактивных выпадений в ближней зоне закончилось в первые 4 - 5 суток. В последующие дни, как показала проводившаяся регулярно аэрогамма-съемка радиоактивного следа, суммарное количество гамма-радиоактивных продуктов на следе монотонно убывало согласно распаду суммы радионуклидов (см. рис. 4.2). Ежесуточный выброс радиоактивных веществ в атмосферу, аппроксимируемый приведенной экспоненциальной зависимостью, включает весь спектр радиоактивных частиц, которые обусловили как ближние и региональные, так и глобальные выпадения.

Штриховкой на рис. 4.4 показаны секторы (в градусах) направления ветра в слоях от уровня земли до 500 и 1000 м, в которых происходили перенос и выпадение частиц из струи в разные временные интервалы после аварии. В соответствии с этим на карте распределения уровней радиации в ближней зоне (до 80 км) были выделены секторы ( $230 - 320^\circ$ ,  $320 - 20^\circ$ ,  $20 - 90^\circ$ ,  $90 - 220^\circ$ ), в которых оценены суммарные количества гамма-радиоактивных продуктов ( $\text{мР} \cdot \text{км}^2 / \text{ч}$ ) на 29 мая 1986 г. [5]. Суммарное количество гамма-радиоактивности на следе на указанную дату составляет  $4,4 \cdot 10^4 \text{ мР} \cdot \text{км}^2 / \text{ч}$ . На рис. 4.5 в виде гистограммы приведены данные о почасовых выпадениях гамма-радиоактивных веществ на ближнем следе. Сплошной линией показано относительное изменение почасовых выпадений с 26 апреля по 1 мая 1986 г.

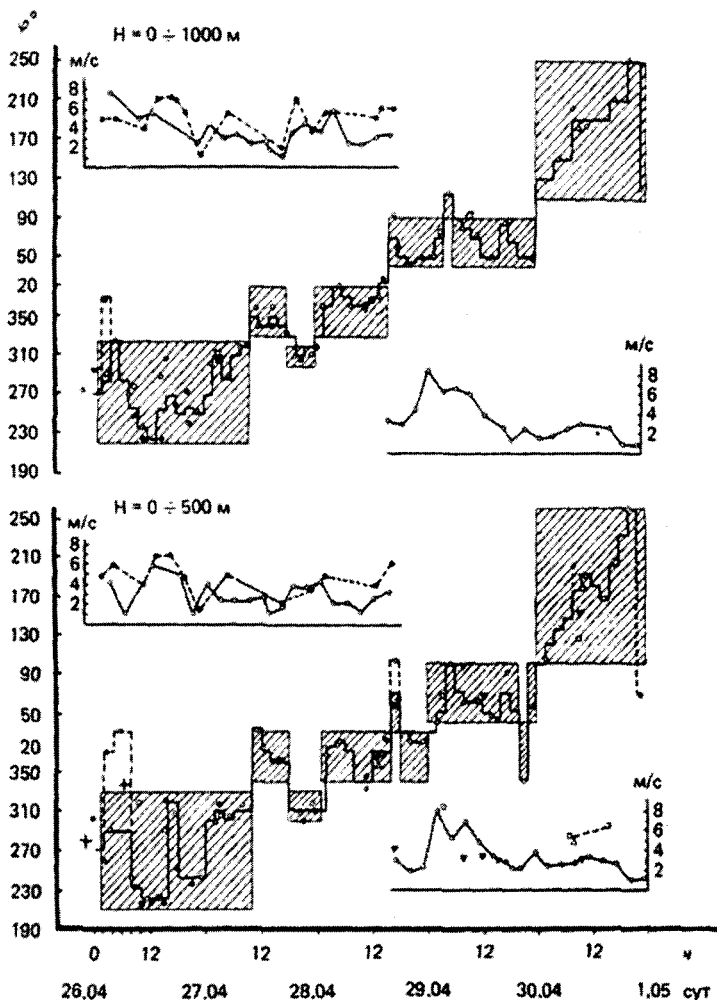


РИС. 4.4. СРЕДНИЕ В СЛОЕ 0 – 500 И 0 – 1000 м ЗНАЧЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ И СКОРОСТИ ВЕТРА С 26.04 ПО 1.05.88 г. В РАЙОНЕ, ПРИМЫКАЮЩЕМ К ЧАЗС.  $\dagger$  – КИЕВ (РАДИОЗОНД),  $\circ$  – КИЕВ, АЭРОПОРТ:  $\bullet$  – БОРИСПОЛЬ,  $\triangle$  – МОЗЫРЬ,  $\square$  – ГОМЕЛЬ,  $\nabla$  – ЧЕРНИГОВ

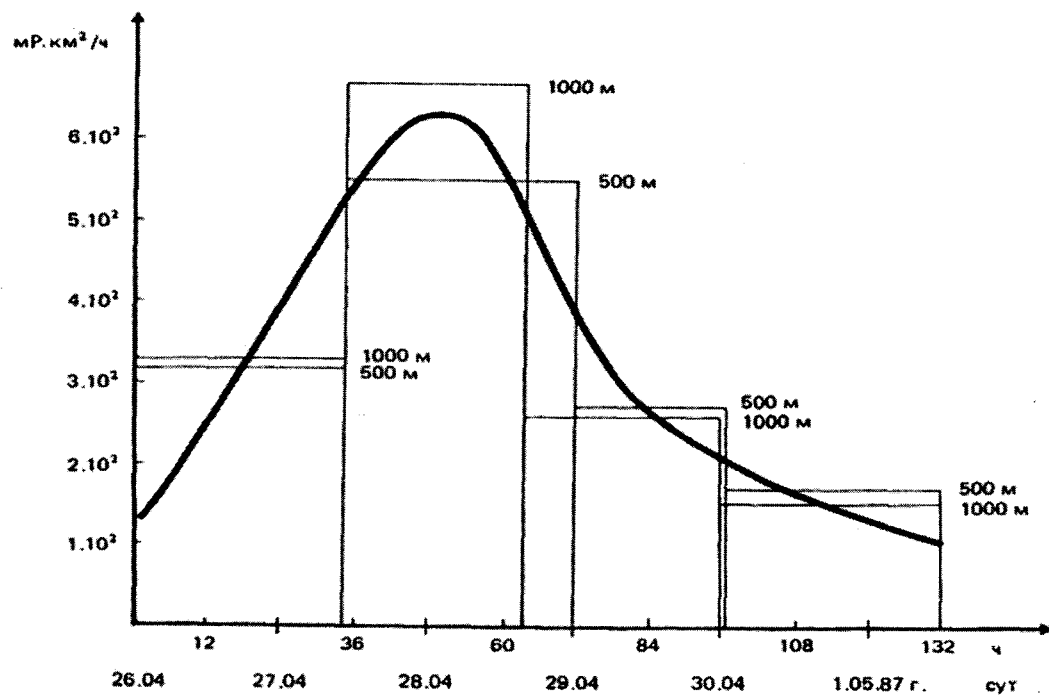


РИС. 4.5. ПОЧАСОВЫЕ ВЫПАДЕНИЯ ГАММА-РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА БЛИЖНЕМ СЛЕДЕ

Таким же способом, используя отношения плотности радиоактивных выпадений данного радионуклида ( $\text{Ки}/\text{км}^2$ ) к мощности дозы  $P$  ( $\text{мР}/\text{ч}$ ) для различных секторов (запад, север, юг), приведенные в [3], были определены выпадения отдельных радионуклидов в последующие дни после аварии. В табл. 4.1 приведены результаты расчетов относительного выброса и выпадений суммы гамма-радиоактивных веществ и отдельных радионуклидов на ближнем следе за первые пять суток.

Таблица 4.1.

**Относительное распределение выброса радиоактивных веществ за первые пять суток и их выпадений на ближнем следе (апрель 1986г.)**

Число	Полный Выброс [1]	Выпадение Радиоактивных веществ на ближнем следе					
		Сумма радиоактивных веществ			Отдельные радионуклиды		
		N=1000 м	N=500 м	средн.	церий-144	цезий-137	цезий-134
26	0,32	0,17	0,17	0,17	0,19	0,1	0,09
27	0,24	0,29	0,25	0,28	0,2	0,3	0,31
28	0,19	0,29	0,29	0,29	0,3	0,4	0,42
29	0,14	0,14	0,15	0,14	0,12	0,18	0,15
30	0,11	0,11	0,14	0,13	0,11	0,02	0,03

#### 4.4. Радиоактивное загрязнение местности на территории СССР

В мае 1987 г. проведена повторная аэрогамма-съемка и аэроспектральная съемка территории СССР. Приведенное на рис. 4.6 распределение гамма-поля на территории СССР по изоуровню мощности дозы  $0,05 \text{ мР}/\text{ч}$  на 10 июня 1986 г. [3] в 1987 г. уже нельзя представить в виде замкнутых изолиний, гамма-поле прослеживается в виде множества отдельных незамкнутых пятен.

Суммарное количество гамма-радиоактивных веществ, выпавших на территории СССР за пределами ближнего следа, по данным аэрогамма-съемки, на конец мая 1987 г. оценивается  $(6 \div 9) \cdot 10^6 \text{ Р} \cdot \text{м}^2/\text{ч}$  по сравнению с  $1,2 \cdot 10^8 \text{ Р} \cdot \text{м}^2/\text{ч}$  на начальный период после аварии [3]. Суммарная величина выпадений в ближней и дальней зонах составляет  $(9 \div 12) \cdot 10^6 \text{ Р} \cdot \text{м}^2/\text{ч}$ , или около 4% от суммарного количества радиоактивных продуктов в реакторе на это время.



В табл. 4.2 приведены результаты наблюдений изменения концентрации изотопов цезия в пробах воды Киевского водохранилища, а также рек Припять и Днепр с июля 1986 г. по май 1987 г., из которых следует, что концентрации цезия в воде за указанный период снизились более чем в 20 раз. Особенно резкое снижение концентраций цезия наблюдалось в летне-осенний период 1986 г. В пробах воды, отобранных осенью, до 70% активности радионуклидов цезия находилось в сорбированном состоянии на взвешенных частицах. Содержание взвеси в воде и как следствие увеличение радиоактивности, таким образом, связано с гидрометеоусловиями исследуемых водоемов. Наиболее очевидно такая зависимость наблюдалась в Киевском водохранилище, в которое разгружают взвесь реки Припять и Днепр.

Таблица 4.2.

**Средние концентрации цезия ( $10^{-11}$  Ки/л) в пробах в Киевского водохранилища, а также рек Припяти и Днепр, отобранных в июле 1986г. — мае 1987г.**

Водный объект	Июль		Октябрь		Апрель-май 1987г.	
	Цезий-137	Цезий-134	Цезий-137	Цезий-134	Цезий-137	Цезий-134
Киевское Водохранилище	(20-50)	(10-20)	(1-3)	(0,5-1,5)	(0,4-1,2)	(0,2-0,6)
Река Припять (ниже Чернобыля)	(40-50)	(15-25)	(2-5)	(1-2)	(2-5)	(1-2)
р. Днепр (с. Теремцы)	(1-1,4)	(0,4-0,6)	(0,5-0,6)	(0,2-0,3)	(0,4-0,6)	(0,2-0,3)

В осенний период на водохранилище наблюдается увеличение волнения и как следствие вторичное загрязнение воды в результате ветрового взмучивания верхнего слоя загрязненных илов. Экспериментальные исследования, подтверждаемые расчетами, показали, что даже полное взмучивание обменного слоя загрязненных илов, которое может иметь место при сильных штормах, не увеличит дозовые нагрузки, определяемые суммой всех радионуклидов, в предположении использования воды для питья, более чем до 5 - 10% от принятых в СССР норм.

В течение зимы 1986/87 г. в условиях устойчивой морозной погоды и отсутствия существенных оттепелей радиоактивность вод Днепроовского каскада изменялась незначительно. К концу зимы суммарная бета-активность воды в Киевском и Кременчугском водохранилищах приближалась к  $(1 \pm 2) \cdot 10^{-11}$  Ки/л. Определяющий

вклад в загрязненность воды вносили цезий-137 и стронций-90, концентрации которых в воде составляли  $(1+4) \cdot 10^{-11}$  и  $(0,1+4) \cdot 10^{-11}$  Ки/л соответственно.

В условиях слабой проточности водохранилищ в зимние месяцы слабо изменялся уровень загрязненности донных грунтов. Уменьшения происходили главным образом за счет распада циркония-95, ниобия-95, а также изотопов рутения и церия.

При подготовке к половодью весной 1987 г. на реках и водотоках, протекающих по загрязненной территории, с целью уменьшения смыва радионуклидов было сооружено более 100 защитных и фильтрующих дамб.

Половодье весной 1987 г. носило плавный, растянутый характер без резких паводочных волн, в результате чего заметного повышения концентраций радионуклидов в реках и водохранилищах не произошло. Концентрации цезия в пробах воды, взятых в конце апреля — мае 1987 г. (см. табл. 4.2), оставались на уровне концентраций в осенних пробах либо немного уменьшились.

В табл. 4.3 приведены усредненные концентрации цезия-137 и цезия-134, измеренные осенью 1986 г. и весной 1987 г. на р. Днепре и на основных его притоках, протекающих по территории БССР.

*Таблица 4.3.*

**Сезонные концентрации изотопов цезия ( $10^{-11}$  Ки/л) в водах р. Днепра и основных его притоков на территории БССР.**

Река	Осень 1986г.		Весна 1987г.	
	Цезий-137	Цезий-134	Цезий-137	Цезий-134
р.Днепр (на участке Жлобин-Лоев)	(0,5-0,8)	-	(0,5-0,8)	-
р.Сож (в районе г.Гомель)	(5-12)	(2-6)	(5-7)	(2-3)
р.Беседь (с.Светидовичи)	(2-10)	(1-3)	(3-10)	(2-3)
р.Припять (в районе г. Мозырь)	(0,5-1)	-	(1-1,4)	-

Из таблицы видно, что концентрации значительно ниже ПДК. В осенний период до 70% цезия переносилось взвесью. В период стокообразующих дождей (31 августа и 1 сентября) количество цезия, сорбированного на взвешях, возрастало до 80 - 90%, что связано с процессами эрозии загрязненных водосборов.

Весной 1987 г. уровни загрязнения указанных рек практически не изменились. Соотношение концентраций цезий-137/стронций-90 колебалось в различные периоды в диапазоне 1+10.

#### 4.6. Медико-санитарные мероприятия

Первоочередные мероприятия по защите здоровья лиц, участвовавших в противоаварийных работах, и населения зоны загрязнения описаны в [1].

Здесь дается общая характеристика медико-санитарных мероприятий, проведенных до середины 1987 г.

Осуществление широкомасштабных санитарно-гигиенических мероприятий, направленных на обеспечение радиационной безопасности населения загрязненных зон, было начато в первые дни после аварии. В них участвовали в дополнение к существовавшим на местах медицинским учреждениям до 400 специализированных бригад (медики, дозиметристы и др.), около 15 тыс. медицинских работников, включая студентов и выпускников медицинских вузов.

В результате проведенных мероприятий:

- всеми видами медицинского обследования был охвачен почти 1 млн. человек, из них 700 тыс. (включая 216 тыс. детей) с применением углубленных дозиметрических и лабораторных методов исследования; в стационарных условиях обследовано 32 тыс. человек, из них 12,3 тыс. детей;
- йодная профилактика проведена 5,4 млн. человек, из них 1,7 млн. детей;
- разработаны и реализованы рекомендации об организации летней оздоровительной кампании для детей и беременных женщин за пределами зараженных территорий;
- выполнены оценки и прогноз радиационной обстановки в районах радиоактивного загрязнения; на основе полученных данных разработаны рекомендации по мерам защиты здоровья населения, включая эвакуацию;
- создана и реализована комплексная система контроля за уровнем облучения и состоянием здоровья людей, привлеченных к работам по ликвидации последствий аварии, и персонала I и II блоков ЧАЭС, запущенных вновь в эксплуатацию.

Систематически проводилась санитарно-просветительная работа среди населения.

Для ведения регулярной работы по оказанию специализированной медицинской помощи, осуществления последующих наблюдений и исследований создан Всесоюзный научный центр радиационной медицины АМН СССР в г. Киеве.

Принятые меры позволили:

- максимально снизить воздействие радиоактивных веществ, особенно йода-131, на население;



- предотвратить переоблучение лиц, принимавших участие в ликвидации последствий аварии после 27 апреля 1986 г.;
- не допустить возникновения вспышек инфекционных заболеваний и пищевых отравлений в 30-километровой зоне и вне ее;
- обеспечить защиту здоровья персонала I и II блоков ЧАЭС.

Согласно выполненным оценкам, коллективная доза внешнего облучения населения СССР, обусловленного радиоактивным загрязнением окружающей среды в результате аварии на ЧАЭС, составила около  $10^7$  чел.-бэр за первый год после аварии. Ожидаемая коллективная доза  $S^e$  облучения населения страны будет менее  $3,3 \cdot 10^7$  чел.-бэр. Эта оценка получена с учетом всего комплекса осуществленных и намечаемых мероприятий по обеспечению радиационной безопасности населения. Следует отметить, что около 60% значения  $S^e$  приходится на внешнее гамма-облучение людей выпавшими на местность радионуклидами после аварийного выброса, около 38% — на внутреннее облучение за счет перорального поступления радионуклидов (в основном цезия-137) и лишь около 2% — на облучение от облака выброса и внутреннее облучение организма за счет ингаляции.

Среднедушевая ожидаемая доза облучения населения страны составит около 120 мбэр. Это даст прибавку всего около 2% к дозе от естественного радиоактивного фона, равной в среднем примерно 100 мбэр в год. Расчет радиологических последствий аварии на ЧАЭС, основанный на концепции беспороговой линейной зависимости доза — эффект, показывает, что дополнительная смертность от рака может составить лишь около 0,01% от уровня смертности от спонтанного рака. Эта добавка абсолютно необнаружима на фоне флуктуации естественной онкологической смертности населения.

Также незначительны будут и ожидаемые генетические радиологические последствия.

Принятые меры по контролю за потреблением пищевых продуктов позволили во много раз снизить дозы внутреннего облучения населения. Отметим, что в отсутствие такого контроля дозы внутреннего облучения за счет потребления местных продуктов могут быть в 10 раз выше доз внешнего облучения.

Предполагая, что контроль пищевых продуктов в необходимом объеме будет продолжаться и в будущем, можно принять, что дозы внутреннего облучения населения будут на уровне доз внешнего облучения.

#### 4.7. Мероприятия Госагропрома. Радиоэкологические исследования

В физико-географическом отношении загрязненная территория (ЗТ) расположена в юго-западной части Восточно-Европейской равнины и частично в Припятском Полесье (водосборный бассейн р. Припять), к которому с востока примыкает Приднепровская низменность. В целом рельеф рассматриваемого района равнинный, максимальные высоты не превышают 200 м. Климат умеренно-континентальный: с теплым летом и сравнительно мягкой зимой, среднегодовое количество осадков колеблется в пределах 500 - 650 мм, примерно 2/3 осадков выпадает в теплое время года.

В почвенном покрове южных районов Белоруссии преобладают дерново-подзолистые и торфяно-болотные почвы, в юго-восточных районах встречаются дерново-подзолистые, суглинистые и супесчаные почвы.

Район Полесья (южные районы Гомельской области, северные районы Киевской и Житомирской областей) характеризуется широким распространением заболоченных дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почв в сочетании с крупными массивами низинных торфяников. Почвы легкого механического состава занимают 58% площади. Все дерново-подзолистые почвы Полесья отличаются невысоким естественным плодородием, как правило, кислые (рН 4,5 - 5,5), слабо обеспечены минеральными питательными веществами (в том числе калием, фосфором, магнием). Расчлененность рельефа небольшая, однако микрорельеф, особенно в Белорусском Полесье, сильно выражен, что совместно с заболоченностью определяет мелко-контурность с/х угодий. Распаханность территории составляет около 25%. До 50% с/х площадей занято под естественными кормовыми угодьями (злаково-осоковые луга). Такая природная среда сформировала специфический тип с/х производства. В регионе развито молочное и мясное скотоводство (до 60 коров на 100 га). Значительное место занимают посадки картофеля (около 8% площадей), кормовых культур (35 - 40%), зерновых (около 50%), льна-долгунца (до 5%).

Основной массив лесов на ЗТ находится в районах Полесья, где лесистость достигает 70%. Основная доля (63%) видового состава лесов приходится на хвойные породы (сосна), остальная часть — лиственные породы (дуб, граб, береза, ольха).

Южнее Украинского Полесья начинается зона лесостепи (южная ветвь следа), в почвенном покрове которой преобладают оподзоленные черноземы, серые и светло-серые оподзоленные почвы на лессовых отложениях. Преобладающая порода в лесах Украинского

Полесья — сосна с примесью березы и дуба, в лесостепных районах — небольшие массивы лесов из дуба, граба, липы.

Из анализа данных, характеризующих распределение ЗТ по видам хозяйственного освоения, видно, что примерно половина загрязненных земель Белоруссии приходится на с/х угодья (41 — 50%) и до 52% — на природные комплексы (леса, болота, водные объекты). На Украине доля ЗТ, приходящаяся на природные ландшафты, уменьшается от 46% на севере (Чернобыльский район) до 10 — 12% в южных районах. В целом примерно половина площади ЗТ приходится на природные комплексы — леса, болота, неудобья, а равнинные открытые участки местности практически полностью заняты агросистемами. Из этого следует вывод, что для оценки и прогноза экологических последствий радиоактивного загрязнения рассматриваемой территории миграционные процессы в природных экосистемах требуют столь же детального изучения и контроля, как и в агросистемах.

Радиоактивному загрязнению подверглась большая часть с/х угодий внутри 30-километровой зоны и примерно 2,0 млн. га за ее пределами (по состоянию на август 1986 г.). Специалистами Госагропрома совместно с другими организациями проводились оценка и прогноз радиологической обстановки в сфере агропромышленного производства, контроль за радиоактивным загрязнением продукции агропромышленного производства и ее потреблением и др.

Полученные результаты анализировались с учетом существующих научных данных по сельскохозяйственной радиологии, радиоэкологии, миграции радиоактивных веществ по пищевой цепи, норм радиационной безопасности и т.п. На основе анализа принимались решения по мерам сохранения природных и материальных ресурсов отрасли, обеспечению качества и предотвращению потерь продукции в связи с ее радиоактивным загрязнением, обеспечению рентабельности с/х производства в зонах умеренного радиоактивного загрязнения при соблюдении требований радиационной безопасности населения.

В зависимости от уровня радиоактивного загрязнения пищевых продуктов принимались решения:

- о полном запрете на их потребление в пищу и использовании в корм скоту или отправке на переработку;
- об изменении технологии их хранения, переработки и пути использования;
- о разрешении на употребление в пищу при непревышении уровня загрязнения, установленного нормами радиационной безопасности.

Вся загрязненная территория была разделена на несколько зон (в первые месяцы по уровню гамма-излучения, а затем по содержанию в почве цезия-137; содержание других радионуклидов в контролируемой Госагропромом зоне не учитывалось, так как их биологическая активность невысока).

При уровне загрязнения выше 40 Ки/км<sup>2</sup> по цезию-137 наложен запрет на использование земель для с/х производства. Рекомендовано передать их в Гослесфонд для организации специального заповедника.

В зонах с меньшим уровнем загрязнения допускается с/х производство с теми или иными ограничениями и рекомендуемыми мероприятиями в зависимости от характера и уровня загрязнения. К таким мероприятиям относятся:

- изменение структуры посева с/х культур и направлений животноводства;
- проведение на пахотных, сенокосных и пастбищных угодьях специальных агромелиоративных мероприятий (внесение в почву в повышенных дозах минеральных удобрений, извести, сорбентов (глиняной суспензии, цеолитов в верхний загрязненный слой с последующей заправкой и др.).

Эти мероприятия направлены на снижение перехода радионуклидов из почвы в продуктивную часть урожая.

### *Об эффектах воздействия радиоактивного загрязнения на природную среду*

Эффекты прямого радиационного воздействия на растительные и животные сообщества в виде поражения хвойных лесов и заметных изменений численности почвенной фауны проявились в ограниченной зоне сильного радиоактивного загрязнения на расстоянии нескольких километров от ЧАЭС.

Наибольшую чувствительность к радиоактивному загрязнению проявили, как и предполагалось, сосновые леса.

Летальные эффекты облучения сосен визуально проявились к концу лета 1986 г. Площадь погибшего лесного массива, примыкающего с запада к промышленной площадке ЧАЭС, составила 400 га [2].

Лиственные древесные породы (представленные в зоне сильного радиоактивного загрязнения вокруг ЧАЭС в основном березой, осиной, дубом) практически не пострадали, поскольку их радиационная устойчивость в 10 раз выше, чем у хвойных пород. Не было обнаружено в этой зоне видимых морфологических изменений и у травянистых растений.

Вне этой небольшой зоны видимых эффектов радиационного поражения флоры и фауны не отмечалось. Прогноз состояния здоровья животных, находящихся на загрязненной территории, удовлетворителен.

Основное внимание в зонах умеренного и слабого радиоактивного загрязнения уделялось изучению миграционных характеристик радионуклидов в природных экосистемах.

В различных физико-географических и ландшафтных условиях была заложена сеть так называемых ландшафтно-геохимических полигонов для мониторинга содержания радионуклидов в компонентах природных экосистем.

Более подробно некоторые вопросы этого раздела рассмотрены в специальных докладах советских специалистов и в работах [2,3].

## **5. ВЫВОДЫ ИЗ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС И ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В СССР**

### **5.1. Общая часть. Роль ядерной энергетики в Энергетической Программе СССР**

Авария на Чернобыльской АЭС заставила специалистов во всем мире еще раз критически рассмотреть как планы по развитию ядерной энергетики, так и меры по обеспечению ее безопасности. Понятно, что в Советском Союзе уроки Чернобыля изучались с особой тщательностью. Мы пришли к следующим основным выводам.

1. Причины, вызвавшие аварию на ЧАЭС, связаны в первую очередь с ошибками персонала станции, нарушениями им установленных регламентов эксплуатации АЭС. Эти причины сами по себе не имеют специфически ядерного характера и поэтому не могут считаться фатальными для развития ядерной энергетики.

2. В результате анализа аварии не было обнаружено каких-либо физических явлений, которые ранее не изучались в рамках анализа безопасности теоретически и/или экспериментально. Анализ показал, что безопасность ядерных энергетических установок всех типов может быть повышена хорошо известными физическими и техническими методами и с помощью более тщательного учета человеческого фактора.

3. Анализ последствий аварии в Чернобыле показывает, что хотя ущерб от нее весьма значителен как с точки зрения потерянных человеческих жизней, так и с экономической точки зрения, однако

он сравним с ущербом от других проанализированных крупных промышленных и транспортных аварий.

4. Если ядерные энергетические источники будут заменены на традиционные, риск для здоровья населения и окружающей среды значительно возрастет.

5. Причины, потребовавшие развития ядерной энергетики в Советском Союзе, не исчезли, наоборот, со временем они будут становиться все более существенными.

К этим причинам в первую очередь относится необходимость:

- ликвидации географических диспропорций в добыче и потреблении топлива;
- вытеснения нефти и газа в энергетике и оптимизации структуры топливно-энергетического баланса страны;
- экономии трудовых ресурсов.

Кроме того, проводимая модернизация промышленности в европейской части страны требует увеличения производства электроэнергии и, разумеется, более эффективного ее использования. Строительство городов в северной климатической зоне невозможно без производства тепла и электроэнергии с использованием ядерных источников, в противном случае мы не сумеем разрешить транспортные и экологические проблемы.

Таким образом, анализ, которому мы подвергли свое отношение к ядерной энергетике после аварии на ЧАЭС, не привел к изменению наших принципиальных позиций. Мы попрежнему уверены в необходимости ее развития как для экономики Советского Союза, так и для мировой экономики в целом. Наши планы по вводу ядерных энергетических мощностей существенно не изменяются и будут уточнены в новой редакции Энергетической Программы СССР.

Однако авария в Чернобыле, как и аварии на атомных электростанциях в других странах, показывает, что вопросы безопасности в ядерной энергетике до конца еще не решены. Уроки этих аварий для нас и всего мирового сообщества состоят прежде всего в том, что возникающая в процессе научно-технической революции новая сложная техника требует внимательнейшего отношения к вопросам ее безопасности и надежности, не прощает халатного и некачественного обращения.

В Советском Союзе после аварии на ЧАЭС принят комплекс мер как организационного, так и технического характера, направленный на существенное повышение безопасности ядерной энергетики.

В качестве первоочередных были разработаны и осуществлены технические решения, исключающие возможность повторения аварии, подобной чернобыльской, на реакторах типа РБМК.

По результатам анализа аварии разработан комплекс мероприятий по повышению безопасности АЭС всех типов. Этот комплекс включает как реализацию ранее предусмотренных, и осуществление новых мер, связанных в основном с новыми достижениями науки и техники, накопленным опытом эксплуатации, например, по совершенствованию диагностики состояния металла трубопроводов и оборудования, более широкому использованию устройств автоматического управления технологическими процессами. Проводится критический анализ вопросов, связанных с размещением АЭС. Проведены ревизия и оценка состояния расчетных и экспериментальных исследований по обеспечению безопасности АЭС сработаны меры по их расширению, совершенствованию и интенсификации.

Совершенствуются расчетные программы анализа безопасности поведения АЭС во всевозможных переходных и аварийных режимах, включая непроектные, развиваются моделирующие системы и комплексы.

Расширяются исследования по возможности создания реакторов с пассивными системами безопасности — так называемых реакторов с внутренне присущей безопасностью, активные зоны которых не могут разрушаться ни при каких авариях.

Усиливается исследования по количественно-вероятностному анализу безопасности, анализу риска от ядерной энергетики, разработке концептуальных и методологических основ оптимизации радиационной безопасности и сравнения радиационной опасности с другими видами опасностей от промышленной деятельности.

Существующая в СССР система надзора и нормативно-технических документов охватывает все основные вопросы обеспечения безопасности АЭС и продолжает совершенствоваться. Под эгидой Госатомэнергонадзора в 1985 г. в СССР создан Сводный перечень и план разработки правил и норм в области атомной энергетики, координирующий и направляющий деятельность всех ведомств по разработке и систематизации соответствующей нормативно-технической документации.

Существующие нормативные требования, связанные с безопасностью, в основном не нуждаются в пересмотре. Однако их практическая реализация требует более тщательного контроля. Необходимо поднять качество подготовки и переподготовки персонала, усилить контроль со стороны конструкторов и проектировщиков за качеством изготавливаемого оборудования, монтажом и проведением пусконаладочных работ и их ответственность за последующую эффективность и безопасность эксплуатируемых АЭС.

В целях повышения уровня руководства и ответственности за развитие ядерной энергетики, улучшения эксплуатации атомных

электростанций образовано общесоюзное Министерство атомной энергетики.

Намечен ряд мероприятий по усилению государственного надзора за безопасностью в ядерной энергетике. Принимаются меры по повышению ответственности персонала за качество эксплуатации АЭС.

## 5.2. Меры по повышению безопасности АЭС с реакторами РБМК

Важнейшей первоочередной задачей после аварии на ЧАЭС была выработка и осуществление технических решений, которые позволили бы устранить на действующих и строящихся АЭС с реакторами РБМК их особенности, наиболее существенно повлиявшие на развитие аварии и обусловившие увеличение ее масштабов.

За истекший год основные представления о развитии аварии не претерпели существенных изменений.

Продолжались исследования аварийного процесса на интегральных одномерных и трехмерных моделях энергоблока с реактором РБМК-1000. В рамках данных моделей были дополнительно учтены такие факторы, как неоднородность физических характеристик в объеме реактора, возможность двустороннего истечения теплоносителя при повышении давления в активной зоне, транспортное запаздывание в трубопроводах, сжимаемость пароводяной смеси.

Урок Чернобыля заставил считаться с тем, что нарушения регламента могут быть самыми непредсказуемыми. Поэтому в первую очередь необходимо было исключить возможность неконтролируемого разгона реактора при нарушениях технологического регламента.

С этой точки зрения наиболее существенным следует считать, во-первых, положительный паровой коэффициент реактивности  $\alpha_p$  и соответствующий положительный эффект реактивности при обезвоживании активной зоны и, во-вторых, недостаточное быстрое действие АЗ при нарушении требования технологического регламента эксплуатации о минимальных запасах реактивности в переходных и стационарных режимах. Расчеты по разным моделям дают сходные результаты, например, показывают быстрое заглушение реактора при регламентном запасе реактивности (15 стержней) на момент сброса АЗ.

Как известно, перед аварией запас реактивности на IV блоке ЧАЭС был существенно меньше регламентного, и не исключена возможность ввода положительной реактивности в первые секунды после нажатия кнопки АЗ-5. Оценки, выполненные по



одномерным моделям реактора, показали, что при изменении расчетного исходного высотного поля в пределах различий между показаниями разных датчиков и наложении возможных их погрешностей (до 25% при мощности реактора 200 МВт) значения вводимой положительной реактивности могут меняться в пределах  $(0 - 1,5)\beta$ .

Для полного исключения возможности увеличения коэффициента размножения в локальных зонах, возможного введения положительной реактивности при сбросе АЗ и увеличения скоростной эффективности АЗ на начальном участке движения стержней сразу после аварии было принято решение зафиксировать стержни в верхнем положении на глубине 1,2 м в активной зоне (см. рис. 5.1,а,б). Однако это привело к искажению высотных полей и необходимости снижения мощности на 10 — 15%. В настоящее время конструкция стержня изменена за счет удлинения соединительного звена между стержнем и "вытеснителем". Это дало возможность уменьшить высотные перекосы энерговыделения (см. рис. 5.1,в).

Оперативный запас реактивности, компенсируемый стержнями СУЗ, увеличен до 43 — 48 стержней ручного регулирования на РБМК-1000 и до 53 — 58 на РБМК-1500, что существенно повышает быстродействие АЗ на начальном участке опускания стержней, находящихся в средней (по высоте) части активной зоны и обладающих большой дифференциальной эффективностью. В результате начальная скорость ввода отрицательной реактивности стержнями по сигналам АЗ составляет не менее  $0,5\beta_{эф}/с$ . Кроме того, в СУЗ внесены и другие усовершенствования, повышающие надежность и безопасность работы реактора:

- увеличено число укороченных стержней-поглотителей до 32 на РБМК-1000 и до 40 на РБМК-1500, вводимых в активную зону снизу;
- реализована схема ввода укороченных стержней-поглотителей в активную зону по сигналам АЗ;
- обеспечена индикация на цифропоказывающем устройстве запаса реактивности в любом состоянии реактора;
- предусматривается автоматическая остановка реактора при снижении запаса реактивности до 30 стержней ручного регулирования.

Штатные сервоприводы стержней СУЗ модернизируются, что позволит уменьшить время полного ввода стержней по сигналам АЗ с 18 - 20 до 10 - 12 с.

Разрабатывается быстрая аварийная защита, внедрение которой на действующих энергоблоках АЭС должно обеспечить ввод отрицательной реактивности до  $3\beta$ , за 2 - 2,5 с.

При определении первоочередных мероприятий, направленных на снижение  $\alpha_{\phi}$  были использованы расчетные данные, уточняющие характер изменения парового коэффициента реактивности при обезвреживании реактора. Влияние дополнительных поглотителей и числа стержней СУЗ, находящихся в активной зоне, на  $\alpha_{\phi}$  было уточнено в процессе специальных исследований, проведенных на реакторах Чернобыльской и Смоленской АЭС в октябре — ноябре 1986 г.

По результатам этих исследований было принято решение увеличить количество ДП в активной зоне РБМК-1000 до ~80.

Некоторые типичные фактические значения  $\alpha_{\phi}$ , полученные при измерениях на различных блоках АЭС с реакторами РБМК, приведены в табл. 5.1

Таблица 5.1.

Измерение значения  $\alpha_{\phi}$

Блок	Дата измерения	Число ДП	Запас Реактивности (стержней РР)	$\alpha_{\phi}$
ЛАЭС-I	30.03.87г.	80	43	1,0±0,2
ЛАЭС-II	13.03.87г.	79	46	0,8±0,1
ЛАЭС-III	08.05.87г.	80	42	1,1±0,2
ЛАЭС-II	21.11.86г.	81	43	1,0±0,2
ЛАЭС-IV	25.05.87г.	82	43	0,9±0,

Кроме снижения  $\alpha_{\phi}$  за счет установки дополнительных поглотителей и увеличения минимально допустимого запаса реактивности на стержнях СУЗ, приняты и другие меры, направленные на повышение безопасности. В частности, на блочном щите управления смонтирована дополнительная световая панель автоматики, фиксирующая выведение из работы АЗ реактора по каждому из сигналов. Вмешательство оперативного персонала в работу светового табло (гашение сигнала) полностью исключено.

Еще одним направлением по обеспечению безопасности действующих энергоблоков является существенное расширение внутрizonного контроля энерговыделения как по высоте, так и по радиусу активной зоны. С этой целью разработаны проекты и изготовлена партия специальных малогабаритных детекторов энерговыделения, которые устанавливаются на действующих энергоблоках. Разрабатывается проект модернизации существующей системы диагностики и регистрации параметров энергоблока, позволяющий идентифицировать и установить характер развития аварийных ситуаций, а также фиксировать действия оперативного персонала, с выделением усовершенствованной системы в отдельный, не зависимый от имеющейся информационно-вычислительной

системы комплекс с надежным автономным питанием. Большое внимание уделяется работе по созданию систем специального ультразвукового и акустико-эмиссионного контроля состояния металла трубопроводов в процессе эксплуатации.

В текущем году существенно расширен перечень проектных и запроектных аварий, которые подлежат анализу при обосновании безопасности энергоблоков с реакторами РБМК, и такой анализ проводится в настоящее время с учетом изменений физических характеристик реактора и других описанных выше изменений.

Дальнейшие мероприятия по повышению безопасности РБМК связаны с увеличением обогащения топлива. Как следует из расчетных и экспериментальных исследований, увеличение обогащения топлива подпитки с 2 до 2,4% позволяет дополнительно уменьшить паровой коэффициент реактивности. Реакторные испытания 146 ТВС обогащением 2,4% проведены на Ленинградской АЭС, в результате принято решение о переводе РБМК-1000 на такое топливо (табл. 5.2). Применение в активной зоне умеренного числа дополнительных поглотителей (до 80) при загрузке топливом обогащением 2,4% позволит снизить  $\alpha_{\phi}$  до значения, меньшего  $\beta_{эф}$ . В то же время при загрузке активной зоны топливом обогащением 2,4% и 80 дополнительных поглотителях глубина выгорания топлива будет даже несколько превышать глубину выгорания топлива 2%-ного обогащения при прежних условиях эксплуатации.

Таблица 5.2.

**Основные характеристики РБМК-1000 при использовании топлива различного обогащения**

Характеристика	Начальное обогащение, %											
	2	2,4	3	2	2,4	3	2	2,4	3	2	2,4	3
Число дополнительных поглотителей в реакторе, шт.		0			30			80			110	
$\alpha_{\phi}$ , $\beta_{эф}$	4,5	3,2	1,3	3,4	2,1	0,2	1,6	0,2	-1,5	0	-2,6	-5,1
Глубина выгорания топлива, МВт.сут/кг	22,3	28,8	37,6	20,7	27,1	36,0	18,0	24,5	33,4	16,3	22,7	31,6
Максимальная линейная нагрузка, Вт/см	315	350	390	305	340	380	285	320	360	270	300	340

Для строящихся реакторов рассматривается возможность снизить паровой эффект реактивности, уменьшив количество графита в ячейке и реакторе, в частности, за счет срезания ребер графитовых блоков. Уменьшение количества замедлителя в активной

зоне реактора за счет срезания ребер графитовых блоков позволит получить требуемый паровой коэффициент без изменения геометрического шага каналов в активной зоне (размер катета основания отсекаемой треугольной призмы должен составлять 5 — 7 см), снизить начальную мощность свежагружаемой ТВС, увеличить вовлечение в топливный цикл урана-238. Чувствительность глубины выгорания к количеству графита в ячейке невелика (изменение размера катета основания отсекаемой треугольной призмы на 1 см вблизи оптимального значения эффективного шага приводит к уменьшению глубины выгорания топлива на 0,04%).

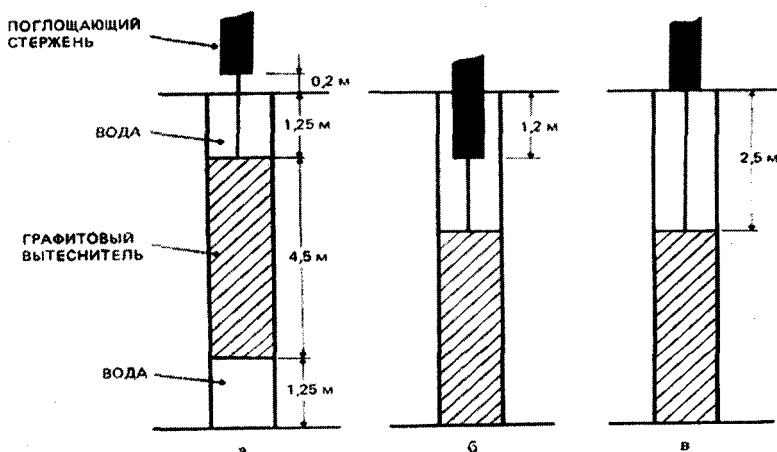


РИС. 5.1. КРАЙНЕЕ ВЕРХНЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ РЕГУЛИРУЮЩЕГО СТЕРЖНЯ АЗ ОТНОСИТЕЛЬНО АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА. ПРИНЯТОЕ ДО АВАРИИ (а), ПОСЛЕ АВАРИИ (б) И В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ (в)

### 5.3. Меры по повышению безопасности АЭС с реакторами ВВЭР

Реакторы типа ВВЭР являются ведущими и перспективными в Энергетической Программе СССР, их уровень безопасности соответствует международным требованиям, но и на АЭС с ВВЭР проводятся мероприятия по повышению безопасности, необходимость которых была вызвана:

- анализом фактического состояния корпусов в отношении их способности сопротивления хрупкому разрушению;
- выводами из аварии на АЭС "Три-Майл Айленд";
- анализом аварии в Чернобыле.

На основании результатов исследования образцов-свидетелей корпусной стали и данных фактического состава металла корпуса,

в первую очередь сварного шва, расположенного в районе активной зоны, был предложен ряд конструктивных и технологических изменений, которые позволяют без опасений реализовать проектный ресурс корпусов. Были разработаны меры как по уменьшению вероятности попадания относительно холодной воды на корпус реактора, так и по снижению флюенса нейтронов на корпус.

Ряд серьезных мероприятий по повышению безопасности ВВЭР в условиях возникновения малых и средних течей был осуществлен после аварии на АЭС "Три-Майл Айленд".

В проектах ВВЭР-1000 была реализована система принудительного снижения давления в первом контуре, облегчающая подачу раствора борной кислоты в контур при неблагоприятном развитии аварии с течью. Предусмотрены дополнительные возможности выброса водорода, если бы он скопился под крышкой реактора и в коллекторах парогенераторов, и дренирования U-образного участка в холодной нитке главного циркуляционного трубопровода.

Авария в Чернобыле заставила еще раз обратиться к вопросам о способности активных зон реакторов атомных электростанций за счет внутренних защитных свойств предотвращать повреждение ядерного топлива и о достаточности мер по обеспечению безопасности населения, если такая авария, как плавление активной зоны, с высокой вероятностью исключаемая проектными средствами, все-таки случится.

Для АЭС с реакторами ВВЭР-440 первого поколения принято решение о реконструкции с введением дополнительных пассивных и активных систем охлаждения активной зоны и установкой на трубопроводах большого диаметра акустико-эмиссионных и шумовых систем диагностики.

Для проектов ВВЭР рассматриваются следующие направления повышения их безопасности:

- разработка активных зон с повышенной внутренней безопасностью;
- увеличение надежности основного и вспомогательного оборудования АЭС;
- обеспечение пассивного отвода остаточных тепловыделений от активной зоны в условиях длительного полного обесточивания блока, включая потерю источников надежного питания переменного тока (дизелей);
- оснащение АЭС автоматизированной системой управления технологическим процессом, имеющей повышенную надежность и включающую в себя современные системы диагностики состояния основного оборудования АЭС.

Мероприятия по повышению безопасности ставят целью исключить возможность серьезного повреждения активной зоны из-за плавления топлива или недопустимой скорости выделения энергии во всех аварийных ситуациях с вероятностью  $10^{-5}$ — $10^{-6}$  1/(год.реактор), при этом вероятность выхода радиоактивных продуктов за пределы защитных барьеров, с превышением допустимого уровня облучения населения и загрязнения окружающей среды, не должна превышать  $10^{-7}$  1/(год.реактор).

#### 5.4. Совершенствование подходов к обеспечению безопасности ядерной энергетики

Анализ причин и последствий аварии на ЧАЭС не выявил необходимости пересмотра общей концепции обеспечения безопасности ядерной энергетики, которая как в СССР, так и в других странах базируется на многобарьерной системе изоляции от окружающей среды радиоактивных веществ, находящихся в ядерном реакторе, и комплексе инженерных и организационных мер, обеспечивающих безопасную работу АЭС.

В СССР были интенсифицированы исследования по дальнейшему совершенствованию превентивных мер безопасности и мер по уменьшению и ликвидации последствий аварии. Определен ряд областей приложения усилий для наиболее эффективного повышения безопасности ядерной энергетики. В частности, многочисленные научные исследования, выполненные в период после аварии, показали следующее.

1. Безопасность АЭС должна совершенствоваться на пути оптимизации взаимодействия трех ее главных элементов — технических средств, эксплуатационных процедур и персонала. Здесь в первую очередь необходимо указать, что авария на ЧАЭС выявила недостатки в действовавшей концепции человек — машина, когда при управлении инженерными устройствами предпочтение отдавалось действиям человека-оператора. Анализ аварии показал, что ряд систем безопасности должен функционировать исключительно на основании сигналов технических систем контроля параметров установки, а не по указаниям операторов. Примером реализации такого подхода на реакторах РБМК может служить установленная на них автоматизированная система расчета оперативного запаса реактивности с выдачей сигнала аварийной остановки реактора при уменьшении запаса реактивности ниже заданного уровня.

Другой вывод из аварии на ЧАЭС, касающийся рассматриваемой области, — необходимость более глубокой подготовки операторов АЭС и оснащение их компьютеризованными системами-

помощниками, т.е. системами, которые могли бы подсказать оператору возможные причины отклонений в работе установки, вели бы его в поиске причин и средств устранения неисправностей. Одним из средств построения таких систем может быть создание по возможности полных и непротиворечивых банков знаний наиболее опытных операторов, их приемов анализа причинно-следственных зависимостей отклонений реактора от нормального состояния. В СССР проводятся работы в этом направлении. Эти работы сопровождаются также совершенствованием технических средств, снабжающих оператора информацией о работе АЭС и развитии аварийных ситуаций.

В плане оптимизации отношений человек — машина в ядерной энергетике задача по повышению квалификации персонала, совершенствованию методов его обучения смыкается с задачей создания более простых в управлении реакторов, обеспечения оптимальных условий работы операторов.

Сюда в первую очередь относятся:

- вопросы дальнейшей оптимизации распределения ответственности между оператором и техническими средствами в принятии решений по управлению реактором;
- проблема рационального представления оператору текущей информации о функционировании реактора.

И самое главное в долгосрочном плане — повышение уровня внутренне присущей реакторам безопасности, вплоть до создания реакторных систем, физико-химические и конструкционные свойства которых не позволят произойти аварии при любых ошибках оператора, нарушениях регламента эксплуатации или выходе из строя элементов оборудования.

Вопрос оптимизации отношений человек — машина актуален для всех современных технологий. Во многих из них, как и в ядерной энергетике, он все еще далек от своего окончательного решения. Работа в этой области требует значительных материальных и людских затрат как на пути теоретического осмысливания проблемы, так и для проведения экспериментов и создания надежных и полных математических моделей, описывающих функционирование сложных систем. Поэтому важное значение приобретает международная кооперация усилий в этом направлении.

2. Безопасность ядерной энергетики должна совершенствоваться на основе разработки строго научно обоснованных целей и критериев безопасности. В этой области основополагающим является ответ на вопрос о том, какой уровень безопасности является приемлемым. До последнего времени как в СССР, так, по видимому, и в большинстве других стран подавляющая доля средств,

расходуемых на безопасность в ядерной энергетике и в других областях промышленности, затрачивалась на совершенствование технических систем контроля и упреждения аварийных ситуаций. Аварии на ЧАЭС, на АЭС "Три-Майл Айленд" в США, на химических предприятиях (например, в городах Бхопале и Базеле) и т.д. показали, что, несмотря на принятые меры безопасности, всегда может произойти что-то непредвиденное либо из-за серии механических поломок, либо в результате ошибок оператора. Представляется, что один из главных уроков, который следует извлечь из этих аварий, состоит в осознании необходимости оптимизации распределения затрат на предотвращение аварий и ограничение и ликвидацию их последствий. Основой для такой оптимизации может быть определение величины приемлемого уровня безопасности.

Из-за одностороннего внимания к средствам предотвращения аварий в обществе возникает чрезмерная успокоенность относительно возможности крупных аварий и в результате промышленность технически и организационно не всегда оказывается готовой к ограничению и ликвидации последствий крупномасштабных аварий.

Так, при аварии на ЧАЭС оказалось необходимым многие технические и технологические решения принимать уже в ходе ликвидации аварии в экстремальных условиях. Потребовалось проведение срочных и широкомасштабных экспериментальных работ, которые могли и должны были бы быть выполнены заблаговременно. При аварии выявился недостаток измерительных средств, рассчитанных на эксплуатацию в широком диапазоне измеряемых параметров. На начальном этапе работ по ликвидации последствий аварии практически отсутствовали средства, позволяющие дистанционно производить пробоотбор в аварийных условиях, совершать другие необходимые технологические операции. В настоящее время в СССР решается задача о создании специального оборудования для ликвидации крупных аварий.

К этому же кругу вопросов относится и проблема оперативной готовности использования возможностей фундаментальной и прикладной науки для целей ликвидации последствий крупномасштабной аварии. Необходимо указать на важную роль в ликвидации и снижении масштабов аварии информационно-решающей, прогнозирующей и рекомендующей системы, включающей в себя комплекс имитационных моделей: модель экономики региона, математические модели различной степени сложности, позволяющие описать поведение химических, радиоактивных примесей в атмосфере, почве, открытых водоемах и грунтовых водах, миграцию примесей по пищевым цепочкам.



Задача такой информационно-решающей системы — оперативно обеспечить специальные силы по ликвидации аварии информацией о возможных сценариях развития послеаварийной ситуации, о соответствующем влиянии этих сценариев на экологию и экономику региона и, наконец, оперативно представить возможные варианты решений по уменьшению ущерба от аварии (например, по планам эвакуации населения).

Необходимость значительного расширения масштабов исследований и моделирования аварийных ситуаций была выявлена и при анализе эффективности имевшихся на ЧАЭС аварийных планов.

Таким образом, авария на ЧАЭС поставила вопрос о необходимости ускорения широкомасштабных теоретических и экспериментальных исследований, направленных на изучение сценариев серьезных аварий на АЭС. С этой целью:

- усилены исследования по количественно-вероятностному анализу безопасности, анализу риска от ядерной энергетики, разработке концептуальных и методологических основ оптимизации радиационной безопасности и сравнения радиационной опасности с другими видами опасностей от промышленной деятельности;
- проведены ревизия и оценка состояния расчетных и экспериментальных исследований по обеспечению безопасности АЭС и выработаны меры по их расширению, совершенствованию и интенсификации;
- совершенствуются расчетные программы анализа безопасности поведения АЭС во всевозможных переходных и аварийных режимах, включая непроектные, развиваются моделирующие системы и комплексы.

3. Безопасность ядерной энергетики должна совершенствоваться на основе оптимального выбора местоположения АЭС и других промышленных предприятий. Стремление к наибольшей экономичности, к максимальному использованию однажды сделанных вложений в промышленность, транспортные коммуникации, социально-бытовую сферу какого-либо региона вызывает насыщение этого региона различными предприятиями, в том числе и АЭС, без должного изучения их взаимодействия. И может случиться так, что авария на одном из них и не была бы значительной по последствиям, если бы не ее воздействие на соседний объект с возможным многократным усилением поражающих факторов. Эффект от возможного взаимовлияния разных объектов в зависимости от их мощности и плотности размещения становится все более существенным, и экономический ущерб от аварийных последствий, вызванных близостью различных предприятий, может превысить выгоды, связанные с близостью сырьевой базы или

транспортными удобствами. Чтобы задачи размещения решались оптимально, необходимо управляемое совместное действие специалистов разного профиля, способных прогнозировать воздействие разнохарактерных факторов, в том числе неспецифичных для данного конкретного производства, самое широкое использование методов математического моделирования.

В СССР эта деятельность по выбору площадок для АЭС и других промышленных объектов до аварии на ЧАЭС была дифференцирована по отраслям и типам производства. В настоящее время поставлена задача разработки единого подхода в этой области. Она потребует существенного увеличения масштаба расчетных и экспериментальных работ в этом направлении.

4. Безопасность ядерной энергетики должна совершенствоваться не только на собственном эксплуатационном опыте, но и на опыте, полученном при эксплуатации сложных систем в других отраслях промышленности. Сравнительный анализ аварии на ЧАЭС с другими крупными авариями как в ядерной энергетике (например, авария на американской АЭС "Трей-Майл Айленд"), так и в других отраслях промышленности (например, аварии на хранилище сжиженного газа в Мексике в 1984 г., на химическом предприятии в индийском городе Бхопале в том же году и т.д.) позволяет выявить очевидное подобие их причин. Масштабы крупных промышленных аварий главным образом определяются общепромышленной тенденцией роста единичных мощностей технологических блоков.

Развитие современных технологий, направленных на повышение уровня жизни населения, в то же время приводит к появлению возможности крупных аварий с разрушительными последствиями для окружающей среды, тяжелыми последствиями для общества. Это требует глубокого осмысливания и энергичных действий, направленных на совершенствование технологических процессов и промышленных структур с позиций безопасности. Это возможно только на основе объединения исследований по безопасности в единую научную дисциплину промышленной безопасности, способную найти не только качественно новые направления по повышению безопасности современных технологий, но и определить общие принципы и методы создания технологий следующего поколения. В рамках такой единой научной дисциплины, изучающей проблемы безопасности в промышленности, должна совершенствоваться и безопасность в ядерной энергетике.

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Авария на IV блоке ЧАЭС потребовала мобилизации значительных сил и средств для ограничения и ликвидации ее последствий. В этой работе участвовали многие министерства, ведомства и научные организации СССР. Правительства и различные организации ряда стран предложили свою помощь. Эта помощь с благодарностью была принята.

На первом этапе потребовались немедленные действия по предотвращению развития аварии и защите здоровья населения, персонала АЭС и лиц, участвовавших в противоаварийных работах.

В конце 1986 г. было завершено строительство Укрытия и осуществлен пуск I и II блоков ЧАЭС. Среди других работ этого же периода следует отметить необходимые мероприятия по обеспечению нормальных условий жизни эвакуированного населения, медико-санитарные и сельскохозяйственные мероприятия, дезактивационные работы на площадке АЭС и в 30-километровой зоне, организацию и осуществление радиационного мониторинга.

Осуществление крупномасштабных работ по ликвидации последствий аварии в короткие сроки стало возможным в результате способности советского общества мобилизовать имеющиеся средства, сконцентрировать их на целевых задачах и обеспечить высокую организацию проводимых мероприятий.

Авария на ЧАЭС потребовала критического анализа состояния безопасности ядерной энергетики с целью достижения более высокого ее уровня.

Прежде всего, предметом анализа стали причины, ход и последствия аварии, противоаварийные мероприятия и их эффективность. Были разработаны и реализованы первоочередные мероприятия по повышению безопасности АЭС с РБМК. В более широком плане были рассмотрены все аспекты обеспечения безопасности, в том числе:

- технические средства;
- управление и подготовка персонала;
- организационное и нормативное обеспечение;
- научно-техническое обеспечение;
- аварийные планы и средства их обеспечения.

На основе этого анализа был разработан долгосрочный план совершенствования безопасности ядерной энергетики, включающий в себя работы по всем отмеченным направлениям. В этом плане значительное внимание уделяется вопросам совершенствования управления и взаимодействия человек — машина. К ним относятся совершенствование средств автоматики и контроля,

информационного обеспечения, подготовки персонала, особенно к действиям в аварийных условиях. Разрабатываются программы и организуются долгосрочные исследования по изучению отдаленных последствий аварии, а также мероприятий по их ограничению и ликвидации.

Поставлена задача совершенствования научно-методических основ оценки, анализа и управления безопасностью.

Большое значение придается работам по созданию ядерных энергетических реакторов нового поколения с так называемыми внутренне присущими свойствами безопасности.

Причины и масштабы больших аварий на АЭС нельзя считать исключительным свойством ядерных установок. Как и крупные аварии в неядерных областях, они, главным образом, определяются общепромышленной тенденцией роста единичных мощностей технологических блоков, вовлечением в производство большого количества разнообразных вредных веществ, усложнением системы управления, недостатками во взаимодействии человек — машина и т.п.

Критический анализ, которому была подвергнута ядерная энергетика после аварии на ЧАЭС, не привел к изменению наших позиций в отношении развития ядерной энергетики в СССР и в мире в целом. Наши планы по вводу ядерных энергетических мощностей существенным образом не изменились.

Однако авария на ЧАЭС, как и другие аварии в ядерной и неядерной областях, указывает на необходимость повышения уровня безопасности в ядерной энергетике и других отраслях промышленности. Уроки этих аварий для нас и всего мирового сообщества состоят прежде всего в том, что возникающая в процессе научно-технической революции новая сложная техника требует внимательнейшего отношения к вопросам ее безопасности и надежности, не прощает халатного и неквалифицированного обращения.

## Список литературы

1. Авария на ЧАЭС и ее последствия: Информация, подготовленная для совещания экспертов МАГАТЭ (25 — 29 авг. 1986 г., Вена, Австрия). — ГКАЭ СССР, 1986, ч. 1 и 2.
2. Израэль Ю.А., Соколовский В.Г., Соколов В.Е. и др. Экологические последствия радиоактивного загрязнения природных сред в районе аварии Чернобыльской АЭС/Докл. на XIV сессии Совета управляющих ЮНЕП (Найроби, Кения, июнь 1987 г.).
3. Израэль Ю.А., Петров В.Н., Авдюшин С.И. и др. Радиоактивное загрязнение природных сред в зоне аварии на Чернобыльской АЭС. — Метеорология и гидрология, 1987, № 2.
4. Маслов В.П., Мясников В.П., Данилов В.П. Математическое моделирование аварийного блока Чернобыльской АЭС. — М.: Наука, 1987 (в печати).
5. Израэль Ю.А., Петров В.Н., Северов О.А. Моделирование радиоактивных выпадений в ближней зоне от аварии на Чернобыльской атомной электростанции. — Метеорология и гидрология, 1987, № 7.
6. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных электростанций СП АЭС — 79. — М.: Энергоатомиздат, 1985, с. 35.

## Список сокращений

АВР	- автоматическое включение резерва
АЗ	- аварийная защита
АЗ-5	- сигнал к вводу в активную зону всех регулирующих стержней аварийной защиты
АМН	- Академия медицинских наук
АН	- Академия наук
АЭС	- атомная электростанция
БССР	- Белорусская Советская Социалистическая Республика
ВВЭР	- водо-водяной энергетический реактор
ГКАЭ	- Государственный комитет по использованию атомной энергии СССР
Госагропром	- Государственный агропромышленный комитет СССР
Госатомэнергонадзор	- Государственный комитет СССР по надзору за безопасным ведением работ в атомной энергетике
Госкомгидромет	- Государственный комитет СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды
ДП	- дополнительный поглотитель
ДС	- система диагностики
ЗТ	- загрязненная территория
ИАЭ	- Институт атомной энергии им. И.В. Курчатова

ИДК	- информационно-диагностический комплекс
КАЭС	- Курская АЭС
КИП	- контрольно-измерительные приборы
КМПЦ	- контур многократной принудительной циркуляции
КОСУЗ	- контур охлаждения СУЗ
ЛАЭС	- Ленинградская АЭС
Минздрав	- Министерство здравоохранения СССР
МПЦ	- многократная принудительная циркуляция
ПДК	- предельно-допустимая концентрация
РБГ	- радиоактивные благородные газы
РБМК	- реактор большой мощности канальный
РР	- ручной регулятор
РСФСР	- Российская Советская Федеративная Социалистическая Республика
СПИР	- система продувки и расхолаживания
СУЗ	- система управления и защиты
с/х	- сельскохозяйственный
ТВС	- тепловыделяющая сборка
ТГ	- турбогенератор
ТК	- технологический канал
УССР	- Украинская Советская Социалистическая Республика
УФ	- ультрафиолетовый
ЧАЭС	- Чернобыльская АЭС
ЭВМ	- электронно-вычислительная машина

СЕРИЯ ИЗДАНИЙ ПО БЕЗОПАСНОСТИ, № 75-INSAG-1

**ИТОГОВЫЙ ДОКЛАД О СОВЕЩАНИИ ПО  
РАССМОТРЕНИЮ ПРИЧИН И ПОСЛЕДСТВИЙ  
АВАРИИ В ЧЕРНОБЫЛЕ**

**Доклад Международной  
Консультативной группы по ядерной безопасности**

**МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ  
ВЕНА, 1988**





## ПРЕДИСЛОВИЕ

### Генерального директора

Одна из главных функций Международного агентства по атомной энергии — служить в качестве форума, где государства-члены могут учиться на опыте других и сотрудничать в деле мирного использования ядерной энергии. Во время моего визита в Москву 9 мая 1986 г. СССР выразил готовность предоставить МАГАТЭ информацию относительно аварии в Чернобыле. 21 мая Совет управляющих принял решение созвать для обсуждения аварии заседание экспертов по вопросам ядерной безопасности. Было решено также, что результаты этого совещания и рекомендации относительно дальнейших действий МАГАТЭ должны быть переданы Совету управляющих перед его сессией в сентябре 1986 г., чтобы содействовать государствам—членам МАГАТЭ в изучении опыта этой аварии и таким образом повысить безопасность в ядерной энергетике.

Совещание по рассмотрению причин и последствий аварии проходило в Вене 25–29 августа 1986 года под председательством швейцарского ученого-ядерщика, бывшего заместителя Генерального директора МАГАТЭ, г-на Р. Рометча.

Я обратился с просьбой к МКГЯБ (Международной консультативной группе по ядерной безопасности) принять участие в этом совещании и подготовить доклад, обобщающий полученную информацию и результаты дискуссий на совещании, а также содержащий рекомендации МКГЯБ относительно дальнейших действий.

Большое число экспертов из государств—членов МАГАТЭ и из других международных организаций приняли участие в работе совещания. Они получили от советских экспертов подробную информацию об аварии и использовали свои знания в обсуждении конкретных вопросов, а также способствовали разработке конкретных предложений по результатам совещания. В течение недели после совещания МКГЯБ эксперты-консультанты подготовили в соответствии с моей просьбой этот доклад, опираясь на помощь назначенных МАГАТЭ экспертов по широкому кругу вопросов ядерной безопасности и радиационной защиты, а также ряда советских экспертов, привлеченных к работе МКГЯБ.

Активная дискуссия между экспертами в ходе этого недельного совещания привела, как указывается в докладе МКГЯБ, к воссозданию более ясной картины эволюции аварии и ее последствий, что отражено в докладе. С учетом предложений, выдвинутых в ходе совещания в свете большего понимания аварии, МКГЯБ представляет в докладе свои рекомендации относительно дальнейших мероприятий.

Некоторые мероприятия предполагают сотрудничество между МАГАТЭ и другими международными организациями, такими как ВОЗ, ВМО, ФАО и НКДАР ООН, и уже намечено обсудить вопросы организации такого сотрудничества.

В докладе МКГЯБ, который не подменяет подготовленные советскими экспертами рабочие документы, синтезированы и сведены воедино письменные и устные доклады советских экспертов и результаты дискуссий между участниками, с тем чтобы авария и ее последствия могли быть поняты техническими специалистами и нетехническими мыслящими политиками. Таким образом, доклад может служить в качестве важного исходного материала для дальнейшего рассмотрения значения аварии в Чернобыле.

Доклад МКГЯБ закладывает прочную основу для действий, которые, по моему мнению, мы должны осуществлять, не дожидаясь выводов, которые будут сделаны в дальнейшем. Как мне представляется, МАГАТЭ должно сейчас действовать в предложенных МКГЯБ направлениях без промедления, с тем чтобы расширить программу ядерной безопасности и радиационной защиты. Я считаю, что Совет управляющих сочтет данный доклад информативным и полезным при оценке планов наших мероприятий.

Я хотел бы выразить благодарность всем, кто работал столь активно над составлением этого доклада: председателю и другим членам МКГЯБ, экспертам—консультантам МКГЯБ, экспертам, назначенным МАГАТЭ, советским экспертам, которые были привлечены к работе МКГЯБ, техническим сотрудникам МАГАТЭ и другим сотрудникам, оказавшим большую помощь.

Отдавая себе отчет в том, сколь серьезными могут быть последствия ошибок в ядерной области, жизненно важно тщательно изучить каждую ошибку и извлечь из нее уроки. Все, кто участвовал в работе совещания по рассмотрению причин и последствий аварии в Чернобыле и подготовке данного доклада, способствовали проведению тщательного исследования и позволили всем нам извлечь серьезные уроки из печального опыта Чернобыля, содействуя тем самым укреплению ядерной безопасности.

## СОДЕРЖАНИЕ\*

### КРАТКИЙ ОБЗОР

1. Введение .....	145
2. Совещание по рассмотрению причин и последствий аварии ....	145
3. Доклад МКГЯБ .....	146
4. Описание четвертого блока Чернобыльской АЭС .....	147
5. Описание аварии .....	148
6. Оперативные действия на площадке АЭС .....	149
7. Выброс радионуклидов .....	150
8. Перенос радионуклидов через окружающую среду и облучение отдельных лиц из числа населения .....	151
9. Последствия для здоровья .....	152
10. Ликвидация последствий аварии и дезактивация .....	153
11. Общие замечания и выводы .....	154

### ВВЕДЕНИЕ

1. Цель настоящего доклада .....	159
2. Рассматриваемые в докладе вопросы .....	159
3. Подготовка доклада .....	160

### Раздел I: АВАРИЯ НА БЛОКЕ №4 ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

1. Обзор обстоятельств аварии .....	161
2. Описание события .....	164
3. Хронология событий .....	174
4. Главные факторы, способствовавшие возникновению аварии ..	176
5. Меры по улучшению безопасности .....	177
6. Уроки и рекомендации .....	178

### Раздел V: ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ, ТРЕБУЮЩИЕ ДАЛЬНЕЙШЕГО ОБСУЖДЕНИЯ

Проблема № 1. Оценка регламентов безопасности .....	180
Проблема № 2. Рабочий анализ последовательности событий при аварии .....	181
Проблема № 3. Реальность создания защитной оболочки, способной выдержать такую аварию .....	181
Проблема № 4. Значение взаимодействия "человек—машина" для точного определения начала аварии .....	182
Проблема № 5. Совершенствование теоретических знаний для оценки "характеристик радиоактивного выброса" ...	182

\* В настоящей публикации текст разделов II, III, IV и Приложения не приводятся.

Проблема № 6. Меры по ликвидации аварий на площадке .....	183
Проблема № 7. Опыт в области эксплуатационной безопасности ..	183
Проблема № 8. Дезактивация площадки .....	184
Проблема № 9. Модели прогнозирования рассеивания радионуклидов .....	184
Проблема №10. Радиационная защита .....	185

## Раздел VI: ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ВЫВОДЫ

A. Ядерная безопасность .....	187
1. <i>Не выявлено никаких новых физических явлений</i>	
2. <i>Необходимо создать "культуру безопасности"</i> <i>на всех действующих АЭС</i>	
3. <i>Проекты реакторов должны действительно воплощать концепцию</i> <i>эшелонированной защиты.</i>	
4. <i>Вновь подчеркнуто значение удовлетворительного взаимодействия</i> <i>человека и машины</i>	
B. Радиационная защита .....	190
1. <i>Оперативное принятие мер</i>	
2. <i>Выброс радионуклидов</i>	
4. <i>Поздние стохастические последствия для здоровья</i>	
5. <i>Дезактивация</i>	
6. <i>Итоговое заключение</i>	

## Раздел VII: РЕКОМЕНДАЦИИ

A. Ядерная безопасность .....	195
1. <i>Проведение дальнейших исследований с учетом принятых</i> <i>решений</i>	
2. <i>Дальнейшая деятельность МАГАТЭ и другие международные</i> <i>мероприятия</i>	
B. Радиационная защита .....	197
1. <i>Меры по выполнению принятых решений</i>	
2. <i>Дальнейшая деятельность МАГАТЭ и другие международные</i> <i>мероприятия</i>	
C. Общие замечания .....	200
СПИСОК УЧАСТНИКОВ .....	201

## **КРАТКИЙ ОБЗОР**

### **1. ВВЕДЕНИЕ**

26 апреля 1986 года в 1 час. 23 мин. на четвертом блоке Чернобыльской АЭС, расположенной на территории Украинской ССР в Советском Союзе произошла авария, которая привела к разрушению активной зоны реактора и части здания, в котором он расположен. Большие количества радиоактивных веществ активной зоны реактора были выброшены из здания в окружающую среду. Из-за выброса раскаленных веществ начались пожары, что усложнило ситуацию и привело к подъему еще большего количества радиоактивных веществ на большую высоту в воздух. Мужественные действия советских аварийных бригад, начавшиеся сразу же после аварии и продолжавшиеся на протяжении последующих нескольких дней, эффективно снизили этот дополнительный выброс радиоактивных веществ. 31 человек эксплуатационного персонала станции и аварийных бригад отдали свои жизни, чтобы остановить выбросы и смягчить последствия аварии.

Большая часть выброшенных радиоактивных веществ переносилась в форме газов и частиц пыли воздушными потоками. В результате радиоактивные вещества рассеялись на большие расстояния, причем большая часть из них осталась на территории Советского Союза.

### **2. СОВЕЩАНИЕ ПО РАССМОТРЕНИЮ ПРИЧИН И ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ**

МАГАТЭ и Советский Союз договорились провести в Вене совещание по рассмотрению причин и последствий аварии. Это совещание проходило с 25 по 29 августа 1986 года.

На совещании ведущие советские ученые и инженеры-ядерщики представили доклад, в котором содержались основная техническая информация о Чернобыльской АЭС, описание причин аварии, последовательность событий во время аварии, ее последствия и принятые контрмеры. Советские эксперты также рассказали о технических, медицинских программах и о программах по исследованию окружающей среды, начатых после аварии. Эти исследования должны дать новую информацию относительно рисков, связанных с ядерной энергетикой, и воздействия ионизирующего излучения на здоровье человека.

Откровенное и открытое изложение материалов советскими экспертами было хорошо встречено участниками. По общему мнению, результаты совещания превзошли ожидания. После выступлений советских участников было задано много вопросов в письменном виде, отражающих желание уточнить некоторые подробности, которые необходимы для того, чтобы можно было воспользоваться полученной информацией.

Было продемонстрировано общее мнение относительно необходимости укрепления международного сотрудничества в области ядерной и радиационной безопасности. Представляется, что проведенные обсуждения смогли помочь советским экспертам в планировании необходимой исследовательской программы.

### 3. ДОКЛАД МКГЯБ

Генеральный директор МАГАТЭ предложил Международной консультативной группе по ядерной безопасности (МКГЯБ) подготовить на основе представленной и обсужденной информации и дискуссии краткий доклад о работе совещания. Он также высказал просьбу, чтобы этот доклад был представлен ему для рассмотрения и передачи Совету управляющих МАГАТЭ до начала его заседания в сентябре. Доклад также должен был содержать рекомендации МКГЯБ, касающиеся дальнейшей деятельности.

Основная часть этого доклада взята из хорошо подготовленной информации, представленной советскими экспертами на совещание (подготовленные Государственным комитетом по использованию атомной энергии СССР рабочие документы "Авария на Чернобыльской АЭС и ее последствия", информация представлена на совещание экспертов МАГАТЭ, проходившего с 25 по 29 августа 1986 года в г. Вене), а также из дополнительного материала, представленного советскими экспертами во время совещания (диапозитивы совещания по рассмотрению причин и последствий аварий, части I и II). Этот материал вряд ли может быть еще более сжато представлен в данном кратком обзоре; приведены только основные моменты. Доклад МКГЯБ содержит обобщенные результаты многих полезных обсуждений на заседаниях рабочей группы, проведенных между советскими экспертами и приглашенными специалистами, назначенными МАГАТЭ специалистами для обсуждения, экспертами из состава персонала МАГАТЭ и, наконец, самими членами МКГЯБ. В результате этого появилось более четкое понимание, хотя часть из сообщенной информации является предварительной, вследствие имеющихся на этой ранней стадии неопределенностей относительно подробностей. В самом

деле было бы удивительным, если бы этот доклад, изданный после столь короткого времени для подготовки и в то время, когда многие вопросы все еще требуют своего анализа, оказался бы точным во всех деталях. МКГЯБ поэтому пришлось взять на себя ответственность в формулировании выводов и рекомендаций, касающихся дальнейшей деятельности. Основная задача этого доклада и состоит в том, чтобы изложить эти предварительные выводы и рекомендации, подготовленные на основании имеющейся информации, которая все еще носит предварительный характер. Тем не менее, доклад отражает консенсус членов МКГЯБ.

#### 4. ОПИСАНИЕ ЧЕТВЕРТОГО БЛОКА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Четвертый блок Чернобыльской АЭС, с рабочей мощностью 1000 МВт (эл.), 3200 МВт (тепл.) является одним из 15 реакторов типа РБМК, эксплуатируемых в Советском Союзе. В Чернобыле в эксплуатации находились четыре реакторами, два других реактора находятся в стадии строительства. Реакторы РБМК обычно строятся попарно, при двух блоках, занимающих противоположные стороны единого комплекса постройки. Блоки №№3 и 4 Чернобыльской АЭС объединены подобным образом и связаны с некоторыми общими системами станции.

Реактор является реактором с графитовым замедлителем и с каналами под давлением. Он охлаждается посредством циркуляции легкой воды, которая достигает температуры кипения в верхних участках вертикальных герметичных труб для производства пара. Пар образуется в двух петлях охлаждения, к каждой из которых подключено по 840 топливных каналов, два паросепаратора, четыре циркуляционных насоса и соответствующее оборудование. Сепараторы пара подают пар непосредственно на два электрических турбогенератора по 500 мегаватт, каждый из них снабжен конденсатором и системой питательной воды. Перегрузка реактора осуществляется на мощности при использовании специальной перегрузочной машины.

Основная часть контура теплоносителя находится в нескольких герметичных помещениях. Эти помещения соединены с заполненными водой системами подавления, расположенными ниже реактора, для отвода и конденсации пара, который может попасть в помещение вследствие любой утечки теплоносителя.

Существенное отличие представляет собой верхняя часть реактора, особенно верхний и нижний узлы на каналах, предназначенные для выгрузки и загрузки топлива и расположенные над активной зоной. При стационарном облучении топлива реактор РБМК

обладает положительным паровым коэффициентом реактивности. Однако температурный коэффициент топлива отрицателен, и чистый эффект от изменения мощности зависит от уровня мощности. При нормальных условиях эксплуатации чистый эффект (мощностной коэффициент) при полной мощности является отрицательным и становится положительным при снижении мощности ниже приблизительно 20% от полной. Эксплуатация реактора на мощности ниже 700 МВт(тепл.) ограничивается правилами эксплуатации ввиду проблем, связанных с поддержанием теплогидравлических параметров в нормальном рабочем диапазоне.

В реакторе РБМК имеется 211 стержней-поглотителей, которые используются для управления общим и пространственным распределением энерговыделения и для аварийной защиты. Аварийная защита в реакторе РБМК обеспечивается введением всех стержней -поглотителей в активную зону со скоростью, достигающей 0,4 м/с. Для обеспечения требуемого распределения энерговыделения и эффективности использования отрицательной реактивности в аварийных условиях, правилами предписывается, что не менее 30 эффективных стержней должны оставаться введенными в активную зону реактора.

## 5. ОПИСАНИЕ АВАРИИ

Авария произошла во время испытания, которое должно было проводиться с турбогенератором во время нормальной запланированной остановки реактора. Предполагалось проверить способность турбогенератора во время полного отключения энергоснабжения станции подавать электрическую энергию в течение короткого периода до того, как резервные дизельные генераторы смогут подавать энергию в аварийных условиях. Неверно составленная программа испытания с точки зрения безопасности и грубые нарушения основных правил эксплуатации привели к тому, что реактор вышел на низкую мощность (200 МВт (тепл.)), при которой расход теплоносителя и условия охлаждения не могли стабильно поддерживаться посредством ручного управления. С учетом особых характеристик конструкции, о которых уже говорилось (положительный мощностной коэффициент при низких уровнях мощности), реактор эксплуатировался в опасном режиме. В то же время операторы преднамеренно и в нарушение правил вывели большинство стержней управления и защиты из активной зоны и отключили некоторые важные системы безопасности.

Последующие события привели к интенсивному парообразованию в активной зоне реактора, создав, таким образом,



положительную реактивность. Наблюдалось начало резкого повышения мощности, и была сделана попытка вручную остановить цепную реакцию, при заблокированной системе аварийной остановки, которая должна была бы сработать ранее, при начале испытания. Однако возможность быстрой аварийной остановки реактора была ограничена, поскольку почти все стержни управления были полностью извлечены из активной зоны.

Непрерывное повышение реактивности вследствие парообразования привело к мгновенному критическому скачку мощности. Советские эксперты рассчитали, что первый пик мощности достиг 100-кратного превышения номинальной мощности в течение 4 секунд.

Энергия, высвободившаяся в топливе в результате скачка мощности, внезапно разорвала часть топлива в мелкие куски. Механизм этого разрыва хорошо известен из экспериментов по программе исследований в области безопасности. Мелкие частицы раскаленного топлива (возможно, также испарившееся топливо) привели к паровому взрыву.

Выделение энергии сдвинуло 1000-тонную защитную крышку реактора и привело к тому, что были срезаны все каналы охлаждения по обеим сторонам активной зоны реактора. Через 2-3 секунды был услышан второй взрыв, и горячие куски были выброшены из разрушенного здания. До сих пор не ясно, какую роль мог бы играть в этом взрыве водород. Разрушение реактора обеспечило доступ воздуха, который, соответственно, привел к горению графита.

## 6. ОПЕРАТИВНЫЕ ДЕЙСТВИЯ НА ПЛОЩАДКЕ АЭС

Авария привела к тому, что часть горячих кусков графита и топлива была выброшена на крыши расположенных вблизи частей здания. Начались пожары, особенно в зале блока №4, на крыше блока №3 и на крыше машинного зала, в котором расположены турбогенераторы двух реакторов. Пожарные бригады из близко расположенных городов Припять и Чернобыль немедленно приступили к действиям и героически боролись с огнем, который на протяжении некоторого времени угрожал безопасности блока №3.

Наконец, в 5 часов утра 26 апреля приблизительно через 3,5 часа после начала пожара огонь был погашен. В это же время блок №3, который продолжал работать, по существу не получив повреждений, был остановлен. Блоки №№1 и 2 были остановлены рано утром 27 апреля.

Радиоактивные продукты деления продолжали выходить из блока №4 в существенных количествах до 5 мая, приблизительно в течение 9 дней после аварии.

На первых этапах выброс продуктов деления был связан с горением графита, высокая температура которого поддерживалась от тепла, выделяемого продуктами деления. Большие количества бора, доломита, песка, глины и свинца были сброшены на реактор для уменьшения выброса продуктов деления. В целом было сброшено около 5000 тонн материала, включая 2400 тонн свинца. Некоторое время после 1 мая выброс летучих продуктов деления в действительности увеличивался, так как сброшенный материал изолировал активную зону, которая после этого вновь разогрелась. Однако 5 мая скорость остывания стала превышать скорость нагрева, в частности по мере выгорания тлеющего графита.

## 7. ВЫБРОС РАДИОНУКЛИДОВ

Разрушение конструкций защитных строений и активной зоны Чернобыльской АЭС привело к выбросу радиоактивности со станции. Советские эксперты рассчитали, что со станции было выброшено 100% радионуклидов благородных газов. Выброс остальных конденсируемых радионуклидов составил приблизительно до  $2 \times 10^{18}$  Бк ( $5 \times 10^7$  кюри)<sup>1</sup> или около 3-4% общего количества радионуклидов в активной зоне. Этот выброс состоял приблизительно из 10-20% радионуклидов цезия, иода и теллура и около 3-6% других радионуклидов.

Выброс радионуклидов с Чернобыльской АЭС не был единичным быстрым выбросом. Скорее, был мощный первоначальный выброс, сопровождавшийся разрушительными событиями аварии. Мощность выброса на протяжении нескольких следующих дней снижалась, вероятно, благодаря предпринятым мерам по ликвидации аварии. Мощность выброса составляла около  $7 \times 10^{16}$  Бк/день ( $2 \times 10^6$  Ки/день) через 5 дней после начала аварии. С этого момента мощность выброса стала возрастать и достигла  $3 \times 10^{17}$  Бк/день ( $8 \times 10^6$  Ки/день) приблизительно через девять дней после начала аварии. Затем произошло снижение выброса радионуклидов до  $4 \times 10^{13}$  Бк/день ( $1 \times 10^3$  Ки/день). С этого времени мощность выброса продолжала снижаться.

Советские эксперты проводят дальнейшее изучение физической и химической природы выброса радионуклидов. Определяются химические формы вещества и дисперсный состав аэрозолей. Постоянное взаимодействие с советскими экспертами в процессе этой работы будет представлять ценность для всех программ в области реакторной безопасности.

<sup>1</sup> Радиоактивные выбросы и активности скорректированы на 6 мая 1986 г. Все выбросы и мощности выбросов имеют погрешность оценки  $\pm 50\%$ .

## 8. ПЕРЕНОС РАДИОНУКЛИДОВ ЧЕРЕЗ ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ОБЛУЧЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ЛИЦ ИЗ ЧИСЛА НАСЕЛЕНИЯ

Эта авария отличается от тех, которые обычно рассматриваются при радиационных оценках гипотетических аварийных выбросов с АЭС, тем, что выброс был продолжительным, изменялся во времени по мощности и составу радионуклидов, и метеорологические условия были сложными. Эти характеристики привели к очень сложному характеру атмосферного оседания на поверхность земли как в пределах СССР, так и в других странах. Характер оседания был установлен очень быстро посредством мониторинга окружающей среды. Осажденные радионуклиды, в особенности иод-131 и изотопы цезия, проникли в земные пищевые цепочки. Были введены и соблюдались запреты на потребление различных продуктов питания, и в Советском Союзе были предприняты меры, там, где это требовалось, по обеспечению незараженной питьевой водой.

Первоначальные оценки доз были получены из данных мониторинга окружающей среды, и в необходимых случаях были дополнены прогнозным моделированием. На более позднем этапе были проведены непосредственные измерения содержания иода-131 в щитовидной железе отдельных лиц, особенно детей, и для определения уровней цезия-137 были проведены измерения всего тела. Эти прямые измерения позволили сделать более точные оценки реально полученных доз.

Радионуклидом, который сыграет наибольшую роль для коллективной дозы (то есть общей дозы для населения СССР) и для дозы для всего тела отдельных лиц, является цезий-137. Коллективная доза для населения европейской части СССР на протяжении последующих 50—70 лет оценивается равной порядка  $2 \times 10^6$  чел.-Зв, причем большая часть отдельных лиц на протяжении всей жизни получит дозу, меньшую, чем доза от естественного фона радиации. Иод-131 привел к относительно высоким дозам для щитовидной железы некоторых отдельных лиц за короткий срок, однако он не представляет важности на длительный период ни для отдельных лиц, ни для всего населения.

В течение следующих месяцев и лет эти оценки будут уточнены и расширены с включением доз в других странах в рамках запланированной международной деятельности. Огромное количество данных мониторинга как имеющихся, так и тех, которые будут получены в СССР и в других местах, обеспечит на международной основе бесценную базу для проверки и усовершенствования моделей переноса в окружающей среде.

Необходимо признать, что при любой столь серьезной аварии, в каком бы месте или стране она ни произошла, потребуются крупнейшая мобилизация людских и материальных ресурсов для того, чтобы взять под контроль ситуацию и уменьшить последствия для населения и окружающей среды.

Оказалось возможным эффективно дезактивировать с применением различных средств весьма сильно загрязненные блоки №№ 1, 2, 3 до уровней, приемлемых для персонала, который должен поддерживать эти блоки в безопасном остановленном состоянии.

Небывальными были масштабы заражения площадки АЭС и прилегающих районов. К проблемам, с которыми придется столкнуться при осуществлении мер по дезактивации этих районов, относиться безопасное захоронение больших количеств загрязненного грунта; снятие слоя грунта и контроль за облучением осуществляющих эту деятельность работников; фиксация радионуклидов в почве, а также нахождение методов дезактивации лесов и водоемов.

Опыт в этой области имеет огромное значение, и существует настоятельная необходимость международного обмена опытом.

## 11. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ И ВЫВОДЫ

(1) В ходе данного совещания советские эксперты рассказали о различных модификациях реакторов типа РБМК. Они направлены на то, чтобы в сочетании с совершенствованием административных правил, значительно затруднить возможность создания таких эксплуатационных условий, которые могут привести к быстрому скачку реактивности вследствие любой причины, включая грубое нарушение регламентов эксплуатации. Краткое исследование, приводимое здесь, не может дать полной гарантии того, что эти доработки достигли намеченной цели. Однако МКГЯБ решительно поддерживает тот факт, что советские компетентные органы поставили перед собой такую цель в отношении реакторов РБМК.

(2) В самом общем виде МКГЯБ делает вывод о том, что на Чернобыльской АЭС произошло крупное событие, относящееся к классу событий, называемых "аварии с разрушением активной зоны". Сейчас экспертам во всем мире в области безопасности предоставляется возможность на уроках этого трагического события значительно углубить наше понимание проблем ядерной безопасности. Эта авария является почти "худшим" случаем в смысле рисков, связанных с ядерной энергетикой.

(3) Важными элементами философии обеспечения безопасности ядерных реакторов является принцип множественности барьеров и эшелонированной защиты. В соответствии с этой философией

при отказе любого компонента должно оставаться не менее двух барьеров, предохраняющих окружающую среду от аварийного выброса радиоактивных веществ из активной зоны реактора. И перед проектировщиками систем безопасности стоит задача обеспечить общую функциональную независимость каждого из различных барьеров в случае аварии. В соответствии с концепцией эшелонированной защиты современных реакторов ручные команды операторов отменяются автоматической системой безопасности, если они серьезно угрожают безопасности установки.

Автоматическая система защиты реакторов РБМК была спроектирована много лет назад. В то время больше доверяли надлежащим действиям оператора, нежели автоматическим системам безопасности, которые считались менее надежными. Как отмечалось, с учетом опыта эксплуатации и изучения аварий, например, на станции "Три Майл Айленд", проектировщики РБМК в последние годы внесли много усовершенствований в систему безопасности. Тем не менее, по-прежнему в большой степени полагались на соответствующие действия оператора.

Эффективность барьерной концепции в предотвращении больших выбросов продуктов деления после аварии была доказана неоднократно, включая аварию на реакторе "Три Майл". Барьерная концепция, в частности, должна подкрепляться исходно безопасными характеристиками конструкции реакторной установки АЭС. В самой реакторной установке аварийный рост реактивности, ведущий к быстрым скачкам мощности, должен пресекаться немедленно и автоматически независимыми, множественными и проверяемыми механизмами остановки реактора, прежде чем наступит серьезное повреждение любой из его систем. Объясняется это тем фактом, что быстрый скачок мощности, как это произошло на Чернобыльской АЭС, может поставить под угрозу все барьеры, предназначенные для предотвращения крупных выбросов продуктов деления после аварии.

(4) До Чернобыльской аварии произошло не менее трех аварий, связанных со скачком мощности реактора, (на реакторах NRX, EBR-1 и SL-1)<sup>2</sup>. Были проведены многочисленные специальные эксперименты и обширный анализ переходных процессов в условиях

---

<sup>2</sup> *NRX-экспериментальный реактор с тяжеловодным замедлителем и теплоносителем, который был серьезно поврежден в результате резкого повышения мощности в 1952г. EBR-1 — реактор на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем, разрушенный в результате скачка реактивности в 1952г. SL-1 — экспериментальный легководный реактор, разрушенный в 1962г. в результате повышения мощности, когда оператор слишком высоко поднял управляющий стержень.*

Необходимо признать, что при любой столь серьезной аварии, в каком бы месте или стране она ни произошла, потребуются крупнейшая мобилизация людских и материальных ресурсов для того, чтобы взять под контроль ситуацию и уменьшить последствия для населения и окружающей среды.

Оказалось возможным эффективно дезактивировать с применением различных средств весьма сильно загрязненные блоки №№1, 2, 3 до уровней, приемлемых для персонала, который должен поддерживать эти блоки в безопасном остановленном состоянии.

Небывалыми были масштабы заражения площадки АЭС и прилегающих районов. К проблемам, с которыми придется столкнуться при осуществлении мер по дезактивации этих районов, относиться безопасное захоронение больших количеств загрязненного грунта; снятие слоя грунта и контроль за облучением осуществляющих эту деятельность работников; фиксация радионуклидов в почве, а также нахождение методов дезактивации лесов и водоемов.

Опыт в этой области имеет огромное значение, и существует настоятельная необходимость международного обмена опытом.

## 11. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ И ВЫВОДЫ

(1) В ходе данного совещания советские эксперты рассказали о различных модификациях реакторов типа РБМК. Они направлены на то, чтобы в сочетании с совершенствованием административных правил, значительно затруднить возможность создания таких эксплуатационных условий, которые могут привести к быстрому скачку реактивности вследствие любой причины, включая грубое нарушение регламентов эксплуатации. Краткое исследование, приводимое здесь, не может дать полной гарантии того, что эти доработки достигли намеченной цели. Однако МКГЯБ решительно поддерживает тот факт, что советские компетентные органы поставили перед собой такую цель в отношении реакторов РБМК.

(2) В самом общем виде МКГЯБ делает вывод о том, что на Чернобыльской АЭС произошло крупное событие, относящееся к классу событий, называемых "аварии с разрушением активной зоны". Сейчас экспертам во всем мире в области безопасности предоставляется возможность на уроках этого трагического события значительно углубить наше понимание проблем ядерной безопасности. Эта авария является почти "худшим" случаем в смысле рисков, связанных с ядерной энергетикой.

(3) Важными элементами философии обеспечения безопасности ядерных реакторов является принцип множественности барьеров и эшелонированной защиты. В соответствии с этой философией

при отказе любого компонента должно оставаться не менее двух барьеров, предохраняющих окружающую среду от аварийного выброса радиоактивных веществ из активной зоны реактора. И перед проектировщиками систем безопасности стоит задача обеспечить общую функциональную независимость каждого из различных барьеров в случае аварии. В соответствии с концепцией эшелонированной защиты современных реакторов ручные команды операторов отменяются автоматической системой безопасности, если они серьезно угрожают безопасности установки.

Автоматическая система защиты реакторов РБМК была спроектирована много лет назад. В то время больше доверяли надлежащим действиям оператора, нежели автоматическим системам безопасности, которые считались менее надежными. Как отмечалось, с учетом опыта эксплуатации и изучения аварий, например, на станции "Три Майл Айленд", проектировщики РБМК в последние годы внесли много усовершенствований в систему безопасности. Тем не менее, по-прежнему в большой степени полагались на соответствующие действия оператора.

Эффективность барьерной концепции в предотвращении больших выбросов продуктов деления после аварии была доказана неоднократно, включая аварию на реакторе "Три Майл". Барьерная концепция, в частности, должна подкрепляться исходно безопасными характеристиками конструкции реакторной установки АЭС. В самой реакторной установке аварийный рост реактивности, ведущий к быстрым скачкам мощности, должен пресекаться немедленно и автоматически независимыми, множественными и проверяемыми механизмами остановки реактора, прежде чем наступит серьезное повреждение любой из его систем. Объясняется это тем фактом, что быстрый скачок мощности, как это произошло на Чернобыльской АЭС, может поставить под угрозу все барьеры, предназначенные для предотвращения крупных выбросов продуктов деления после аварии.

(4) До Чернобыльской аварии произошло не менее трех аварий, связанных со скачком мощности реактора, (на реакторах NRX, EBR-1 и SL-1)<sup>2</sup>. Были проведены многочисленные специальные эксперименты и обширный анализ переходных процессов в условиях

---

<sup>2</sup> *NRX-экспериментальный реактор с тяжеловодным замедлителем и теплоносителем, который был серьезно поврежден в результате резкого повышения мощности в 1952г. EBR-1 — реактор на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем, разрушенный в результате скачка реактивности в 1952г. SL-1 — экспериментальный легководный реактор, разрушенный в 1962г. в результате повышения мощности, когда оператор слишком высоко поднял управляющий стержень.*

быстрого повышения реактивности. База данных по авариям такого типа обширна. На их основе можно сделать общий вывод о том, что аварии такого вида необходимо предотвращать с высокой степенью надежности, поскольку в результате их потенциально возможно разрушение всех естественных и конструкционных барьеров, предназначенных для предотвращения больших выбросов продуктов деления. Как отмечено в предыдущем пункте, мгновенный рост реактивности, ведущий к резкому повышению мощности, должен прекращаться немедленно и автоматически средствами безопасности, предусмотренными в проекте.

(5) Как отмечалось в докладе советских экспертов и обсуждалось международными экспертами, причиной аварии была невероятная совокупность человеческих ошибок и нарушений правил эксплуатации в сочетании со специфическими особенностями реактора, которые усугубили и усилили эффект ошибок и привели к повышению реактивности.

Из этого можно сделать один важнейший вывод: важно наделить всеми полномочиями и ответственностью за безопасность установки одного из старших сотрудников из числа эксплуатационного персонала. Столь же важно надлежащим образом пересмотреть и утвердить официальные регламенты, в дополнение к которым необходимо создать и поддерживать "культуру ядерной безопасности". Этот процесс принятия дополнительных мер должен проводиться в сочетании с необходимыми дисциплинарными мерами.

(6) Как и в других технических процессах, автоматическое управление на современных АЭС преследует двоякую цель: освободить персонал (операторов) от рутинной работы и помочь ему в управлении сложными ситуациями. Для удовлетворения требованиям ядерной безопасности используются два главных уровня управления: эксплуатационный и обеспечивающий безопасность управления. Система последнего уровня следит за всеми такими ситуациями, когда проходящие на установке процессы выходят за рамки нормальной эксплуатации. Системы безопасности принимают контрмеры, начиная со снижения энерговыделения до быстрой остановки реактора. С использованием этих средств установка будет переведена в безопасное состояние при любых условиях. Однако практически опыт эксплуатации атомных электростанций показывает, что эксплуатационный уровень управления гораздо в большей степени влияет на безопасность, чем это первоначально предполагалось, и возможно, больше, чем следовало бы, люди полагаются на правильность действий персонала. Как результат, наблюдается тенденция к проектированию более надежных систем



эксплуатационного управления (например, заложение дублирующих систем или улучшение энергообеспечения), а также усовершенствованию или расширению систем, контролирующих повышение мощности. Таким образом, расширение автоматических систем управления происходит в результате анализа накопленного опыта эксплуатации.

С точки зрения безопасности важнейшим вопросом является помощь оператору. Не вызывает сомнения тот факт, что сложной ситуацией легче и надежнее управляет автоматическая система. Несомненно, проектировщики такой системы имеют больше времени для рассмотрения всех вариантов процесса, нежели оператор в реальной ситуации. Однако важным в автоматических системах является то, что они должны предоставлять информацию оператору, показывая ему состояние установки и реакцию на его действие. Это позволяет оператору в случае отказа автоматической системы включать системы безопасности вручную.

(7) В ходе аварии, начавшейся утром 26 апреля с резкого скачка мощности сразу после 1 часа 23 мин, 40 сек, в реакторе последовательно проходил комплекс весьма сложных физических и химических явлений. Многие из этих явлений, например, разрушение топлива, паровой взрыв и горение графита, уже описаны и проанализированы. До события в Чернобыле практический опыт разрушительных явлений такого характера был ограничен лишь весьма малыми масштабами, поэтому анализ серьезных аварий был, скорее, теоретическим. Сейчас, после того как произошла крупная серьезная авария, советские и другие эксперты могут извлечь большую пользу из анализа подробной хроники событий с целью возможного использования его результатов при принятии решений о проектировании и лицензировании

(8) Ход эвакуации после чернобыльской аварии выявил ряд проблем в области процедур, материально-технического обеспечения и административных действий. Кроме того, технические и медицинские проблемы были беспрецедентными по своим масштабам. Уроки этой аварии будут весьма полезными для организации и координации операций по ликвидации последствий аварии, особенно аварий, имеющих крупные радиационные последствия.

(9) Что касается дезактивации и аварийно-восстановительных работ, проводимых на Чернобыльской АЭС, то объемы и масштабы усилий далеко превосходят все, предпринимавшееся до этого на любой площадке АЭС. Отмечается, что все другие специалисты, отвечающие за проведение такого вида работ, должны изучить этот случай и извлечь из него уроки.

(10) Борьба с пожаром на АЭС в условиях острой радиационной опасности явилась совершенно новой областью. Процедуры, оборудование и защитная одежда, применявшиеся во время этой аварии должны быть тщательно изучены всеми лицами, в чьи обязанности входят противоаварийные меры такого рода.

(11) Лечение острой лучевой болезни оказалось эффективным в пределах определяемых величиной полученной дозы. Обширные ожоги кожи в результате бета-облучения существенно осложнили поддерживающую и заместительную терапию болезни, а также в значительной степени способствовали летальному исходу болезни у 29 пострадавших. Необходимо разработать технические средства для предотвращения обширных ожогов кожи в случае повторения в будущем аварий подобного рода. Проведенная в отдельных случаях пересадка костного мозга, как оказалось, не показала реальных терапевтических преимуществ в данной группе пострадавших. Внутреннее облучение не оказало какого-либо существенного влияния на возникновение острой лучевой болезни. Этот опыт должен быть всесторонне рассмотрен специалистами в области медицины.

(12) Были сделаны предварительные оценки доз, полученных отдельными лицами в Советском Союзе, а также дозы, полученной населением в целом. По мере поступления новых данных эти оценки будут уточнены, а оценка общих радиационных последствий этой аварии будет проведена НКДАР ООН совместно с МАГАТЭ и ВОЗ на основе данных, полученных от государств-членов. На международном уровне будут обсуждены методологические проблемы эпидемиологических исследований работников и отдельных групп населения в районе станции.

На основе этих замечаний и выводов МКГЯБ направляет Генеральному директору МАГАТЭ свои рекомендации, касающиеся дальнейшей деятельности.

# ВВЕДЕНИЕ

## 1. ЦЕЛЬ НАСТОЯЩЕГО ДОКЛАДА

26 апреля 1986 года на четвертом блоке Чернобыльской АЭС, расположенной на территории Украинской ССР в Советском Союзе, произошла крупная авария, наиболее серьезная из всех, когда-либо происходивших на АЭС. Мощный выброс радиоактивности в результате аварии позволил осознать, что событие, считавшееся крайне маловероятным, стало реальностью. МАГАТЭ и Советский Союз договорились о проведении в Вене совещания по рассмотрению причин и последствий аварии. Это совещание было проведено в период с 25 по 29 августа 1986 года. Более 500 высококвалифицированных экспертов из 62 стран и 21 международной организации заслушали доклад советских экспертов и приняли участие в откровенных и очень плодотворных дискуссиях.

Генеральный директор МАГАТЭ обратился к Международной консультативной группе по ядерной безопасности (МКГЯБ) с просьбой подготовить на основе представленной информации и дискуссии краткий доклад о работе совещания. Он также высказал просьбу, чтобы этот доклад был представлен ему для рассмотрения и передачи Совету управляющих МАГАТЭ до начала его заседания в сентябре. Доклад должен был содержать рекомендации МКГЯБ, касающиеся дальнейшей деятельности.

## 2. РАССМАТРИВАЕМЫЕ В ДОКЛАДЕ ВОПРОСЫ

На совещании по рассмотрению причин и последствий аварии были обсуждены факторы, которые способствовали возникновению аварии и широкому распространению ее последствий. В связи со сложной природой аварии и размерами ее последствий советским и другим международным экспертам потребуется длительное время для полной и всесторонней оценки аварии и ее воздействия. В докладе отражена информация, представленная на совещании по рассмотрению причин и последствий аварии в Чернобыле.

В кратком обзоре дается картина аварии, ее причины и последствия, а также общие замечания и выводы МКГЯБ.

В разделах I—IV основной части доклада члены МКГЯБ представляют свою точку зрения на причины аварии, ее развитие и последствия, аварийно-восстановительные действия, а также на радиационные противоаварийные меры, природу воздействия на

здоровье и меры, предпринятые для ограничения последствий аварии. Основой для этих выводов послужили советские доклады и дискуссии в ходе совещания по рассмотрению причин и последствий аварии.

В разделах V рассматриваются проблемы безопасности, которые требуют последующего обсуждения. В разделе VI МКГЯБ представляет свои замечания и выводы на основании опыта, полученного в настоящее время в связи с аварией. В разделе VII содержатся рекомендации МКГЯБ по целому спектру проблем: от эксплуатации реактора до радиационной защиты и международного сотрудничества в области ядерной безопасности.

Доклад снабжен техническим приложением, в котором содержится информация об истории эксплуатации реакторов РБМК, а также исходная информация о блоке №4 Чернобыльской АЭС. Эти данные необходимы для понимания других разделов доклада.

### 3. ПОДГОТОВКА ДОКЛАДА

Ответственность за подготовку доклада была в основном возложена на МКГЯБ. Группа экспертов, отобранных МАГАТЭ в консультации с председателем МКГЯБ, оказала помощь МКГЯБ в подготовке доклада. Эти эксперты подготовили технические разделы доклада, которые были впоследствии рассмотрены МКГЯБ. Кроме того, для разъяснений и дискуссий была предоставлена помощь советских экспертов. Сотрудники отдела ядерной безопасности также оказали помощь МКГЯБ и другим экспертам в подготовке этих технических документов.

При подготовке этого доклада МКГЯБ использовала рабочие документы предоставленные Советским Союзом участникам совещания по рассмотрению причин и последствий аварии<sup>3</sup>, а также дополнительную информацию, полученную от советских экспертов в ходе их докладов и во время дискуссий рабочих групп в ходе совещания.

МКГЯБ несет полную ответственность за этот доклад и выражает свою благодарность советским экспертам за тесное сотрудничество, экспертам, назначенным МАГАТЭ, — за оказание технической помощи, и штатным сотрудникам МАГАТЭ — за оказание эффективной поддержки. Подготовка настоящего доклада в такие сжатые сроки стала возможной благодаря их продуктивному и творческому сотрудничеству.

<sup>3</sup> *Авария на Чернобыльской АЭС и ее последствия". (Информация, подготовленная ГКАЭ СССР для совещания экспертов МАГАТЭ, Вена, 25-29 августа 1986г.), Вена, части I и II. Август 1986г.*

## Раздел I

# АВАРИЯ НА БЛОКЕ №4 ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

## 1. ОБЗОР ОБСТОЯТЕЛЬСТВ АВАРИИ

Этот обзорный подраздел предназначен главным образом для рядового читателя. Он носит самостоятельный характер и охватывает те же вопросы что и подраздел 2, хотя в несколько ином контексте; в нем сделана попытка дать неспециалисту представление о масштабах исследований, выполненных экспертами, назначенными МАГАТЭ. В подразделе 2 (описание событий) подробно рассматриваются технические вопросы.

Блок №4 Чернобыльской АЭС весьма успешно эксплуатировался в течение трех лет. Опыт эксплуатации реакторов этого типа составляет более 100 реакторов-лет. Блок №4 Чернобыльской АЭС был в действительности наиболее удачным блоком РБМК. В ночь с 25 на 26 апреля предполагалось провести специальные испытания электрических систем перед остановкой на обычный ремонт.

Цель этих испытаний — продемонстрировать повышение возможностей турбогенераторов поддержания важных систем в условиях полного обесточивания станции. Это должно было производиться посредством отключения подачи пара на один из турбогенераторов, проверкой возможности поддержания нужного напряжения при его выбеге, используя главные циркуляционные насосы в качестве нагрузки. Инициатива испытаний исходила от специалистов по электротехнике, а не специалистов в ядерной области, поэтому разработка регламента испытаний была возложена на первых.

Предположение, что это были электротехнические испытания, не затрагивающие безопасность реактора, по-видимому, приуменьшило внимание, уделяемое им с точки зрения безопасности. Как установлено, регламент был плохо разработан с точки зрения безопасности, и разрешение на проведение их персоналом установки было дано без необходимого официального утверждения группой технологической безопасности станции. Однако, как станет ясно из последующего, авария бы не произошла, если бы не многочисленные другие взаимосвязанные события.

После отсрочек со стороны диспетчера системы ночью 25 апреля возобновилась дальнейшая подготовка блока к испытаниям, включая снижение мощности до намеченного для испытаний уровня 700-1000 МВт(тепл.). Это оказалось трудным из-за неправильного

обращения оператора с системой управления. В результате мощность реактора упала до слишком низкого уровня.

Мощность вновь была повышена. С некоторыми трудностями был достигнут уровень 200 МВт(тепл.), и это потребовало выведения многих регулирующих стержней. Следует отметить, что продолжительная эксплуатация на уровне ниже 700 МВт (тепл.) запрещена нормальными процедурами безопасности ввиду проблем термогидравлической неустойчивости. Было включено еще два главных циркуляционных насоса, для того чтобы обеспечить после испытаний возможность продолжения эксплуатации реактора с необходимым числом насосов. Высокий расход воды, вызванный включением этих дополнительных насосов, представлял собой нарушение нормальных процедур эксплуатации установки, так как он превысил утвержденные уровни как для активной зоны реактора, так и для некоторых отдельных насосов и, что более важно, затруднил управление основными системами теплоносителя.

Одним из важных последствий явилось то, что операторы заблокировали автоматическую остановку реактора по таким параметрам, как давление пара и уровень воды в барабанах-сепараторах, с тем чтобы их неустойчивость не вызвала такую остановку реактора и не приостановила испытаний; вновь серьезное нарушение нормальной процедуры эксплуатации установки.

Стремясь достигнуть стабильности, оператор манипулировал расходом питательной воды и регулирующими стержнями и в конечном счете приступил к испытаниям, прекратив подачу пара на турбину.

Как раз перед этим компьютеризованная система централизованного контроля выдала оператору информацию о состоянии реактора, включая положение на это время всех регулирующих стержней. Это было ясное предупреждение, поскольку оно свидетельствовало об отсутствии запаса компенсирующей способности регулирующих стержней организовать защиту от аварийной ситуации. Требовалась немедленная остановка реактора. Однако оператор приступил к электротехническим испытаниям, хотя состояние блока, как очевидно и как об этом будет сказано впоследствии, было крайне нестабильным.

С момента испытаний начался выбег турбогенератора. Здесь следует отметить серьезное нарушение процедуры. Ранее была заблокирована автоматическая остановка реактора при отключении обоих турбогенераторов, с тем чтобы реактор оставался на мощности для повторения, в случае необходимости, испытаний. Следует пояснить, что испытания могли и должны были проводиться таким образом, чтобы сработала система автоматической остановки реактора при начале испытаний.

Прекращение подачи пара на турбину и влияние этого на расход питательной воды, на давление пара и на расход теплоносителя вызвало возмущение системы и быстрое парообразование в большей части активной зоны. Это привело к быстрому подъему мощности реактора, с которыми не могла справиться система аварийной остановки. Этот подъем был вызван влиянием положительного парового коэффициента реактивности (как объяснено в следующем абзаце), который характерен для эксплуатации реактора РБМК на низкой мощности и при достигнутой конфигурации активной зоны. Увеличение уровня мощности, вызванное повышением реактивности, привело к самопроизвольному очень быстрому парообразованию. Оно также привело, как полагают, к перегреву и фрагментации топлива, которое при контакте с теплоносителем также вызвало бурное парообразование. Взрывной эффект этого процесса привел к полному разрушению активной зоны реактора и связанных с нею конструкций.

Активная зона оказалась столь чувствительной во время испытаний, потому что сложное манипулирование установкой для сохранения уровня мощности привело к тому, что положительный паровой коэффициент реактивности сыграл решающую роль. Это определялось изменениями в расходе питательной воды, которые свели к минимуму парообразование в теплоносителе, выводением многих регулирующих стержней из активной зоны и эксплуатацией на низкой мощности, и все эти факторы повысили вклад парового коэффициента в параметр, определяющий общую стабильность (мощностной коэффициент: это — параметр, который, если его не скомпенсировать, может привести к опасному усилению любых небольших отклонений от нормы изменений мощности). Следует ясно указать, что для реактора РБМК этот эффект не имеет значения при нормальной эксплуатации, когда мощность достаточно высока, а регулирующие стержни находятся в стандартном положении.

Эти факторы, которые отрицательно повлияли на паровой коэффициент во время Чернобыльской аварии, имели дополнительные отрицательные эффекты, так как положение регулирующих стержней было нарушено и недогрев теплоносителя уменьшился. Однако важным явилось доминирование парового коэффициента как фактора мощностного коэффициента при этих аномальных условиях.

Ошибки и нарушения процедур были основными приводящими факторами, вызвавшими аварию. По-видимому, было решено, что проведение испытаний необходимо. Это привело непосредственно к оставлению реактора под нагрузкой во время испытаний,

продолжительной эксплуатации на мощности 200 МВт(тепл.), трудностям в управлении, вызванным включением дополнительных насосов, блокировкой системы автоматической остановки реактора и игнорированием показаний запаса радиоактивности. Эта серия преднамеренных нарушений процедуры, чрезвычайных самих по себе, в сочетании со специфическими конструктивными рабочими характеристиками реактора РБМК на малой мощности привела к катастрофе.

## 2. ОПИСАНИЕ СОБЫТИЙ

В этом разделе описаны те же события в подробной повествовательной форме (в таблице 1 приводятся основные моменты во временной шкале). Цель заключается в том, чтобы дать больше технических подробностей специалисту; — читатель не должен быть удивлен дублированием материала подраздела 1.

Последовательность событий в этом разделе выведена на основании фактических данных по реактору, весьма полезной дискуссии с советскими экспертами и математического моделирования, результаты которого были ими представлены.

Чтобы понять события, которые привели к аварии на блоке №4 Чернобыльской АЭС, полезно, во-первых, выделить некоторые важные события в течение 25 и 26 апреля. Специальные испытания были запланированы накануне остановки блока для запланированного ремонта. Цель испытаний — продемонстрировать, что новая система регулирования напряжения на шинах генератора может обеспечить достаточную мощность для работы быстродействующего насоса САОР в течение 40—50 секунд используя инерцию турбогенератора на выбеге после закрытия аварийного запорного клапана турбины. В ходе предыдущих испытаний не удалось продемонстрировать это из-за слишком быстрого падения напряжения при снижении количества оборотов турбины.

Электрическая нагрузка насоса САОР должна была имитироваться энергопитанием большего, чем обычно, числа главных циркуляционных насосов, получающих энергопитание от турбогенератора. Испытания намеревались провести как чисто электротехнические, которые, как полагали, не будут воздействовать на ядерную безопасность.



Таблица 1.

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ СОБЫТИЙ ПРИ АВАРИИ

Объяснения			
Время	События	Результата события	Значения
25 апреля 1ч 00мин 00с	Начало снижения мощности <sup>а</sup> реактора	Начальные этапы программы испытаний и остановки для планового ремонта	Медленное снижение мощности снижает последствия нарастающего отравления ксеноном
13ч 05 мин 00 с	Снижение мощности реактора <sup>б</sup> прекращено при 50% от полной мощности. Турбогенератор №7 отключен. Электропитание собственных нужд переведено на шины турбогенератора №8 (четыре главных циркуляционных насоса, два питательных насоса, другое оборудование)		Во время испытания эти элементы будут работать от турбогенератора на выбеге. Схема питания насосов на этот момент: четыре питаются от турбогенератора №8, два – от сети, два – резервных, подсоединенные к общей сети
14ч 00 мин 00 с	САОР отключена <sup>с</sup>	Отключение произведено в соответствии с планом испытания, так как у бригады обслуживания было желание избежать ложного срабатывания	Нарушена норма безопасности, однако заблокированная САОР не сработала при переходном процессе, приведшем к разрушению активной зоны. Могла быть полезной в период после разрушения <i>Примечание:</i> обсуждение с советскими специалистами событий при аварии подтвердило, что для испытания не было необходимости блокировать САОР
	Диспетчер энергосети запрещает <sup>д</sup> снижение мощности		Длительное удержание на мощности еще более сократило бы скорость накопления ксенона на уровне мощности при испытании
23ч 10 мин 00 с	САОР по-прежнему отключена <sup>е</sup> Снижение мощности продолжено <sup>д</sup> до заданного уровня 700-1000 МВт (тепл.)		В соответствии с регламентом испытания был избран уровень, превышающий минимально допустимую эксплуатационную мощность реактора (приблизительно 700 МВт (тепл.))

26 апреля 0ч 28 мин 00 с	<i>Ошибка оператор: при * переключении с локального (ЛАР) на общее (АР) автоматическое регулирование мощности не введена команда удержания мощности на требуемом уровне</i>	<i>Мощность упала до 30 МВт (тепл.), поскольку стрелки автоматического регулирования оказались не в состоянии, а оператор не принял незамедлительных мер для компенсации парообразования вследствие недопустимого сброса мощности</i>	В системе добивалась отрицательная реактивность, и для ее компенсации было извлечено еще больше стержней ручного регулирования
1ч 00 мин 00 с	Реактор стабилизирован <sup>н</sup> при мощности 200 МВт (тепл.)	<i>Реактор работал на уровне мощности ниже минимально допустимого. Не соблюден требуемый оперативный запас реактивности</i>	Отсутствие запаса реактивности для повышения мощности
1ч 03 мин 00 с	Четвертый главный циркуляционный насос, питаемый от сети, был подключен к левой петле системы теплоотвода	Вследствие низкой мощности и увеличенного расхода теплоносителя в системе теплоотвода температура теплоносителя достигла точки насыщения	Это создает добавочную отрицательную реактивность в системе, вследствие чего требуется большее извлечение стержней для ее компенсации
1ч 07 мин 00 с	Четвертый главный циркуляционный насос, питаемый от сети, подключен к правой петле системы теплоотвода	<i>Расход в некоторых главных циркуляционных насосах превысил допустимую величину</i> Появились значительные отклонения уровня воды и давления пара в барабанах-сепараторах	Нарушение пределов неустойчивости расхода вследствие потенциальных проблем, связанных с кавитацией. Подключение обоих насосов привело к дальнейшему извлечению стержней регулирования и дальнейшему снижению запаса реактивности
1ч 19 мин 00 с	Оператор увеличил <sup>к</sup> расход питательной воды. Примерно в это время оператор блокирует сигналы остановки реактора по уровню воды и давлению в барабанах-сепараторах	Увеличение дополнительного охлаждения активной зоны ведет к еще большему снижению парообразования. Сложности управления в течение этого периода	

1ч 19 мин 30 с	<p>Начало повышения уровня воды в барабанах-сепараторах. Расход питательной воды в три раза превышает номинальную величину</p> <p>Стержни автоматической регулировки поднялись к верхнему ограничителю</p> <p><i>Стержни ручного регулирования подняты вверх<sup>п</sup>.</i></p> <p>Начало падения давления пара в барабанах-сепараторах</p>	<p>Количество питательной воды, поступающей в систему, превышает скорость парообразования. Более холодная вода достигла активной зоны и снизила содержание пара и парообразование в активной зоне</p>	<p>Уровень в барабане-сепараторе возрастает</p> <p>Расчетное среднее парообразование в активной зоне в настоящей момент равно нулю</p> <p>Добавление отрицательной реактивности компенсировано извлечением стержней</p>
1ч 19 мин 58 с	Вентиль стравливания пара закрыт <sup>п</sup>	Замедление скорости падения давления пара	
1ч 21 мин 50 с	<p>Расход питательной воды в четыре раза превысил номинальный</p> <p><i>Оператор резко снижает расход питательной воды<sup>р</sup></i></p>	Уровень в барабанах-сепараторах все еще повышается, давление все еще падает	<p>Положение стержней регулирования в соответствии с моделью неизменно.</p> <p>Снижение давления приводит к достаточному парообразованию для компенсации дополнительного расхода питательной воды</p>
1ч 22 мин 10 с	Паросодержание начинает расти <sup>р</sup> , стержни автоматического регулирования начинают опускаться, уровень воды в барабанах-сепараторах стабилизируется	Повышение температуры воды на входе в активную зону, что приводит к росту парообразования в среднем по активной зоне, стержни регулирования вводятся, чтобы его компенсировать	
1ч 22 мин 30 с	<p>Расход питательной воды снизился до двух третей номинального расхода</p> <p>Распечатаны поле энерговыделения и положения каждого стержня регулирования<sup>п</sup></p>	<p>Оператор не может удержать расход питательной воды на нужном уровне вследствие недостаточной точности системы управления, конструкция которой не предусматривала такого режима эксплуатации</p> <p>Это сделано для установления распределения нейтронного потока и запаса реактивности перед началом испытания</p>	<p>Стержни регулирования введены для компенсации добавленной реактивности вследствие повышенного парообразования</p> <p><i>Подтверждение того, что рабочий запас реактивности составлял половину минимально допустимого, и оператор на основе компьютерной распечатки должен был немедленно начать остановку реактора</i></p>

1ч 22 мин 45 с	Расход питательной воды стабилизировался	Паросодержание в активной зоне стабилизируется, давление начинает расти	
1ч 23 мин 04 с	<i>Эксплуатационный персонал заблокировал сигнал аварийной остановки двух турбогенераторов<sup>1</sup>. Закрыт аварийный клапан подачи пара на турбину<sup>2</sup>. Реактор продолжает работать на мощности 200 МВт (тепл.)</i>	Началось испытание турбогенератора №8	<i>Отключение последней аварийной технологической системы безопасности для обеспечения возможности повторения испытания. Эта аварийная система спасла бы реактор. Оператор знал, что он создает переходный режим, требующий остановки. (Это не было предусмотрено в программе испытания)</i>
1ч 23 мин 10 с	Одна группа стержней автоматического регулирования начинает подниматься	Парообразование в активной зоне снижается вследствие повышения давления в системе	
1ч 23 мин 21 с	<i>Две группы стержней автоматического регулирования вновь начинают опускаться</i>	Снижение расхода теплоносителя и повышение температуры воды на входе в активную зону	Оба эти результата приводят к добавлению положительной реактивности в активной зоне. Регулирующие стержни пытаются сбалансировать это добавление
1ч 23 мин 31 с	Общая реактивность возрастает <sup>1</sup> с последующим медленным ростом мощности реактора	Стержни регулирования более не способны сбалансировать добавочную реактивность	Мощность медленно возрастает, положительный коэффициент мощности усугубляет нарушение баланса реактивности
1ч 23 мин 40 с	<i>Оператор нажимает кнопку АЗ-5 (аварийная остановка реактора)</i>	Отсутствие явного эффекта	
1ч 23 мин 43 с	Срабатывают аварийные сигналы избытка мощности и снижения периода		<i>Аварийная защита недостаточна эффективна для предотвращения выхода реактора из-под контроля Кризис теплообмена</i>
1ч 23 мин 44 с	Резкое повышение мощности		Рассчитанная мощность превышает полную в 100 раз

В результате инициатива и управление испытаниями были возложены на инженеров электриков. Ядерной безопасности было уделено мало внимания, и не было получено надлежащего разрешения. Таким образом, были созданы предпосылки, но, как станет ясно из последующего, авария не произошла бы без широкого набора других взаимосвязанных проблем и серьезных нарушений.

Основными запланированными этапами испытаний были; понижение мощности до 700-1000 МВт (тепл.), блокирование САОР для предотвращения ложного срабатывания при испытаниях, переключение электропитания главных циркуляционных насосов, таким образом, что четыре из них получали питание от электрической службы АЭС, а четыре — от турбогенератора и, наконец, изоляция турбогенератора.

25 апреля в 1 час 00 мин снижением мощности реактора<sup>a</sup> началась подготовка к испытаниям<sup>4</sup>. В 13 ч 05 мин мощность реактора достигла 50%, и турбогенератор №7 был остановлен<sup>b</sup>. Вскоре после этого (в 14 ч 00 мин) была отключена САОР<sup>c</sup>. Снижение мощности по диспетчерскому требованию было остановлено<sup>d</sup> и возобновлено приблизительно девять часов спустя.

В этот период САОР оставалась отключенной<sup>e</sup>. Хотя это не оказало сильного влияния на последующие события, но факт, что САОР не была вновь подключена, отражает отношение эксплуатационного персонала к нарушениям нормальных процедур. В 23 ч 00 мин снижение мощности было продолжено<sup>f</sup>, и произошло еще одно необычное событие. Во время перевода оператором управления мощностью реактора с локальной на общую регулируемую систему не поступило запроса "держат мощность". В результате мощность быстро упала<sup>g</sup> ниже минимально допустимого уровня 700 МВт (тепл.). Как следствие, быстро упал уровень мощности, вызванный коллапсом парообразования (недостаточное кипение) в реакторе. Мощность реактора упала до 30 МВт (тепл.), и оператору удалось вновь повысить его мощность до 200 МВт (тепл.) лишь в результате ручного вывода регулирующих стержней.

При режиме мощности ниже приблизительно 700 МВт (тепл.) отношение между объемом и массой пара высоко не линейно до точки, когда небольшие изменения мощности (а отсюда и паровой массы) ведут к большим изменениям объема пара (отсюда и парообразования), весьма затрудняя управление мощностью и питательной водой.

---

<sup>4</sup> Сноска относится к последовательности в табл. 1.

Комбинация вывода слишком большого числа регулирующих стержней из активной зоны и эксплуатации на этом низком уровне мощности нарушала ряд процедур. Она также создала условия, которые одновременно ускорили в силу динамических характеристик реактора возмущения блока или реактора и снизили эффективность системы защиты.

Положение регулирующих стержней исключительно важно при определении этих динамических характеристик. Чем больше они выдвинуты, например, для поддержания постоянной мощности, тем более положительным становится паровой коэффициент и более чувствительным — реактор к любым эффектам, которые имеют результатом изменения в распределении и (или) уровне пара в активной зоне. При изменении мощности разогрев топлива и отвод тепла в теплоноситель изменяют темп изменения мощности. Температурный коэффициент топлива является отрицательным, а чистый эффект повышения температуры топлива и дополнительное парообразование в результате этого повышения зависят от уровня мощности. Для реактора РБМК в нормальных условиях чистый эффект (выраженный через мощностной коэффициент) отрицателен при полной мощности и становится положительным приблизительно ниже 20% мощности. Если манипуляции оператора приводят к повышению парового коэффициента сверх нормы, то это оказывает прямое воздействие на значение мощностного коэффициента и диапазон режимов работы реактора на мощности, на которой он остается положительным.

Реактор продолжал работать на мощности 200 МВт(тепл.) — уровне, который запрещен для продолжительной эксплуатации. Тем не менее, оператор решил продолжать программу испытаний. Хотя это было серьезным нарушением эксплуатационной процедуры, этого было еще недостаточно, чтобы вызвать аварию. Последующие действия усугубили проблему.

Оператор включил четвертый насос в каждой петле согласно плану<sup>1</sup>, но ввиду того, что реактор работал в режиме низкого парообразования при низком термогидравлическом сопротивлении в системе циркуляции, насосы вызвали увеличение расхода воды до точки, когда разрешенные для насосов по соображениям кавитации пределы были превышены. Дальнейшее балансирование дроссельными клапанами оказалось невозможным, и увеличение расхода воды в активной зоне привело к проблемам, связанным с уровнем воды в барабанах-сепараторах. Оператор компенсировал увеличением расхода питательной воды, однако ему не удалось достигнуть желаемого уровня воды в барабанах-сепараторах из-за неточности контроля за питательной водой на этих уровнях мощности.

26 апреля к 1 ч 19 мин уровень воды в барабанах-сепараторах все еще оставался возле аварийной отметки. Оператор увеличил расход питательной воды<sup>к</sup>. Эта операция по подпитке, повысив уровень воды в барабанах-сепараторах, имела результатом снижение парообразования, что несколько добавило отрицательной реактивности в систему. Стержни АР попытались скомпенсировать<sup>л</sup>, однако для этого требовалось дальнейшее перемещение вверх ручных стержней для сохранения баланса реактивности<sup>м</sup>. Давление в системе начало падать, и был перекрыт байпас в турбину в попытке стабилизировать давление<sup>н</sup>. Давление, расход воды и парообразование взаимосвязаны, так как они определяют действия системы управления. Чувствительность реакции системы на эту взаимосвязь повышается в условиях низкой мощности. Поскольку операторы испытывали трудность в отношении контроля давления и уровня, они блокировали устройства автоматической остановки реактора, связанные с этими параметрами<sup>к</sup>.

Следует отметить, что начиная с этого момента (1 ч 19 мин 26 апреля) большая часть представленной информации основана на расчетах, представленных советскими экспертами.

Когда оператор решил, что уровень воды в барабанах-сепараторах достаточно высок, он резко снизил расход питательной воды<sup>о</sup>, вызвав усиление парообразования и положительной реактивности, и регулирующие стержни были автоматически опущены, чтобы компенсировать и сохранить постоянную мощность реактора<sup>р</sup>. До испытаний оператор располагал распечаткой распределения потока нейтронов, полученной из системы централизованного контроля станции.

Эта распечатка показывает, что из активной зоны было извлечено слишком много регулирующих стержней, и что не было достаточного запаса реактивности для выполнения требований при остановке<sup>с</sup>. В это время оператору следовало остановить реактор. Устройство автоматической остановки реактора по отключению второго генератора было заблокировано, чтобы позволить, если потребуется, возобновление испытаний<sup>т</sup>. Это явилось ключевым нарушением программы испытаний, поскольку реактор был бы безопасно остановлен при начале испытаний даже при существующем положении стержней. Испытания могли быть и должны были быть проведены таким образом, чтобы реактор был остановлен при начале испытаний. Такая процедура успешно осуществлялась в предыдущих испытаниях. К этому времени сигналы защиты реактора поступали только от датчиков превышения давления и низкого периода.

После перекрытия аварийного стопорного клапана<sup>5</sup> давление пара начало повышаться. Расход воды через активную зону начал понижаться, так как четыре главных циркуляционных насоса приводились в движение выбегающим генератором. Повышение давления, снижение расхода питательной воды и снижение расхода воды через реактор являются конкурирующими факторами, которые определяют объемные показатели пара, и отсюда мощность реактора. Следует подчеркнуть, что в то время реактор находился в таком состоянии, когда небольшие изменения мощности привели бы к многократному увеличению объемного паросодержания и, соответственно, росту мощности. Комбинация этих факторов в конечном счете привела к повышению мощности, начавшемуся приблизительно в 1 ч 23 мин 30 с<sup>1</sup>.

В 1 ч 23 мин 40 с начальник смены блока приказал остановить реактор, но уже было слишком поздно. Запас реактивности, остававшийся в стержнях активной зоны, был недостаточен, а остальные стержни, находившиеся в верхней части активной зоны, не могли быть опущены достаточно быстро, чтобы преодолеть превышение мощности, вызванное вышеперечисленными конкурирующими факторами. Было рассчитано, что мощность превысила 530 МВт в течение трех секунд, а период разгона стал намного меньше 20 с. К этому времени инициация автоматической остановки по сигналам датчиков высокой мощности и низкого периода слишком запоздала, чтобы быть эффективной. Положительный паровой коэффициент реактивности, присущий конструкции РБМК, способствовал увеличению реактивности и быстрому превышению критического значения. Через 4 секунды после 1 ч 23 мин 40 с мощность по расчетам в 100 раз превысила полную. Это катастрофическое нарастание мощности реактора имело результатом фрагментацию топлива, быструю генерацию пара и, в конце концов, разрушение активной зоны реактора и связанных с нею конструкций.

Быстрое нарастание повреждений в первые секунды аварии, высокий уровень радиации и высокие температуры на последующем этапе помешала сделать прямые измерения. Последующее описание событий основано на визуальных наблюдениях, замерах уровня радиации, экспериментальных данных до аварии и расчетах после аварии. Необходимы последующие аналитические и экспериментальные исследования, так же как и анализ поврежденных материалов для более глубокого изучения последствий аварии и связанных с ними процессов.

Известны следующие факты: произошел взрыв с извержением некоторого количества вещества; произошел второй взрыв



с извержением топлива и графита; графитовые блоки были найдены за пределами здания; осколки топлива были найдены за пределами зданий; здания были сильно повреждены; оказались разрушенными кран и разгрузочно-загрузочная машина; верхняя плита была перемещена в вертикальное положение в шахте реактора; все каналы были разрушены; цепная реакция прекратилась.

Эти наблюдения взаимоувязаны в последующем описании. Значительное возрастание реактивности имело результатом дополнительное высокое энерговыделение. В подобных случаях горячее топливо и другие частицы, как правило, взаимодействуют с окружающей водой. Последующее парообразование привело к повышению давления. Избыточное давление и выделение тепла привели к разрыву ряда технологических каналов и верхней части этих каналов. Во время этого первого взрыва измельченный материал был выброшен, и крыша реакторного зала получила повреждение. В реакторном пространстве, которое запланировано на разрыв лишь одного технологического канала, создалось избыточное давление и оказалась приподнятой верхняя крышка реактора весом 1000 тонн.

В этот момент были разрушены все технологические каналы, регулирующие стержни поднялись, а горизонтальные трубопроводы оказались срезанными. Второй взрыв последовал через 2—3 секунды после первого. Еще не ясно, явился ли его причиной образовавшийся водород, вступивший в реакцию с воздухом, или он был результатом второго скачка мощности. Было выброшено около 25% графитовых блоков и материала из технологических каналов. Взрыв переместил оборудование системы в активную зону реактора, реакторный зал и пространство под активной зоной. Содержащие воду защитные баки были разорваны.

Операторам удалось подать воду, используя вспомогательные питательные насосы. Вода была подана на сепараторы пара и коллекторы между сепараторами и насосами. В течение приблизительно половины суток расход подаваемой воды составлял 200-300 тонн в час. Вода забиралась из бака-хранилища для подачи в сохранившуюся часть реактора через САОР. Часть воды испарилась. Оставшаяся вода вытекла из блока №4 в направлении блоков №1 и №2.

В результате повреждения здания образовался воздушный поток через активную зону, вызванный высокой температурой активной зоны. Температуру активной зоны измерить оказалось невозможно, поэтому поведение графита и топлива не может быть полностью описано. Было замечено, что в первые сутки из реактора шел пар, а на вторые сутки было отмечено небольшое количество темного дыма. Очевидно, что происходила реакция графита с воздухом и паром. По оценке советских экспертов, сгорело по

крайней мере 10% графита, хотя эта оценка, возможно, занижена. Было бы неудивительно, если бы в действительности в реакции участвовало большее количество графита.

Аварийные команды доставили в шахту реактора различные материалы общим весом 5000 тонн. Эта мера явно уменьшила воздушный поток и выброс продуктов деления, хотя она также уменьшила и теплоотдачу в окружающую среду.

В нижнюю часть здания удалось подать азот. Некоторые трубопроводы были разрезаны, чтобы направить поток, хотя различные пути потока неизвестны.

Посредством измерений гамма-излучения на внешней стороне бетонной биологической защиты было определено, что большая часть топлива находится ниже активной зоны в помещении трубопроводов. Как полагают, часть топлива находится в зоне горизонтальных выходных трубопроводов. Эти измерения также показывают, что часть топлива осталась в активной зоне, главным образом во внешней периферийной части. Каким образом это топливо зафиксировано внутри этого объема, еще неясно. 3-4% топлива было выброшено либо в виде осколков (только на площадке) или частиц диаметром от 1 мк до десятков мк.

Бетонная плита под реактором не расплавилась. На этой стадии невозможно произвести оценку взаимодействия расплава с бетоном.

### 3. ХРОНОЛОГИЯ СОБЫТИЙ

#### 3.1. Хронология событий до быстрого повышения мощности

Представленная последовательность событий (в табл.1<sup>5</sup>) основывается на описании, данном советскими рабочими документами.

#### 3.2. Хронология событий после резкого повышения мощности

Точная разбивка по интервалам времени (момент первого взрыва принимается за ноль) в настоящем разделе неизвестна, она используется только для построения последовательности событий. Точная периодизация значения не имеет.

Примерно во время первого взрыва:

Топливо в пределах около 30% объема разрушилось, что привело к взаимодействию с окружающей водой и последующему образованию пара и росту давления. Могло образоваться некоторое количество водорода.

<sup>5</sup> Основные нарушения и важные особенности, которые в конечном счете привели к катастрофе, выделены в табл. наклонным шрифтом. Сноски относятся к соответствующим буквенным обозначениям в тексте.

Были разрушены некоторые топливные каналы вследствие нагрузок от тепловыделения радиоактивного распада, механических повреждений и чрезмерного давления. Предполагается, что разрушение произошло вблизи места скачка мощности, запорных пробок топливных каналов и трубопроводов над верхней защитной плитой активной зоны и колен впускных трубопроводов под нижней плитой активной зоны.

Через крышку блока №4 было выброшено некоторое количество топлива, графита кладки или материала каналов.

Через две-пять секунд:

Вследствие парообразования в первом контуре давление внутри реакторного пространства возросло, возможно, до нескольких мегапаскалей (нескольких десятков бар), и пар образовывался как во время, так и после процесса разрушения.

Верхняя плита активной зоны (около 1000 тонн) начала приподниматься, что привело к разрыву всех топливных каналов, поднятию регулирующих стержней и срезу горизонтальных трубопроводов.

Через две-три секунды после первого произошел второй взрыв. До сих пор не ясно, вызван ли этот взрыв вторым забросом мощности или наличием взрывоопасного водорода.

Продолжалось перемещение топлива в отсек под нижней плитой активной зоны и в район горизонтальных трубопроводов.

Графитовые блоки сместились в радиальном направлении, что привело к повреждению заполненного водой защитного бака.

В первые несколько минут:

Пар и вода из разорванных трубопроводов системы снабжения и вода из защитных баков поступили в активную зону, реакторный зал и помещения под нижней плитой активной зоны.

Возможные реакции с графитом, цирконием и топливом.

В первый день:

Вспомогательными насосами питательной воды в паросепараторы и водосборники почти сразу после аварии в течение около половины дня закачивалась вода с расходом по массе 200-300 тонн/час.

Закачка воды была прекращена вследствие опасности затопления блоков №1 и №2. Прорыв пара из реактора.

Через район активной зоны устанавливается воздушный поток, приводимый высокими температурами активной зоны.

Со второго по десятый день:

В результате реакции с графитом из реактора выходит черный дым.

Засыпка изолирующими и фильтрующими материалами.

Начиная с 5 мая прокачивание азота через активную зону реактора.

#### 4. ГЛАВНЫЕ ФАКТОРЫ, СПОСОБСТВОВАВШИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЮ АВАРИИ

Предшествующее изложение основано на информации и рабочих документах, представленных советскими экспертами. На основе этой информации мы имели достоверное объяснение последовательности событий на блоке №4 Чернобыльской АЭС и не пытались найти альтернативные объяснения. С нашей точки зрения, основными факторами, способствовавшими возникновению этой аварии, являются следующие:

Отключение автоматической защиты.

Если бы эти системы защиты не были отключены, введение аварийных стержней остановило бы переходный процесс, невзирая ни на какие обстоятельства. Стоит повторить, что это испытание могло и должно было быть проведено таким образом, чтобы реактор был остановлен при начале испытания. С этой-то целью эксперимент и производился, но этим требованием пренебрегли.

Эксплуатация на неприемлемо низких уровнях мощности.

После снижения мощности реактора она упала значительно ниже минимально допустимого для длительной эксплуатации уровня 700 МВт (тепл.) вследствие неверного переключения системы управления. Этот уровень установлен с целью избежать эксплуатацию реактора в таком режиме, когда повышение мощности приводит к еще большему ее росту. Чем больше паросодержание и ниже уровень мощности, тем сильнее этот эффект. В этих условиях эксперимент должен был быть прекращен.

Было не только принято решение продолжать эксперимент, но оно также сопровождалось серией дополнительных действий, которые еще более повысили уязвимость реактора в режиме малой мощности. Подключение дополнительных насосов и увеличение расхода теплоносителя значительно выше номинальных уровней создали условия для ускорения роста мощности.

Непосредственно перед отключением турбогенератора расход питательной воды был резко сокращен.

Система стержней автоматического регулирования успешно компенсировала это сокращение, но после этого она уже была не способна компенсировать снижение общего расхода, когда началось испытание. Без аварийной останавливающей защиты этот ускоряющийся рост мощности был неуправляем.

Доминирующим эффектом явилось то, что эксплуатация АЭС требовала высокого значения паросодержания. Те же действия привели также к недопустимым изменениям расположения регулирующих стержней и существенно снизили дополнительное охлаждение

основного теплоносителя. Важным фактором остается неблагоприятное изменение паросодержания как основной составляющей коэффициента мощности в этих условиях. Следует отметить, что конструкции реактора РБМК не свойственны такого рода сложности при эксплуатации на полной мощности.

Решение о продолжении испытания.

Испытание было начато в условиях, не соответствующих предписанным, и продолжалось, несмотря на очевидность того, что управление установкой было затруднено и было нарушено условие "запаса реактивности".

Все вышеуказанные моменты имеют довольно похожий характер и касаются дисциплины и действий персонала и руководства. Видимо, такое отношение сложилось в результате самонадеянности, явившейся следствием успешной безотказной эксплуатации и стремления во что бы то ни стало провести испытание.

Взаимосвязь с конструкцией АЭС.

Физические характеристики:

Одной из характерных особенностей реактора РБМК является его положительный паровой коэффициент реактивности. Нет сомнения, что реакторы с такими характеристиками могут эксплуатироваться безопасно, однако тщательное внимание должно быть уделено конструкции систем безопасности и управления. Системы остановки должны быть спроектированы с достаточной скоростью срабатывания и реактивностью, позволяющей им справиться с максимальной положительной реактивностью, возникающей вследствие избыточного парообразования в теплоносителе при всех авариях, предусматриваемых при проектировании. Конструкция аппарата должна сводить к минимуму потенциальную возможность неправильного восприятия операторами физических характеристик.

Защитные оболочки:

Нижняя и верхняя бетонные конструкции выдержали нагрузки от заброса мощности, а также последующие нагрузки. Система сброса давления не получила повреждений и не усугубила аварии или разрушений. Однако очевидно, что радиационные последствия аварии были усугублены подъемом верхней плиты.

## 5. МЕРЫ ПО УЛУЧШЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ

Причины аварии многочисленны. Их сочетание привело к катастрофе. В отношении вопросов регламентов, действий персонала и руководства советские эксперты продемонстрировали общее намерение усовершенствовать их. В отношении же конструкционных

особенностей в сочетании с ошибками и неверными оценками можно сказать больше. Признано, что необходимо максимально снизить уязвимость АЭС в отношении крупных нарушений, и в этом направлении предпринимается ряд шагов.

С целью недопущения установки регулирующих стержней в положение, когда нарушается требование наличия надлежащего "запаса реактивности", все стержни будут снабжены концевыми выключателями, обеспечивающими минимальное введение на глубину 1,2 м, и в активной зоне будут постоянно находиться 70-80 стержней. Эти две меры также в большой степени снизят значение парового коэффициента реактивности, и общая защита против проектных отказов, обусловленных особенностями конструкции, несомненно, повысится. Наблюдение требования о недопустимости эксплуатации на мощности ниже 700 МВт(тепл.) будет предотвращено введением дополнительной защитной остановки.

Эти первые меры будут осуществлены в ближайшее время. В дальнейшем для решения проблемы положительного парового коэффициента будут установлены неподвижные поглотители и модифицировано топливо повышением обогащения с 2,0% до 2,4%. Другим перспективным усовершенствованием, которое приветствуется в наибольшей степени, является быстродействующая система остановки, подходы к которой в настоящее время изучаются.

## 6. УРОКИ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Понимание чернобыльской катастрофы приводит к следующим выводам:

(а) конструкции АЭС должны быть в наиболее возможной степени невосприимчивы к ошибке оператора и к преднамеренному нарушению регламентов безопасности;

(b) регламенты, относящиеся к эксплуатации АЭС, должны готовиться тщательным образом с уделением постоянного внимания влиянию на безопасность тех или иных намерений. Это особо важно в случаях, когда предполагаются нештатные действия;

(с) когда предполагаются особые процедуры, которые первоначально задумывают и подробно разрабатывают специалисты, главную ответственность за безопасность эксплуатации должны нести старшие руководящие работники АЭС. В такой работе оценка задачи с точки зрения безопасности должна проводиться персоналом, всесторонне осознающим все ее последствия. Также важно для технических специалистов непосредственно участвовать в осуществлении специальных работ на станции, однако это не должно означать полноты полномочий в вопросах безопасности;

(d) вообще необходима уверенность в том, что эксплуатационный персонал будет следовать установленным регламентам. Для обеспечения этого необходимо создание соответствующей атмосферы, которая обеспечивает надлежащее равновесие между необходимостью обеспечить выполнение поставленных задач и безопасностью, и при которой проводятся проверки "качества" обеспечения эксплуатационной безопасности, а неприятные и строгие методы обеспечения безопасности рассматриваются как благо, а не помеха.

Кроме того, дается следующая рекомендация.

Очевидно, что для дальнейшей оценки различных явлений и хода событий после резкого увеличения мощности настоятельно необходимо провести дополнительные исследования и проверки индивидуальных эффектов. Самое главное, необходимо проанализировать вещество из пространства активной зоны. Дальнейший анализ обеспечит лучшее понимание развития аварии и повреждений.

## Раздел V

### ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ, ТРЕБУЮЩИЕ ДАЛЬНЕЙШЕГО ОБСУЖДЕНИЯ

Специалисты в области ядерной энергии стремятся извлечь из аварии в Чернобыле все возможные уроки, касающиеся безопасности. Хотя в ходе совещания по рассмотрению причин и последствий аварии был получен большой объем информации, некоторые проблемы требуют дополнительного обсуждения с целью оценки значимости ряда проблем с точки зрения безопасности. Нижеизложенный перечень тем носит предварительный характер, поскольку международный анализ этого события только начинается. Следовательно, этот перечень потребует периодического обновления с учетом дальнейшего обмена информацией между Советским Союзом и другими странами, новых проблем, возникающих в результате проводимых в настоящее время и перспективных теоретических и экспериментальных исследований, а также уже решенных проблем.

#### Проблема № 1. ОЦЕНКА РЕГЛАМЕНТОВ БЕЗОПАСНОСТИ

Поскольку непосредственной причиной аварии стало нарушение целого ряда правил эксплуатации, отключение систем безопасности, необходимо осознать, каким образом такие нарушения были практически возможны. Это требует понимания действующих регламентов станции, ее организации и распределения ответственности, а также средств, использовавшихся для нарушения правил, в особенности для обхода систем безопасности. В связи с обсуждением этой проблемы мог бы возникнуть обмен информацией о различных применяемых методах:

- (а) для разработки и проверки регламентов;
- (б) для обеспечения сознательного соблюдения регламентов оператором.

Опыт, полученный в результате таких обсуждений, поможет всем нам понять потребность человека в положительных стимулах, закрепляющих высокие показатели работы наряду с бесспорной необходимостью установления строгой дисциплины. В рамках каждой национальной культуры наиболее успешные методы могут совершенно отличаться от общих норм.



## **Проблема №2. РАБОЧИЙ АНАЛИЗ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ СОБЫТИЙ ПРИ АВАРИИ**

Советские эксперты представляли результаты воссоздания хода аварии на математической модели, учитывающей фактическое состояние блока и соответствующих величин соответствующих физических параметров. Такое моделирование показывает, что действия оператора привели к резкому скачку реактивности. Проигрывание большого числа сходных моделей с различными исходными данными о параметрах блока и различными по времени или по характеру действиям операторов поможет сделать более глубокие выводы о том, например, что могло произойти, если бы команда остановки реактора была дана, как только операторы поняли, что реактор находится в опасном состоянии. Такие модели помогли бы понять относительное влияние на безопасность различных действий оператора и поведение реактора в результате таких действий, торов и поведение реактора в результате таких действий.

Обсуждение этой проблемы могло бы привести к обмену эквивалентными моделями для всех эксплуатируемых и будущих АЭС. Подготовка таких моделей может осуществляться компетентными национальными органами, а их распространение через МАГАТЭ или по другим каналам.

## **Проблема №3. РЕАЛЬНОСТЬ СОЗДАНИЯ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ, СПОСОБНОЙ ВЫДЕРЖАТЬ ТАКУЮ АВАРИЮ**

Принцип эшелонированной системы безопасности предполагает, что следует учитывать возможный отказ систем, предназначенных для предотвращения аварии, и полагаться на один или несколько конечных барьеров, которые гарантируют минимальный выброс радиоактивного вещества за пределы защитной оболочки. Проведенная МКГЯБ краткая оценка механической энергии, высвободившейся в ходе аварии в Чернобыле, и наше понимание различных связанных с этим последствий слишком ограничены для того, чтобы определить, реально ли создать сооружение, способное выдержать такое событие, для всех действующих и будущих АЭС. Возможно, как считают советские эксперты, ни одно защитное сооружение не смогло бы выдержать механического воздействия такой аварии.

Для оценки этой проблемы, возможно, необходимы экспериментальные исследования, позволяющие лучше описать физические явления, происходившие в первые две—три секунды аварии, например, разрушение топлива, взаимодействие топлива и теплоносителя и паровой взрыв. Необходимо также объяснить второй

взрыв. Однако группа экспертов, используя данные, уже представленные в соответствующей литературе, может провести предварительный анализ. Можно было бы обменяться и результатами подобного анализа по другим типам реакторов.

#### **Проблема №4. ЗНАЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ "ЧЕЛОВЕК-МАШИНА" ДЛЯ ТОЧНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАЧАЛА АВАРИЙ**

Основной урок, который можно извлечь из анализа на АЭС "Три-майл-Айленд", состоит в том, что информация о серьезной опасности для станции должна незамедлительно поступить к операторам в ясной и понятной форме. Лучшим примером такой информации является табло, отражающее запас до кипения, которое сообщает оператору уже готовую для принятия решения информацию о состоянии теплоносителя активной зоны.

Для предотвращения аварий, вызванных изменениями реактивности, жизненно важным, как показала авария в Чернобыле, является наличие у операторов данных о рабочем запасе реактивности, выраженных в понятных им величинах. Для анализа этой ситуации было бы полезно дать более подробное описание существующих систем, включая способ расчета этого параметра и его представление оператору.

Этот анализ можно расширить включением и таких важных параметров, как запас до кипения на входе активной зоны, и он мог бы стать основой более общей оценки требований, предъявляемых к дисплею пульта управления, на котором должен воспроизводиться оговоренный минимум параметров безопасности. Может оказаться, что такой анализ события в Чернобыле станет проверкой выводов, полученных по результатам изучения аварии на реакторе "Три-майл-Айленд". Этот вопрос имеет достаточно важное значение с точки зрения безопасной эксплуатации, и поэтому заинтересованные стороны должны обсудить его под руководством опытных старших сотрудников-эксплуатационников. Прежде всего можно было бы обменяться имеющейся информацией, а затем определить задачи, требующие решения.

#### **Проблема №5. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ "ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОАКТИВНОГО ВЫБРОСА"**

Авария в Чернобыле представляет собой важнейший источник данных о механизмах радиоактивного выброса. Хотя механизмы, обусловившие выброс в Чернобыле, могут быть не пригодны в

полной мере для оценки потенциального выброса из реакторов других типов, очевидно, что извлечение максимально возможного объема информации из того, что произошло на Чернобыльской АЭС в период с 26 апреля до 6 мая, принесет общую пользу в решении проблем безопасности.

В ходе совещания по рассмотрению причин и последствий аварии многие его участники интересовались подробной информацией о физической и химической формах радионуклидов, предлагали провести определенные измерения для получения дополнительных ценных данных, выдвигали свои предположения относительно возможных механизмов выброса и т.д. Когда советские специалисты сообщают об имеющихся у них данных и получают данные от других специалистов, можно будет организовать совещание специалистов с целью отбора этих данных и разработки международной исследовательской программы, если таковая потребуется. Результаты этого обсуждения можно использовать для оказания помощи МКГЯБ в исследовании "характеристик радиоактивного выброса".

#### **Проблема №6. МЕРЫ ПО ЛИКВИДАЦИИ АВАРИИ НА ПЛОЩАДКЕ**

Эксплуатация и управление такими многоблочными станциями, как Чернобыльская АЭС (четыре эксплуатируемых блока и два строящихся), создают многочисленные важные проблемы, такие как связи между блоками, порядок эксплуатации неповрежденных блоков, степень участия операторов неповрежденных блоков в оказании помощи операторам, проводившим испытание, или в осуществлении комплекса мер по ликвидации аварии и т. д. и т.п. Например, эксплуатация блока №3, возможно, могла бы продолжаться до тех пор, пока пожар не был ликвидирован на блоке №4, для удовлетворения общих или частных потребностей в электроэнергии, воде или других услугах, необходимых для помощи пожарным, работавшим на четвертом блоке.

После обсуждения проблемы было бы полезно созвать совещание специалистов, работающих на площадках с несколькими блоками, и обсудить на нем, в частности, информацию относительно общих принципов и регламентов.

#### **Проблема №7. ОПЫТ В ОБЛАСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Во время совещания советские эксперты заявили, что в течение 100 реакторо-лет эксплуатации реакторов типа РБМК не произошло ни одного аномального события, которое можно было бы

рассматривать в качестве "предвестника" аварии 26 апреля. Однако Советский Союз может толковать термин "предвестник" иначе, чем это делают в других странах. Хотя в прошлом не возникало совокупности событий, подобной той, которая привела к аварии, события на Курской АЭС, описанные в разделе 2.12.2 Приложения 2 к докладу Советского Союза, представляют чрезвычайно большой интерес для изучения некоторых важных характеристик переходных режимов Чернобыльской АЭС.

Наиболее эффективным средством решения этой проблемы может стать расширение и продолжение деятельности существующей информационной системы МАГАТЭ по инцидентам на АЭС.

Используя опыт Чернобыля в качестве примера для других, было бы полезно знать об ошибках оператора, подобных тем, которые привели к падению мощности до 30 МВт(тепл.) или, в более общих чертах, о неожиданных переходных режимах, при которых определенную роль сыграли величины коэффициентов реактивности. Если проведенный Советским Союзом повторный анализ опыта эксплуатации реакторов РБМК определит значимые события, то такая информация будет полезной при анализе аварии в Чернобыле, а информация о наблюдаемой частотности различных типов отклонений оказала бы помощь в оценке их значения с точки зрения безопасности.

### **Проблема №8. ДЕЗАКТИВАЦИЯ ПЛОЩАДКИ**

Безусловно, технические специалисты проявляют большой интерес к получению какой бы то ни было информации, предоставляемой советскими экспертами, о методах по снижению радиоактивности на площадке как в помещениях, так и за их пределами. Такая информация может составить основу для разработки и выпуска руководства для операторов, которые могут оказаться в ситуации радиоактивного загрязнения.

### **Проблема №9. МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАССЕЙВАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ**

Из этой аварии можно сделать однозначный вывод о том, что мы должны обеспечить такие условия, чтобы руководство АЭС могло правильно рассчитать рассеивание радионуклидов в окружающей среде при различных условиях аварии. Безусловно, что события в Чернобыле представляют собой уникальный источник информации по рассеиванию радионуклидов. Несмотря на неопределенность величины выбросов и на отсутствие подробных

данных, что может затруднить метеорологическую оценку, компетентные органы Советского Союза при содействии (если в этом возникает необходимость) экспертов из других стран могли бы выработать методику всестороннего анализа и неукоснительно ей следовать. Программы обмена информацией должны проводиться под эгидой МАГАТЭ.

### **Проблема №10. РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА**

Важно оценить последствия радиоактивного выброса для окружающей среды, эффективность контрмер и медицинской помощи лицам, получившим высокую дозу облучения, а также долгосрочные последствия для населения окружающих районов, поскольку результаты таких оценок будут иметь очень большое значение для принятия мер по ликвидации последствий аварии.

## Раздел VI

### ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ВЫВОДЫ

На совещании по рассмотрению причин и последствий аварии советские ученые и инженеры представили доклад в двух частях, содержащий основную техническую информацию о Чернобыльской АЭС, описание последовательности операций, приведших к аварии, ее возможных причин, оценку аварии, радиоактивных выбросов, последствий аварии и контрмер, принятых как на площадке, так и вне ее. Советские эксперты сообщили также о проводимых ими исследованиях технических, медицинских и экологических вопросов, связанных с аварией.

Представленный советскими специалистами доклад составлен тщательно и на высоком профессиональном уровне. Откровенные и открытые выступления советских участников на совещании были с удовлетворением восприняты другими участниками, которые в ответ выступили с сотнями представленных в письменной форме вопросов. Большинство этих вопросов касалось предоставления дальнейших подробных сведений и количественных данных по техническим вопросам, что требует проведения дальнейших исследований. Ожидается, что в ближайшие месяцы и годы, несомненно, поступят дополнительные и уточненные подробные сведения.

МКГЯБ рассмотрела доклад, представленный советскими экспертами на совещание по рассмотрению причин и последствий аварии, и члены МКГЯБ провели дополнительные обсуждения с советскими экспертами. По мнению МКГЯБ, описание хода реальных событий представляется полностью правдоподобным и соответствует представлениям о том, каким образом подобные системы могли бы вести себя в описанных фактически имевших место условиях. Это не означает, что не осталось открытых вопросов, и в первую очередь советские эксперты согласны с таким выводом.

Участники совещания пришли к общему мнению о необходимости укрепления международного сотрудничества в области ядерной и радиационной безопасности. Проведенные обсуждения, как представляется, могут оказаться полезными для советских экспертов при планировании необходимой программы научно-исследовательских работ.

Хотя было бы неправильным заявить, что в настоящее время можно сделать заключительные всеобъемлющие выводы относительно причин, последствий и значения аварии, на совещании по рассмотрению причин и последствий аварии была выяснена общая картина, и можно сделать целый ряд выводов.

Советские эксперты, например, признали полезность модификации реакторов типа РБМК и сообщили, что они уже приняли меры по увеличению числа стержней аварийной защиты и установили требования относительно минимальной глубины ввода для всех стержней управления.

Эти модификации, наряду с совершенствованием административных процедур, направлены на то, чтобы значительно затруднить создание таких эксплуатационных условий, в результате которых мог бы наблюдаться быстрый рост реактивности по каким-либо причинам, включая серьезное нарушение штатного регламента эксплуатации.

Несмотря на то, что в настоящее время нет возможности подтвердить, что эти модификации сами по себе могут обеспечить достижение цели безопасности, МКГЯБ решительно поддерживает этот подход, который был принят советскими компетентными органами для реакторов РБМК.

Материалы данного совещания и новые данные, обнаруженные членами МКГЯБ, экспертами МАГАТЭ и другими участниками, позволили сделать следующие предварительные выводы, которые сгруппированы по разделам "Ядерная безопасность", "Радиационная защита" и "Итоговое заключение".

Кроме этих, другие более конкретные выводы могут быть обнаружены в полном тексте доклада. Здесь они повторно не приводятся.

## **А. ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

### ***1. НЕ ВЫЯВЛЕНО НИКАКИХ НОВЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ.***

Не оказалось возможным выявить какие-либо физические явления, которые ранее уже не являлись бы предметом изучения в рамках анализа безопасности, либо теоретических и (или) экспериментальных исследований.

Тем не менее, всем операторам АЭС следует уяснить важность регулярного возвращения к анализу безопасности с целью проведения исследований конкретных рисков, проверки того, чтобы вопросы безопасности, которые были выявлены в прошлом, по-прежнему должным образом принимались во внимание.

## **2. НЕОБХОДИМО СОЗДАТЬ "КУЛЬТУРУ БЕЗОПАСНОСТИ" НА ВСЕХ ДЕЙСТВУЮЩИХ АЭС.**

Был сделан вывод о том, что коренные причины аварии в Чернобыле следует искать в так называемом "человеческом факторе". Извлеченные уроки предполагают осуществление трех видов деятельности:

(1) подготовка кадров при уделении особого внимания необходимости приобретения надлежащих знаний о реакторе и его работе, а также с использованием тренажеров, обеспечивающих реалистическую модель хода событий при серьезных авариях;

(2) проведение ревизий как силами энергокомпаний, так и со стороны, в частности, с целью предотвращения проявления самоуспокоенности в процессе нормальной эксплуатации;

(3) понимание всем персоналом потенциального значения всех отклонений от штатного регламента с точки зрения безопасности.

Эти уроки, полученные в связи с аварией в Чернобыле, имеют значение для всех типов реакторов.

Важнейшим выводом, который был сделан, является вывод о важности возложения всех полномочий и полной ответственности в отношении безопасности станции на старшего сотрудника из числа эксплуатационного персонала станции. Наряду с надлежащим образом проанализированным и утвержденным штатным регламентом, необходимо создать и поддерживать "культуру ядерной безопасности". Этот процесс повышения безопасности следует осуществлять в сочетании с необходимыми мерами по укреплению дисциплины.

## **3. ПРОЕКТЫ РЕАКТОРОВ ДОЛЖНЫ ДЕЙСТВИТЕЛЬНО ВОПЛОЩАТЬ КОНЦЕПЦИЮ ЭШЕЛОНИРОВАННОЙ ЗАЩИТЫ.**

Схематично можно выделить три уровня.

На первом уровне следует обратить внимание на имманентную стабильность. При стационарном облучении топлива реакторы типа РБМК имеют положительный паровой коэффициент реактивности. Вместе с тем, температурный коэффициент топлива является отрицательным, и чистый эффект изменения мощности зависит от уровня мощности. При нормальных условиях эксплуатации чистый эффект (мощностной коэффициент) является отрицательным на полной мощности и становится положительным на уровне, ниже приблизительно 20% от полной мощности. Эксплуатация реактора на уровне ниже 700 МВт(тепл.) ограничивается правилами эксплуатации регламентом ввиду



проблем, связанных с поддержанием термогидравлических параметров в нормальном рабочем диапазоне.

На втором уровне в момент, когда безопасность станции подвергается серьезной угрозе, должны включаться автоматические системы безопасности. Это требование относится ко всем типам реакторов. В том, что касается системы останова реактора на Чернобыльской АЭС, в момент аварии этого не произошло.

Наконец, последний уровень относится к конечному пассивному барьеру, который должен быть в состоянии сдерживать большую часть радионуклидов, в случае если не срабатывают первые две линии защиты. Имеется должное понимание функции здания защитной оболочки для тех реакторов, которые имеют такой тип защиты.

Вместе с тем, необходимо также признать, что создание "полной" защиты не всегда технически осуществимо, и в настоящее время нет уверенности в том, что подобная защитная оболочка могла бы обеспечить защиту от последствий аварийного роста реактивности, который произошел на Чернобыльской АЭС. Тем не менее, необходимо поставить вопрос об этом, и если не имеется технически обоснованного решения, особое внимание следует уделять обеспечению малой вероятности возникновения аналогичной аварии вновь.

#### ***4. ВНОВЬ ПОДЧЕРКНУТО ЗНАЧЕНИЕ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА И МАШИНЫ.***

Невозможно будет гарантировать, что не произойдет ошибка оператора и что проект при любых обстоятельствах обеспечивает безопасность на 100%. Поэтому следует признать, что могут возникать события, при которых оператору необходимо будет предпринять соответствующие меры для предотвращения серьезной аварии. Опыт прошлого показал, что вмешательство человека может дать весьма эффективные результаты, если имеется надлежащее понимание сложившейся на станции обстановки. Именно поэтому важное значение с точки зрения безопасности имеет соответствующее взаимодействие человека и машины не только для предотвращения ошибок оператора, но также для принятия мер в условиях непредвиденных аварий, которые могут должным образом не учитываться в проекте.

С учетом уроков аварий на Чернобыльской АЭС и на АЭС "Три-майл-айленд" представляется возможным определить два вида деятельности:

(1) возможность визуального представления оператору важнейших с точки зрения безопасности данных следует обеспечить таким

образом, чтобы гарантировать их оптимальное использование. Для столь сложной системы, какой является АЭС, важное значение имеет представление и интерпретация данных в реальном режиме времени. Следует использовать встроенные средства диагностики;

(2) хотя в конечном итоге все зависит от надежности эксплуатационного персонала и понимания им вопросов безопасности системы, сложность конструкций АЭС требует создания надежного резервного механизма безопасности путем установки автоматических устройств, обеспечивающих постоянную безопасность эксплуатации станции во всех отношениях. Этот резервный механизм должен быть скоростным по своей логической структуре и эффективным в том, что касается скорости срабатывания. Он должен быть спроектирован таким образом, чтобы его было трудно обойти и чтобы при нормальном или запланированном режиме эксплуатации не возникало желания его обойти.

## **В. РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА**

### **1. ОПЕРАТИВНОЕ ПРИНЯТИЕ МЕР.**

(1) Сразу же после того, как сигнал тревоги поступил в Москву, на площадку была направлена группа специалистов для оказания помощи местным органам и руководству станции. Был создан централизованный штаб аварии, наделенный всеми полномочиями и властью для руководства организацией по ликвидации последствий аварии. Основной вывод, который следует в связи с этим сделать, состоит в том, что быстрая централизация противоаварийных операций, представляет собой весьма эффективную меру по организации и координации всех необходимых действий. Это, возможно, является залогом успеха в любой подобной аварийной ситуации.

(2) Что касается работы по дезактивации и восстановлению после аварии, проведенной сразу после аварии на Чернобыльской АЭС, то объем и масштаб деятельности далеко превосходят все, с чем до сих пор сталкивались на площадках АЭС. Представляется, что всем другим, ответственным за проведение этой работы, следует изучить данный случай и сделать соответствующие выводы.

(3) Борьба с пожаром на АЭС в условиях острой радиационной опасности явилась совершенно новой областью. Процедуры, оборудование и защитная одежда, применявшиеся во время этой аварии, должны быть тщательно изучены всеми лицами, в чьи обязанности входят противоаварийные меры такого рода.

---

<sup>6</sup> Данные о радиоактивных выбросах и соответствующих контрмерах приводятся по состоянию на 6 мая 1986г.

(4) Лечение острой лучевой болезни оказалось эффективным в пределах, определяемых величиной полученных доз. Обширные ожоги кожи в результате бета-облучения существенно осложнили поддерживающую и заместительную терапию болезни, а также в значительной степени способствовали летальному исходу болезни у 29 пострадавших. Необходимо разработать технические средства для предотвращения обширных ожогов кожи в случае повторения в будущем аварий подобного рода. Проведенная в отдельных случаях пересадка костного мозга, как оказалось, не показала реальных терапевтических преимуществ в данной группе пострадавших. Внутреннее облучение не оказало какого-либо влияния на возникновение острой лучевой болезни. Этот опыт должен быть всесторонне рассмотрен медицинским сообществом.

(5) Большие проблемы возникли в связи с эвакуацией, а именно: проблемы перемещения населения и домашнего скота, осуществления контроля за предоставлением медицинской помощи и помощи в социальной сфере, проблемы транспорта и материально-технического обеспечения. Как уже упоминалось, централизация полномочий и власти имела первостепенное значение в том, что касается организации и координации всех необходимых мер. Всего 135 000 человек было эвакуировано из зоны в радиусе приблизительно 30 км вокруг станции. Ни один человек из числа эвакуированных не был госпитализирован по причине лучевого поражения.

## **2. ВЫБРОС РАДИОНУКЛИДОВ.**

По оценкам советских экспертов, со станции было выброшено 100% радионуклидов благородных газов. Выброс остальных, конденсируемых, радионуклидов составил приблизительно от  $1 \times 10^6$  до  $2 \times 10^6$  ТБк (от  $3 \times 10^7$  до  $5 \times 10^7$  Ки) <sup>6</sup> или приблизительно 3-4% общего количества радионуклидов активной зоны. Советские эксперты проводят дальнейшее изучение физической и химической природы выброса радионуклидов. Определяются химические формы вещества и дисперсный состав аэрозолей.

Постоянное взаимодействие с советскими экспертами по мере осуществления этой работы будет представлять ценность для всех программ в области реакторной безопасности.

## **3. ПЕРЕНОС РАДИОНУКЛИДОВ И ОБЛУЧЕНИЕ НАСЕЛЕНИЯ.**

Данная авария отличается от тех, которые обычно рассматривались при радиационных оценках гипотетических аварийных выбросов с АЭС тем, что этот выброс был продолжительным, изменялся во времени по мощности и составу радионуклидов, и

метеорологические условия были сложными. Эти характеристики привели к весьма сложному характеру атмосферного оседания на поверхность земли как в пределах Советского Союза, так и в других странах. Характер оседания был установлен очень быстро посредством мониторинга окружающей среды. Осажденные радионуклиды, в особенности иод-131 и изотопы цезия, проникли в земные пищевые цепочки. Были введены и соблюдались запреты на потребление различных продуктов питания, и в СССР были приняты меры, там, где это требовалось, для обеспечения незараженной питьевой водой.

Радионуклидом, который сыграет наибольшую роль для коллективной дозы (то есть общей дозы для населения СССР) и для дозы для всего тела отдельных лиц, является цезий-137. Коллективная доза для населения европейской части СССР на протяжении последующих 50—70 лет оценивается равной порядка  $2 \times 10^6$  чел.-Зв, причем большая часть отдельных лиц на протяжении всей жизни получит дозу меньшую, чем доза от естественного фона радиации. Иод-131 привел к относительно высоким дозам для щитовидной железы некоторых отдельных лиц за короткий срок, однако он не представляет важности на длительный период ни для отдельных лиц, ни для всего населения.

#### **4. ПОЗДНИЕ СТОХАСТИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ.**

Масштабы воздействия на здоровье поздних стохастических эффектов, главным образом опухолевого и генетического характера, возможно оценить лишь после оценки полученных коллективных доз. Информация по этому вопросу из Советского Союза носит предварительный и приблизительный характер. На основе полученной информации представляется, что в течение последующих 70 лет число спонтанных заболеваний всеми раковыми болезнями в группе эвакуированных 135 000 человек вряд ли увеличится более чем на 0,6%. Соответствующий показатель для остальной группы населения большинства регионов европейской части Советского Союза, как ожидается, не превысит 0,15% и, вероятно, будет ниже порядка 0,03%. Относительное увеличение смертности в результате рака щитовидной железы может составить 1%.

По оценкам, число случаев ухудшения здоровья в результате генетических эффектов не должно превысить 20—40% от дополнительного числа случаев заболеваний раком. В настоящее время отсутствует информация, на основе которой можно было бы оценить последствия внутриутробного облучения плода у беременных женщин в пределах 30-километровой зоны.

Данные о коллективных дозах в других странах продолжают оцениваться, а оценку возможных стохастических последствий следует отложить до появления такой информации.

Были проведены предварительные оценки доз, полученных отдельными лицами из числа населения Советского Союза, и доз, полученных населением в целом. Эти оценки будут уточнены после поступления дополнительных данных, и НКДАР в сотрудничестве с МАГАТЭ и ВОЗ будет проведена оценка общих радиационных последствий на основе данных, полученных от государств-членов. Следует провести обсуждение на международном уровне методологии проведения эпидемиологических исследований персонала и отдельных групп населения в районе станции.

## **5. ДЕЗАКТИВАЦИЯ.**

Необходимо принять долгосрочные защитные меры на станции и вокруг нее. Проблемы, с которыми придется столкнуться при попытке провести дезактивацию этих районов, будут состоять в безопасном захоронении больших количеств загрязненного грунта, снятии слоя грунта и контроле за облучением персонала, фиксации радионуклидов в почве, а также в изыскании методов дезактивации лесов и водоемов. Накопленный опыт имеет важнейшее значение, и крайне желателен обмен опытом на международном уровне.

## **6. ИТОВОГОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ.**

МКГЯБ пришла к заключению, что в Чернобыле произошло крупное событие класса событий, именуемых авариями с разрушением активной зоны. Эксперты в области безопасности всего мира теперь могут извлечь уроки из этого трагического события, с тем чтобы значительно углубить наше понимание вопросов ядерной безопасности. Эта авария является "худшим вариантом" в том, что касается рисков, связанных с ядерной энергией. Необходимо подчеркнуть, что даже в этих условиях не пришлось госпитализировать никого из представителей населения в связи с ущербом для здоровья, вызванным облучением. Пострадали 300 человек из числа персонала станции и пожарных, которые были госпитализированы, причем по состоянию на сегодняшний день 31 человек умер.

МКГЯБ изучила причины и последствия аварии в Чернобыле в той степени, в которой это возможно было сделать на данном этапе. МКГЯБ по-прежнему убеждена, что при четком соблюдении существующих принципов безопасности и учете имеющихся знаний ядерная энергетика на нынешнем этапе ее развития является приемлемым и полезным источником энергии. Несмотря на то, что произошедшая авария стала трагическим событием и имела широкие

последствия, ее масштабы не превышали масштабов аварий другого типа, природных и вызванных деятельностью человека, которые продолжают возникать. Вместе с тем, имеются возможности для совершенствования проектов и режима эксплуатации АЭС.

В ходе данного совещания советские эксперты рассказали о различных модификациях реакторов типа РБМК. Они направлены на то, чтобы в сочетании с совершенствованием административного регламента значительно затруднить возможность создания таких эксплуатационных условий, которые могут привести к быстрому скачку реактивности вследствие любой причины, включая грубое нарушение регламентов эксплуатации. Краткое исследование, приводимое здесь, не может дать полной гарантии того, что эти доработки достигли намеченной цели. Однако МКГЯБ решительно поддерживает тот факт, что советские компетентные органы поставили перед собой такую цель в отношении реакторов РБМК.

Поддержание регулярных международных связей в вопросах безопасности могло бы значительно упростить проведение совещаний, подобных этому. Подобное понимание, если бы к нему пришли ранее, повысило бы ценность совещания по рассмотрению причин и последствий аварии для тех, кто присутствовал на совещании, и для всех государств-членов. Не обязательно извлекать уроки только из серьезных аварий; предпочтительнее учиться на незначительных нарушениях нормального режима работы. Ключевой же задачей является их предотвращение.

## Раздел VII

### РЕКОМЕНДАЦИИ

#### А. ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

##### ***1. ПРОВЕДЕНИЕ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ С УЧЕТОМ ПРИНЯТЫХ РЕШЕНИЙ.***

Оценка и анализ сложных физических и химических явлений, связанных с развитием аварии в Чернобыле и ее последствиями, находятся на начальных этапах. Необходимо продолжать работу, для того чтобы более точно оценить воссозданную картину аварии. МАГАТЭ следует содействовать развитию международного сотрудничества для достижения этой цели. Следует организовать проведение необходимых мероприятий в этой области. Следует распространять соответствующую техническую информацию и содействовать взаимному обмену опытом в области аналитических методик и результатов исследований. МКГЯБ хотела бы, чтобы ее постоянно информировали о программе этой деятельности.

##### ***2. ДАЛЬНЕЙШАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МАГАТЭ И ДРУГИЕ МЕЖДУНАРОДНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ.***

(1) МАГАТЭ следует развивать и при необходимости координировать проведение анализа серьезных аварий на всех типах реакторов и содействовать обмену необходимой информацией.

(2) МАГАТЭ следует укреплять свою деятельность по развитию использования метода вероятностной оценки безопасности (ВОБ) и содействия его применению путем анализа методов, разработанных в государствах-членах для использования в рамках ВОБ, оказанию помощи в разработке рекомендаций по его использованию и содействию государствам-членам в применении этих рекомендаций в целях повышения безопасности всех режимов эксплуатации АЭС.

(3) МАГАТЭ следует направить свои усилия на содействие обмену опытом, разработку дополнительных рекомендаций — в частности, относящихся к предотвращению серьезных аварий — и на предоставление помощи на местах в вопросах аттестации операторов, обучения и подготовки, с тем чтобы создать "культуру безопасности" при эксплуатации АЭС. Следует рассмотреть вопрос о возможности добровольного международного финансирования программ подготовки операторов.

(4) МАГАТЭ следует расширить свои усилия в деле содействия обмену опытом в области взаимодействия человека и машины при уделении особого внимания балансу между автоматикой и прямыми действиями человека, а также необходимости создания дополнительных средств в помощь оператору на пульте управления АЭС. Следует обеспечить, в частности, обмен опытом между операторами АЭС, и МАГАТЭ следует сотрудничать с международными организациями, представляющими таких операторов.

(5) МАГАТЭ следует организовать программу деятельности, включая международное тематическое совещание по теме "Деятельность по обеспечению качества в ходе эксплуатации АЭС" при уделении особого внимания процедурам на пульте управления. Эта тема включает подробное предписание процедур, необходимую проверку, передачу смен, контроль за выполнением принятых решений, а также вопросы уведомления надлежащих компетентных органов.

(6) Секретариату следует предоставить МКГЯБ необходимую помощь по формулированию в отдельном документе основных принципов безопасности для существующих и будущих типов реакторов с уделением особого внимания тем принципам, которые вырисовываются в результате рассмотрения причин и последствий аварии. Эти принципы должны быть общими для всех типов реакторов, даже если необходима некоторая корректировка конкретных проектных концепций.

(7) Существующие международные нормы (ПРНБ) требуют пересмотра, который обеспечивал бы учет уроков аварий в том, что касается таких важных вопросов, как аварии, вызванные ростом реактивности, предотвращение пожаров и их тушение.

(8) Государства-члены могут рассмотреть вопрос об укреплении их сотрудничества с МАГАТЭ путем добровольного приглашения групп ОСАРТ и предоставления экспертов для подобных групп. МАГАТЭ следует расширить свои возможности в области предоставления услуг ОСАРТ.

(9) Следует обновить и расширить информационную систему МАГАТЭ по инцидентам на АЭС (ИСИ), с тем чтобы расширить круг источников базы данных, а предоставляемую ИСИ информацию следует анализировать более широко с точки зрения учета опыта, информация о котором могла бы быть представлена государствам-членам.

(10) МАГАТЭ следует организовать конференцию по теме "Взаимосвязь между проектами реакторов и функциями оператора" и уделить особое внимание элементам проектов, которые могут оказать помощь оператору при осуществлении им своих обязанностей



в области безопасности и которые обеспечивают автоматическое принятие защитных мер в случае, если действия оператора приводят к возникновению потенциальной угрозы для безопасной эксплуатации станции.

(11) Государствам-членам в рамках деятельности регулирующих органов следует организовать повторный анализ процедур, обеспечивающих безопасную эксплуатацию АЭС в ходе проведения не предусмотренных обычным регламентом испытаний. Эту процедуру также следует включить в программу ПРНБ.

(12) МАГАТЭ следует организовать симпозиум по вопросу противопожарной защиты, на котором должны быть рассмотрены следующие вопросы:

(а) разработка научно-технической основы предотвращения и тушения пожаров с учетом наличия таких опасных условий, как высокие температуры и наличие ядерных материалов;

(б) совершенствование оборудования по предотвращению и тушению пожаров на АЭС.

Предполагается, что результаты симпозиума послужат основой для разработки возможных новых норм в области предотвращения и тушения пожаров (см.п.7).

## **В. РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА**

### ***1. МЕРЫ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРИНЯТЫХ РЕШЕНИЙ.***

(1) МАГАТЭ следует возглавить работу по оценке значительного опыта, накопленного в ходе ликвидации причин и последствий аварий, а именно в оценке, прогнозировании и лечении нестохастических последствий у лиц, получивших значительные дозы облучения — в особенности острой лучевой болезни и вызванного облучением поражения кожи. Следует также разработать рекомендации по разработке основных терапевтических методов правильных прогнозов.

(2) МАГАТЭ следует в сотрудничестве с другими международными организациями организовать обмен опытом проведенных в прошлом эпидемиологических исследований с целью определения полезности их результатов для разработки методических принципов (включая процедуры создания баз данных и регистров учета лиц из числа населения) для эпидемиологических исследований отдаленных последствий у отдельных групп населения, подвергнувшихся облучению в связи с аварией в Чернобыле.

(3) МАГАТЭ следует совместно с другими международными организациями принять участие в запланированном НКДАР проведении оценки индивидуальных и коллективных доз, полученных

в результате аварии, в рамках проводимой им на постоянной основе оценки воздействия всех источников излучения.

(4) МАГАТЭ следует изучить опыт, накопленный в области создания укрытий и эвакуации населения после аварии в Чернобыле с целью определения эффективности подобных защитных мер, выявления проблем, связанных с их введением, и их целесообразности с учетом факторов времени и уровней загрязнения окружающей среды.

## ***2. ДАЛЬНЕЙШАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МАГАТЭ И ДРУГИЕ МЕЖДУНАРОДНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ.***

(1) В условиях, когда отсутствие рекомендованных в международном порядке значений доз на единицу поступления радионуклидов (ингаляционного или перорального) в зависимости от возраста данного лица и физико-химической формы радионуклидов, обнаруженных в окружающей среде, представляет проблему, с которой столкнулись во многих странах при оценке последствий аварии в Чернобыле, МАГАТЭ следует содействовать установлению согласованных значений - в первую очередь для наиболее важных дозоформирующих радионуклидов.

(2) На основе опыта, полученного в связи с аварией в Чернобыле, МАГАТЭ следует в сотрудничестве с такими организациями, как ВОЗ и ОАО разработать дополнительные рекомендации по дозовым уровням вмешательства и производным уровням вмешательства в целях сокращения стохастических рисков и ожидаемой коллективной эквивалентной дозы, в особенности на территории, выходящей за пределы района, непосредственно подвергнувшегося воздействию аварии.

(3) МАГАТЭ следует разработать технические рекомендации по критериям и процедурам взятия радиологических проб и дозиметрического контроля в чрезвычайных обстоятельствах, когда требования в отношении времени и точности измерений радиоактивности окружающей среды и потребности в области принятия решений отличаются от тех, которые существуют при взятии радиологических проб и дозиметрическом контроле в нормальных условиях.

(4) МАГАТЭ следует разработать технические рекомендации по оперативному направлению больших количеств данных, их сбору и сопоставлению вслед за ядерной аварией (включая данные по загрязнению окружающей среды и метеорологические данные) для использования в качестве информационного источника при оценках радиационной ситуации.

(5) МАГАТЭ следует разработать критерии по доступу на установки, попавшие под воздействие ядерных аварий, и в районы вне

их площадок, а также рекомендации по проведению восстановительных работ.

(6) В свете аварии в Чернобыле МАГАТЭ следует разработать технические рекомендации (критерии и спецификации) в отношении защитной одежды, способной противостоять высоким уровням бета-излучения.

(7) МАГАТЭ следует разработать технические рекомендации в отношении оценок крупномасштабного облучения (внешнего и внутреннего) населения, оборудования, технических средств, помещений, почвы, воды и воздуха в результате ядерной аварии с целью определения необходимых масштабов операций по дезактивации и радиационной защите персонала, участвующего в проведении таких оценок.

(8) МАГАТЭ следует разработать технические рекомендации по вопросам радиационной безопасности, связанным с загрязнением АЭС и большой площади земли вокруг станции вслед за ядерной аварией.

(9) МАГАТЭ следует разработать практические рекомендации по принятию мер в отношении выбросов радиоактивных веществ в окружающую среду данного государства в тех случаях, когда источник выброса находится за пределами национальных границ данного государства, но тем не менее требуется принятие мер для защиты населения.

(10) МАГАТЭ следует разработать технические рекомендации по использованию моделей в реальном режиме времени, которые позволят включить в них реальные данные системы метеорологического и дозиметрического контроля при прогнозировании радиационных последствий ядерной аварии для населения и окружающей среды и определению необходимых защитных мер.

(11) В целях совершенствования прогнозирования последствий аварийных выбросов радиоактивности МАГАТЭ следует, в сотрудничестве с ВМО, проанализировать модели атмосферного переноса радионуклидов на малые и большие расстояния и отложения радионуклидов на земной поверхности (почва, растительность, здания и т.д.) и провести их взаимное сравнение, а также создать базу данных для определения подтверждения пригодности таких моделей. Кроме того, МАГАТЭ следует осуществлять аналогичные мероприятия в отношении моделей переноса радионуклидов в земной окружающей среде и пищевых цепочках, переноса радионуклидов через поверхностную водную массу (свежая вода и морская вода), а также их переноса в окружающей среде в условиях городов.

(12) МАГАТЭ следует содействовать обмену информацией в

области существующих или разрабатываемых машинных программ по вероятностной оценке последствий аварий.

(13) Весьма важно дать возможность медицинским работникам различных специальностей и практикующим врачам проконсультировать население по вопросу о воздействии случайного облучения различными дозами и в различных условиях. Представляется, что одинаково полезным является требование о том, чтобы медицинские работники, которые могут принимать участие в оказании первой медицинской помощи и первоначальном лечении облученных лиц, обладали соответствующим уровнем знаний и подготовки. В связи с этим МАГАТЭ в сотрудничестве с ВОЗ следует приступить к исследованию вопроса о том, какие темы и в каком объеме следует включить в программу повышения квалификации медицинских работников, с тем чтобы обеспечить выполнение этих задач и требований.

### **С. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ**

В рамках расширенной программы МАГАТЭ в области ядерной безопасности предусмотрены меры, направленные на содействие операторам АЭС в деле поддержания максимально высокого уровня безопасности, при уделении особого внимания предотвращению аварий.

Эти мероприятия уже проводятся в рамках программы МАГАТЭ, однако могут быть значительно расширены в рамках международного сообщества с несомненной пользой дальнейшего обеспечения безопасности.

В частности, следует предусмотреть предоставление со стороны МАГАТЭ специальной помощи по запросу, в особенности в целях оказания помощи странам с ограниченными ресурсами.

## СПИСОК УЧАСТНИКОВ

### Международная консультативная группа по ядерной безопасности (МКГЯБ)

Birkhofer A.	Meneley D.
Chung K.T.	Nozawa M.
Dai C.	Rabold H.
Edmondson. B.	Tanguy P.
Kouts H.J.C.	Veeraraghavan N.
Lepack W.	Vuorinen A.P. председатель

Abagyan A. A. эксперт-консультант

Benmson D. эксперт-консультант

### Эксперты из СССР

Демин В.Ф.	Рошин В.Д.
Ильин Л.А.	Рыжов М.Н.
Калугин А.К.	Слесарев И.С.
Лазуткин Е.С.	Загоруйко В.М.
Павловский О.А.	

### Эксперты МАГАТЭ

Boeri G.C.	Comitato Nazionale per la Ricerca e per lo Sviluppo dell'Energia Nucleare e delle Energie Alternative (ENEA), Italy
Brown A.	Ontario Hydro, Canada
Frescura. G.M.	Ontario Hydro, Canada
Hicken E.F.	Gesellschaft für Reaktorsicherheit. Federal Republic of Germany
Hill M.	National Radiological Protection Board, United Kingdom
Jeschki W.	Nuclear Safety Division (ASK), Switzerland
Kress T.	Oak Ridge National Laboratory, United States of America
L'Homme A.	Institut de protection et de sûreté nucléaire (CEA), France
Liniecki J.	Akademia Medyczna w. Łodzi, Poland
Powers D.	Sandia National Laboratories, United States of America
Young J.D.	Central Electricity Generating Board, Berkeley Nuclear Laboratory, United Kingdom

## Сотрудники МАГАТЭ

Salo A.	Yaremy E.
Aleinikov V.	Amano F.
Bianco. A.	Byszewski W.
Collins H.	Fischer J.
Emmerson B.W.	Giuliani P.
Flakus F.N.	Gurpinar A.
Inaba J.	Jankowski M.
Levin. I.	Joosten J.
Utting. R.	Karbassioun A.
Kenneke A.	Tolstykh V.D.

Lederman. L.  
Delves, L. редактор  
Iansili. F. ученый секретарь МКГЯБ

## Секретариат МАГАТЭ

Следующие сотрудники Секретариата МАГАТЭ участвовали в некоторых или всех пленарных заседаниях совещания МКГЯБ.

Бликс Х.	Генеральный директор
Константинов Л.В.	заместитель Генерального директора по вопросам ядерной энергии и ядерной безопасности
Розен М.	помощник заместителя Генерального директора по вопросам ядерной безопасности
Войчик Т.	специальный помощник Генерального директора

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЧЕРНОБЫЛЬСКИЙ ПРОЕКТ

ОБЩИЙ ОБЗОР

# Оценка радиологических последствий и защитных мер

Доклад Международного консультативного комитета

1991 год

## ПРЕДИСЛОВИЕ К ПУБЛИКАЦИИ

С.Т. Беляев – Председатель Межведомственного  
координационного совета АН СССР по научным проблемам  
Чернобыля

Подведены итоги Международного чернобыльского проекта с участием семи международных организаций. В его реализации приняли участие около двухсот ведущих международных экспертов из 25 стран. Презентации Проекта и обсуждению его результатов была посвящена специальная представительная международная конференция, проходившая в Вене 21-24 мая 1991 года. Детальное описание Проекта с изложением методик, полученных результатов и их обсуждением с многочисленными табличными и графическими данными содержится в заключительном техническом отчете, объемом более тысячи страниц. Этот отчет безусловно заслуживает серьезного изучения специалистами. Наряду с техническим отчетом был подготовлен краткий "Общий обзор", рассчитанный на широкий круг общественности, перевод которого и предлагается читателю.

Зарождение Проекта и хронология его формирования излагаются в "Общем обзоре". Но к этому взгляду "со стороны" необходимо сделать пояснение об обстоятельствах, приведших к обращению Союзного правительства к МАГАТЭ с просьбой о международной экспертизе.

В 1986 году Минздрав СССР установил временные дозовые пределы на первые четыре года после аварии (непревышение 10 бэр в 1986 г., 3,0; 2,5; 2,5 бэр - в последующие три года). В 1988 году Минздравом СССР были разработаны предложения по "концепции безопасного проживания", которая должна была войти в действие с 1990 года. Обсуждение этой концепции (известной как "35-бэрная") совпало с периодом бурной предвыборной общественно-политической активности, в которой чернобыльская тема, только что освобожденная от пут секретности, стала использоваться очень широко. Вместе с обстоятельствами, приведшими к аварии, объектом резкой критики стали и послеаварийные защитные мероприятия. Дискуссия далеко не всегда велась на профессиональном уровне. Более того, мнения специалистов, как представителей "заинтересованных ведомств", просто игнорировались, "признанными экспертами" становились непрофессионалы. Предварительные,



не проверенные и часто просто ошибочные или неправильно интерпретируемые "научные данные" стали разноситься средствами массовой информации. В такой "дискуссионной среде" "35-бэрная концепция" стала объектом резкой (в основном эмоциональной, но мало обоснованной) критики, объявлялась "антигуманной".

Эмоциональный накал и характер дискуссий можно проиллюстрировать на примере визита в нашу страну четырех крупнейших специалистов по медицинской радиологии, приглашенных для обсуждения "35-бэрной концепции". Они посетили Москву, Украину и Белоруссию, встречались с учеными, специалистами, депутатами, жителями загрязненных районов. При этом они высказывали и обосновывали свое мнение, что Концепция не вызывает возражений с точки зрения современной науки и ее 35-бэрный критерий для отселения является скорее слишком низким. В белорусских аудиториях их аргументы не были восприняты. Аргументированное несогласие было бы понято и приемлемо. К сожалению, дело доходило до прямых оскорблений, которые уже после отъезда зарубежных экспертов вылились и на страницы печати, и на трибуны высоких собраний. (Кстати, четверо упомянутых экспертов отказались участвовать в черновильском проекте. Но сам этот факт, показавший важное значение контактов с населением, был учтен при планировании и проведении проекта).

Понимая необходимость выработки приемлемой населением "концепции безопасного проживания", правительством СССР было предложено Академии Наук СССР (где с 1986 года действовал Межведомственный координационный совет по научным проблемам Чернобыля) провести обсуждение как "35-бэрной" концепции, так и всех альтернативных предложений и выработать приемлемый для всех заинтересованных республик и организаций вариант. Многочасовые горячие дискуссии, проходившие на Межведомственном совете, привели лишь к относительному и зыбкому согласию, уже подписанное специалистами всех заинтересованных республик и ведомств постоянно изменялось после дебатов на местах.

Учитывая, что основную озабоченность вызывает состояние здоровья населения, были организованы посещения загрязненных территорий экспертными группами ВОЗ и Международного красного креста. Эти группы во время кратких визитов могли составить лишь общее представление о возрастании числа регистрируемых заболеваний и отклонений от нормального состояния здоровья, причем рост отмечался даже по заболеваниям, никогда не связываемым с радиацией. В качестве возможного объяснения были высказаны разные гипотезы: лучшая выявляемость,

изменение рациона питания, социально-психологические напряжения и стрессы. Высказывались сомнения и в достоверности диагнозов заболеваний.

Таким образом, в начале 1989 года сложилась ситуация, когда различные группы медиков и ученых (в центре и республиках) не могли прийти к согласию, а население пострадавших районов и средства массовой информации, требуя принятия дополнительных срочных мер, высказывали недоверие как к уже принятым мерам, так и новым предложениям отечественных специалистов и администрации. В этих обстоятельствах в октябре 1989 года последовало обращение правительства СССР к МАГАТЭ с просьбой о проведении широкой международной экспертизы.

Этапы подготовки Проекта и выработки согласованной программы довольно подробно излагаются в "Общем обзоре". Тем не менее, хочу подчеркнуть и пояснить некоторые моменты, важные для правильного восприятия материалов обзора советскими читателями. Тем более, что еще до появления заключительного отчета Проект стал подвергаться критике, вызванной, в лучшем случае, неполной информацией или непониманием.

Кто проводил экспертизу и несет за нее ответственность? Не МАГАТЭ и не другие международные организации-участники проекта. Они организовали Международный консультативный комитет (МКК), в который вошли ведущие эксперты международных организаций и известные ученые — специалисты из 10 стран. С момента создания МКК на него было возложено руководство Проектом и вся ответственность за его планирование и результаты. Таким образом, результаты Проекта, как и ответственность за них, адресуются исключительно международной группе независимых экспертов. Список руководителей групп экспертов приводится в данной публикации. Замечу, что независимая гласная экспертиза с персональной ответственностью членов группы за результаты — обычная мировая практика. (У нас, к сожалению, на "кухне" официальных решений практикуется анонимное использование экспертов, что освобождает их от персональной ответственности даже при явном непрофессионализме. Самые высокие постановления и законы нередко содержат очевидные для профессионалов нелепости, спросить за которые некого).

Кто финансировал Проект? Правительством СССР было издано специальное распоряжение, которым предлагалось ведомствам и организациям страны способствовать проведению Проекта и выделялось 1,5 млн. рублей для покрытия расходов по приему приезжавших групп экспертов и обеспечения их работы. Организационное и техническое обеспечение работы экспертных групп

поручалось Министерству атомной энергетики и промышленности (МАЭП). Эксперты — участники Проекта не получили никаких дополнительных гонораров за свою работу. Их институты, университеты оплатили время, отрываемое у них Проектом от основных занятий, а также предоставили необходимое оборудование, приборы и материалы.

Проведение Проекта было бы невозможно без участия в его мероприятиях многих организаций и специалистов нашей страны. Кроме непосредственного участия в экспедиционной работе экспертных групп, задача состояла в подготовке необходимой для экспертизы информации. Общая координация этой работы была поручена Межведомственному совету АН СССР по научным проблемам Чернобыля.

Следует признать, что качество наших статистических и информационных материалов, представляемых экспертам далеко не всегда соответствовало требуемым стандартам. Особенно это относится к медицинскому разделу. Именно неполнота медицинской статистики, ее низкое качество и несоответствие международным стандартам не позволило провести прямое сравнение состояния здоровья населения в загрязненных районах до и после аварии. Поэтому был принят метод одновременного сравнения здоровья населения в загрязненных и "чистых" населенных пунктах, принятых за контрольные.

Проект был разбит на пять отдельных задач, которые выполнялись одновременно независимыми группами специалистов. Были использованы три основных метода: экспертный анализ официальных и неофициальных данных наших организаций, групп и отдельных специалистов; собственные исследования на местах; информационные и образовательные семинары для специалистов и практических работников с демонстрацией новых методик.

Данные и методики наших специалистов по контролю загрязнения окружающей среды и сельхозпродуктов радионуклидами цезия в основном были подтверждены экспертизой. Отмечено систематическое завышение оценок загрязнения стронцием. Отмечено также систематическое завышение прогнозируемых доз по сравнению с реально получаемыми населением. Не нашли подтверждения заявления о повышенном содержании свинца в крови человека.

Центральной задачей Проекта являлась, безусловно, оценка здоровья населения. Ее планирование и проведение заслуживает самой высокой похвалы и тщательного методического изучения специалистами-медиками. С другой стороны, именно выводы этой группы вызвали критическое или настороженное отношение. Вопрос этот представляется мне принципиальным и заслуживающим обсуждения.

Что исследовано медицинскими экспертами и какие сделаны выводы? Выполнено комплексное обследование представительных групп населения как в загрязненных населенных пунктах, так и контрольных. Проводилось как общее обследование состояние здоровья, так и углубленное лабораторное исследование для выявления, в частности, нарушений в области гематологии, иммунологии, функций щитовидной железы, сердечно-сосудистой системы. Не обнаружено никаких значимых различий в состоянии здоровья населения между загрязненными и контрольными (чистыми) районами.

Именно этот вывод является главным объектом критики со стороны определенных общественных групп и средств массовой информации, которая началась еще до официального представления Проекта на Международной конференции в Вене. Не чувствуя ни права, ни необходимости выступать в защиту результатов, полученных экспертами, хочу лишь сделать несколько пояснений, которые, возможно, помогут думающему читателю прийти к своему собственному заключению. (Текст "Общего обзора" написан специалистами, не имеющими опыта диалога с нашей общественностью и не осознающими интенсивность шумового фона противоречивой информации, в котором мы сегодня живем).

(1). Кого и как выбирали для обследования и как оно было организовано?

Обследовать всех жителей было нереально. Поэтому были выбраны (строго случайно) в каждом населенном пункте (семи загрязненных и шести контрольных) примерно по 20 человек в каждой из 5 возрастных групп (дети 2, 5 и 10 лет и взрослые 40 и 60 лет, строго по определенному году рождения). Возраст обследуемых был выбран из соображений наибольшей восприимчивости к тем отклонениям от нормы, об обнаружении которых сообщалось ко времени начала Проекта. Местное население с большим интересом и доверием следило за работой зарубежных медиков и было большое число желающих, не из числа отобранных, также пройти обследование. Их просьбы по возможности удовлетворялись, но результаты, естественно, не вошли в основную статистику, а использовались для контроля общих выводов. Всего было обследовано 1356 человек из основных групп (а всего обследовалось в среднем 250 человек в каждом населенном пункте). Хотя обследование было выборочным, но оно вполне репрезентативно и дает общую картину состояния здоровья всего населения. И не только в обследованных поселках, т.к. они также выбирались в значительной мере произвольно.

(2). Хотя практически никаких различий в состоянии здоровья населения в загрязненных и контрольных районах не обнаружено,

но само здоровье не идеально. Как отмечается, до 15 % взрослого населения нуждается в медицинской помощи. Психологические напряжения и стрессы распространяются далеко за пределы загрязненных районов.

(3). Результаты, полученные экспертами, надежны. Однако получены они при определенных условиях. Поэтому следует иметь в виду их ограниченность, о чем предупреждают сами авторы "Общего обзора".

Во-первых, хотя обследование каждого пациента было довольно детальным, но тем не менее не исчерпывающим. Главное внимание уделялось вполне определенным заболеваниям и симптомам. (Сегодня обсуждаются новые проблемы, например, отягощение беременности, что не входило в программу Проекта и не могло быть выявлено из-за отбора исследуемых возрастных групп).

Во-вторых, среди затронутых чернобыльской аварией есть особо выделенные группы населения: эвакуированные из ближней зоны в первый месяц аварии и ликвидаторы. В исследованных поселках их практически не было. Очевидно, что распространять выводы экспертизы на эти особые группы некорректно.

В-третьих, было проведено, по существу, одноразовое эпидемиологическое обследование. Получена оценка здоровья на осень 1990 года, но не в динамике. Хотя по результатам обследования были указаны возможные отдаленные последствия чернобыльской аварии и соответствующие группы риска.

Основной аргумент в критике выводов экспертизы — их несоответствие данным медицинской статистики, которая охватывает значительно более широкий круг населения, чем любое выборочное обследование. А, как сообщается, число регистрируемых заболеваний в чернобыльских районах растет в сравнении с другими районами. Чтобы правильно оценить этот аргумент, следует иметь в виду несколько обстоятельств.

Прежде всего, важнейшее значение имеет качество статистики. Проект предусматривал и экспертизу данных медицинской статистики. В техническом отчете анализируются представленные экспертам данные. Многие из них противоречивы и не выдерживают критики. (Так, отмечался большой рост анемией в Могилевской области с 107 случаев в 1987 г. до 834 в 1988 г. в то время как в соседней Брянской области было 122 случая в 1987 г. и только 25 случаев в 1988 г. Как замечают эксперты, такие несоизмеримые и несравнимые различия трудно принять. Пример другого типа: лейкозы и их тип не учитываются отдельно, а только в группе с другими онкозаболеваниями крови. Поэтому при анализе первичных материалов, оказалось, например, что из 14 зафиксированных

в Брагинском районе БССР случаев только 8 оказались истинными лейкозами, из которых 6 хронического типа, никогда не связываемого с радиацией). В рекомендациях медицинского раздела "Общего обзора" изложены предложения о совершенствовании методов и систем сбора статистических данных и приведении их к международным стандартам.

Другое обстоятельство связано с основной статистикой — врачебным диагнозом. При его постановке трудно исключить субъективный фактор. Руководитель группы медицинских экспертов американский врач-радиолог Ф.Меттлер очень ярко высказался по этому поводу в дискуссии на конференции в Вене. В одном районе — один врач, в другом — другой. Разный опыт, школы, методики, аппаратура. Здесь — радиация, люди в неуверенности, боятся за свое здоровье, поэтому обращение к врачам много чаще. Естественно, и выявляемость заболеваний выше, тем более, что обеспеченность диагностической аппаратурой значительно улучшилось. Кроме того, люди обеспокоены, ищут у себя симптомы заболеваний, о которых кругом говорят и пишут — идут к врачу. Врач вроде ничего определенного не находит, но ... — радиация вещь непонятная! — поэтому склонен скорее согласиться с пациентом, чем разубеждать его (как непременно сделает его коллега в обычных условиях). Что даст в этих условиях прямое сравнение статистики по разным областям?

Принципиальное отличие проведенного эпидемиологического обследования от простого сравнения данных медицинской статистики как раз и состоит в том, что во всех обследованных районах, как загрязненных, так и контрольных, обследование проводилось практически в одно и то же время, одними и теми же специалистами по одним и тем же методикам и использованием одной и той же аппаратуры и препаратов, причем со случайным выбором обследуемых среди жителей, а не среди добровольных пациентов.

Каждое эпидемиологическое обследование - это единый проект, проводимый одной хорошо управляемой и координированной группой специалистов. Поэтому его масштабы всегда ограничены. (Но и при этом стоимость сравнительно высока. Медицинское обследование, масштаба проведенного, оценивается западными специалистами в 2 миллиона долларов.) Нереально требовать проведение эпидемиологического обследования всего населения в загрязненных районах. Следует выделять группы риска, у которых ожидаемые эффекты проявляются наиболее явно.

Важнейшей задачей в каждом эпидемиологическом проекте является выбор группы для обследований. Для Чернобыля к группам риска следует отнести переселенных в первый месяц после

аварии, особенно детей с большой дозой на щитовидную железу, а также ликвидаторов первых месяцев. О важности организации серьезных эпидемиологических проектов, в том числе международных, по обследованию этих групп говорилось и при обсуждении Проекта в Вене.

Возникает вопрос, почему именно обследование этих групп риска не составило программу Проекта, разве до его начала не было ясно, что основными группами риска являются именно отмеченные выше? Для специалистов это было очевидно. Почему же именно эти группы не стали предметом обследования? К сожалению, задачи проекта определялись не только и не столько с научных позиций.

Как уже отмечалось выше, результаты экспертизы были очень нужны для обоснования долгосрочной программы ликвидации последствий аварии. Принятия такой программы настоятельно требовали как законодательные органы, так и общественные движения, стимулируя активность средств массовой информации и в свою очередь стимулируясь этой активностью. Поэтому объектом экспертизы стали именно районы, положение в которых было предметом споров и где население находилось под постоянным психологическим прессом.

Тем не менее, результатов международной экспертизы ждать никто не стал. Еще в ходе проведения Проекта правительство приняло постановление о льготах и компенсациях, а Верховный Совет - Программу неотложных мер с массовыми переселениями (по масштабам превосходящими эвакуацию 1986 года).

Одной из задач Проекта была оценка защитных мер. В рамках этой задачи эксперты оценили и эффективность Программы неотложных мер и систему льгот и компенсаций. Читатель сам может ознакомиться с их выводами. Но один вывод необходимо особенно подчеркнуть: необоснованность столь массовых переселений. Причем не только с точки зрения экономической (т.к. значительно более эффективны вложения средств в улучшение здравоохранения), но и непосредственно для здоровья самих переселяемых. Ущерб для здоровья от переселения может быть значительно большим, чем от дополнительной малой дозы облучения на старом месте.

Каково значение проведенной международной экспертизы и какие уроки из нее следует извлечь?

Прежде всего, Чернобыльский проект по объему и интенсивности проделанной работы, четкости планирования и координации разносторонних исследований явно уникален в практике целевых международных проектов. Советская сторона продемонстрировала открытость и готовность нелицеприятного обсуждения своих

проблем с мировым сообществом. Со своей стороны, международные эксперты показали желание и готовность оказать бескорыстную помощь в решении наших проблем, открыто критикуя наши недостатки, делясь опытом мирового сообщества. В результате длительной совместной работы наши ученые и специалисты получили полезный опыт и ознакомились с международными методиками и стандартами.

По результатам Проекта наметились новые направления для международного сотрудничества с целью преодоления последствий Чернобыля и извлечения уроков из этой беды для всего международного сообщества. Были высказаны и конкретные предложения, хотя их практическая реализация будет во многом определяться восприятием нашей общественностью той огромной и бескорыстной работы, которая была выполнена участниками Чернобыльского проекта. Уж очень привычны стали в нашей демократической действительности судилища над объективными научными фактами и нет еще недостатка в ученых лжесвидетелях.

Именно поэтому самым важным, на мой взгляд, уроком для нас является демонстрация экспертными группами высокого профессионализма и ответственности, которые так необходимы представителям науки при решении проблем, возникающих в обществе. Тщательный критический анализ полученных данных, многосторонний контроль и оценка их достоверности, с одновременным пониманием области применимости и ограничений. Только после этого можно говорить о научном результате. И он не может искажаться в угоду любым, даже самым гуманным политическим схемам. Факты надо принимать такими, какие они есть. Только политика, построенная на реальности может быть гуманной.

04.07.91



## Доклад Международного Консультативного Комитета

### Выражение признательности

Члены Международного консультативного комитета выражают свою признательность многочисленным участникам самых разных мероприятий, осуществленных в рамках Международного черномыльского проекта: правительствам, учреждениям и организациям, сотрудникам которых было поручено участвовать в проекте, а также многим отдельным лицам, которые не жалели собственного времени для выполнения этой важной работы. Выражаем признательность правительствам и коммерческим компаниям, предоставившим оборудование и материалы, без которых большая часть работы не могла бы быть осуществлена. Полный перечень тех лиц, которым выражается признательность, приведен в техническом докладе.

Трудно переоценить значение помощи и вклада многих органов как союзного, так и республиканского подчинения, а также многих компетентных ученых, экспертов, технических и административных работников, представителей общественности, которые с готовностью сотрудничали с приезжавшими группами в рамках проекта.

Следует также поблагодарить всех жителей и местные власти, а также врачей, медицинских сестер и другой персонал больниц и поликлиник в населенных пунктах, в которых побывали группы в рамках проекта.

Следует особо поблагодарить Секретариат МАГАТЭ, который преодолел многие трудности, неизбежно сопутствующие мероприятию такого масштаба.

## Предисловие Председателя Международного консультативного комитета

Мне была оказана честь работать в качестве Председателя Международного консультативного комитета (МКК), членами которого являются видные эксперты в различных областях. Они были собраны вместе по инициативе разных участвующих организаций системы ООН и Комиссии европейских сообществ. МКК одобрил рабочий план Международного чернобыльского проекта, изложенный в настоящем обзоре, и контролировал его выполнение. Цель данного проекта — изучить оценки сложившейся радиационной обстановки и состояния здоровья населения в районах СССР, пострадавших от чернобыльской аварии, а также оценить меры по защите населения.

Перед Международным консультативным комитетом стояла очень сложная задача. Естественно, члены комитета были ограничены как во времени, так и в людских и финансовых ресурсах, необходимых для реализации проекта. При осуществлении проекта внимание концентрировалось на вопросах массового переселения людей и создания научно-обоснованной базы для принятия дальнейших решений.

Группы экспертов в рамках проекта использовали свой коллективный опыт и знания, чтобы отделить факты от ошибочных суждений и воздействие радиации от воздействия факторов, не связанных с радиацией. Было получено и изучено большое количество данных для того, чтобы понять существующее положение и сделать выводы относительно дальнейших шагов, которые, возможно, придется предпринять для смягчения последствий чернобыльской аварии.

МКК намеревался провести независимое, научно обоснованное исследование и составить доступный по форме доклад, который мог бы помочь компетентным органам в принятии дальнейших решений. Только время позволит оценить реальное значение нашего вклада.

Хотел бы выразить глубокую благодарность всем, кто внес свой вклад в эту работу: членам Комитета, консультантам, руководителям работ по направлениям, руководителям групп экспертов и всем экспертам, которые приняли участие в проекте, секретариату проекта, а также многим должностным лицам в СССР, БССР, РСФСР и УССР, которые не пожалели своего времени и сил для оказания помощи в выполнении проекта.

Ицузо Шигемацу  
Фонд изучения радиационных последствий  
Хиросима, Япония

## Примечание редактора общего обзора

*В настоящем обзоре представлены выводы и рекомендации Международного консультативного комитета, который осуществлял руководство проектом "Радиологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС в СССР: оценка воздействия на здоровье населения и окружающую среду и оценка защитных мер" (именуемый далее "Международный чернобыльский проект"). Более подробный научный отчет содержится в полном техническом докладе, различные главы которого были написаны руководителями работ по направлениям проекта. Технический доклад является основным авторитетным документом проекта. Формулировки выводов и рекомендаций, представленных в настоящем обзоре, были согласованы членами комитета, а остальной материал взят из технического доклада и представляет собой обобщенные фактические данные, на основании которых сделаны выводы и рекомендации.*

## СОДЕРЖАНИЕ

Глава I: Международный чернобыльский проект .....	218
Глава II: Загрязнение окружающей среды .....	230
Глава III: Радиационное облучение населения .....	243
Глава IV: Воздействие на здоровье .....	254
Глава V: Защитные меры .....	266
Эпилог .....	293

## Глава I. Международный чернобыльский проект

### Введение

Авария на Чернобыльской АЭС произошла 26 апреля 1986 года. Краткая хронология некоторых относящихся к аварии событий, охватывающая период вплоть до начала Чернобыльского проекта, изложена ниже, а более подробное описание событий приводится в приложении.

В октябре 1989 года правительство СССР официально обратилось к Международному агентству по атомной энергии (МАГАТЭ) с просьбой провести:

"... международную экспертизу разработанной в СССР концепции безопасного проживания населения на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС, и оценку эффективности мероприятий по охране здоровья населения, проводимых в этих районах".

Ответом было предложение о проведении международными экспертами оценки радиационной обстановки в трех пострадавших союзных республиках — Украинской Советской Социалистической Республике (УССР), Белорусской Советской Социалистической Республике (БССР) и Российской Советской Федеративной Социалистической Республике (РСФСР). Таким образом был организован Международный чернобыльский проект с участием Комиссии европейских сообществ (КЕС), Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО), Международного бюро труда (МВТ), Научного комитета ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН), Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) и Всемирной метеорологической организации (ВМО). Официально проект был оформлен на совещании в Государственном комитете по использованию атомной энергии СССР в Москве в феврале 1990 года. В обсуждении задач проекта и путей его реализации приняли участие около 25 представителей СССР, БССР, УССР и МАГАТЭ.

До этого правительство СССР уже пользовалось международной помощью, в решении этой проблемы. В июне 1989 года в СССР была направлена группа экспертов ВОЗ, а в начале 1990 года — эксперты Лиги обществ Красного Креста и Красного Полумесяца. В своем заключительном докладе группа экспертов ВОЗ, в частности, пришла к выводу, что: "... ученые, не обладающие

большим опытом в области последствий облучения, объясняли разнообразными биологическими и медицинскими отклонениями воздействием радиации. Эти отклонения не могут приписываться радиационному облучению, особенно когда нормальный уровень заболеваемости не известен, и наиболее вероятно, что они являются следствием воздействия психологических факторов и стресса. Тот факт, что эти отклонения объясняются воздействием радиации, не только способствует увеличению психологического давления и провоцирует дополнительное стрессовое воздействие на здоровье людей, но и подрывает веру в компетентность специалистов по радиационной безопасности". В докладе экспертов Лиги обществ Красного Креста и Красного Полумесяца, в частности, отмечалось, что по результатам "анализа представленных данных о проблемах здоровья населения создавалось впечатление, что, несмотря на мнение общественности и некоторых врачей о радиационном происхождении заболеваний, многие болезни не были связаны с облучением. По-видимому, недостаточное внимание уделялось таким факторам, как более тщательное медицинское обследование населения, изменение образа жизни и рациона питания. В частности, состояние психологического стресса и чувство тревоги, естественные для данной ситуации, могут вызывать соматические симптомы и оказывать разнообразное влияние на здоровье людей".

Было очевидно, что в оценке чернобыльской аварии уже участвуют большие силы и не было никакой необходимости в рамках проекта проводить абсолютно новую всеобъемлющую оценку сложившейся обстановки. Задача скорее заключалась в проверке качества и правильности полученных результатов. Кроме того, для получения оптимальных результатов главное внимание в программе международной оценки следовало сосредоточить на основных вопросах, вызывающих обеспокоенность населения и руководящих органов, а именно: истинные масштабы загрязнения, дозы за прошлую жизнь, в настоящее время и в будущем, наблюдаемые и потенциальные последствия аварии для здоровья людей и эффективность мер, принимаемых для защиты населения.

Работа по подготовке рекомендаций относительно подхода к изучению этих вопросов была поручена группе из 10 ученых, которые в период с 25 по 30 марта 1990 года в сопровождении двух депутатов Верховного Совета СССР посетили пострадавшие республики с целью ознакомления со сложившейся ситуацией. Эта поездка позволила ученым на месте определить, что нужно для выполнения проекта. Ученые встречались с должностными лицами в Москве и в столицах республик, с представителями научных организаций, больниц, клиник и сельскохозяйственных центров

## ХРОНОЛОГИЯ ОСНОВНЫХ СОБЫТИЙ

- 26 апреля 1986 года — В 01 час. 23 мин. происходит авария на Чернобыльской АЭС. Создается Правительственная комиссия.
- 27 апреля 1986 года — Эвакуация г. Припять
- 6 мая 1986 года — Окончание 10-дневных выбросов радиоактивных материалов из активной зоны в атмосферу
- 6 мая 1986 года — Введение "временных предельно допустимых уровней" для питьевой воды и пищевых продуктов
- 6 мая 1986 года — Завершение эвакуации населения из запретной зоны
- 31 мая 1986 года — Пересмотр "временных предельно допустимых уровней"
- Май 1986 года — "Временная предельная доза" для населения установлена как суммарная годовая доза в размере 100 мЗв (внутреннее и внешнее облучение)
- Июль 1986 года — Составление первой сводной карты загрязнения (не опубликована до 1989 года)
- Середина ноября 1986 года - 1987 год — Завершение строительства "саркофага". "Временная предельная доза" для населения снижена до суммарной годовой дозы в размере 30 мЗв (впоследствии на 1988 год снижена до 25 мЗв)
- Апрель 1987 года — Завершение начатой в мае 1986 года работы по защите водной системы
- Декабрь 1987 года — Пересмотр "временных предельно допустимых уровней", установленных 31 мая 1986 года
- 1988 год — "Временная предельная доза" для населения снижена до суммарной годовой дозы в размере 25 мЗв
- Сентябрь 1988 года — Совет Министров СССР принимает концепцию 350 мЗв дозы в течение жизни в качестве критерия для переселения, который должен применяться с 1 января 1990 года
- Март 1989 года — В трех республиках издаются официальные карты загрязнения
- Апрель 1989 года — Академия наук Белорусской ССР заявляет несогласие с концепцией 350 мЗв дозы в течение жизни и выдвигает новые предложения
- Октябрь 1989 года — Советский Союз обращается в МАГАТЭ с просьбой провести международную оценку последствий аварии и принятых защитных мер.



в пострадавших районах, а также в Киеве, Гомеле и Москве. Но только в ходе встреч с жителями, начиная с первых приветствий в аэропорту Киева и кончая последним вопросом, заданным в переполненном зале городского совета, стали понятны масштабы поставленной задачи. Планы работ по проекту были представлены на встречах с жителями семи населенных пунктов в трех республиках, которым было предложено высказать свое мнение и задавать вопросы. Международные эксперты столкнулись с очень гуманитарными проблемами. Основной темой обсуждений было беспокойство за здоровье детей, озабоченность по поводу эффективности предложенных правительством мер в отношении ограничения воздействия радиации в течение жизни человека. Все это происходило в обстановке недоверия населения как к своим компетентным органам, так и к многим представителям научных и медицинских кругов.

После поездки был сформирован Международный консультативный комитет, куда вошли ученые из десяти стран и семи международных организаций, на который возлагались функции руководства проектом и ответственность за полученные результаты. Международные организации, участвующие в проекте, пригласили для работы в МКК ученых из известных институтов и университетов, представляющих различные области науки — от радиологии до общей медицины и психологии. Встречи 21 члена комитета проходили в Киеве и Минске с 23 по 27 апреля 1990 года под председательством д-ра Ицузо Шигемацу, директора Фонда изучения радиационных последствий в Хиросиме.

Комитет согласовал подробный рабочий план. К проблемам, связанным с его осуществлением, следует отнести настоятельную необходимость завершить проект за один год и недостаток имеющихся средств. Комитету было необходимо привлечь к работе профессионалов высокого уровня, которые на добровольных началах были бы готовы посвятить себя работе в рамках проекта.

### Цели и задачи проекта

Международным чернобыльским проектом не ставилась задача провести глубокое и всеобъемлющее долгосрочное научное исследование. Кроме того, перед учеными даже приблизительно не стояла задача повторить многочисленные уже проведенные исследования по оценке загрязнения окружающей среды, радиационного облучения населения и возможных последствий облучения для здоровья людей в результате аварии. Планировалось создать междисциплинарную группу международных экспертов для

критического изучения разнородной информации, попытаться решить ключевые проблемы и составить понятную и достоверную картину современной обстановки.

Если говорить кратко, цели проекта заключались в том, чтобы изучить оценки радиационной обстановки и состояния здравоохранения в районах СССР, пострадавших в результате чернобыльской аварии, и оценить меры по защите населения.

Было официально установлено, что в 13 районах страны уровень загрязнения поверхности цезием-137 превышал  $1 \text{ Ки/км}^2$  ( $37 \text{ кБк/м}^2$ )<sup>1</sup>. Территории площадью приблизительно  $25\,000 \text{ км}^2$  отнесены к районам, пострадавшим в результате аварии, с уровнями концентрации цезия-137 на поверхности более  $5 \text{ Ки/км}^2$  ( $185 \text{ кБк/м}^2$ ). Из этой площади примерно  $14\,600 \text{ км}^2$  расположены в БССР,  $8100 \text{ м}^2$  — в РСФСР и  $2100 \text{ км}^2$  — в УССР. Работы по проекту проводились в этих пострадавших районах. Проведение работ внутри 30-километровой запретной зоны и вокруг самого поврежденного реактора в задачи проекта не входило, за исключением описания мер по локализации аварии на ранней стадии. Проект имеет отношение только к радиологическим последствиям аварии для людей, проживавших в этих районах на момент начала оценки в 1990 году. Население пострадавших районов по официальным советским данным составляло приблизительно 825 000 человек, из них 45% проживало на территории БССР, 24% — в РСФСР и 31% — в УССР.

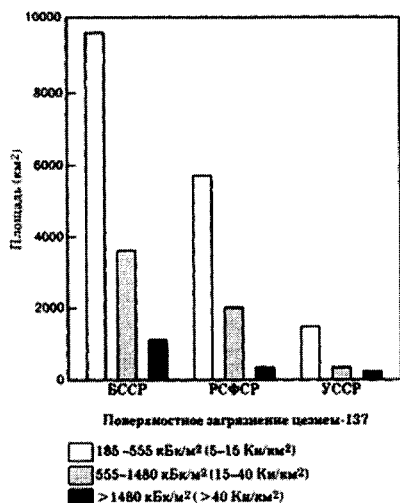
### Рабочий план

Принятым рабочим планом было предусмотрено проведение оценки достоверности официальных методологий и результатов и независимой их проверки путем отбора проб на местности, проведения их лабораторного анализа и использования признанных на международном уровне методов расчетов. Кроме того, чтобы обрисовать обстановку, которая позволила бы лучше понять сложность создавшейся ситуации и взаимосвязанных целей проекта, намечалось подготовить описание истории событий.

---

<sup>1</sup> *Международная систем (СИ) принята во всем мире. Однако в СССР все еще используется старые единицы и поэтому исходные данные, как правило, представлялись в этих единицах. С учетом этого данные в обзоре выражены как в старых, так и в новых единицах.*

## Глава I: Международный чернобыльский проект

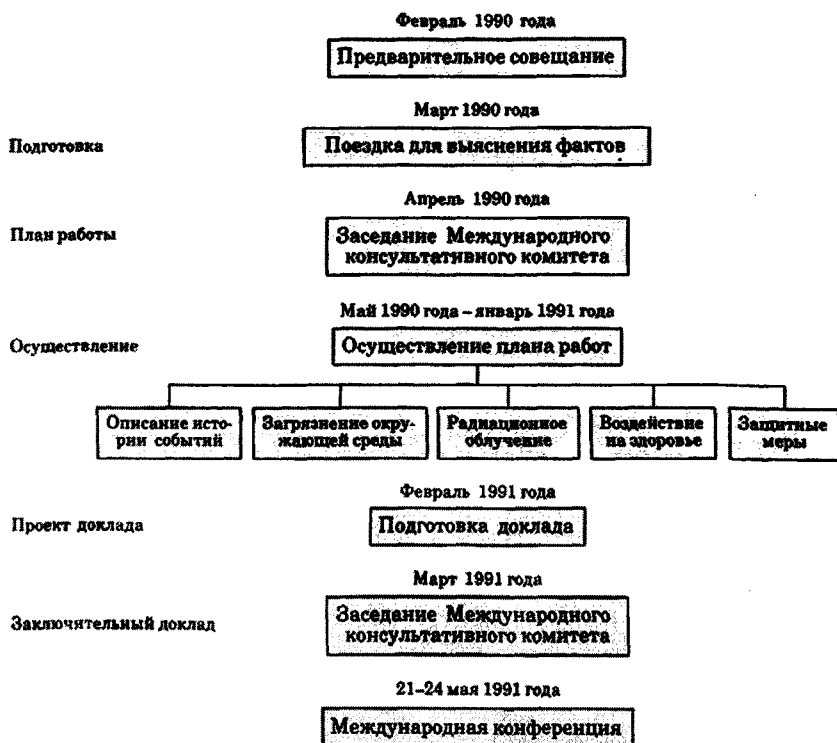


**Географические рамки.** Международная оценка предусматривала обследование территории площадью около 25 000 км² в БССР, РСФСР и УССР, на которой по официальным сообщениям уровень загрязнения поверхности цезием превышал 185 кБк/м² (5 Ки/км²), и особенно на участках с уровнем загрязнения более 1480 кБк/м² (40 Ки/км²). В исследование не была включена запретная зона вокруг реактора на Чернобыльской АЭС (радиусом 30 км). [Док. А/45/342 E/1990/102, Экономический и Социальный Совет ООН, Женева, 9 июля 1990 года]



**Демографические рамки.** Международная оценка охватывала последствия облучения приблизительно 825 000 людей в 2225 населенных пунктах БССР, РСФСР и УССР. В оценку не включены лица, которые выехали из загрязненных районов. Также не предусматривалось обследование возможных последствий для "ликвидаторов", т.е. лиц, которые были заняты на восстановительных работах и получили профессиональное облучение на площадке Чернобыльской АЭС. [Док. А/45/342 E/1990/102, Экономический и Социальный Совет ООН, Женева, 9 июля 1990 года]

# Глава I: Международный чернобыльский проект



*Международный чернобыльский проект. Этот проект был организован по просьбе правительства СССР для международной оценки радиологических последствий чернобыльской аварии. Работой специалистов из разных стран руководил Международный консультативный комитет при участии ВМО, ВОЗ, КЕС, МАГАТЭ, МОТ, НКДАР ООН и ФАО. Проектом предусматривалось решение пяти задач: описание истории событий, приведших к нынешней радиационной обстановке, оценка загрязнения окружающей среды, оценка радиационного облучения населения, оценка воздействия облучения на здоровье и оценка защитных мер*

План работы охватывал пять направлений или "задач":

- Задача 1:** описание истории событий, которые привели к современной радиационной обстановке (см. приложение);
- Задача 2:** проверка оценок загрязнения окружающей среды;
- Задача 3:** проверка оценок радиационного облучения населения;
- Задача 4:** оценка клинико-медицинских последствий радиационного облучения и оценка общего состояния здоровья населения;
- Задача 5:** оценка защитных мер.

В сотрудничестве с местными компетентными органами группы экспертов, работавшие в рамках проекта, выбрали ряд населенных пунктов в соответствующих загрязненных районах для проведения необходимых обследований. Некоторые населенные пункты были расположены в районах с относительно высоким уровнем поверхностного загрязнения почвы, в то время как другие находились в районах с относительно низким уровнем поверхностного загрязнения почвы, однако там имелась потенциальная возможность получения населением высоких доз облучения. В данном общем обзоре эти населенные пункты называются "обследованные загрязненные населенные пункты".

Были выбраны также населенные пункты за пределами соответствующих загрязненных районов, которые использовались для целей сравнения. Эти населенные пункты называются "обследованные контрольные населенные пункты".

Обследованными загрязненными населенными пунктами были:

Брагин	Народичи
Веприн	Новое Место
Гатка	Новозыбков
Гдень	Новые Бобовичи
Гомель	Овруч
Далета	Полесское
Злынка	Ракитное
Комрин	Савенки
Корма	Савичи
Корчевка	Святск
Маложин	Словечно
Микуличи	Старое Васильково
Мильча	Старые Бобовичи
Мичульня	Хойники

Обследованными контрольными населенными пунктами были:

Кировск	Унеча
Красилровка	Ходичи
Сураж	Чемер
Троковочи	

Не все указанные населенные пункты были "задействованы" при выполнении всех задач проекта.

Кроме того, было отмечено желание населения пострадавших районов получить практическую информацию о том, как они должны действовать в конкретной радиационной обстановке. Международные эксперты пришли к выводу, что население загрязненных районов имеет слабое представление об основных научных принципах радиации и ее последствиях (это, впрочем, характерно для всех стран мира), что явилось причиной многих существующих медицинских и социальных проблем. Поэтому, помимо основных задач проекта, был осуществлен ряд мероприятий по обмену информацией с целью повысить информированность местных специалистов по данным проблемам.

### **Участники проекта**

Проект был выполнен исключительно на добровольной основе группой из 200 тесно взаимодействовавших экспертов, которые работают в исследовательских институтах, университетах и организациях 25 стран и в семи международных организациях. Время для работы над проектом добровольно согласились предоставить правительства, институты, компании и сами эксперты.

В период с марта 1990 года по январь 1991 года они совершили 50 поездок в СССР. Лаборатории МАГАТЭ в Зайберсдорфе, а также 13 лабораторий в шести странах, участвовавших в работе на добровольной основе, выполняли отбор и анализ проб. Лаборатория МАГАТЭ провела с лабораториями СССР интеркалибровку приборов. В целях содействия проекту правительственные органы и коммерческие компании пяти стран предоставили оборудование и материалы, дозиметрические приборы и машинное время.

### **Мероприятия по обмену информацией**

#### **МЕДИЦИНСКИЕ СЕМИНАРЫ.**

В июле 1990 года в ряде деревень в каждой из трех республик были проведены трехдневные семинары по повышению квалификации врачей и руководителей медицинских учреждений. Более 1200 местных специалистов вместе с четырьмя международными

экспертами участвовали в обсуждении результатов долгосрочных исследований по вызванным воздействием радиации и связанным с ней заболеваниями, способам диагностики и лечения, а также методам, которые используются при изучении раковых и других заболеваний среди населения, подвергшегося радиационному облучению.

### ***СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ РАБОТЫ.***

Группа экспертов, побывавшая в СССР с ознакомительными целями в августе 1990 года, обнаружила обеспокоенность сельских жителей и других работников сельского хозяйства проблемами, связанными с условиями жизни и работы на загрязненных территориях. На семинаре-практикуме, который проходил в сентябре 1990 года в Норвегии, в течение недели советские ученые-аграрники и должностные лица министерств сельского хозяйства трех республик знакомились с методами снижения загрязнения цезием молока и мяса пастбищных животных, а затем была начата серия экспериментов с использованием соединений, связывающих цезий. В октябре — ноябре был проведен ряд однодневных семинаров в деревнях трех пострадавших республик, в ходе которых международные эксперты рассказали приблизительно 1300 колхозникам, работникам сельского хозяйства, ветеринарам и другим местным жителям об использовании этих практических методов и других способов обработки почвы в загрязненных районах.

### ***СЕМИНАР ПО РАДИОЭКОЛОГИИ.***

Чтобы помочь местным специалистам лучше понять проблему облучения людей в результате выброса радионуклидов в окружающую среду, в Киеве в январе 1991 года был проведен 5-дневный семинар. Более 200 специалистов по радиобиологии, радиоэкологии, охране окружающей среды и здравоохранению из трех пострадавших республик принимали участие в обсуждении таких проблем, как контроль состояния окружающей среды, поведение радионуклидов в биосфере и воздействие их на человека.

Проект получил всестороннюю поддержку правительства СССР и правительств БССР, РСФСР и УССР. Помощь предоставлялась в различных формах, в том числе в виде участия местных специалистов в интеркалибровочных проверках, подробном обсуждении различных проблем с группой экспертов, работавших в рамках проекта, и помощи в отборе и подготовке проб, взятых на местах, а также в виде организации медицинского обследования населения пострадавших районов. Значительная часть оборудования и материалов для осуществления проекта была предоставлена Министерством

атомной энергетики и промышленности СССР. Состоялись открытые и откровенные беседы с представителями органов власти, учеными и особенно с местными жителями, способствовавшие в значительной степени пониманию положения дел экспертами.

### Рамки и ограничения проекта

Выводы и рекомендации, выработанные в рамках Международного чернобыльского проекта, были одобрены Международным консультативным комитетом (МКК) на его совещании в Вене 18-22 марта 1991 года. Они основаны на результатах оценок радиологических последствий аварии и состояния здоровья населения, проведенных в рамках проекта. Технические детали этих оценок можно найти в обстоятельном техническом докладе, к которому следует обращаться за всей дальнейшей информацией.

Настоящие выводы и рекомендации обусловлены рамками и ограничениями замысла проекта. Эти рамки и ограничения следует учитывать во избежание более широкого или узкого толкования выводов и рекомендаций, чем это предполагается проектом. В идеальном случае группы экспертов, работавшие в рамках проекта, должны были располагать временем и ресурсами, достаточными для тщательного изучения и независимой проверки всей доступной им информации, а также для проведения более широких независимых анализов. Нереально было рассчитывать на возможность проведения таких всеобъемлющих работ, да они и не были бы вполне оправданы. По ряду причин потребовались и были приняты более ограниченные задачи: время для выполнения проекта было лимитировано; предоставленные группам экспертов данные не всегда оказывались полными; оценка радиационной обстановки непосредственно после аварии уже не могла получить независимого подтверждения из-за истекшего после аварии времени и, следовательно, распада короткоживущих радиоизотопов; количество независимых экспертов, как и отведенное им время, было ограничено; на тысячах квадратных километров загрязненной территории невозможно было провести тщательный контроль или систематическое обследование "горячих пятен" загрязнения; было также невозможно обследовать в индивидуальном порядке сотни тысяч людей, живущих в этих районах. Наконец, обследование в рамках проекта сосредотачивалось в основном на таких гуманитарных проблемах и соответствующих экологических аспектах, как загрязнение, влияющее на сельскохозяйственную деятельность; последствия аварии для других биологических видов конкретно не рассматривались.



Таким образом, усилия были направлены на оценку данных, методов и методологий, применявшихся для определения уровней загрязнения, доз<sup>2</sup> и последствий для здоровья; они также были направлены на оценку политики в области радиационной защиты. Были получены независимые данные, достаточные для того, чтобы работавшие в рамках проекта группы экспертов могли сформулировать независимые заключения.

Значительные усилия были направлены на оказание помощи компетентным органам СССР, БССР, РСФСР и УССР, которым срочно требовались рекомендации по мерам радиационной защиты (включая "концепцию безопасного проживания") и по связанным с ними практическим мерам и политике в области радиационной защиты. Радиологические соображения, влияющие на принятие таких мер, как переселение (например, дозы облучения и риск, которых можно избежать путем переселения людей), необходимо было оценить в контексте соответствующих психологических, социальных и экономических факторов.

В соответствующих загрязненных районах была проведена оценка состояния здоровья людей, проживающих в населенных пунктах этих районов со времени аварии. Она была осуществлена путем обследования населения с целью определения возможных последствий для здоровья, прямо связанных с облучением, а также последствий для здоровья, которые могли возникнуть в результате факторов, связанных с аварией, но не из-за облучения. Поскольку по этим группам населения имелось небольшое количество данных, относящихся к доаварийному периоду, необходимо было сравнить результаты по этим группам с результатами по другим группам жителей в данном регионе за пределами соответствующих загрязненных районов.

Поскольку проект был ориентирован на население, проживающее в загрязненных районах в настоящее время, то рассматривались радиологические последствия для здоровья лишь тех из более чем 100 000 жителей, эвакуированных из запретной зоны вокруг Чернобыльской АЭС, которые в настоящее время проживают в обследуемых районах. В проекте также не рассматривались последствия для здоровья большого числа привлеченных для ликвидации аварии людей (так называемых "ликвидаторов"), которые направлялись в этот район на определенное время для ликвидации последствий аварии и проведения восстановительных работ. Как сообщается, за состоянием здоровья этой группы людей, получивших

<sup>2</sup> Термин "доза", если специально не оговорено иное, как правило, означает "эффективную дозу", т.е. общую поглощенную дозу, надлежащим образом соотношенную со степенью ущерба, который наносит данный вид радиации, и с подверженностью тканей организма повреждению.

профессиональное облучение, наблюдают медицинские учреждения на всей территории СССР.

Некоторым вопросам было уделено сравнительно небольшое внимание, в основном из-за отсутствия в достаточном объеме необходимых данных. Например, оказалось невозможным подтвердить первоначальные уровни загрязнения почвы и облучения населения изотопами йода. Не были также предметом тщательной оценки предпринятые сразу же после аварии защитные меры (например, блокирование щитовидной железы путем йодопрофилактики и эвакуация).

Международный консультативный комитет придерживается мнения, что, несмотря на ограниченные сроки и недостаток финансовых и людских ресурсов, проект является весьма необходимым международным гуманитарным и научным мероприятием, отвечающим нуждам компетентных органов и населения СССР, пострадавшего от чернобыльской аварии.

Международный консультативный комитет признает наличие многих проблем в таком широком исследовании. Тем не менее, в данной работе участвуют ведущие и широко известные в мире ученые-исследователи и специалисты-медики, которые одобряют ее полноту и результаты. Она является значительным вкладом в оценку последствий аварии.

## Глава II: ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

### Проблема

В результате чернобыльской аварии произошли самые крупные из когда-либо зарегистрированных кратковременных выбросов радиоактивных материалов в атмосферу из одного источника. Из всех выброшенных из активной зоны материалов следующие четыре элемента в краткосрочном и долгосрочном плане определили радиологическую обстановку в пострадавших районах СССР: йод (главным образом йод-131), цезий (цезий-134, цезий-137), стронций (главным образом стронций-90) и плутоний (плутоний-239, плутоний-240). Кроме того, в выбросах присутствовали высококордиоактивные осколки топлива (горячие частицы).

Результаты аэродозиметрического контроля радиационной обстановки и отбора и анализа проб окружающей среды, которые начали проводить вскоре после аварии, показали, что самым загрязненным оказался район вокруг реактора, который впоследствии стал запретной зоной. В других районах Советского Союза изменения направления ветра и отдельные дожди в течение десяти дней после

первого выброса привели к очень неравномерному характеру распределения радиоактивных выпадений в БССР, РСФСР и УССР.

Сильные дожди, а также соответствующие местные условия способствовали появлению участков ("горячих пятен") с чрезвычайно высокими уровнями поверхностной радиоактивности, мощность внешней дозы излучения которых в 5000 раз превышала мощность дозы от естественного радиоактивного фона. После того, как выбросы были остановлены, произошли изменения характера загрязнения, обусловленные радиоактивным распадом (главным образом йода-131, который распадается почти полностью в течение трех месяцев) и естественными природными процессами, которые явились причиной миграции загрязнения в почву и дисперсии частиц почвы в результате стока поверхностных вод.

Информация, полученная в ходе аэродозиметрического контроля и анализа проб окружающей среды, была использована для составления официальных карт поверхностного загрязнения, которые показывают уровни поверхностной концентрации цезия, стронция и плутония. Карты были официально опубликованы в 1989 году и вызвали споры среди ученых и населения. Согласно официальным данным, на площади около 25 000 км<sup>2</sup> и в 2225 населенных пунктах, расположенных на территории трех республик, поверхностное загрязнение цезием-137 превышает 185 кБк/м (5 Ки/км). У жителей основными вопросами были следующие:

- Отражали ли официальные карты фактический уровень поверхностного загрязнения?
- Были ли загрязнены водные ресурсы?
- Было ли безопасным потребление молока и пищевых продуктов местного производства?

### Цели и подход

С самого начала было очевидно, что в рамках международной оценки невозможно вновь осуществить тот объем деятельности, который проделали за четыре года местные эксперты по оценке загрязнения окружающей среды таких огромных территорий. Эксперты, работавшие в рамках проекта, анализировали официальные оценки, исходя из трех основных направлений.

Во-первых, они рассмотрели официальные данные, а также методы их сбора и документирования. Официальные данные были представлены в форме карт поверхностного загрязнения цезием-137, стронцием-90 и плутонием-239 и таблиц со значениями поверхностного загрязнения цезием-137 и стронцием-90, а также загрязнения проб окружающей среды и пищевых продуктов примерно

**Официальные карты.** Карты с изоплетами уровней поверхностного загрязнения цезием, стронцием и плутонием были предоставлены в распоряжение проекта и использовались в качестве справочного материала. Официально были опубликованы в 1989 году Государственным комитетом СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды, Москва, и, как сообщается, составлены на основе результатов аэродозиметрического контроля и анализа проб почвы в населенных пунктах, расположенных в известных и предполагаемых местах загрязнения. Эти карты изданы отдельно.

по 500 населенным пунктам в трех республиках. Кроме того, рассматривались местные данные, полученные из областных и республиканских институтов.

Во-вторых, группы в рамках проекта посетили 20 государственных учреждений и лабораторий для ознакомления с методами и оборудованием, используемых для отбора и анализа проб окружающей среды и пищевых продуктов. Как было сообщено, эти институты играют существенную роль в проведении официальных оценок. Для оценки аналитических возможностей тех лабораторий в трех республиках, из которых поступала основная масса информации, было проведено взаимное сравнение с использованием материалов, содержащих известные количества радиоактивных веществ.

И, наконец, группы в рамках проекта использовали собственные независимые методы и оборудование для определения содержания радиоактивности на поверхности, в почве, отложениях, воздухе, воде, растительности, молоке и пищевых продуктах. С учетом большого числа пострадавших населенных пунктов и ограниченных ресурсов проекта проведены лишь выборочные отборы проб и измерения. Большинство обследованных загрязненных населенных пунктов находятся в районах, где уровни поверхностного загрязнения цезием-137 превышали  $555 \text{ кБк/км}^2$  ( $15 \text{ Ки/км}^2$ ), и несколько в районах с более низким уровнем — от  $37 \text{ кБк/м}^2$  ( $1 \text{ Ки/км}^2$ ) до  $185 \text{ кБк/м}^2$  ( $5 \text{ Ки/км}^2$ ). Кроме того, были проведены измерения в шести контрольных населенных пунктах, находящихся в районах с уровнем загрязнения ниже  $37 \text{ кБк/м}^2$  ( $1 \text{ Ки/км}^2$ ), с целью проверки их пригодности в качестве контрольных населенных пунктов для проведения медицинских исследований в рамках проекта. Анализ отобранных проб окружающей среды и пищевых продуктов на содержание радиоактивности был проведен в лабораториях шести стран.

## Описание работы

### **РАССМОТРЕНИЕ ОФИЦИАЛЬНЫХ ДАННЫХ И МЕТОДОВ.**

Ключевым элементом исследования было рассмотрение официальной методологии, использовавшейся для составления карт поверхностного загрязнения. Так как официальная документация не всегда предоставлялась экспертам, группа в основном полагалась на прямые контакты с местными специалистами.

По сообщениям, карты загрязнения основываются на результатах аэродозиметрического контроля гамма-излучения и на результатах анализа проб почвы, отобранных в известных или предполагаемых местах радиоактивных выпадений. Аэродозиметрический контроль, который начали проводить сразу после аварии, в настоящее время проводится два раза в год. Центральная база данных по окружающей среде находится в Обнинске, и в каждой республике имеются такие же базы данных. На областном и республиканском уровнях существует обмен информацией между институтами, однако результаты радиационных измерений, полученные на союзном уровне, обычно не передаются республиканским органам.

Рассмотрение официальных методов и беседы с местными специалистами показали, что существует хорошо развитая инфраструктура оценки содержания радиоактивности в окружающей среде и пищевых продуктах. Укомплектованные опытным персоналом институты различаются по размерам (от маленьких лабораторий, выполняющих контрольно-регулирующие функции, до крупных научно-исследовательских организаций). Не было представлено подробной информации относительно вклада каждого института в оценку состояния окружающей среды, а также относительно программ обеспечения качества, необходимых для качественного проведения анализов и достоверности получаемых результатов.

Ведется широкий отбор проб поверхностных и в меньшей степени подземных вод. Проводится отбор проб воды из рек и водохранилищ в пострадавших районах, а специально оборудованное исследовательское судно регулярно проводит измерения загрязнения реки Днепр. Группа в рамках проекта отметила, что в местных лабораториях существует проблема, связанная с перекрестным загрязнением цезием и стронцием в процессе подготовки и анализа проб воды и донных отложений, что могло привести к завышению оценок уровней загрязнения.

Проводится контроль уровней загрязнения молока и мяса. Перед переработкой на молочных фермах и в колхозах молоко проверяется на содержание цезия. Отправляемый на бойню скот проверяется, а мясо проходит контроль на мясокомбинатах и выборочную

проверку в продовольственных магазинах перед поступлением в продажу. Так как не было представлено информации по калибровке измерительных приборов, группы в рамках проекта не могли оценить степень точности официальных измерений.

### ***ПРОВЕРКА ОФИЦИАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ.***

В ходе организованного Лабораторией МАГАТЭ в Зайберсдорфе взаимного сравнения был разработан критерий для определения достоверности официальных данных. Сообщается, что 13 институтов, которые приняли участие в этом мероприятии, ведут основную работу по отбору и лабораторному анализу проб окружающей среды и пищевых продуктов. Институты провели анализ (на содержание измеренных радионуклидов) "анонимных" проб почвы (стронций-90, плутоний-239, цезий-137, радий-226), сухого молока (стронций-90, цезий-134, цезий-137, калий-40), имитаторов воздушных фильтров (стронций-90, цезий-137, кобальт-60, барий-133, свинец-210) и растительности (стронций-90, цезий-134, цезий-137, калий-40) и сообщили полученные результаты с указанием соответствующих возможных погрешностей. Лаборатория МАГАТЭ сравнила эти результаты с рекомендованными (т.е. "эталонными") значениями.

Представленные результаты по содержанию цезия-137 в почве хорошо согласовывались с рекомендованными значениями. С другой стороны, в результатах по стронцию и плутонию наблюдалась тенденция к завышению их содержания в почве (до четырех раз). Подобная тенденция к завышению оценок была отмечена при определении содержания в молоке стронция (до девяти раз) и цезия (до трех раз). Результаты по содержанию стронция в пробах растительности представляются в основном надежными, однако была обнаружена тенденция незначительного занижения оценки данных по цезию. В отношении имитаторов воздушных фильтров результаты по содержанию цезия согласовывались с рекомендованными значениями, в то время как разброс значений содержания стронция составил 30-50%.

### ***НЕЗАВИСИМЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РАМКАХ ПРОЕКТА.***

Независимые исследования в рамках проекта проводились в выбранных населенных пунктах в течение шести месяцев в середине 1990 года с использованием принятых на международном уровне методов и оборудования. В ходе исследований были проведены измерения мощности дозы, внешнего гамма-излучения в помещениях и вне помещений, а также осуществлялся отбор проб почвы, воды, воздуха и пищевых продуктов. Результаты были использованы для оценки официальных карт поверхностного загрязнения

цезием, стронцием и плутонием и более четкого определения уровня загрязнения окружающей среды в пострадавших районах.

#### *Измерения мощности дозы.*

Исследования мощности дозы, проведенные в рамках проекта в Брагине, Новозыбкове, Полесском и Далете, были направлены на изучение официальных оценок диапазона средних величин поверхностного загрязнения цезием-137 в этих населенных пунктах. Было проведено более 2000 измерений мощности дозы гамма-излучения; полученные величины были переведены в значения поверхностного загрязнения, которые затем сравнили с официальными значениями поверхностного загрязнения цезием-137.

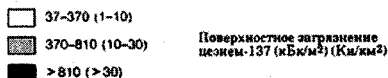
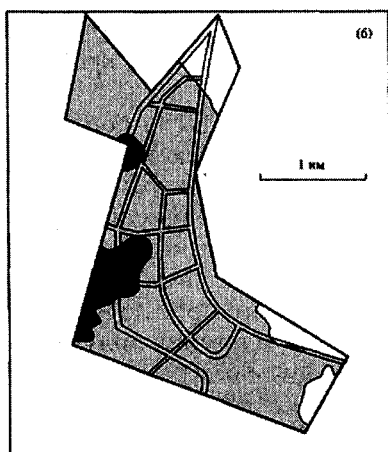
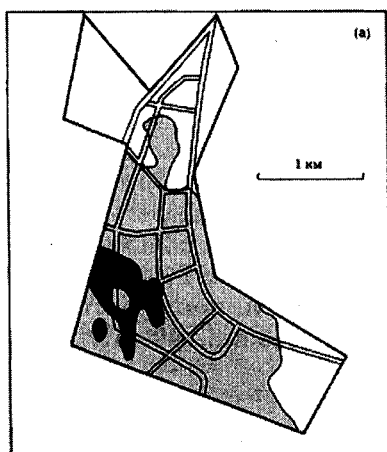
#### *Программа отбора проб*

##### *Почва*

Пробы почвы, отобранные в рамках проекта в Новозыбкове, Брагине, Полесском и Далете, были также использованы для определения концентраций радионуклидов на разной глубине и изучения официальных оценок диапазона средних значений поверхностного загрязнения цезием-137 в этих населенных пунктах. Ограниченное число выборочных проб почвы из Брагина, Далеты и Полесского прошло независимый анализ на поверхностную активность плутония (плутоний-239 и плутоний-240) и стронция (стронций-90) в верхнем слое почвы.

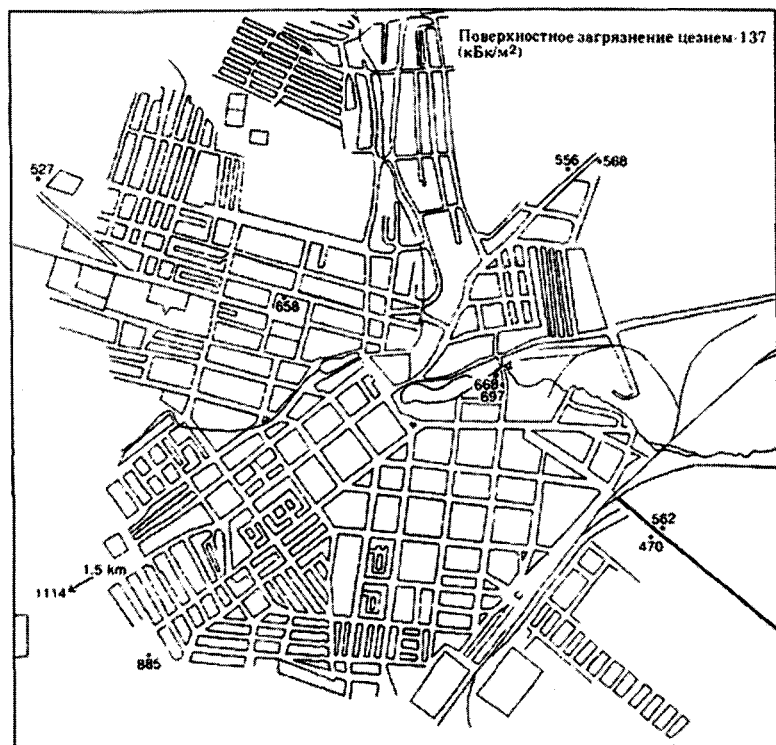
##### *Водные ресурсы*

Для того чтобы определить, была ли загрязнена выпавшими радионуклидами питьевая вода, были отобраны пробы воды в 16 населенных пунктах Брагинского, Новозыбковского и Овручского районов. Пробы отбирались из выкопанных колодцев, систем водоснабжения, прудов, озер и рек. Кроме того, были взяты пробы донных отложений из озер, прудов, рек и водохранилищ для оценки степени проникновения цезия и определения степени опасности загрязнения водных систем. Концентрация цезия в воде была, как правило, ниже порога чувствительности использовавшихся приборов. Однако в пробах отложений из районов со сравнительно высоким уровнем загрязнения почвы отмечены повышенные уровни в верхних слоях отложений, что является потенциальным источником загрязнения биоты в этих районах в будущем.

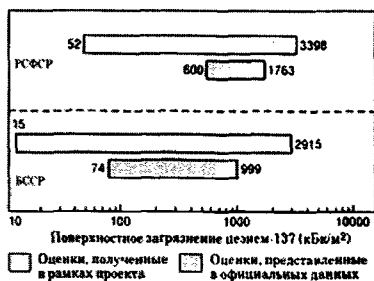


Сопоставление результатов измерений мощности дозы, выполненных в рамках проекта, с официально представленными значениями поверхностного загрязнения цезием в населенном пункте Бразин, БССР. В ходе исследований в рамках проекта с использованием независимых методов и оборудования в целом были подтверждены оценки уровней поверхностного загрязнения цезием, представленные на официальных картах. Как показано здесь — в качестве примера взят населенный пункт Бразин — измерения мощности дозы гамма-излучения в воздухе, выполненные в рамках проекта (а) сопоставлялись с уровнями загрязнения цезием для данного населенного пункта, представленных Белорусским отделением Всесоюзного института сельскохозяйственной радиологии, Гомель, БССР (б). Оба набора данных свидетельствовали о наличии различных уровней поверхностного загрязнения и регистрации максимальной концентрации радиоактивности на ненарушенных участках почвы и минимальной концентрации — на твердых поверхностях, где, по-видимому, произошло вымывание радионуклидов под действием природных процессов или проводилась дезактивация.

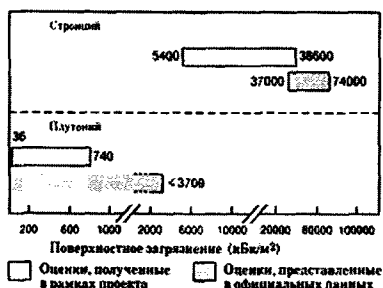




*Измерения уровней загрязнения почвы цезием в Новозыбкове, РСФСР, проведенные в рамках проекта. Для подтверждения официально представленных значений поверхностного загрязнения цезием в рамках проекта проводилось исследование уровня радиоактивности поверхностного слоя почвы в выбранных населенных пунктах. Как показано здесь — в качестве примера взят населенный пункт Новозыбков — результаты независимых анализов загрязнения поверхностного слоя почвы свидетельствовали о наличии диапазона значений от 470 до 1114 кБк/м<sup>2</sup> (от 12,7 до 30,1 Ки/км<sup>2</sup>). Эти данные достаточно хорошо согласуются с диапазоном средних значений от 555 до 1480 кБк/м<sup>2</sup> (от 15 до 40 Ки/км<sup>2</sup>), официально представленных для этого населенного пункта Госкомгидрометом СССР, Москва*



Сравнение уровней загрязнения почвы цезием, измеренных в рамках проекта, с официально представленными значениями уровней поверхностного загрязнения цезием в населенных пунктах БССР и РСФСР. В результате проведенного в рамках проекта ограниченного числа анализов уровней загрязнения цезием поверхностного слоя почвы в пяти населенных пунктах БССР и четырех населенных пунктах РСФСР были получены значения, соответствующие диапазону значений по этим населенным пунктам, которые были официально представлены Государственным комитетом СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды, Москва, и которые основываются на проводимых им со времени аварии комплексные исследования



Сравнение уровней загрязнения почвы стронцием и плутонием, измеренных в рамках проекта, с официальными значениями уровней поверхностного загрязнения в Брагинском районе БССР. Эксперты в рамках проекта пришли к заключению, что аналитические результаты измерений ограниченной серии проб почвы соответствовали представленным оценкам по плутонию, но были ниже представленных оценок по стронцию. Как показано здесь, а в качестве примера взяты населенные пункты Брагинского района, результаты измерений уровня загрязнения стронцием говорят о возможном завышении оценок, официально представленных Государственным комитетом СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды

## Воздух

Ветер, вспашка земель и другие работы могут стать причиной повторного пылеобразования в воздухе и ветрового переноса выпавших радионуклидов, при этом возникает опасность ингаляционного поступления в организм радиоактивной пыли. Для определения концентрации частиц повторного пылеобразования были взяты пробы воздуха в 12 населенных пунктах. Пробы отбирались в основном вне помещений, например, на детских площадках и сельскохозяйственных угодьях. Хотя результаты говорят о том, что концентрация гамма- альфа-частиц в воздухе вне помещений низка, сильные дожди во время проведения исследования и сезонная растительность на почве могли помешать повторному пылеобразованию и снизить значения полученных результатов.

## Пищевые продукты и молоко

Репрезентативные пищевые пробы всего рациона питания за один день были отобраны в населенных пунктах Брагинского, Новозыбковского и Овручского районов. Было обнаружено, что уровень радиоактивного загрязнения пищевых продуктов, взятых из точек государственной торговли в обследованных населенных пунктах, был в основном ниже значений, рекомендованных для международной торговли пищевыми продуктами. Однако в некоторых пробах уровни содержания радиоактивности значительно

превышали эти значения, что могло быть следствием несоблюдения официальных рекомендаций в отношении потребления местных пищевых продуктов. То же самое можно сказать о содержании цезия-137 в пробах молока из населенных пунктов Брагинского, Новозыбковского и Овручского районов.

### Общие выводы

Выполненные в рамках проекта измерения и оценки в целом подтвердили уровни поверхностного загрязнения цезием, которые были указаны на официальных картах, предоставленных группам в рамках проекта. Результаты анализов ограниченного количества проб почвы, полученные этими группами, соответствовали оценкам поверхностного загрязнения по плутонию, но были ниже оценок по стронцию.

Измеренные концентрации радионуклидов в питьевой воде и в большинстве случаев в пищевых продуктах были в обследованных районах значительно ниже зафиксированных в рекомендациях уровней загрязнения радионуклидами пищевых продуктов, являющихся предметом международной торговли, и во многих случаях не достигали пределов обнаружения.



**Измеренные в рамках проекта уровни концентрации цезия в пробах полного рациона питания из населенных пунктов Брагинского района БССР, Новозыбковского района РСФСР и Овручского района УССР.** Проведенные анализы ограниченного количества проб полного рациона питания (т.е. хлеба, картофеля, овощей) населения одиннадцати населенных пунктов свидетельствовали о наличии относительно существенного различия измеренных уровней загрязнения цезием. Как показано здесь, измеренные значения во всех одиннадцати населенных пунктах в трех районах были ниже значений, рекомендованных ответственными компетентными органами, а также ниже значений, определенных Комиссией Кодекс Али-ментариус (1989) для пищевых продуктов, являющихся предметом международной торговли. В двух населенных пунктах Овручского района, где, согласно официальным данным, уровень поверхностного загрязнения цезием был низким, в нескольких пробах пищевых продуктов местного производства обнаружили повышенные уровни загрязнения. Это свидетельствует о наличии высокого коэффициента переноса загрязнения из почвы в пищевые продукты в районах, прилегающих к этим населенным пунктам

### **Подробные выводы**

### **ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕТСКИХ ЛАБОРАТОРИЙ.**

Аналитические возможности советских лабораторий представляются адекватными. Имеется развитая инфраструктура для анализа проб пищевых продуктов и окружающей среды. Уровень исполнения работ советскими лабораториями, которые участвовали во взаимных сравнениях, варьировался в широких пределах, но был аналогичен уровню, продемонстрированному в предшествующих международных мероприятиях по сравнению. Несколько выявленных проблем, включая тенденцию к завышению оценки содержания стронция, не оказали значительного влияния на использование данных для целей консервативной оценки доз. Результаты оценки проведенных полевых исследований, несмотря на то, что в них не были включены "горячие пятна", по-видимому, представляются удовлетворительными в отношении средних значений, характеризующих поверхностные выпадения в соответствующем регионе. Согласно методологии, которая была использована, обнаруженные "горячие пятна" систематически исключались из оценок среднего поверхностного выпадения для соответствующего региона и не вошли в детальную информацию, представленную группам в рамках проекта.

Широкие программы отбора и анализа проб поверхностных вод осуществляются на должном уровне. Определенные проблемы во время отбора проб и/или их анализа могли привести к возможному завышению оценки концентраций радионуклидов в воде.

Представленной информации оказалось недостаточно для того, чтобы оценить оборудование и процедуры отбора и анализа проб воздуха. Хотя относительный вклад в дозу радиоактивных веществ за счет вторичного пылеобразования считается незначительным, следует отметить, что нельзя исключить возможность вторичного пылеобразования, особенно во время сельскохозяйственных работ или в засушливые периоды.

Экспресс-анализ и современные методы, используемые на местах для дозиметрического контроля имеющихся в продаже пищевых продуктов с момента их производства до потребления, представляются удовлетворительными. Ввиду отсутствия детальной технической информации в рамках проекта было невозможно с достаточной степенью точности оценить соответствующие методы калибровки приборов.

### ***НЕЗАВИСИМЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РАМКАХ ПРОЕКТА.***

Для оценки поверхностного загрязнения в обследованных загрязненных и контрольных населенных пунктах использовались разнообразные методы наблюдения. Были подтверждены диапазоны средних значений поверхностного загрязнения почвы цезием, указанные на официальных картах, которые были предоставлены для целей проекта. Было обнаружено, что результаты по плутонию, полученные на основе ограниченного количества проб почвы, подвергнутых независимому анализу на содержание плутония и стронция, соответствовали сообщенным оценкам, однако в представленных данных была выявлена тенденция к завышению оценки содержания стронция.

Группы, работавшие в рамках проекта, обнаружили, что радиоактивное загрязнение питьевой воды, пробы которой отбирались в обследованных загрязненных населенных пунктах, оказалось значительно ниже уровней вмешательства, установленных компетентными органами.

Радиоактивное загрязнение проб пищевых продуктов в обследованных населенных пунктах в большинстве случаев оказалось ниже уровней вмешательства, установленных ответственными компетентными органами. В некоторых населенных пунктах молоко из личных хозяйств, а также природные пищевые продукты, собранные вопреки официальным рекомендациям, потенциально могут быть загрязнены выше этих уровней.

## Рекомендации

Следует в конфиденциальном порядке сообщить местным лабораториям о касающихся их выводах, полученных в рамках проекта, и в случаях необходимости они должны принять соответствующие меры по исправлению положения. Следует в конфиденциальном порядке информировать местные лаборатории, участвующие в мероприятиях по взаимному сравнению, о результатах их работы, с тем чтобы они в случаях необходимости могли устранить имеющиеся проблемы.

Местные лаборатории должны иметь программы обеспечения качества с целью гарантированного получения надежных результатов. Этим лабораториям следует регулярно принимать участие в международных программах по взаимному сравнению и в международных мероприятиях по интеркалибровке.

Следует учредить программу по оценке значимости "горячих пятен". Осуществление исследовательских программ по характеристикам горячих частиц и их распространенности в окружающей среде является вполне обоснованным, и их следует продолжать.

Следует усовершенствовать технику отбора и анализа проб воды, с тем чтобы привести ее в соответствие с установленными процедурами. Необходимо исследовать потенциальную опасность долгосрочного загрязнения водоемов, возможно ведущего к загрязнению водных пищевых цепочек. Следует запланировать проведение исследований по изучению поведения радионуклидов в экосистемах и десорбции стронция из отложений, находящихся в приповерхностных слоях водоемов, и его влияния на сельскохозяйственную деятельность через мелиорацию.

По-видимому, целесообразно рассмотреть вопрос об использовании в будущем в СССР апробированных моделей прогнозирования уровней содержания радионуклидов в пищевых продуктах. Использование таких моделей может оказаться экономически эффективным в долгосрочном плане и сократит необходимость проведения большого количества анализов.

Все данные о радиоактивном загрязнении из БССР, РСФСР и УССР следует направлять в Центральный банк данных СССР в Обнинске, чтобы они могли быть доступны всем республикам. Целесообразно, чтобы вся эта информация была также доступна соответствующим институтам и учреждениям.

Следует осуществить программу по разработке более детальных официальных крупномасштабных карт загрязнения.

Чтобы получить более точную информацию о значении вторичного пылеобразования и ингаляционного поступления

радионуклидов, следует учредить совместную программу отбора и анализа проб воздуха, в которой могли бы участвовать местные лаборатории и сети международных лабораторий, замыкающихся на Лабораторию МАГАТЭ в Зайберсдорфе.

## Глава III: Радиационное облучение населения

### Проблема

Многие люди, проживающие в районах, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС, по-прежнему обеспокоены возможностью получить радиационное облучение. Население недостаточно понимает информацию о радиационном риске и о размерах дополнительного риска, связанного с радиоактивным загрязнением после чернобыльской аварии.

В первые несколько недель после аварии источником радиационного облучения населения был в основном радионуклид йод-131. Он мог поступать в организм человека из облака выброса через дыхательные пути, хотя таким образом была получена лишь незначительная доля облучения. Более важную роль здесь играло потребление молока коров, которые паслись на загрязненных пастбищах, и потребление загрязненных листовых овощей.

Со временем все более значительный вклад в облучение начал вносить радионуклид цезий-137 в результате как внешнего облучения от поверхностного загрязнения, так и внутреннего облучения от употребления загрязненных пищевых продуктов. Трудно указать точно, какие дозы уже были или еще будут получены. Вполне очевидно, что различные почвенные условия и различия в режимах питания исключают получение точной оценки и затрудняют оценку прежних или будущих доз.

Основными вопросами были следующие:

- Насколько точными были официальные оценки радиационного облучения?
- Каков был уровень облучения населения в первые дни после аварии?
- Каков нынешний и будущий уровень радиационного облучения населения, которое осталось в этих районах?

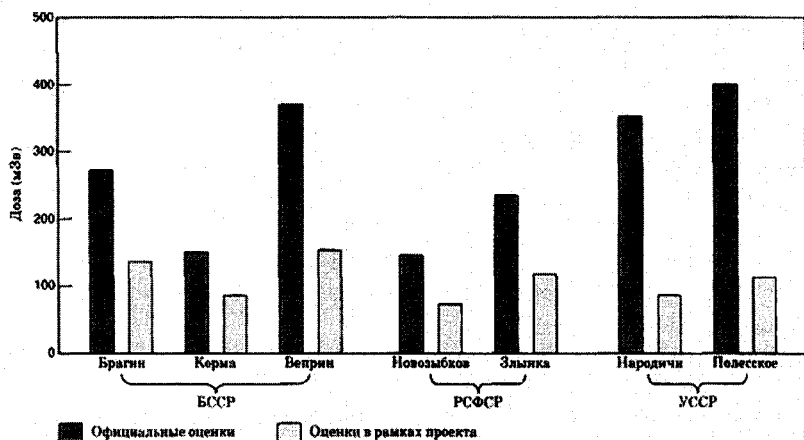
### Цели и подход

Как и при оценке загрязнения окружающей среды эксперты, работавшие в рамках проекта, не дублировали прежних усилий, а стремились проверить официальные оценки облучения.

Во-первых, был проведен обзор официальной информации о размерах доз, полученных жителями семи населенных пунктов, выбранных для исследования. В каждом из этих населенных пунктов загрязнение почвы цезием-137 превышало  $555 \text{ кБк/м}^2$  ( $15 \text{ Ки/км}^2$ ), в каждом случае незагрязненные пищевые продукты поставлялись через торговую сеть и существовал запрет на потребление пищевых продуктов, производимых на месте. Группы, работавшие в рамках проекта, посетили более двадцати институтов и министерств в БССР, РСФСР и УССР, где знакомились с методологией расчета доз и обсуждали ее. Были сделаны попытки повторного построения оценок доз на основе представленной официальной информации и обсуждений с местными экспертами. Однако эта работа сдерживалась отсутствием ряда сведений, в частности информации о том, каким образом рассчитывались поглощенные дозы облучения щитовидной железы йодом-131 и прочие уровни загрязнения цезием пищевых продуктов.

Во-вторых, группы, работавшие в рамках проекта, провели оценку радиационного облучения выборочных групп населения, используя для этого принятые на международном уровне методы и свою собственную базу данных, созданную самостоятельно в ходе

### Глава III: Радиационное облучение населения



*Сравнение реконструированных в рамках проекта и официально сообщенных оценок доз излучения, полученных населением в выбранных населенных пунктах. На основании анализа в рамках проекта официальных методов оценки доз эксперты пришли к заключению, что официальные процедуры оценки доз были обоснованы с научной точки зрения и что использованные методики приводили к завышению оценки доз. Как показано на этой диаграмме, в семи обследованных населенных пунктах в БССР, РСФСР и УССР реконструированные в рамках проекта оценки доз внутреннего и внешнего облучения цезием и стронцием были в 2-3 раза ниже значений, официально представленных Институтом биофизики, Москва*



интенсивных работ на местах в середине 1990 года. Они измерили внешнее облучение приблизительно у 8000 жителей и внутреннее облучение во всем теле у 9000 жителей. Результаты измерений во всем теле были подтверждены в лабораториях Франции и Австрии.

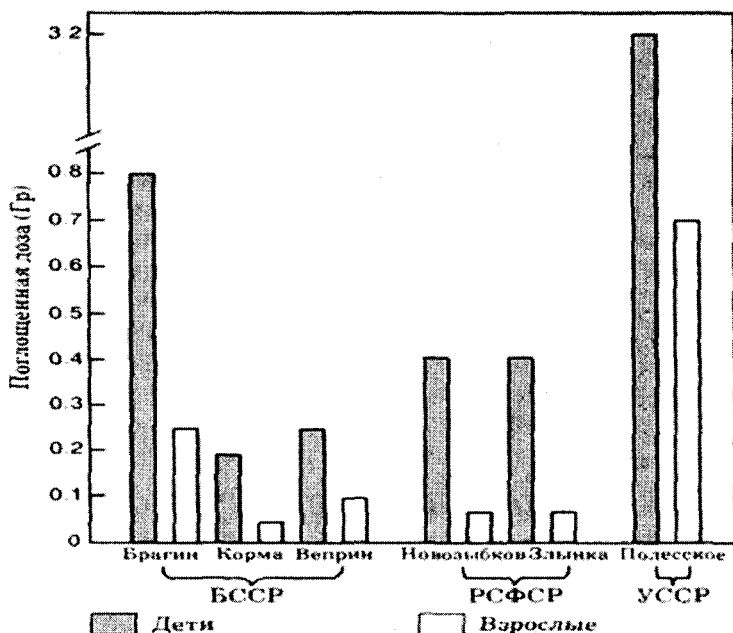
Наконец, проводилось сравнение независимых расчетов, сделанных в рамках проекта, с уровнями доз, представленными официально. Если экстраполяция уровней доз на основе относительно небольших групп обследуемого населения и страдает определенными недостатками, тем не менее полученная информация достаточно для достоверной оценки радиационного облучения всего населения. Хотя в некоторых официальных документах нет ясности в отношении математических формулировок и выбранных значений параметров, основные научные допущения в расчетах доз были признаны обоснованными.

## **Описание работы**

### ***ОЦЕНКА ОФИЦИАЛЬНЫХ ДАННЫХ И МЕТОДОВ.***

Хотя эксперты в рамках проекта имели достаточный объем официальных данных о загрязнении окружающей среды и радиационном облучении населения, этих данных оказалось недостаточно для проведения расчетов индивидуальных доз облучения населения. В ходе проведения международного обзора оказалось невозможным получить ясное представление о том, как на практике применялись официальные методы.

Эксперты, работавшие в рамках проекта, сочли полезным попытаться реконструировать официальные оценки доз, используя официальную методологию. С помощью официальной методологии можно было последовательно спрогнозировать дозы внешнего облучения на период 1990-2056 годов по всем семи населенным пунктам. Однако, когда оценка производилась на основе официальной методологии, наблюдались расхождения с сообщенными дозами иногда до трех раз. Это происходило из-за наличия неопределенностей в исходных данных, касающихся концентрации цезия в молоке. Отсутствие основных исходных данных по йоду-131 не позволило реконструировать оценку дозы облучения щитовидной железы.



**Официальные оценки поглощенной дозы облучения щитовидной железы радиоактивным йодом.** Так как к моменту проведения международной оценки произошел полный распад короткоживущих радионуклидов, группы, работавшие в рамках проекта, не могли провести независимую проверку официальных доз Института биофизики, Москва. Оценки этих доз были выполнены на основании дозиметрии щитовидной железы на раннем этапе после аварии и на предположении о возможном потреблении пищевых продуктов и молока, загрязненных радиоактивным йодом. Местные ученые проводят переоценку результатов измерений, проведенных на этом раннем этапе. Как показано здесь, согласно сообщенным в 1989 году данным по шести населенным пунктам в БССР, РСФСР и УССР средние поглощенные дозы облучения щитовидной железы у детей (до 7 лет) имели диапазон от менее чем 0,2 до 3,2 Гр. Поглощенная доза определяется как энергия, поглощенная на единицу массы тканей

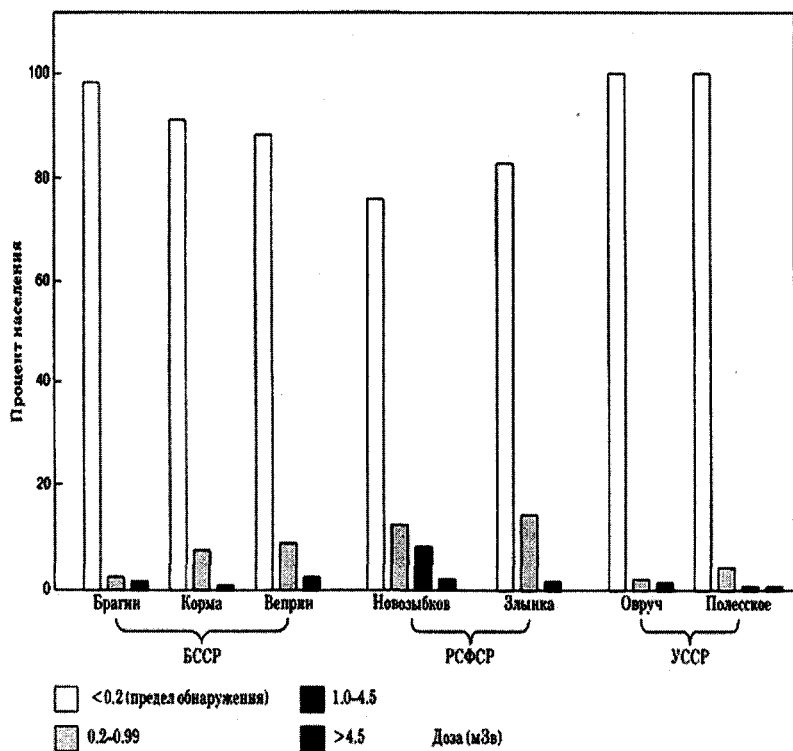
### **НЕЗАВИСИМАЯ ОЦЕНКА ДОЗ В РАМКАХ ПРОЕКТА.**

Проводившаяся в рамках проекта независимая оценка доз опиралась на признанные на международном уровне методы и независимо созданную базу данных (в основном из советских источников) по каждому из семи населенных пунктов.

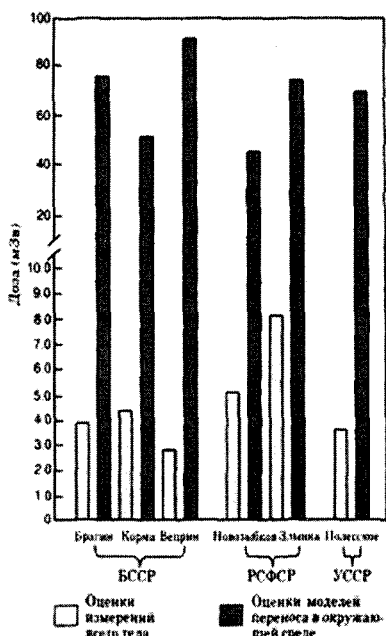
В основном использовались методы, разработанные НКДАР ООН, поскольку они просты в применении, по ним имеется хорошая документация и они известны научным работникам во всем мире. Оценки доз проводились таким образом, чтобы их можно было сравнить с официально представленными данными за два периода: 1986-1989 и 1990-2056 годов. Были проведены непосредственные измерения доз внешнего и внутреннего облучения, получаемых людьми, проживающими в обследованных населенных пунктах. Как и в официальной оценке, было сделано консервативное допущение о том, что в будущем не будет каких-либо ограничений в отношении употребления пищевых продуктов местного производства.

В середине 1990 года жителям обследованных загрязненных населенных пунктов было роздано 8000 персональных (плечных) дозиметров. В феврале 1991 года эксперты, работавшие в рамках проекта, сообщили показания, снятые в независимой французской лаборатории, непосредственно населению. Хотя оценка преследовала целью охватить все возрастные группы населения, большая часть детей находилась на каникулах за пределами этих районов на летнем отдыхе. Лица, получившие дозиметры, были проинструктированы о необходимости носить их в кармане верхней части одежды и держать их ночью около кровати. Девяносто процентов результатов были ниже предела обнаружения. Высокие значения доз были зарегистрированы у людей, проживающих в районах с сильным поверхностным загрязнением или работающих в течение длительного времени в открытом поле или в лесу. В редких случаях, когда дозиметры давали исключительно высокие показания, имеется подозрение, что они были неправильно использованы.

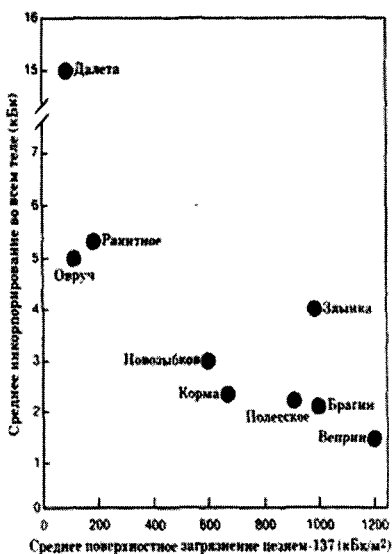
В середине 1990 года около 9000 человек прошли дозиметрический контроль на внутреннее облучение. Передвижная лаборатория, оборудованная четырьмя счетчиками всего тела, измеряла уровни содержания цезия в организме жителей семи обследованных загрязненных населенных пунктов. Результаты этих измерений всего тела указывают на малую корреляцию между радиоактивным загрязнением почвы цезием-137 и содержанием цезия в организме.



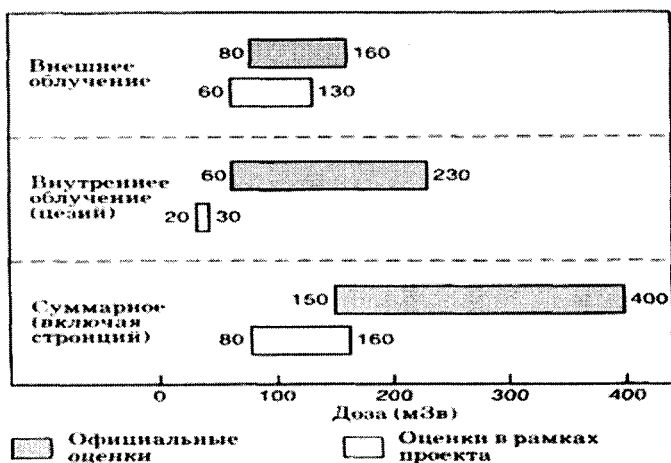
Выполненные в рамках проекта измерения внешнего облучения населения в отдельных населенных пунктах. Для независимого измерения внешних доз жителям семи населенных пунктов в БССР, РСФСР и УССР было роздано 8000 индивидуальных пленочных дозиметров. Как показано на этой диаграмме, 90% результатов оказалось ниже порога обнаружения (0,2 мЗв) за двухмесячный срок. Дозиметры предоставила французская Центральная служба защиты от ионизирующих излучений (SCPRI) и она же снимала показания с них



Сравнение оценок доз акутреннего облучения, полученных в рамках проекта при измерении всего тела, с результатами, полученными на основе моделей переноса в окружающей среде. Основной задачей группы при выезде на места было измерение содержания цезия в организме местных жителей. Был проведен мониторинг более 9000 жителей в БССР, РСФСР и УССР с помощью портативных счетчиков излучения человека, предоставленных SCPRI. Как показано здесь, полученные оценки дозовых нагрузок были в 8-30 раз ниже оценок моделей переноса в окружающей среде. Различия отражают влияние ограничений на потребление пищевых продуктов в загрязненных населенных пунктах. Модель переноса исходит из того, что ограничения на потребление местных пищевых продуктов не вводятся, и поэтому ее прогнозы показывают более высокие оценки содержания цезия в организме



Связь между полученными в рамках проекта измерениями инкорпорированного цезия в организме у отдельных групп населения с официально представленными значениями поверхностного загрязнения цезием. Полученные результаты оценки доз облучения всего тела свидетельствуют об отсутствии прямой зависимости между уровнем инкорпорированного цезия в организме жителей обследованных районов и официально представленными значениями поверхностного загрязнения в этих районах. Как показано здесь, высокие уровни загрязнения тела были обнаружены у жителей населенных пунктов Овруч, Ракитное и Далета в УССР, где уровень поверхностного загрязнения был ниже, чем в других обследованных населенных пунктах. Возможно, такие высокие уровни связаны с высоким коэффициентом переноса загрязнения от почвы к пищевым продуктам в этих районах УССР, что могло свидетельствовать о несоблюдении официальных рекомендаций в отношении потребления местных пищевых продуктов и молока



*Сравнение выполненных в рамках проекта и официально представленных оценок доз излучения, полученных населением в выбранных населенных пунктах. Независимо полученные в рамках проекта оценки дозовых уровней сравнивались с официальными данными для населения в выбранных населенных пунктах, которые были представлены Институтом биофизики, Москва. Как показано на диаграмме, значения, полученные в рамках проекта, были ниже официально представленных оценок дозовых уровней. В целом оценки согласуются в пределах коэффициента 2-3 (см. примечание 5)*

### СРАВНЕНИЕ ОЦЕНОК ДОЗ.

Конечным этапом было сравнение оценок доз, независимо проведенных экспертами, и официально представленных оценок доз, полученных населением в обследованных загрязненных населенных пунктах. Во всех случаях независимые оценки были ниже официально сообщенных уровней доз, но в целом они согласуются в пределах коэффициента 2-3.

### Общие выводы

Официальные процедуры оценки доз были обоснованы с научной точки зрения. Применявшиеся методологии были направлены на получение оценок, исключающих недооценку доз. Независимые измерения доз внешнего и внутреннего облучения от цезия, инкорпорированного в тело человека, проведенные индивидуально среди населения, дали результаты, которые прогнозировались на основе

расчетных моделей. Полученные в рамках проекта независимые оценки для обследованных загрязненных населенных пунктов были ниже официально представленных данных по оценкам доз<sup>3</sup>.

### **Подробные выводы**

#### ***ВНЕШНЕЕ ОБЛУЧЕНИЕ.***

В большинстве случаев внешнее облучение от выпавших радионуклидов является самой большой составляющей дозы, особенно в тех районах, где вводились ограничения на пищевые продукты. Примененная методология расчетов внешней дозы подтверждается местными измерениями, проведенными с использованием термолуминесцентной дозиметрии.

Независимые измерения внешнего облучения в рамках проекта проводились под эгидой МАГАТЭ. Жителям семи населенных пунктов было роздано 8000 индивидуальных пленочных дозиметров. Девяносто процентов результатов оказалось ниже порога обнаружения, составляющего 0,2 мЗв за двухмесячный срок. Этот результат согласуется с прогнозом на основе расчетных моделей.

#### ***ВНУТРЕННЕЕ ОБЛУЧЕНИЕ.***

Дозы, полученные в результате инкорпорирования цезия в первые четыре года после аварии, оценивались компетентными органами на основе измерений инкорпорированного цезия-134 и цезия-137. Процедура оценки доз на базе этих измерений соответствует той, которая использовалась в независимых оценках, проведенных в рамках проекта.

Официальные оценки прогнозируемых доз от поступления цезия основываются на ряде важных факторов, включая предполагаемый 14-летний период полуочищения окружающей среды от цезия-137. Такое предположение имеет целью исключить недооценку доз и является разумным.

Официальные оценки доз в результате поступления стронция в первые четыре года после аварии основывались либо на метаболической модели и измерениях содержания стронция в пищевых продуктах, либо на предполагаемом соотношении содержания стронция и цезия в пищевых продуктах, если данные по стронцию отсутствовали.

---

<sup>3</sup> Эти оценки основывались на дозах, полученных в результате поступления цезия-137 и стронция-90; в надлежащих случаях учитывались также более короткоживущие изотопы цезия и стронция.

Официальные оценки прогнозируемых доз в результате поступления стронция-90 с пищей основывались на предположении о 10-летнем периоде получищения окружающей среды от стронция-90; такое предположение ранее не упоминалось, однако, как заявлено, оно вытекает из опыта, приобретенного после аварии 1957 года в СССР на предприятии по изготовлению ядерных материалов в Кыштыме.

По результатам программы взаимного сравнения с использованием стандартизированных фантомов, в которой участвовали местные лаборатории и Лаборатория МАГАТЭ, точность измерений цезия во всем теле, достигнутая в местных лабораториях, является приемлемой для целей радиологической защиты.

Под эгидой МАГАТЭ в рамках проекта были проведены измерения цезия во всем теле у более чем 9000 человек в девяти населенных пунктах. Результаты показали в целом более низкое содержание цезия во всем теле, чем прогнозировалось на основе большинства моделей переноса в окружающей среде, поступления с пищевыми продуктами и обмена веществ. Аналогичные результаты измерений цезия во всем теле отмечались и в других странах.

Официально сообщенные поглощенные дозы облучения щитовидной железы йодом были основаны на измерениях щитовидной железы, проведенных вскоре после аварии, и предположений в отношении его поступления. По официальным данным, средние поглощенные дозы облучения щитовидной железы в семи обследованных загрязненных населенных пунктах у детей в возрасте до семи лет имели диапазон от менее чем 0,2 до 3,2 Гр<sup>4</sup>. Провести независимую проверку представленных значений поглощенных доз облучения щитовидной железы, однако, не представилось возможным, так как ко времени начала осуществления проекта весь йод полностью распался.

### ***СРАВНЕНИЕ ОЦЕНОК ДОЗ.***

Независимые оценки доз выполнялись в обследованных загрязненных населенных пунктах на основе средних значений выпадений. Было невозможно предположить, что оценки доз или расчеты экологических моделей, основанных на столь обобщенных допущениях, точно отразят местные почвенные условия, агротехнические приемы и образ жизни населения в обследованных загрязненных населенных пунктах, однако ожидалось, что результаты смогут послужить общей базой для проведения сравнений.

---

<sup>4</sup> По официальным сообщениям, максимальное значение реконструированной поглощенной дозы облучения щитовидной железы (в Брагине) составило 30-40 Гр.



Диапазоны оценок доз за 70 лет (1986-2056 годы) составили:

*Независимые оценки по обследованным загрязненным населенным пунктам:*

Доза внешнего облучения	60-130 мЗв
Доза внутрен. облучения (цезий)	20- 30 мЗв
Суммарная доза (вкл. стронций):	80-160 мЗв

*Официально представленные оценки по тем же населенным пунктам:*

Доза внешнего облучения	80-160 мЗв
Доза внутрен. облучения (цезий)	60-230 мЗв
Суммарная доза (вкл. стронций):	150-400 мЗв

Независимые оценки в рамках проекта по обследованным загрязненным населенным пунктам были ниже оценок доз, представленных официально. В целом независимые и официально представленные оценки согласуются в пределах коэффициента 2-3<sup>5</sup>.

## Рекомендации

В официальных процедурах оценки доз, представленных экспертам в рамках проекта, используются детерминистические модели, имеющие целью не допустить занижения оценок доз. Следует разработать вероятностные методы оценки доз, с тем чтобы в конечном итоге получить более реалистичные оценки доз и полностью оценить неопределенности в расчетах.

В предстоящие несколько десятилетий должна появиться возможность расширить научные знания о коэффициентах переноса в окружающей среде путем проведения исследований в соответствующих загрязненных районах. Следует продолжить измерения мощности доз внешнего облучения, содержания цезия в организме человека и содержания цезия и стронция в пищевых продуктах.

Хотя считается, что вторичное пылеобразование является незначительным с точки зрения потенциального вклада в дозу даже для лиц, работающих вне помещений, следует провести оценку доз для таких критических групп, как работники сельского хозяйства.

---

<sup>5</sup> Эти выводы были сделаны на основе оцененных или сообщенных значений доз, полученных в результате внешнего облучения всеми причастными радионуклидами, и доз, полученных в результате внутреннего облучения цезием-134, цезием-137 и стронцием-90. Учитывались также дозы облучения щитовидной железы йодом-131, другими короткоживущими изотопами йода и их исходными изотопами.

Местным ученым следует принимать более активное участие в международных исследованиях по проверке оценок доз. Такая деятельность включает взаимные сравнения моделей переноса в окружающей среде и взаимные сравнения дозиметрии внутреннего и внешнего облучения.

Местным ученым следует более активно участвовать в международных программах как на официальном (семинары, симпозиумы и конференции), так и на неофициальном уровнях, с тем чтобы обмениваться информацией о технологии, которая может применяться для эффективного решения дозиметрических проблем. Следует оказывать поддержку специалистам в приобретении опыта работы в зарубежных лабораториях.

## Глава IV: ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЗДОРОВЬЕ

### Проблема

Предполагаемые последствия чернобыльской аварии для здоровья, несомненно, являются главным предметом обеспокоенности населения. Поступил целый ряд сообщений о повышенном уровне заболеваемости у населения пострадавших районов. Безусловно, повышенная "чувствительность" к вопросам, связанным со здоровьем, привела к увеличению числа жалоб и диагнозов, указывающих как на серьезные, так и несерьезные заболевания.

Неуверенность и обеспокоенность населения и специалистов были обусловлены наличием следующих вопросов:

- Какие нарушения в состоянии здоровья были связаны с чернобыльской аварией?
- Какие последствия для здоровья были непосредственно вызваны воздействием радиации?
- Какие последствия для здоровья можно ожидать в будущем?

### Цели и подход

Для оценки сообщений о повышении уровня заболеваемости, связанного с чернобыльской аварией, и для ответа на эти вопросы в проекте был использован двухэтапный подход. На первом этапе предусматривалось рассмотрение официальных данных, полученных в главных медицинских центрах и институтах. На втором этапе предполагалось провести обследование жителей как обследованных загрязненных, так и обследованных контрольных населенных пунктов с последующим сравнением результатов. Поскольку данные

о состоянии здоровья до 1986 года были неполными, предусматривалось провести сравнение состояния здоровья жителей в обследованных районах и аналогичной группы лиц, проживающих в контрольных населенных пунктах, где имеются более низкие уровни загрязнения и сходные социально-экономические условия. Результаты обследования были проанализированы врачами и эпидемиологами, участвующими в проекте; при этом с целью определения риска для здоровья использовался ограниченный вариант обычного эпидемиологического подхода. Кроме того, эксперт по проблемам питания провел анализ данных в Москве и трех республиках, а выездная группа исследовала состояние питания в 13 населенных пунктах.

Любое исследование последствий для здоровья, начатое через четыре года после аварии, должно иметь определенные недостатки и ограничения, и настоящее исследование не стало исключением. Прежде всего следует отметить, что исследование проводилось только среди населения, которое продолжало подвергаться облучению в результате аварии, т.е. обследовались лица, которые по-прежнему проживали в обследуемых загрязненных районах. Не представлялось возможным разыскать и провести медицинское обследование переехавших лиц.

Исследование проводилось только в маленьких и средних деревнях и городах, поскольку они были расположены в районах, загрязненных в большей степени, чем крупные города. По своему типу населенные пункты и группы населения, в которых проводилось обследование, нельзя считать полностью репрезентативными в отношении крупных городов в пострадавших районах. Несомненно, различия в питании, связанные с доступностью продуктов и их потреблением, будут усугублять различия в состоянии здоровья.

Пришлось столкнуться со значительным недостатком официально представленных данных. Чрезвычайно затрудненным оказалось проведение внутренней корреляции разнообразных данных и корреляции с данными проекта, что было связано с недостатками в методологии и оборудовании.

### **Описание работы**

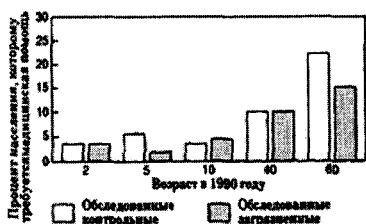
#### ***ВЫБОР ОБСЛЕДОВАННЫХ ЗАГРЯЗНЕННЫХ И КОНТРОЛЬНЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ.***

Выбор населенных пунктов производился специальной группой медицинских экспертов. Были выбраны населенные пункты, репрезентативные в отношении различных групп населения в исследуемом районе (от 3000 до 15 000 жителей). Обследованные контрольные населенные пункты подбирались по принципу схожести

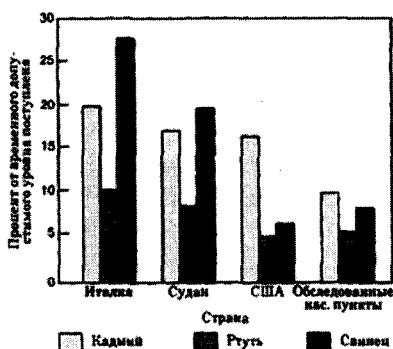
социально-экономических структур семи обследованных загрязненных населенных пунктов.

Поскольку выездные группы могли обследовать лишь малую часть населения, следовало подобрать репрезентативную группу. Статистическая схема выборки предусматривала учет предполагаемых клинических проблем, связанных с состоянием здоровья.

В маленьких деревнях пациенты выбирались с учетом года рождения, в более крупных деревнях — с учетом месяца и года рождения. Цель заключалась в обследовании 20 лиц в каждой группе, что, в зависимости от размеров населенного пункта, составило от 10% до 80% исследуемой группы населения. В каждом населенном пункте было обследовано около 250 жителей. Всего было обследовано 1356 пациентов.



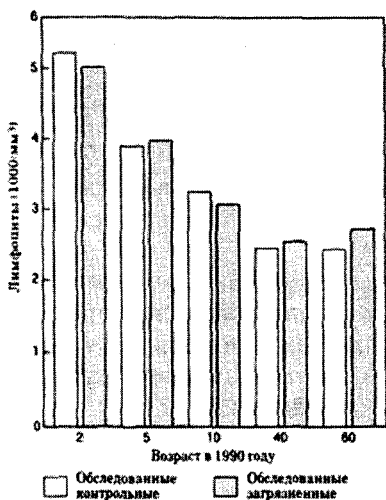
Выполненная в рамках проекта оценка общего состояния здоровья жителей выбранных населенных пунктов. В оценку в рамках проекта сообщенного увеличения уровня заболеваемости, связанного с черновыской аварией, было включено исследование общего состояния здоровья жителей выбранных населенных пунктов. Независимые медицинские исследования в обследованных загрязненных и контрольных населенных пунктах не выявили отклонений в состоянии здоровья жителей, которые можно непосредственно связать с облучением, однако указали на наличие других отклонений в состоянии здоровья взрослого населения. Как показано на рисунке, полученные результаты свидетельствуют о том, что 10-15% взрослого населения обследованных загрязненных и обследованных контрольных населенных пунктов следует обратиться к врачу за медицинской помощью



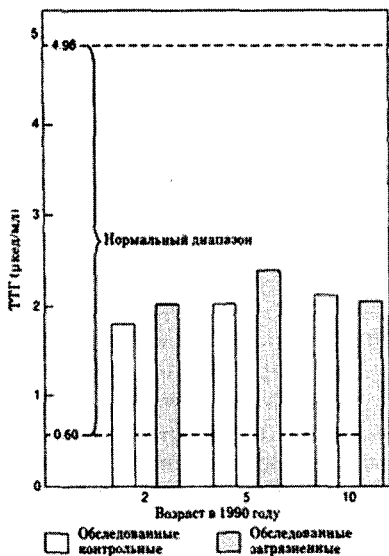
*Поступление в организм токсичных элементов с рациона питания у жителей обследованных загрязненных населенных пунктов в сравнении с населением других стран. Результаты аналитических исследований, полученные в рамках проекта для проб продуктов питания, тканей и окружающей среды, не подкрепляют обеспокоенность общественности в отношении возможного рассеивания в окружающей среде токсичных элементов, использовавшихся на площадке Чернобыльской АЭС вскоре после аварии. Как показано на этом рисунке, поступление с пищей кадмия, ртути и свинца у жителей, обследованных экспертами в рамках проекта, было низким по сравнению с населением Италии, Судана и США. Все значения выражены в процентах от временного допустимого уровня поступления, установленного ВОЗ и ФАО. Данные рассчитаны для человека массой тела 80 кг*

## АНАЛИЗ ОФИЦИАЛЬНЫХ ДАННЫХ.

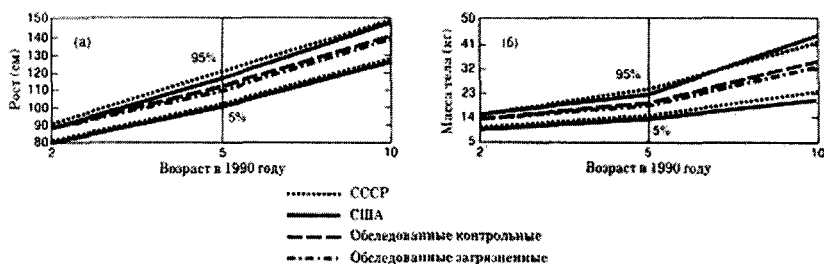
На первом этапе оценки общего состояния здоровья в обследуемых загрязненных районах предусматривалось проведение анализа и упорядочения медицинских данных, относящихся к обследуемому населению. Два эксперта-медика встретились в рамках проекта с 73 различными учеными во время 23 отдельных встреч в Москве, Киеве и Минске. Во время этих встреч помимо сбора информации, которая могла бы послужить основой для анализа советских данных, эти медики обсудили цели и план проекта. Этим была заложена основа для трех поездок международных групп



**Полученные в рамках проекта результаты исследования абсолютного количества лимфоцитов у жителей выбранных населенных пунктов.** При проведении по проекту обследования жителей выбранных населенных пунктов у некоторых детей были обнаружены низкие уровни гемоглобина и пониженное количество эритроцитов. Статистически значимых различий между показателями всех возрастных групп из обследованных загрязненных и контрольных населенных пунктов не зарегистрировано. Не было у жителей населенных пунктов различий в количестве лейкоцитов и тромбоцитов. Как показано здесь, заметного различия при независимом подсчете абсолютного количества лимфоцитов во всех возрастных группах жителей обследованных загрязненных и контрольных деревень обнаружено не было. Не было также значительных отклонений от данных по другим странам. (Нормальный диапазон варьируется с возрастом.) У обследованных лиц не обнаружено существенных изменений иммунной системы вследствие аварии (на основании результатов изменения лимфоцитов и частоты встречаемости других заболеваний)



**Полученные в рамках проекта результаты исследования уровней тиреотропного гормона у детей из выбранных населенных пунктов.** Поскольку щитовидная железа является критическим органом с точки зрения воздействия радиоактивного йода, в международной оценке основное внимание уделялось возможным патологическим изменениям щитовидной железы. Данные размеров щитовидной железы и наличие в ней узелков были сходными с данными для других стран. Не обнаружено статистически значимых различий в щитовидной железе у лиц, у которых определялся уровень тиреотропного гормона (ТТГ) или тиреоидного гормона (свободный Т<sub>4</sub>). Как видно из рисунка, независимые исследования с использованием методов радиоиммунологического анализа не показали нарушений функционального состояния щитовидной железы у детей 2-10 лет и статистически значимые различия в функциональном состоянии щитовидной железы у детей обследованных загрязненных и контрольных населенных пунктов



Сравнение результатов, полученных в рамках проекта, показателей роста и массы тела детей в выбранных населенных пунктах с опубликованными нормативами. Сравнение результатов исследования роста детей в обследованных загрязненных и контрольных населенных пунктах с опубликованными нормативами говорит о том, что дети в целом здоровы и рацион их питания полноценен. Как показано здесь, независимые медицинские обследования почти 800 детей в возрасте 2-10 лет не выявили значимых различий в показателях а) роста и б) массы тела детей в обследованных загрязненных и контрольных населенных пунктах. Скорость роста в обеих группах никоим образом не выходит за пределы опубликованных нормативов для населения СССР и США. Данные по 5- и 95-процентным квантилям населения СССР были сообщены А.Ф. Цыбом и др. в научной статье "Определение размеров щитовидной железы у здоровых детей и подростков ультразвуковым методом", *Педиатрия*, май 1990 (на русском языке). Данные по 5- и 95-процентным квантилям для населения США были сообщены П.В. Хэмиллом и др. в научной статье "Физический рост: национальный центр статистических процентных квантилей показателей состояния здоровья", *American Journal of Clinical Nutrition*, март 1979, т. 32, № 3, стр. 607-629.

экспертов, проводивших независимые медицинские исследования в трех республиках, пострадавших в результате чернобыльской аварии. В дальнейшем анализ этих данных был проведен семью врачами и эпидемиологами, которые посетили соответствующие институты в Москве, Киеве, Минске и Обнинске.

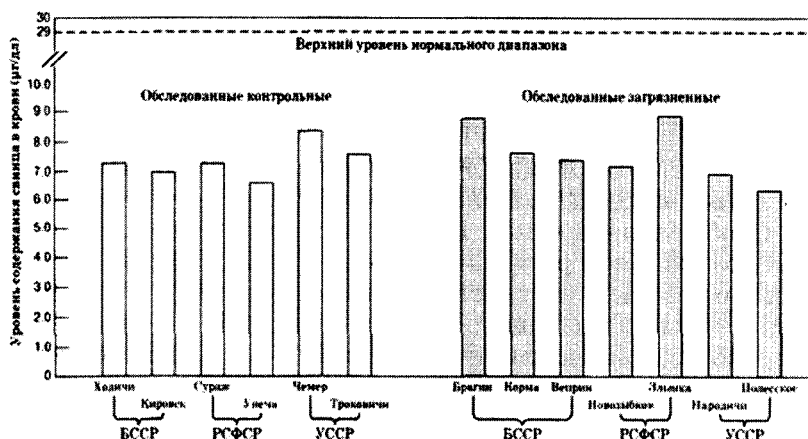
Одновременно был проведен анализ имеющихся данных по питанию населения и представлена независимая ограниченная оценка состояния питания населения. Эксперт по проблемам питания посетил институты в Москве, Киеве, Гомеле и Минске с целью анализа данных, а группа экспертов посетила 18 населенных пунктов в трех республиках с целью полного изучения рациона питания.

### **НЕЗАВИСИМЫЕ МЕДИЦИНСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.**

Большая часть этой работы по оценке была выполнена тремя группами экспертов-медиков (миссиями), каждая из которых в течение двух недель проводила медицинское обследование населения. Эти исследования были проведены только с целью оценки ситуации. В любом случае, когда требовалось дальнейшее обследование и лечение пациента, данные передавались местным органам здравоохранения. Во многих случаях результаты исследований, проведенных экспертами в рамках проекта, были внесены в местные медицинские карты. Выборки населения производились статистическими методами, и был обеспечен строгий контроль качества собранных данных.

Эти поездки экспертов были запланированы с целью рассмотрения медицинских вопросов, которые вызывают озабоченность у населения, изучения ожидаемых последствий для здоровья, на которые указывают местные ученые и врачи, а также с целью обнаружения радиационных эффектов, упоминаемых в других исследованиях, не связанных с чернобыльской аварией. В состав каждой группы экспертов были включены специалисты по радиационным эффектам, педиатры, гематологи, специалисты по заболеваниям щитовидной железы, ультразвуковым исследованиям и внутренним болезням, а также представители ВОЗ. В одной поездке также участвовал эксперт по психологическим и психическим расстройствам. Изучаемые вопросы можно приблизительно подразделить на следующие темы:

- предшествующий медицинский анамнез,
- общее психологическое состояние,
- общее состояние здоровья,
- состояние сердечно-сосудистой системы,
- параметры физического развития,
- питание,
- функциональное состояние щитовидной железы,
- нарушения системы крови и иммунной системы,
- новообразования,
- катаракты,
- биологическая дозиметрия,
- аномалии плода и генетические изменения.



*Результаты анализов, полученные в рамках проекта, содержания свинца в крови у детей из отобранных для обследования населенных пунктов. Анализы на содержание свинца в крови у детей из отобранных населенных пунктов показали, что влияние свинца, присутствующего в окружающей среде, было незначительным. Как видно из рисунка, данные анализа 185 проб, взятых у детей 2-5 лет в обследованных загрязненных и контрольных населенных пунктах, оказались в пределах нормы (до 29 мкг/дл)*

## Общие выводы

Были отмечены значительные не обусловленные радиацией нарушения здоровья у жителей как обследованных загрязненных, так и обследованных контрольных населенных пунктов, которые изучались в рамках проекта, но не было выявлено каких-либо нарушений здоровья, непосредственно связанных с воздействием радиационного облучения. Авария повлекла за собой значительные отрицательные психологические последствия, выражающиеся в повышенном чувстве тревоги и возникновении стресса из-за постоянного ощущения весьма сильной неопределенности, что наблюдалось и за пределами соответствующих загрязненных районов. Они усугублялись социально-экономическими и политическими переменами, происходящими в СССР.

Изученные официальные данные не содержали информации о каком-либо заметном росте заболеваемости лейкемией или раком. Однако эти данные были не настолько подробными для того, чтобы можно было исключить возможность какого-либо увеличения числа некоторых видов опухолей. Представленные оценки поглощенных доз облучения щитовидной железы у детей говорят о том, что в будущем возможно статистически определяемый рост возникновения опухолей щитовидной железы.

На основе оцененных в рамках проекта доз и принятых в настоящее время оценок радиационного риска можно сказать, что будущее увеличение числа раковых заболеваний или наследственных изменений по сравнению с естественным уровнем будет трудно определить даже при широкомасштабных и хорошо организованных долгосрочных эпидемиологических исследованиях.

## Подробные выводы

### ***НЫНЕШНИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ, ОБЪЯСНЯЕМЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЕМ РАДИАЦИИ.***

Сообщения о вредных для здоровья последствиях, объясняемых воздействием радиации, не подтвердились ни надлежащим образом проведенными местными исследованиями, ни исследованиями в рамках настоящего проекта.

Многие местные клинические исследования последствий для здоровья были выполнены на низком уровне, что привело к получению вводящих в заблуждение и подчас противоречивых результатов. К причинам этих неудач относились такие факторы, как отсутствие качественно обслуживаемого оборудования и материалов, плохая информация из-за отсутствия документации и доступа к научной литературе и нехватка хорошо подготовленных



специалистов. Тем не менее, несмотря на эти трудности, ряд местных клинических исследований был выполнен тщательно и компетентно, и в большинстве случаев группы, работавшие в рамках проекта, смогли подтвердить их результаты.

### ***КОНКРЕТНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО МЕСТУ ЖИТЕЛЬСТВА В РАМКАХ ПРОЕКТА.***

Постоянные жители обследованных загрязненных сельских населенных пунктов (с уровнем поверхностного загрязнения цезием выше 15 Ки/км<sup>2</sup> или 555 кБк/м<sup>2</sup>) и обследованных контрольных населенных пунктов с населением от 2000 до 50 000 человек были подвергнуты медицинскому обследованию на местах, при этом использовался метод сравнения аналогичных возрастных групп. Исследования проводились во второй половине 1990 года и отражают состояние здоровья населения на то время. Стратегия исследования, которая заключалась в том, чтобы пролить свет на основные проблемы состояния здоровья, выявленные в ходе общих клинических осмотров и с помощью сложных лабораторных анализов, была адекватна поставленной задаче — ответить на большинство вопросов, вызывающих обеспокоенность населения. Исчерпывающего обследования каждого человека в отдельности не проводилось, и исследование не решило всех вопросов, связанных с потенциальными последствиями для здоровья.

#### ***Психологические нарушения***

Чернобыльская авария породила множество серьезных психологических проблем, связанных с повышенным чувством тревоги и стрессом, и в районах, охваченных исследованиями в рамках проекта, эти проблемы распределялись совсем не пропорционально биологической значимости радиоактивного загрязнения. Они имеются даже в обследованных контрольных населенных пунктах. Последствия аварии неразрывно связаны со многими социально-экономическими и политическими событиями, которые происходили в СССР.

Значительная часть населения испытывает серьезную обеспокоенность; эти люди не совершают каких-либо неразумных действий, которые можно было бы отнести к радиофобии. Подавляющее большинство осмотренных взрослых как в обследованных загрязненных, так и в обследованных контрольных населенных пунктах, где побывала группа экспертов, либо считали, что они заболели вследствие облучения, либо имели подозрения на этот счет.

Большинство взрослых как в обследованных загрязненных, так и в обследованных контрольных населенных пунктах были местными жителями, и практически все указали, что проживали

там с рождения, поэтому переселение для них является одним из наиболее важных вопросов. В то время как в обследованных контрольных населенных пунктах переселиться хотели около 8% взрослых, обеспокоенность взрослых в обследованных загрязненных населенных пунктах была столь значительной, что переселиться желали 72%. Доля тех, кто считает, что правительство должно переселить всех жителей, выше: 20% и 83%, соответственно.

#### *Общее состояние здоровья*

Обследованные дети были признаны в целом здоровыми. Обследования по месту жительства показали, что у значительного числа взрослых как в обследованных загрязненных, так и в обследованных контрольных населенных пунктах наблюдаются существенные медицинские проблемы, от 10 до 15% из них (исключая взрослых, страдающих гипертонией) нуждаются в медицинской помощи.

#### *Нарушения сердечно-сосудистой системы*

Выявлено много взрослых с гипертонической болезнью; однако статистические данные по систолическому и диастолическому кровяному давлению были одинаковыми для обследованных загрязненных и контрольных населенных пунктов, и эти данные были сравнимы с опубликованными значениями для Москвы и Ленинграда.

#### *Питание*

Рацион питания не очень разнообразен, но достаточен. На основе полученной информации не обнаружено существенных различий в режимах питания жителей обследованных загрязненных и контрольных населенных пунктов. Не обнаружено вредного воздействия на рост организма, которое было бы обусловлено добровольными или официальными ограничениями на потребление пищевых продуктов, введенными в результате аварии. Не было обнаружено значительного различия между темпами развития детей в обследованных загрязненных и контрольных населенных пунктах, и эти темпы для обеих групп не выходят за пределы опубликованных советских и международных норм. Во всех обследованных районах, как правило, отмечался избыточный по международным нормам вес (масса тела) взрослого населения. Поступление и выведение йода находилось на нижнем уровне допустимых пределов. Большинство других компонентов рациона питания были удовлетворительными; однако поступление витаминов не рассматривалось. Поступление с пищей токсичных элементов (свинец, кадмий, ртуть) было низким по сравнению с сообщавшимися по многим другим странам значениями и гораздо ниже максимально допустимых уровней поступления, определенных международными

организациями. Были изучены также уровни содержания свинца в крови, и результаты показали, что они не выходят за пределы нормального диапазона.

#### *Нарушения функции щитовидной железы*

У обследованных детей не было обнаружено изменений в уровне тиреотропного гормона (ТТГ) или гормона щитовидной железы (свободный  $T_4$ ). Не было обнаружено статистически значимого различия между какими-либо возрастными группами в обследованных загрязненных и контрольных населенных пунктах.

Средние размеры и распределение размеров щитовидной железы были одинаковы у жителей обследованных загрязненных и контрольных населенных пунктов. У детей крайне редко встречались узелковые уплотнения щитовидной железы; такие уплотнения имели до 15% взрослых как в обследованных загрязненных, так и в обследованных контрольных населенных пунктах. Результаты, полученные в рамках проекта, аналогичны данным, имеющимся в отношении населения других стран.

#### *Гематология*

Было выявлено некоторое число детей с низким уровнем гемоглобина и эритроцитов. Однако не было обнаружено статистически значимого различия между этими величинами во всех возрастных группах населения обследованных загрязненных и контрольных населенных пунктов. При исследовании лейкоцитов и тромбоцитов различий между группами населения этих районов не обнаружено. Явные признаки значительного воздействия аварии на иммунные системы отсутствуют (если судить по уровню лимфоцитов и распространенности других заболеваний).

#### *Новообразования*

Рассмотрение советских данных показало, что зарегистрированный уровень заболеваемости раком за последнее десятилетие повышался (что началось еще до чернобыльской аварии) и после аварии продолжает расти. Группа в рамках проекта сочла, что ранее представлялись неполные данные: ей не удалось установить, обусловлен ли такой рост большей заболеваемостью, различием используемых методологий, более высокой точностью обнаружения и установления диагноза или другими причинами. Имеющиеся данные не свидетельствовали о том, что со времени аварии произошло сколько-либо заметное увеличение числа случаев лейкемии или опухолей щитовидной железы; однако вследствие применяемой системы классификации и других факторов возможность роста частоты возникновения таких опухолей исключаться не может. Сведения о таких опухолях имеются только в виде слухов.

### *Катаракты вследствие облучения*

Среди населения в целом не найдено каких-либо свидетельств возникновения катаракты вследствие облучения.

### *Биологическая дозиметрия*

До сих пор проводятся исследования мутации хромосом и соматических клеток у взрослых, которые работали вне помещений, ибо предполагается, что уровень их облучения самый высокий. Пока не обнаружено существенного различия между взрослыми, проживающими в обследованных загрязненных и контрольных населенных пунктах. Полученные данные согласуются с оценками доз, выполненными в рамках проекта.

### *Аномалия плода и генетические изменения*

Обзор советских данных по населенным пунктам в соответствующих загрязненных районах, а также по республикам в целом показал относительно высокие уровни детской и перинатальной смертности. Эти уровни наблюдались и до аварии и имеют тенденцию к снижению. Не было обнаружено статистически значимого свидетельства увеличения числа аномалий плода в результате облучения.

## **ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ОТДАЛЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ.**

Рассмотренные данные не дали надлежащей основы, позволяющей определить, имелось ли вследствие аварии увеличение числа случаев лейкемии или рака щитовидной железы. Данные были недостаточно подробными для того, чтобы исключить возможность увеличения числа случаев возникновения некоторых видов опухолей. На основе оцененных в рамках проекта доз и принятых в настоящее время оценок радиационного риска можно сказать, что будущее увеличение числа всех раковых заболеваний или наследственных изменений по сравнению с естественным уровнем будет трудно определить даже при широкомасштабных и хорошо организованных долгосрочных эпидемиологических исследованиях. Сообщенные оценки поглощенных доз облучения щитовидной железы у детей таковы, что в будущем возможно статистически определяемое увеличение случаев возникновения опухолей щитовидной железы.

## **Рекомендации**

### **ОБЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ И ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ АВАРИИ.**

Прежде чем будут предприняты какие-либо дальнейшие шаги по переселению, следует рассмотреть неблагоприятные последствия переселения для здоровья.

Следует рассмотреть вопрос об организации программ по смягчению психологических последствий аварии. Они могут включать информационные программы для общественности. Кроме того, необходимо разработать общеобразовательные программы для учителей и местных врачей по общим профилактическим мероприятиям в области здравоохранения и по последствиям облучения для здоровья человека.

Нынешняя политика, предусматривающая ежегодные медицинские осмотры, в целом концептуально отвечает требованиям охраны здоровья населения в соответствующих загрязненных районах, однако для некоторых групп высокого риска (таких, как дети с высокими поглощенными дозами облучения щитовидной железы) потребуются конкретные медицинские программы с учетом соответствующих потенциальных рисков.

Следует предпринять энергичные действия с целью повышения качества медицинского, диагностического и исследовательского оборудования и улучшения положения дел с обеспечением медицинскими материалами, пособиями и запасными частями.

В клинических и научных исследованиях следует обращать особое внимание на использование соответствующих контрольных групп, стандартов и процедур контроля качества.

Следует усовершенствовать статистические методы и системы сбора данных и регистрации, используемые местными учеными, путем принятия и применения стандартов и методов, одобренных на международном уровне.

Следует расширить возможности информационного обмена и увеличить доступ местных специалистов к научной литературе в области здравоохранения.

### **ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ОТДАЛЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ АВАРИИ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ.**

Ввиду ограниченности имеющихся ресурсов следует одобрить концепцию Научной консультативной группы ВОЗ по последствиям чернобыльской аварии для здоровья населения, а именно: сосредоточить усилия на будущих совместных исследованиях отдельных групп населения с высоким риском. Представляется непрактичным ввиду чрезвычайных трудностей и затрат проводить долгосрочные исследования или оценки всех лиц, проживающих в пострадавших республиках.

## **ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ В ПОСТРАДАВШИХ РЕСПУБЛИКАХ.**

Следует принять меры в отношении гипертонии у взрослых и гигиены полости рта в качестве основных задач здравоохранения. Следует провести повторную оценку необходимости продолжения программ йодирования соли; если они окажутся необходимыми, следует оценить эффективность соответствующего химического процесса.

## **ГЛАВА V: ЗАЩИТНЫЕ МЕРЫ**

### **Проблема**

После аварии компетентные органы приняли ряд защитных мер с целью ограничения уровня радиационного облучения населения. Они включали контрмеры на первом этапе (такие, как укрытие, эвакуация и введение стабильного йода), которые были приняты главным образом для того, чтобы противодействовать воздействию облака радиоактивных материалов, проходившего над районами вблизи реактора. Промежуточные и долгосрочные контрмеры (такие, как переселение, ограничения в отношении пищевых продуктов, меры в области сельского хозяйства и дезактивация) принимались для контроля более низких, но все же значительных уровней радиации загрязненных поверхностей и почвы.

Ситуации, представляющие собой радиационную опасность, можно разделить на две категории:

- Ситуации, явившиеся результатом введения новых или изменения существующих видов деятельности, связанных с использованием радиации, которые, следовательно, можно ожидать заранее; для них, кроме прочего, требуется установить предельные дозы с целью ослабления ожидаемого увеличения радиационного облучения в результате осуществления этих видов деятельности;
- Непредусмотренные ситуации де-факто, включая загрязнение после аварии и аварийные ситуации, при которых требуется вмешательство в нормальную жизнь населения с целью снижения уровня превышающих норму значений доз до разумно достижимого низкого уровня в существующих условиях.

Хотя до аварии существовали международные руководства и критерии в отношении вмешательства, опыт их применения был весьма ограничен, особенно в области долгосрочных защитных мер.

Масштабы чернобыльской аварии и размер территорий, пострадавших от нее, породили проблемы, пути решения которых прежде не рассматривались. В этих обстоятельствах разработка эволюционного подхода к практическому применению таких критериев, особенно в отношении переселения, оказалась неизбежной. Этот формирующийся процесс, который затрагивал жизнь множества людей, из-за отсутствия прошлого опыта явился причиной многих проблем. Особую озабоченность вызывала концепция "предельной дозы в течение жизни" в 350 мЗв, предложенная компетентными органами СССР.

На решения, принятые в отношении защитных мер, исключительно серьезное воздействие оказала меняющаяся социально-экономическая ситуация в СССР. Именно эти социально-экономические факторы настолько преобладали в обществе, что почти вытеснили более конкретные аспекты принципов радиационной защиты.

### Цели и подход

Эксперты, работавшие в рамках проекта, изучали в первую очередь те защитные меры, которые были приняты или предложены компетентными органами начиная с 1990 года. Это было одним из главных вопросов в просьбе СССР о проведении международного исследования. В более ограниченном масштабе также проводилась оценка мер, принятых до 1990 года, с целью понять, как прошлые действия могли повлиять на будущие меры или снизить их эффективность. Было проведено сравнение этих мер с международными рекомендациями и была оценена их целесообразность.

Современные международные принципы радиационной защиты в ситуациях, требующих вмешательства после аварии, сводятся к следующему:

- Предлагаемое вмешательство должно приносить больше пользы, чем вреда, т.е. ожидаемое уменьшение радиационного ущерба в результате снижения уровня доз должно быть настолько существенным, чтобы оправдать вред самого вмешательства и затраты на него, в том числе социальные; и
- Форма, масштаб и длительность вмешательства должны быть оптимизированы таким образом, чтобы чистая выгода от снижения дозы (т.е. выгода от снижения радиационного ущерба за минусом ущерба, связанного с самим вмешательством) была максимальной.

Пределы доз, рекомендованные на международном уровне, предназначены для контроля деятельности, связанной с радиацией,

а не для определения уровней вмешательства. Использование этих или каких-либо других заранее определенных пределов доз в качестве основы для принятия решений по поводу вмешательства может повлечь за собой принятие мер, выгода от которых будет непропорциональна наносимому ими ущербу, что противоречило бы принципам обоснованности таких мер. Поэтому применение пределов доз для принятия решений о необходимости или масштабе вмешательства не рекомендуется.

В своей работе участники проекта при оценке защитных мер руководствовались именно этими принципами.

На завершающей стадии проекта был проведен ряд "конференций по принятию решений" с участием работников руководящих органов республиканского и союзного уровней с целью более эффективной систематизации задач, связанных с принятием решений, а также прояснения и обобщения в рамках проекта социально-экономических и политических факторов, которые повлияли на принятие решений в пострадавших республиках.

## **Описание работы**

### ***КОНТРМЕРЫ НА ПЕРВОМ ЭТАПЕ.***

В первые дни после аварии в различной степени были приняты такие контрмеры, как укрытие, блокирование шитовидной железы посредством введения стабильного йода и эвакуация. Сообщенные уровни радиации, которые вызвали принятие этих контрмер, были намного ниже пороговых доз, при которых наблюдаются ранние острые признаки радиационного поражения.

Уровни вмешательства в отношении эвакуации, с точки зрения значений доз, прогнозируемых на первую неделю после аварии, были установлены для доз облучения всего тела и облучения отдельных органов.

Людям разрешалось жить в этих районах только тогда, когда прогнозируемые дозы были ниже уровня вмешательства. Компетентные органы начали эвакуацию как только было установлено, что прогнозируемые дозы, по-видимому, превысят уровень вмешательства. Если мощность дозы в первый день после аварии превышала 1 мЗв/ч (0,1 бэр/ч), то проводилась обязательная экстренная эвакуация. Из районов, где мощность дозы составляла 0,1 - 0,3 мЗв/ч (0,01 - 0,03 бэр/ч), были эвакуированы только женщины и дети. Если мощность дозы была ниже 0,1 мЗв/ч (0,01 бэр/ч), эвакуация не проводилась.



## **РАССЧИТАННЫЕ НА БОЛЕЕ ДЛИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД КОНТРЕМЕРЫ: ПЕРЕСЕЛЕНИЕ И ОГРАНИЧЕНИЯ НА ПИЩЕВЫЕ ПРОДУКТЫ.**

В настоящее время выполнение задач, связанных с радиационной защитой населения в пострадавших районах, затруднено из-за огромных площадей загрязненных территорий и уверенности людей в том, что они живут в очень опасных условиях. Верховный Совет СССР разработал двухлетнюю (на 1990-1992 годы) программу переселения, включающую выплаты денежных компенсаций, а также ряд мер по улучшению условий жизни населения в пострадавших районах. Были предложены различные концепции переселения; к ним относятся концепции "временных годовых предельных доз", "предельной дозы в течение жизни" и концепция поверхностного загрязнения. Кроме того, действуют нормы уровней загрязнения для различных пищевых продуктов.

### **Меры по переселению**

#### *Временные годовые предельные дозы*

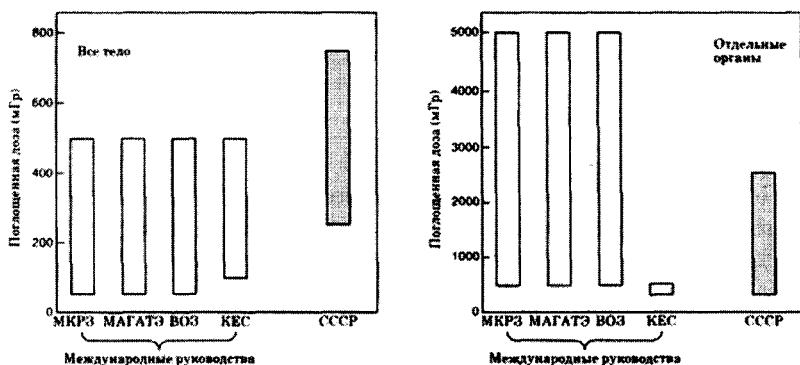
После аварии Министерство здравоохранения СССР по рекомендации Национальной комиссии по радиационной защите ввело в действие ранее разработанное постановление, в котором устанавливалась временная годовая предельная доза в 100 мЗв (10 бэр) для облучения всего тела человека в первый год после аварии. Министерство здравоохранения СССР утвердило также временные годовые предельные дозы на 1986-1986 годы.

#### *Предельная доза в течение жизни*

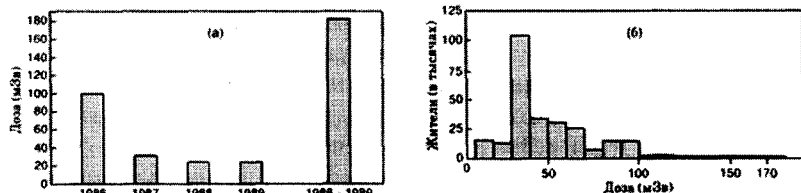
В конце 1988 года Национальная комиссия по радиационной защите СССР рекомендовала установить предельную дозу в течение жизни в 350 мЗв (35 бэр) в качестве уровня вмешательства в отношении переселения. Она должна была вступить в действие с 1 января 1990 года. Это предельное значение было определено как суммарная индивидуальная доза внутреннего и внешнего облучения, которую получил бы ребенок, родившийся в 1986 году, в течение 70 лет жизни, причем следовало учитывать дозы, полученные с 26 апреля 1986 года. Указывалось, что предельная доза в течение жизни в 350 мЗв (35 бэр) предполагает высокую степень безопасности, так как это значение включает дозы, полученные со дня аварии. Дозы, полученные в прошлом, принимались во внимание только для того, чтобы убедить общественность, что от ожидаемой дозы в течение жизни не будет заметного биологического воздействия.

## Концепция поверхностного загрязнения

В апреле 1990 года в попытке отойти от концепций, связанных с пределами доз, Верховный Совет СССР ввел концепцию поверхностного загрязнения в качестве критерия для переселения и для улучшения условий жизни людей. Согласно этой программе переселение считается обязательным для людей, проживающих в районах, где уровень поверхностного загрязнения цезием превышает  $40 \text{ Ки/км}^2$  ( $1480 \text{ кБк/м}^2$ ). В рамках программы по улучшению условий жизни населению, проживающему в районах с уровнями загрязнения от  $15$  до  $40 \text{ Ки/км}^2$  ( $555$ – $1480 \text{ кБк/м}^2$ ), будет выплачиваться компенсация по  $30$  рублей в месяц, а переселение будет обязательным только для беременных женщин и детей, а для других необязательным. Этой программой предусмотрена компенсация



*Критерии для эвакуации населения на первом этапе чернобыльской аварии. Поскольку группа в рамках проекта не имела возможности провести подробное исследование многих защитных мер, принятых ответственными компетентными органами на первом этапе, она высказала суждение, что в целом их действия были обоснованными. Как показано здесь, уровни поглощенных доз, при которых проводилась эвакуация, т.е. уровни вмешательства, принятые для этого компетентными органами на первом послеварийном этапе, соответствовали положениям международных руководств, действовавших во время аварии (вертикальные столбцы показывают верхний и нижний уровни значений международных руководств)*

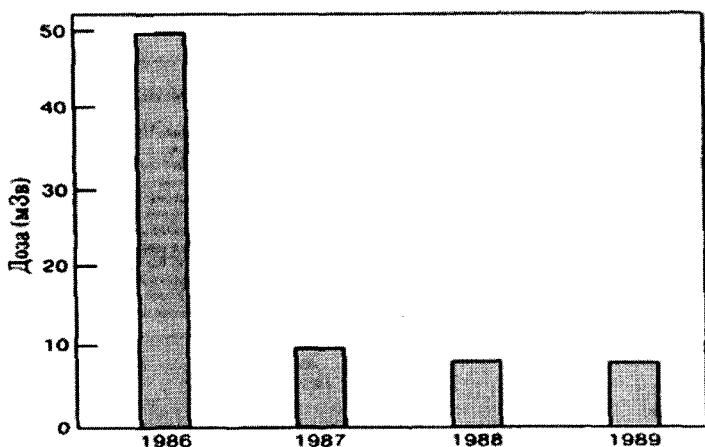


*Концепция "временной годовой предельной дозы" на промежуточном этапе и представленная оценка распределения доз. На промежуточном этапе послеварийного периода (1986-1989) были установлены новые дозовые уровни вмешательства под названием "временные годовые предельные дозы" (а). Как показано здесь, накопленные временные предельные дозы за 1986-1989 гг. составили суммарно  $180 \text{ мЗв}$ . Официально представленные оценки доз (б) для жителей районов с уровнями поверхностного загрязнения более  $15 \text{ Ки/км}^2$  ( $555 \text{ кБк/м}^2$ ) характеризовались распределением средней дозы значительно менее  $180 \text{ мЗв}$*

по 15 рублей в месяц тем людям, кто проживает в районах с уровнями загрязнения в диапазоне от 1 до 15 Ки/км<sup>2</sup> (37-555 кБк/м<sup>2</sup>), но переселение которых не предусматривается.

#### *Ограничения на употребление пищевых продуктов*

Уровни вмешательства по пищевым продуктам применяются в отношении общего потребления пищи. В течение примерно первых двух месяцев после аварии основным источником внутренней дозы облучения был йод-131, который поступал в организм перорально главным образом с молоком коров, пасшихся на загрязненных пастбищах. С целью ограничения поступления йода были установлены временные контрольные уровни его содержания в молоке и молочных продуктах и стал проводиться жесткий дозиметрический контроль всех молочных продуктов. Подобные меры были приняты для ограничения поступления в организм с пищевыми продуктами цезия (цезий-137), который оставался самым главным источником излучения после того, как йод в основном распался. Уровни внутреннего загрязнения были снижены путем введения ограничений на потребление загрязненных пищевых продуктов.



**Дозовые уровни вмешательства для введения ограничения на пищевые продукты.** Дозовые уровни вмешательства для введения ограничений на пищевые продукты в целом соответствовали положениям международных руководств, действовавших во время аварии. В рамках проекта был сделан вывод, что "были бы обоснованными более высокие значения уровней вмешательства". Более того, "дозы, фактически полученные...были значительно ниже предписанных дозовых уровней вмешательства — как правило, в 2-4 раза"

Министерством здравоохранения СССР были установлены максимальные допустимые уровни загрязнения основных пищевых уровней загрязнения основных пищевых продуктов. Кроме того, республики и области имели право устанавливать собственные уровни загрязнения.

Также проводился систематический контроль за уровнями загрязнения пищевых продуктов. В этой системе имеется три уровня контроля: от экспертного контроля, проводимого специализированными организациями, до массового контроля, проводимого множеством различных секторов пищевой промышленности и сельского хозяйства.

Был разработан и осуществлен ряд контрмер, позволивших производить пищевые продукты с уровнями загрязнения ниже максимального допустимых; некоторые из этих мер принесли дополнительную пользу работникам сельского хозяйства, которая заключалась в снижении значений дозы внешнего облучения от выпавших радионуклидов и ингаляционного поступления вторично взвешенных в воздухе радиоактивных веществ.

#### ДОЛГОСРОЧНЫЕ КРИТЕРИИ ПЕРЕСЕЛЕНИЯ

Долгосрочные концепции переселения сначала были разработаны на основе дозы в 350 мЗв (35 бэр) как уровень вмешательства в отношении переселения, т.е. это была так называемая концепция "предельной дозы в течение жизни". Затем в качестве уровня вмешательства в отношении переселения была принята концепция поверхностного загрязнения в 40 Ки/км<sup>2</sup> (1480 кБк/м<sup>2</sup>). Основания, на которых были выведены эти критерии переселения, не полностью соответствовали принципам, рекомендованным в настоящее время на международном уровне. Однако Международный консультативный комитет пришел к заключению, что "принятые или запланированные в дол-

госрочном плане защитные меры, хотя они и основывались на благих намерениях, в целом выходят за пределы того, что было строго необходимо с точки зрения обеспечения радиационной защиты". В приведенной таблице даны оценки предотвращенных доз для различных концепций вмешательства. Комитет сделал вывод, что "эти меры являются необоснованными с точки зрения радиационной защиты, но любое смягчение нынешней политики почти определенно могло бы привести к отрицательным результатам из-за высоких уровней стрессовых ситуаций и чувства тревоги жителей соответствующих загрязненных районов, а также внешних ожиданий населения".

Критерий	Год введения	Уровень	Доза внешнего облучения, предотвращенная в течение жизни, мЗв	Доза внешнего облучения, предотвращенная в течение жизни, и остаточная доза, полученная перорально, мЗв
Временная годовая	1986	100 мЗв в год		
предельная доза	1987	30 мЗв в год	~ 140	< 240
	1988	25 мЗв в год	~ 130	< 230
	1989	25 мЗв в год	~ 150	< 260
Предельная доза в течение жизни	1990	350 мЗв в течение жизни	~ 60	< 130
Поверхностное загрязнение	1990	> 40 Ки/км <sup>2</sup> на поверхности	~ 80	< 160
	1990	< 15 Ки/км <sup>2</sup> на поверхности	~ 30	< 80

## **КОНФЕРЕНЦИИ ПО ПРИНЯТИЮ РЕШЕНИЙ.**

Процесс принятия решений по мерам вмешательства чрезвычайно сложен и включает множество факторов, в том числе и не связанных с радиацией. Поэтому было признано целесообразным провести пять конференций по принятию решений, по одной в каждой из пострадавших республик, одну на всесоюзном уровне, и затем еще одну, на которой собрались бы участники предыдущих конференций для выработки общей модели принятия решений, отражающий основные вопросы и проблемы.

Главной целью этих конференций было определить основные социально-экономические и политические факторы, влияющие на применение защитных мер, а также проиллюстрировать потенциальные преимущества использования формальных методов для решения сложных вопросов. Выбор участников был оставлен на усмотрение компетентных органов СССР и соответствующих республик.

Каждая конференция по принятию решений начиналась с общего обсуждения ключевых вопросов и проблем. Обычно поднимались следующие вопросы: масштабы аварии, необходимость разработки концепции безопасного проживания, проблемы здравоохранения, стрессы, переселение, низкий уровень доверия и понимания, сохраняющийся риск, связанный с укрывающим поврежденный реактор "саркофагом", и риск загрязнения водных ресурсов. Был достигнут консенсус в отношении параметров или критериев, по которым должна оцениваться каждая стратегия. Медицинские последствия влияния стресса на состояние здоровья населения, проживающего в пострадавших районах, и приемлемость для общественности той или иной стратегии были главными критериями оценки стратегий на будущее. Ослабление радиологических последствий имело второстепенное значение по сравнению с восприятием сложившейся ситуации населением. На конференциях был достигнут существенный консенсус в отношении структуры модели принятия решений, а также в отношении общей структуры стратегий защиты и переселения, предлагаемых для рассмотрения.

На всех конференциях по принятию решений обсуждался и оценивался ряд стратегий по осуществлению переселения и других защитных мер. Все люди, получающие прогнозируемые дозы, значения которых выше верхнего уровня, должны быть переселены. К лицам, получающим прогнозируемые дозы в пределах между верхним и нижним уровнями, должны применяться защитные меры, иные чем переселение, и они также могут получить некоторую компенсацию. В отношении всех лиц, получающих дозы, значе-

ния которых не достигают нижнего уровня, никаких защитных мер не применяется.

Предлагаемые долгосрочные контрмеры (например, "переселение" или "безопасное проживание", что подразумевает весь комплекс мероприятий, разработанный в трех республиках для переселенного населения, включая снабжение чистыми пищевыми продуктами), варьировались по затратам на единицу предотвращенной коллективной дозы от 300 000 до 1 000 000 рублей (200 000 — 700 000 долларов) на человеко-зиверт. Этот диапазон можно сравнить со значениями, которые используются в Западной Европе при принятии решений в отношении мер радиационной защиты, относящихся к введению или изменению видов деятельности, связанных с использованием радиоактивных материалов, и которые составляют 10 000 — 20 000 долларов на человеко-зиверт.

Предполагается, что доза в течение жизни в трех республиках за период 1990-2060 годы составит в целом приблизительно 50 000 чел.-Зв. Поэтому было очевидно, что в процессе принятия решений в республиках смягчение объективных последствий для здоровья людей в целом имеет меньшее значение, чем вопросы, связанные с восприятием сложившейся ситуации населением. Выделение значительных средств на будущие контрмеры представляется несоизмеримым такой эффективной мере радиационной защиты, как переселение.

Таким образом, социально-экономические и политические вопросы стали наиважнейшими факторами при принятии официальных решений. Следует признать, что игнорирование соотношения "затраты-выгода" для таких жестких контрмер, как переселение, недопустимо. Если люди считают, что контрмеры вводятся исключительно с целью защиты их здоровья от пагубных последствий, то они будут стараться заставить руководящие органы еще больше снизить уровни вмешательства. Руководящие органы, стремясь к тому, чтобы общественность одобрила их решения и чтобы успокоить население, могут снизить уровни вмешательства, даже если они понимают, что это не обеспечит значительного улучшения состояния здоровья людей и может привести к неправильному распределению недостаточных средств, выделяемых на радиационную защиту.

Поэтому чрезвычайно важно, чтобы руководящие органы информировали население о всех аспектах своих решений, особенно если выбор уровней вмешательства основан скорее на социально-экономических или политических факторах, чем на факторах радиационной защиты. Иначе население будет введено в заблуждение, а к людям, занимающимся радиационной защитой населения, будет потеряно доверие.

## **Общие выводы**

В результате беспрецедентной по характеру и масштабу чернобыльской аварии ответственные компетентные органы были вынуждены действовать в ситуации, которая не планировалась и не ожидалась. Поэтому многие меры на первом этапе необходимо было принимать без подготовки. Группы, работавшие в рамках проекта, не могли ввиду сложности событий детально проанализировать многие меры, которые были приняты компетентными органами. В тех случаях, когда группы в рамках проекта смогли оценить эти меры, оказалось, что общая реакция компетентных органов была в целом обоснованна и соответствовала положениям международных руководств, действовавших во время аварии. Несомненно, некоторые меры можно было бы осуществить лучше и более своевременно, однако все необходимо рассматривать в контексте общих ответных действий.

Принятые или запланированные в долгосрочном плане защитные меры, хотя они и основывались на благих намерениях, в целом выходят за пределы того, что было строго необходимо с точки зрения обеспечения радиационной защиты. Меры по переселению и ограничению на пищевые продукты следовало бы принять в меньшем масштабе. Эти меры являются необоснованными с точки зрения радиационной защиты, но любое смягчение нынешней политики почти определенно могло бы привести к отрицательным результатам из-за высоких уровней стрессовых ситуаций и чувства тревоги жителей соответствующих загрязненных районов, а также нынешних ожиданий населения. Признается, однако, что имеется множество социальных и политических факторов, которые необходимо учитывать, и что окончательное решение должно приниматься ответственными компетентными органами. Во всяком случае любое вносимое изменение не должно вести к принятию более жестких ограничительных критериев.

## **Подробные выводы**

### ***ЭВАКУАЦИЯ И БЛОКИРОВАНИЕ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ.***

Установленные компетентными органами дозовые уровни вмешательства в отношении эвакуации соответствовали положениям международных руководств, действовавших во время аварии.

Принятый компетентными органами общий подход в отношении введения стабильного йода соответствовал положениям международных руководств, действовавших во время аварии.

Однако количественные значения уровней вмешательства не полностью согласовывались с теми значениями, которые рекомендованы на международном уровне. Ресурсы, которые требовались для оценки практической реализации этих двух защитных мер, намного превысили ресурсы, имевшиеся в рамках проекта. Следовательно, был проведен лишь поверхностный анализ этих аспектов, на основании которого невозможно сделать дальнейшие выводы.

### ***ДЕЗАКТИВАЦИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ.***

В течение нескольких месяцев после чернобыльской аварии предпринимались усилия по снижению уровня внешнего излучения от радиоактивных веществ, выброс которых произошел во время аварии и которые выпали на поверхности. Широкий спектр принятых мер включал снятие почвенного слоя на глубину 10-15 см, асфальтирование и покрытие почвы гравием, щебнем, песком или чистой почвой, ежедневную механизированную мойку, мойку поверхностей, снос строений и захоронение отходов. Сообщается, что эти меры оказались довольно эффективными, однако группы в рамках проекта конкретно не изучали эти сообщения.

### ***ОГРАНИЧЕНИЯ НА УПОТРЕБЛЕНИЕ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ.***

#### ***Критерии***

Основания, на которых компетентными органами вводились уровни вмешательства для ограничений на пищевые продукты, в целом соответствовали положениям международных руководств, действовавших во время аварии. Однако в международных руководствах имела значительная неопределенность. Кроме того, при принятии компетентными органами производных уровней концентрации радионуклидов для различных пищевых продуктов в качестве основы учитывались наиболее облученные лица, т.е. критическая группа, а не усредненные лица из подвергшейся воздействию облучения группы.

С учетом различий в формулировании соответствующих критериев уровни вмешательства, установленные компетентными органами, находятся на нижней границе диапазона рекомендованных на международном уровне значений. С учетом масштабов аварии и необходимых ограничений, а также недостатков в сфере снабжения и распределения пищевых продуктов в соответствующих районах, были бы обоснованными более высокие значения уровней вмешательства.



### *Воздействие*

Дозы, фактически полученные вследствие перорального поступления загрязненных пищевых продуктов, оказались значительно ниже предписанных дозовых уровней вмешательства — как правило, в 2-4 раза, и как следствие этого, возможно, не было необходимости вводить ограничения на пищевые продукты.

Социальные последствия запретов в отношении потребления пищевых продуктов, включая связанные с этим издержки, во многих случаях были несоизмеримы с дозами, которых удалось избежать.

Смягчение критериев в отношении пищевых продуктов следует рассматривать в качестве предпочтительной альтернативы переселению, если учитывать все связанные со здравоохранением, а также социальные и экономические последствия. Дальнейшее применение ограничений на употребление производимых на месте пищевых продуктов в соответствующих загрязненных районах означает серьезное снижение качества жизни некоторых людей, которого можно избежать лишь переселением их в районы, где они могут возобновить прежний образ жизни. Сравнительно низкие уровни вмешательства, принятые для ограничений на пищевые продукты, возможно, обострили эти проблемы.

Компетентными органами были предприняты активные и в основном успешные усилия по ограничению последствий чернобыльской аварии для сельского хозяйства. Значительные усилия были предприняты также с целью снижения радиационных рисков для населения в целом и для работников сельского хозяйства и их семей в частности. Отрицательные социальные последствия контрмер в сельском хозяйстве могли быть дополнительно уменьшены путем применения соединений, связывающих цезий.

## **ПЕРЕСЕЛЕНИЕ.**

### *Критерии*

Основы, на которых базировались принятые компетентными органами критерии переселения, не полностью соответствуют принципам, рекомендованным в настоящее время на международном уровне; однако это не обязательно означает, что принятые количественные критерии являются неподходящими.

При определении критериев переселения у заинтересованных сторон (включая центральные и местные органы) имелись расхождения в понимании концепций и возникали терминологические трудности, которые способствовали возникновению многих нынешних проблем:

- Использование неточной терминологии и расхождение в понимании и/или неправильное толкование некоторых основных

концепций и принципов радиационной защиты как научными, так и другими кругами, явились источником значительной ненужной путаницы и несогласованности в СССР. Все это в сочетании с существенными задержками в разработке политики и в ее эффективном распространении стало основной причиной неспособности достигнуть широкого консенсуса в отношении политики переселения. Кроме того, это привело к утрате доверия со стороны пострадавшего населения к мерам, принимаемым в его интересах.

- Одним из более существенных проявлений расхождений в понимании или неправильного толкования концепций было непризнание и путаница в отношении весьма различных источников и целей дозовых пределов, рекомендованных на международном уровне для контроля планируемого увеличения доз и дозовых пределов, при которых осуществляется вмешательство с целью снижения имеющихся доз. Дозовые пределы сами по себе не являются надлежащими уровнями, при которых должно осуществляться вмешательство после аварии. Правильным параметром для оценки выгод с радиологической точки зрения, которые дает переселение, является доза, предотвращенная в результате переселения, и количественные критерии по возможности должны выражаться этой величиной.

Не представляется очевидным, что соображения, связанные с предотвращенной дозой, лежали в основе всех критериев, которые были предложены компетентными органами. Критерии также могут быть сформулированы в других более полезных производных величинах, являющихся заменителями предотвращенной дозы (например, уровень загрязнения, годовая доза, доза в течение жизни или мощность дозы). Некоторые из этих величин использовались в СССР, причем каждая из них имеет свои достоинства и недостатки. В частности, поверхностное загрязнение в целом не применимо для оценок доз, поскольку существует сильная зависимость оценок доз от местных почвенных условий, традиционного рациона питания и образа жизни.

#### *Социальное воздействие*

Представляется очевидным, что при выработке политики переселения компетентными органами не были надлежащим образом учтены многочисленные отрицательные аспекты переселения. Исследования, проведенные в других районах, показывают, что массовое переселение людей ведет к сокращению средней продолжительности предстоящей жизни (в результате усиления стресса и изменения образа жизни) и снижению качества жизни на новом месте жительства.

При применении критерия дозы в течение жизни для переселения неправомерно учитывать дозы, полученные в прошлом. Вмешательство может снизить риск вредных для здоровья последствий пропорционально предотвращенной дозе, но оно не может повлиять на дозы, уже полученные до вмешательства. Для дозовых диапазонов, лежащих ниже порога детерминистических последствий, учет полученных в прошлом доз концептуально не обоснован и противоречит принципам вмешательства. Однако существуют обстоятельства, при которых суммарные полученные дозы, т.е. прошлые и прогнозируемые, могут быть приемлемым параметром, например, для решения вопроса о необходимости и объеме любого последующего долгосрочного медицинского обслуживания лиц, подвергшихся облучению в результате аварии.

Принятый осторожный (т.е., характеризующийся завышением) подход к оценкам доз, полученных жителями соответствующих загрязненных районов, который обосновывался тем, что это делается в их лучших интересах, в принципе был неправомерным и противоречащим основным целям вмешательства. Он имел два важных отрицательных последствия: во-первых, преувеличивались радиологические последствия продолжения проживания в загрязненных районах, и это приводило к дополнительному и ненужному страху и чувству тревоги у населения; во-вторых, что более важно, некоторые люди будут переселены без надобности.

Средние уровни индивидуальной дозы в течение жизни, которая может быть потенциально предотвращена в результате переселения, если исходить из критерия либо 350 мЗв (35 бэр), либо 40 Ки/км<sup>2</sup> (1480 КБк/м), аналогичны или ниже доз от среднего естественного радиационного фона.

Не ясно, имеется ли у населения соответствующих загрязненных районов или у многих из тех, кто выступает за более строгий режим, четкое представление об умеренном характере доз, которые могут быть предотвращены путем переселения, и о связанных с ними предполагаемых рисках. Дополнительный риск, воздействию которого может подвергнуться человек, остающийся в загрязненном районе, был бы крайне незначительным в сравнении с рисками, существующими в повседневной жизни, и сам по себе не оправдывал бы введения такой радикальной меры, как переселение.

#### *Переоценка политики*

Если исходить строго из соображений радиационной защиты, вряд ли можно найти какое-либо обоснование принятию более ограничительных критериев переселения, чем те, которые в настоящее время приняты во Всесоюзной программе (т.е. 40 Ки/км<sup>2</sup>

или 1480 кБк/м<sup>2</sup>). И действительно, можно было бы привести разумные аргументы в пользу смягчения политики, т.е. повышения уровней вмешательства.

Намечено переселить значительно больше людей, чем число проживающих в населенных пунктах с уровнем загрязнения, превышающим 40 Ки/ км<sup>2</sup> (1480 кБк/м<sup>2</sup>); дозы, которые удастся предотвратить путем переселения этих людей, окажутся значительно меньшими, чем уже указанные умеренные значения. Из этого следует, что на практике принимаются более ограничительные критерии.

Важное и, возможно, решающее влияние на политику переселения оказывали многие факторы, не связанные прямо с радиационной защитой. Особо важной считалась необходимость восстановить доверие общественности, которое в силу ряда причин серьезно подрывалось в течение последних пяти лет, снизить обеспокоенность населения и добиться широкого признания проводимой политики. В текущей переоценке политики переселения, проводимой компетентными органами, этим факторам придается значительно больший вес, чем факторам, прямо связанным с радиационной защитой. Однако вопрос об относительном значении, которое следует придавать различным факторам, решают соответствующие компетентные органы.

Меры, принятые в прошлом, неизбежно будут ограничивать изменения политики переселения в будущем. Несмотря на преимущества и техническую обоснованность изменения политики, трудно будет добиться признания необходимости больших изменений, особенно в том, что связано со смягчением ранее принятого критерия. Однако смягчение нынешней политики переселения (т.е. принятие более высокого уровня вмешательства) почти наверняка привело бы к противоположным результатам ввиду весьма трудных социальных условий в соответствующих загрязненных районах. Соображениями радиационной защиты невозможно обосновать принятие более ограничительной политики. Следует всячески сопротивляться этому, если отсутствуют решающие соображения социального характера.

## **Рекомендации**

### **ЗАЩИТНЫЕ МЕРЫ.**

Следует создать полную и согласованную базу данных, содержащую всю необходимую информацию по реализации и эффективности принятых защитных мер в рамках стройной системы.

Следует провести полную и подробную оценку принятых (или планируемых) защитных мер для обоснования выводов исследования в рамках проекта. Эта оценка должна охватывать все аспекты радиационной защиты, т.е. дозы, затраты и эффективность защитных мер.

Следует изучить вопрос о мерах в области сельского хозяйства, которые могут оказать наименее отрицательное воздействие на традиционную сельскохозяйственную деятельность.

### **ОБЩЕСТВЕННАЯ ИНФОРМАЦИЯ.**

Следует дополнительно выявить и проанализировать факторы, которые могут повлиять на приемлемость для местного населения дальнейшего проживания в населенных пунктах, расположенных в соответствующих загрязненных районах.

Общественности следует предоставить более реальную и всестороннюю информацию об уровнях доз и последующих рисках, которым люди могут подвергнуться, если останутся жить в загрязненных районах. Эти риски следует сопоставить с рисками, которым человек подвергается в повседневной жизни, а также с рисками от других экологических загрязнителей, например, радона и промышленных выбросов.

### **ВЫДЕЛЕНИЕ РЕСУРСОВ.**

Следует сопоставить эффективность использования ресурсов, выделяемых на мероприятия по смягчению последствий аварии, и ресурсов, выделяемых на другие программы для совершенствования системы здравоохранения.

Следует провести оценку затрат и эффективности переселения для отдельных населенных пунктов, выбранных так, чтобы учесть все особенности с целью подтверждения обоснованности выводов, сделанных для средних населенных пунктов.

## Приложение

### ***ИСТОРИЯ СОБЫТИЙ.***

При подготовке данного приложения были использованы опубликованные материалы по чернобыльской аварии, беседа с экспертами, работавшими в рамках проекта, с жителями пострадавших районов, а также с должностными лицами государственных организаций и учеными. Данное изложение ни в коем случае не претендует на вынесение суждений, основанных на ретроспективном взгляде, не принижает мужества тех, кто работал, чтобы спасти жизнь другим, и не предполагает критическую оценку действий тех, кто должен был принимать трудные решения на основе ограниченной информации.

### ***АВАРИЙНЫЕ РАБОТЫ НА ПЛОЩАДКЕ АЭС.***

Рано утром в субботу, 26 апреля 1986 года, на четвертом блоке Чернобыльской АЭС (УССР) произошла авария, которой было суждено иметь глобальные последствия. Через несколько секунд после 1 час. 23 мин. (время московское) два последовавших один за другим взрыва сорвали крышу со здания четвертого блока. Через образовавшееся отверстие выбросило бетон, графит и другие осколки, обнажилась активная зона реактора. Дым и пары с большим количеством радиоактивного материала образовали "горячее" облако, поднявшееся на высоту до двух километров, которое затем прошло над западными районами СССР в направлении Восточной и Западной Европы и с гораздо меньшей плотностью — над всем северным полушарием. Более тяжелые осколки и частицы упали вблизи площадки станции, а легкие частицы отнесло на запад и на север от станции, где они выпали в прилегающих районах и в соседних союзных республиках.

На крыше примыкающего к блоку машинного зала начался пожар. Огонь, облака пара и пыли заполнили здание четвертого блока. Оповещение о пожаре поступило в пожарные подразделения области, и через несколько минут появились пожарные АЭС. Никто из пожарных не был обучен борьбе с пожаром в условиях загрязненности радиоактивными материалами. Несколько пожарных вместе с персоналом станции начали тушить пожар в машинном зале и в здании четвертого блока, в то время как другие, поднявшись на крышу здания третьего блока, стали тушить куски горящего графита из взорвавшейся активной зоны. К рассвету в субботу пожар был потушен полностью, за исключением горящего графита в активной зоне.

Многие советские эксперты в ядерной области считали взрыв такого рода невозможным и первоначально не поверили сообщениям побывавших в здании четвертого блока рабочим о разрушении активной зоны. Операторы продолжали подавать воду в здание реактора, безуспешно пытаясь охладить активную зону. Эта загрязненная вода попала в проходы, соединявшие блоки на различной высоте, что позднее создало проблемы их дезактивации.

Спасатели, пожарные и эксплуатационный персонал в целом не представляли себе, насколько серьезен был риск облучения. Имевшееся дозиметрическое оборудование не позволяло измерить столь высокие уровни радиации, которые в некоторых местах очевидно превышали 100 Гр/ч. Персонал станции не имел дозиметров, которые позволили бы измерять полученную им дозу, и многие были серьезно облучены. Менее чем через час после начала аварии был отмечен первый случай острой лучевой болезни. У 203 человек из присутствовавших рано утром 26 апреля на площадке реактора были обнаружены клинические проявления радиационного облучения или ожогов.

Сообщение о серьезной аварии со взрывом, пожаром и радиоактивным выбросом было сразу же автоматически передано из Чернобыля в Государственный комитет по использованию атомной энергии СССР в Москве. Хотя масштабы аварии еще не были полностью определены, на основании поступавшей информации было принято решение послать ведущих специалистов из Москвы для руководства работами. Высшие должностные лица составили Правительственную комиссию с полномочиями по мобилизации ресурсов.

Дирекция станции не располагала ни ресурсами, ни полномочиями для принятия необходимых мер в случае аварии такого масштаба, поэтому именно Правительственная комиссия руководила всеми работами. Третий блок был остановлен около 3 час. 00 мин., т.е. через полтора часа после начала аварии. Первый и второй блоки были остановлены только на следующую ночь, т.е. почти через 24 часа после взрыва.

Для проведения первой оценки радиационной обстановки и оказания помощи в борьбе с пожаром были привлечены воинские подразделения. Первые измерения выявили наличие нейтронного излучения, что говорило о продолжающейся ядерной реакции в разрушенной активной зоне четвертого блока. Распространение аварии на другие блоки могло привести к еще более серьезным последствиям, поэтому Правительственная комиссия уделила первоочередное внимание тушению горящего графита.

План мероприятий по борьбе с авариями, существовавший на станции, не годился в случае аварии со значительными и продолжительными выбросами радиоактивных материалов. Оборудования и средств борьбы с аварией не хватало. Аварийные бригады не имели индивидуальных дозиметров, а окрестности не были оборудованы постами автоматического дозиметрического контроля. Руководство сил гражданской обороны указало места возможных убежищ и предложило Исполнительному комитету городского Совета народных депутатов г. Припять информировать население по радио об опасности, связанной с радиацией, но это было сделано только в воскресенье непосредственно перед эвакуацией.

Высокие уровни радиации вынудили Правительственную комиссию 4 мая перенести свой штаб из г. Припять, расположенного в 3 километрах от реактора, в г. Чернобыль в 15 километрах к юго-востоку от станции. К тому моменту уже тысячи людей работали на площадке станции, и все организационные вопросы по обеспечению их оборудованием и питанием были поручены заместителю Председателя Совета Министров СССР, по указанию которого был создан центр по ликвидации аварии.

Разрушенная активная зона была связана с атмосферой, и было решено закрыть воронку теплопоглощающими и фильтрующими материалами. С 27 апреля по 10 мая летчики ВВС совершили сотни опасных полетов над активной зоной, сбрасывая с вертолетов тонны бора, свинца, глины, песка и доломита<sup>6</sup>. Возрастала обеспокоенность по поводу возможного попадания расплавленного топлива в воду бассейнов-барботеров, расположенных под активной зоной, что привело бы к взрыву пара и дополнительным выбросам. В экстремально сложных условиях и в обстановке радиоактивного загрязнения окружающей среды группе добровольцев из числа военных удалось установить временный трубопровод для откачки воды, которая заполнила обычно сухой второй уровень. Оперативная группа установила также бетонную плиту под разрушенным реактором, с тем чтобы не допустить повреждения основания реактора расплавленным топливом и его протекания на землю.

---

<sup>6</sup> Каждый из материалов использовался для конкретных целей: бор — для поглощения нейтронов и предотвращения возможности повторного выхода реактора на критичность; свинец — для поглощения тепла и в качестве защитного экрана; глина и песок — для фильтрации радиоактивных частиц, а доломит — для выделения углекислого газа, который ограничивал поступление кислорода к горящему графиту.



## **ЭВАКУАЦИЯ НАСЕЛЕНИЯ ИЗ ЗАПРЕТНОЙ ЗОНЫ. ЭВАКУАЦИЯ НАСЕЛЕНИЯ ПРИПЯТИ**

Рано утром 26 апреля сообщение о взрыве и пожаре на станции поступило в республиканские и районные органы гражданской обороны БССР и УССР. Через несколько часов штаб гражданской обороны УССР был развернут в г. Припять. Милиция установила кордоны и запретила въезд всем транспортным средствам, кроме аварийных машин. К полудню был организован постоянный контроль за радиационной обстановкой в Припяти и вокруг города. Самые высокие уровни были зарегистрированы к западу от станции, но распространение радиоактивных материалов было незначительным по причине слабого ветра. Силы гражданской обороны приготовились к эвакуации города, хотя решение о начале эвакуации могло принять только Правительство СССР.

К вечеру уровни радиации в Припяти превышали естественный фон в 1000 раз (0,1 мЗв/ч). Хотя радиационная обстановка еще не вызывала тревоги, физики из состава Правительственной комиссии рекомендовали эвакуировать жителей, т.к. не могли с уверенностью судить о состоянии активной зоны реактора и о дальнейшем развитии аварии. Около 22 час. 00 мин. Комиссия приняла решение о начале эвакуации на следующий день — 27 апреля. Она связалась с транспортными организациями вплоть до Киева и организовала подачу более тысячи автобусов, которые прибывали всю ночь. Местным органам власти окрестных населенных пунктов (Полесское и Ивановь) была дана команда подготовиться к приему эвакуированных. С учетом измерений радиоактивного загрязнения территории были выбраны маршруты для эвакуации, а для руководителей групп, шоферов, милиции и эвакуированных были подготовлены четкие инструкции.

Между тем, с учетом очевидных признаков серьезной аварии: был слышен взрыв, виден дым и огонь, силы гражданской обороны проводили контроль радиационной обстановки в городе, пострадавшие поступали в больницу, а персонал станции оповестил свои семьи и других жителей — некоторые должностные лица начали действовать самостоятельно. Они предупреждали людей о необходимости находиться в помещениях и распределяли имеющиеся таблетки йодистого калия. Некоторые учителя на основании рекомендаций, данных на проходивших незадолго до этого учениях гражданской обороны, отменили запланированные на субботу занятия на открытом воздухе. Они оставили учащихся в помещениях и пытались предотвратить поступление загрязненного воздуха в здания. Другие жители решили покинуть Припять поездом или речным транспортом пока это было возможно; а те, кто могли,

выехали на легковых автомобилях до того, как на дорогах были выставлены кордоны.

Официально в субботу ничто не препятствовало более или менее нормальной жизни в Припяти. Были приняты меры по предотвращению паники. Бойцы гражданской обороны надели респираторы лишь после эвакуации, поскольку их не хватало даже для детей. Городской парк культуры и отдыха был вновь открыт всего за несколько дней до аварии, и там было много людей. Не было официальных предупреждений или инструкций о необходимости находиться в помещениях, не было также организовано планового распределения таблеток йодистого калия.

В 7 час. 00 мин. в воскресенье, 27 апреля, Председатель Правительственной комиссии подтвердил решение об эвакуации населения Припяти. В 10 час. 00 мин. он встретился с городскими властями и дал указание о подготовке к эвакуации, которая была запланирована на 14 час. 00 мин. Около полудня по радио было передано короткое официальное сообщение для жителей, в котором им предлагалось взять с собой продуктов на 3 дня и быть готовыми к эвакуации в 14 час. 00 мин. Почти 1200 автобусов, собранных около г. Чернобыль, двинулись колонной в несколько километров длиной, и в 14 час. 00 мин. началась эвакуация населения г. Припять — после аварии прошло чуть более 36 часов.

Предполагалось вывезти 44 600 человек, но реальное число людей оказалось меньше, так как некоторые уже покинули город или выехали на выходные дни. Транспортных средств было достаточно и эвакуация прошла спокойно. Менее чем через три часа в городе остались только те, кто выполнял свои служебные обязанности. Эвакуированные были размещены в семьях, проживающих в городах и деревнях прилегающих районов.

## РАСШИРЕНИЕ ЗОНЫ ЭВАКУАЦИИ

28 апреля органы гражданской обороны УССР и СССР предложили установить вокруг площадки АЭС 10-километровую зону отчуждения. 2 мая из Москвы прибыли руководители правительства. Председатель Совета Министров СССР Н.И.Рыжков, который мог привлечь для оказания помощи промышленный потенциал СССР, организовал оперативную группу Политбюро ЦК КПСС для руководства работами на национальном уровне. Теперь можно было принимать принципиальные решения об организации необходимых работ и о том, какой потребуется вклад в участие различных организаций СССР.

2 мая было принято решение об эвакуации жителей из зоны радиусом 30 км вокруг реактора, которая стала называться запретной

зоной. Эвакуация всего населения запретной зоны была закончена 6 мая. Это была операция, которая потребовала перевозки многих тысяч людей и сельскохозяйственных животных. Зона была огорожена, и с тех пор доступ в нее ограничен. Хотя и в настоящее время в зоне никто не проживает, большое число людей на время въезжает в нее для работы на площадке АЭС, проведения работ по очистке территории, а также научных исследований в г. Чернобыль. Многие эвакуированные жители позже тайно вернулись в покинутые дома. По сообщениям, некоторые семьи получили разрешение на возвращение в менее загрязненную южную часть зоны. Кроме эвакуации из 30-километровой запретной зоны была также проведена эвакуация населения из районов к востоку и к западу от нее, где уровни радиации превышали 50 мЗв/ч (5 мбэр/ч). 10 мая была составлена карта мощности доз; изоплеты значений мощности доз 200 мЗв/ч (20 мбэр/ч) сформировали границы запретной зоны (площадью около 1100 км<sup>2</sup>), 50 мЗв/ч (5 мбэр/ч) — границы зоны эвакуации (3000 км<sup>2</sup>), а 30 мЗв/ч (3 мбэр/ч) — границы зоны жесткого контроля (8000 км<sup>2</sup>), откуда пришлось временно эвакуировать детей и беременных женщин. Карты радиоактивного загрязнения долгоживущими изотопами, составленные в июне и июле 1986 года, свидетельствуют о том, что следовало переселить жителей еще из 29 населенных пунктов БССР и из четырех — РСФСР.

### ***ЗАЩИТНЫЕ МЕРЫ НА ПЛОЩАДКЕ СТАНЦИИ.***

Было необходимо изолировать разрушенное и загрязненное здание реактора. Инженеры приняли решение об установке перекрытия (размах которого составлял 55 м) с опорой на сохранившиеся стены. Проектные и строительные работы велись быстро, что позволило заключить четвертый блок в оболочку из бетона и стали к середине ноября 1986 года. Для наблюдения за условиями внутри сооружения в различных местах измеряются уровни гамма-излучения и температура. Приблизительно 96% топлива находится в реакторе и помещениях четвертого блока. Постоянно снижающаяся мощность дозы гамма-излучения указывает на то, что топливо в стабильном состоянии.

В связи с тяжелыми условиями строительства "саркофага", а также необходимостью его вентиляции, он не был изолирован от окружающей среды. Между элементами конструкций в верхней части сооружения существуют зазоры, которые наряду с отверстиями в крыше обеспечивают естественную конвекцию воздуха внутри здания. Через эти зазоры ведется дозиметрический контроль радиоактивных выбросов.

## **ВЫБРОСЫ РАДИОАКТИВНОСТИ И ИХ ПЕРЕНОС.**

Предполагается, что из активной зоны реактора было выброшено от 25 до 50 миллионов кюри радиоактивных элементов. Высокая температура увеличила выброс летучих изотопов йода и цезия. Общая активность выброшенного йода составила приблизительно 10 миллионов кюри, а общая активность выброшенного цезия — около 2 миллионов кюри. Эти выбросы не были единовременным большим событием. Через пять дней после первоначального выброса мощность выбросов уменьшилась и достигла минимума, который составил около 15% мощности первоначального. В последующие четыре дня мощность выбросов опять увеличилась и достигла 70% первоначальной. Затем произошло внезапное падение мощности выбросов, когда она составила менее 1% первоначального уровня, и в дальнейшем она постоянно уменьшалась.

В течение первого дня после аварии радиоактивное облако над станцией достигло высоты 1800 м. На следующий день максимальная высота составляла 1200 м, но большая часть выбрасываемых материалов поднялась не выше 600 м. С третьего дня после аварии радиоактивное облако не поднималось выше 600 м<sup>7</sup>. В момент аварии поверхностные ветры были слабыми и переменными, однако на высоте 1500 м дул юго-восточный ветер, скорость которого составляла 8-10 м/с. Материалы, достигшие этой высоты, ветер перенес в направлении Финляндии и Швеции, где 27 апреля впервые были отмечены повышенные уровни радиации за пределами СССР. Московское телевидение сообщило об аварии вечером в понедельник, 28 апреля.

К 7 мая на основе данных, полученных с помощью аэродозиметрии, было завершено составление карт уровней радиации на европейской части СССР. С тех пор Институт гидрометеорологии СССР ежедневно сообщает данные о прогнозируемых траекториях переноса на различных высотах, которые передаются местным органам власти и министерствам здравоохранения и сельского хозяйства.

---

<sup>7</sup> *Летучие элементы (йод и цезий) были обнаружены и на больших высотах (6-9 км), а их следы также и в нижних слоях атмосферы. Более тяжелые элементы (церий, цирконий, нептуний и стронций) имели значение только для местных выпадений на территории СССР.*

## ***ЗАЩИТА РЕК И КИЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА.***

Одним из наиболее критических моментов была опасность загрязнения водной системы, и с первых же дней после аварии Государственным комитетом по гидрометеорологии СССР были начаты исследования загрязнения воды. Мониторинг концентрации радионуклидов в районе реки Днепр и его притока Припяти показал, что загрязнение в основном происходит в результате выпадений, поскольку с уменьшением загрязнения воздушной среды произошло резкое снижение концентрации радионуклидов.

В самые первые дни после аварии были сделаны оценки концентрации радиоактивного загрязнения в водоемах вследствие выпадений, а также оценки прогнозируемых концентраций в случае, если дождевые осадки перенесут дополнительные радиоактивные загрязнители из почвы в водную систему. Расчеты показали, что при обильных дождях в районе реки Припять концентрация наиболее опасного радиоактивного изотопа стронций-90 не будет превышать пределов, установленных в советских нормативных документах для питьевой воды, при условии, что выбросы из реактора вскоре прекратятся. Более поздние измерения подтвердили этот прогноз.

Вследствие сильных выпадений в непосредственной близости от реактора, характера почв в этом районе и прямого соединения через расположенный рядом пруд-охладитель с важнейшим Киевским водохранилищем на реке Днепр к северу от Киева были предприняты большие усилия для замедления перемещения долгоживущих радионуклидов (таких, как цезий-137 и стронций-90) через грунтовые или поверхностные воды. Было проведено три основных мероприятия. Во-первых, было построено 140 плотин и дамб для ограничения стока из района площадки в пруд-охладитель и протекающую поблизости реку Припять. Во-вторых, был промыт ряд существующих иловых ловителей на дне рек, пруда и водохранилища. В-третьих, вокруг станции был построен барьер 8-километровой длины, глубиной 30-35 метров до непроницаемого слоя глины, чтобы предотвратить перемещение радиоактивной воды по направлению к Днепру.

## ***ДЕЗАКТИВАЦИЯ.***

После того, как крупные выбросы со станции прекратились, была начата дезактивация с целью уменьшения дозовых нагрузок в районах с высокими уровнями активности, где еще проживало население. В первую очередь внимание уделялось общественным зданиям, таким, как школы, детские сады, ясли и больницы, в то время как менее важные загрязненные здания просто сносились и их остатки отправлялись на захоронение.

Сначала должностные лица заявили, что большая часть эвакуированных территорий после дезактивации может быть вновь заселена. Однако во многих случаях вновь происходило быстрое радиоактивное загрязнение подвергшейся дезактивации поверхности из-за вторичного переноса радионуклидов посредством их миграции с поверхности почвы, растительности и строений. Оказалось, что естественные процессы ("биологическая дезактивация"), т.е. распад и миграция в почву, наиболее эффективны, и активная деятельность по дезактивации в большинстве населенных пунктов была прекращена.

### ***МЕРЫ ВМЕШАТЕЛЬСТВА.***

После завершения первоначальной эвакуации населения Национальная комиссия по радиационной защите СССР сформулировала критерии вмешательства с целью уменьшения дозовых нагрузок вследствие загрязнения пищевых продуктов и воды. Со временем основные источники излучения менялись, и в соответствии с этим изменялись меры, принимаемые для их контроля. В первые несколько месяцев после аварии основной вклад в дозу облучения вносил радиоактивный йод, который поступал с молоком коров, пасшихся на загрязненных территориях; и эта проблема решалась путем применения таких мер вмешательства, как снабжение населения таблетками йодистого калия и завоз чистого молока. Одновременно с этим проблема радиоактивного йода и других нуклидов, выпавших на свежие овощи, решалась путем применения таких мер вмешательства, как снабжение чистыми продуктами. В долгосрочном плане наибольший вклад в дозу облучения вносил цезий-137 в молоке, мясных и других пищевых продуктах, и эта проблема решалась путем принятия мер вмешательства, предусматривающих введение ограничений на производство и потребление пищевых продуктов и внесения изменений в сельскохозяйственную деятельность.

### ***РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ БЕЗОПАСНОГО ПРОЖИВАНИЯ.***

Задачи защиты населения от радиации осложнялись большим размером загрязненных территорий и необходимостью выполнения широкомасштабной программы измерений загрязнения окружающей среды и дозиметрического контроля пищевых продуктов. Был предложен ряд различных концепций безопасного проживания, включая введение временных предельных доз, полученных за первый год, концепцию предельной дозы в течение жизни, концепцию предельного дозового диапазона в течение жизни, концепцию мощности дозы и концепцию поверхностного загрязнения.

Министерство здравоохранения СССР ввело предел максимально допустимой временной дозы, составляющий 100 мЗв (10 бэр) на первый год после аварии. Затем были введены еще несколько временных пределов доз на 1987-1989 годы.

К началу 1987 года стало вполне очевидно, что ограничения на потребление пищевых продуктов и поведение людей оказывали самое значительное влияние на их повседневную жизнь в этих трех республиках. Компетентные органы признали, что система ограничений в отношении сельскохозяйственной деятельности в этих в основном негородских районах, население которых традиционно занимается сельским хозяйством, в долгосрочном плане не является удовлетворительной. В конце 1988 года они предложили концепцию "безопасного проживания" в течение жизни, в которой определялась радиационная обстановка, позволяющая людям жить в этих районах без ограничений рациона питания или образа жизни. Она устанавливала предел дозы, накопленной в течение жизни за последующие 70 лет после аварии, который составил 350 мЗв (35 бэр). Такой предел основывался на концепции принятия/непринятия мер вмешательства. Эта концепция была утверждена Советом Министров СССР в сентябре 1988 года.

Однако к началу 1989 года концепция предельной дозы в течение жизни подверглась резкой критике. Сторонники этой концепции доказывали, что более низкие значения дозы приведут к серьезным последствиям в результате чрезмерного переселения людей. В результате растущей критики эта концепция переросла в систему дозового диапазона. Эта усовершенствованная концепция включала положения, согласно которым, если доза в течение жизни не превышает нижнего предела (70 мЗв или 7 бэр), то никаких мер не принимается. Различного рода меры предполагаются в том случае, если значения дозы находятся между нижним и верхним пределами (все тех же 350 мЗв или 35 бэр). Переселение оставалось обязательным в случае значений, лежащих выше верхнего предела.

В апреле 1990 года Верховный Совет СССР в качестве критерия для переселения и выплаты компенсации ввел концепцию поверхностного загрязнения. При этом подходе загрязненные районы делились на три зоны<sup>8</sup>: зону с поверхностным загрязнением цезием свыше 40 Ки/км<sup>2</sup> (1480 кБк/м<sup>2</sup>); зону с уровнями загрязнения в пределах 15-40 Ки/км<sup>2</sup> (555-1480 кБк/м<sup>2</sup>); и зону с

---

<sup>8</sup> Этот шаг был сделан несмотря на то, что между уровнем поверхностного загрязнения и годовой дозой или дозой в течение жизни не существует простого соотношения из-за различных коэффициентов переноса, условий жизни и питания людей.

уровнями в пределах от 1 до 15 Ки/км<sup>2</sup> (37-555 кБк/м<sup>2</sup>). Переселение и другие формы компенсации зависели от того, в какой зоне располагается тот или иной населенный пункт.

Политика защитных мер и переселения не находила понимания со стороны общественности и способствовала недоверию как к руководителям науки, так и к политическому руководству. Рост числа сообщений о широком распространении неблагоприятных последствий для здоровья также оказал весьма сильное воздействие на общественность. Улучшению обстановки не способствовали должностные лица, которые объясняли страх населения так называемой "радиофобией" или чрезмерной тревогой в связи с радиационным облучением и его последствиями для здоровья людей. Когда в начале 1989 года было объявлено о концепции "безопасного проживания", то она немедленно стала объектом критики в трех пострадавших республиках, где многие, включая ученых, выражали свое несогласие с заложенными в концепцию допустимыми пределами радиационного облучения.

### ***ОБРАЩЕНИЕ СОВЕТСКОЙ СТОРОНЫ ЗА ПОМОЩЬЮ.***

Обстановка в СССР в настоящее время может быть охарактеризована словами резолюции "О политической оценке катастрофы на Чернобыльской АЭС и хода работ по ликвидации ее последствий", которая была принята в июле 1990 года на XXVIII съезде Коммунистической партии Советского Союза:

"... Политбюро ЦК КПСС, Совет Министров СССР, ЦК компартий Украины и Белоруссии, Советы Министров УССР и БССР своевременно не оценили масштабы катастрофы, ее возможные последствия и не предприняли решительных действий по разработке и реализации государственной концепции безопасного проживания населения на радиоактивно загрязненных территориях.

В пострадавших районах усиливается социальная напряженность. Ее росту способствуют длительная и неоправданная секретность вокруг чернобыльской трагедии, противоречивость высказываемых оценок, особенно по медицинским аспектам, недостаток объективной, доступной для населения информации о действительном положении дел.

Съезд признает неудовлетворительными и недостаточными принятые меры по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС".

В 1989 году, в период нарастания озабоченности в обществе, которая привела к принятию резолюции съезда, в международные организации поступили просьбы о проведении оценки общего состояния здоровья и условий жизни населения. В 1989 году ВОЗ



направила группу должностных лиц, а в начале 1990 года эти районы посетили представители Лиги Обществ Красного Креста и Красного Полумесяца. В октябре 1989 года Правительство СССР обратилось в МАГАТЭ с просьбой организовать данное исследование, которое было проведено под руководством Международного консультативного комитета.

## ЭПИЛОГ

Авария в Чернобыле имела беспрецедентные социальные последствия в истории индустриального общества. Ранние последствия привели к эвакуации более чем 100 000 человек и затронули судьбы сотен тысяч людей, входивших в состав аварийных бригад. Огромная часть населения в БССР, РСФСР и УССР по-прежнему живет в условиях стресса и с чувством тревоги из-за сохраняющейся неопределенности в отношении будущего. Международный чернобыльский проект, начатый в 1990 году, явился важным шагом в деле оказания помощи пострадавшему населению. В целях преодоления многочисленных последствий этой аварии уже реализуются дополнительные инициативы.

В ответ на просьбы правительства об оказании помощи в рамках системы Организации Объединенных Наций было начато осуществление целого ряда мероприятий. 21 декабря 1990 года Генеральная Ассамблея приняла резолюцию 45/190, в которой Генеральному секретарю предлагается:

"... поддерживать усилия, предпринимаемые в рамках системы Организации Объединенных Наций Административным комитетом по координации и Межучрежденческим комитетом по реагированию на ядерные аварии, по гармонизации, укреплению и координации международных проектов, имеющих целью ослабление последствий катастрофы в Чернобыле ..."

В резолюции содержится настоятельный призыв:

"... ко всем государствам — членам мирового сообщества, межправительственным и неправительственным организациям, деловым и научным кругам и отдельным лицам, обеспечивая полную координацию с предполагаемой и планируемой деятельностью системы Организации Объединенных Наций и в сотрудничестве с ней, продолжать оказание всей надлежащей поддержки и помощи наиболее пострадавшим в результате аварии на Чернобыльской атомной электростанции районам."

Генеральный секретарь Организации Объединенных Наций назначил Генерального директора Отделения Организации Объединенных Наций в Вене координатором помощи в рамках системы

Организации Объединенных Наций. Усилия целевой группы в настоящее время концентрируются на огромных экономических и социальных последствиях. Межучрежденческий комитет по реагированию на ядерные аварии, образованный вскоре после чернобыльской аварии, поощряет своих членов, входящих в систему Организации Объединенных Наций, проводить исследования, нацеленные на обеспечение лучшего понимания проблем загрязнения окружающей среды, мер в сельском хозяйстве, радиационной защиты и управления аварийными ситуациями после крупных выбросов радиоактивного материала.

Всемирная организация здравоохранения осуществляет планы, связанные с долгосрочной международной программой по изучению медицинских аспектов чернобыльской аварии и по созданию в СССР международного центра ВОЗ для изучения медицинских проблем в связи с облучением.

БССР, УССР и СССР недавно создали Чернобыльский центр международных исследований. Зона вокруг Чернобыля создает возможности для проведения научных исследований в послеаварийных условиях. МАГАТЭ будет играть определенную роль в развитии и координации исследований в этом центре, а также в распространении полученных результатов.

Международное сотрудничество в приложении растущего числа гуманитарных и научных усилий явится важным элементом в мерах, направленных на полное преодоление последствий чернобыльской аварии.

## Международный консультативный комитет

И. Шигемацу (*Председатель*)

Фонд изучения радиационных последствий, Хиросима, Япония

М. Розен (*заместитель Председателя*)

Международное агентство по атомной энергии, Вена

### *Члены Комитета*

Л. Р. Анспью Ливерморская национальная лаборатория  
им.Лоуренса, Калифорния, Соединенные Штаты Америки

В. Барьяхтар

Академия наук, Киев, Украинская Советская Социалистическая  
Республика

Б.Г. Беннетт

Научный комитет по действию атомной радиации  
Организации Объединенных Наций, Вена

Г.Х. Коппе Международное бюро труда, Женева

Р. Кулон

Комиссариат по атомной энергии, Фонтене-о-Роз, Франция

Ф. Фрай

Национальный совет по радиологической защите,  
Чилтон, Дидкот, Соединенное Королевство

Г. К. Георгиев

Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединен-  
ных Наций, Рим

В.А. Губанов

Государственный комитет по ликвидации последствий  
аварии на Чернобыльской АЭС, Москва, Союз Советских Социалис-  
тических Республик

Дж. Джованович

Манитобский университет, Виннипег, Манитоба, Канада  
Н. Келли Комиссия европейских сообществ, Брюссель

А. Курамото

Научно-исследовательский институт ядерной  
медицины и биологии, больница Университета  
г. Хиросимы, Хиросима, Япония

Т.Р. Ли  
Университет Сент-Эндрюс, Сент-Эндрюс, Файф, Соединенное  
Королевство

Ф.А. Меттлер-младший  
Университет Нью-Мексико, Альбукерке,  
Нью-Мексико, Соединенные Штаты Америки

А. Сало  
Центр радиационной и ядерной безопасности, Хельсинки, Финляндия

Э. Смейлс  
Министерство здравоохранения и социального  
обеспечения Лондон, Соединенное Королевство

Ф. Штайнхойслер  
Зальцбургский университет, Зальцбург, Австрия

А.В. Степаненко  
Академия наук, Минск, Белорусская Советская Социалистическая  
Республика

В.В. Волошук  
Комитет по ликвидации последствий аварии  
на Чернобыльской АЭС, Москва, Российская Советская Федератив-  
ная Социалистическая Республика

П. Уэйт  
Всемирная организация здравоохранения, Женева

**ПРИЧИНЫ И ОБСТОЯТЕЛЬСТВА АВАРИИ НА 4 БЛОКЕ  
ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС.  
МЕРЫ ПО ПОВЫШЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС  
С РЕАКТОРАМИ РБМК.**

**(Заключение экспертов Минатомэнергопрома СССР)**

**1991г.**

## Содержание

1.	Краткое описание и особенности реакторной установки РБМК-1000 4 блока Чернобыльской АЭС .....	299
2.	Современные представления о возникновении и развитии аварии .....	303
2.1.	Общая характеристика программы испытаний, при выполнении которой произошла авария на 4 блоке ЧАЭС ..	305
2.2.	Хронология технологического процесса 25-26.04.86 на 4 блоке ЧАЭС .....	306
2.3.	Характеристика данных об источнике информации .....	309
2.4.	Первоначальные версии аварии .....	311
2.5.	Расчетный анализ аварии .....	311
3.	Мероприятия по повышению безопасности АЭС с РБМК .....	314
4.	Заключение .....	318

# 1. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ РБМК-1000 4 БЛОКА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Реакторы канального типа эксплуатируются в стране более 580 реакторо-лет. Подобного рода реакторные установки были применены на первой в мире АЭС в Обнинске, на 1 и 2 блоках Белоярской АЭС, на Билибинской АЭС, на Сибирской АЭС и, наконец, на большой группе АЭС с реакторами РБМК-1000 и РБМК-1500. Таков путь развития канальных уран — графитовых реакторов.

Ядерный энергетический реактор установленный на 4-ом блоке Чернобыльской АЭС является гетерогенным канальным реактором на тепловых нейтронах, в котором в качестве замедлителя используется графит, а в качестве теплоносителя - кипящая легкая вода. 1660 топливных каналов размещаются в вертикальных отверстиях графитовых колонн и представляют собой трубу диаметром 80 мм из циркониевого сплава. Внутри канала установлена тепловыделяющая кассета, имеющая в сечении 18 стерженьковых твэлов диаметром 13, 6мм в оболочке из циркониевого сплава. Тепловая схема является типичной для одноконтурных энергетических установок с кипящим реактором (рис.1). Контур многократной принудительной циркуляции (КМПЦ) состоит из двух параллельных петель, в каждой из которых осуществляется охлаждение половины топливных каналов реактора. Циркуляция теплоносителя осуществляется с помощью главных циркуляционных насосов (ГЦН). Подвод недогретой воды и отвод пароводяной смеси от каждого канала осуществляется по индивидуальным трубопроводам. В корпусных сепараторах горизонтального типа при давлении около 7 МПа происходит разделение пара и воды. Насыщенный пар направляется в две турбины, — а его конденсат возвращается после подогрева и деаэрации в сепараторы, откуда, смешиваясь с отсепарированной насыщенной водой, подается ГЦН на вход в реактор.

Система управления и защиты (СУЗ) реактора основана на перемещении 211 твердых стержней-поглотителей в специально

выделенных каналах, охлаждаемых водой автономного контура. Система в регламентных режимах и в условиях проектных аварий обеспечивает: автоматическое поддержание заданного уровня мощности; быстрое снижение мощности стержнями автоматических регуляторов (АР) и ручных регуляторов (РР) по сигналам отказа основного оборудования; аварийное прекращение

цепной реакции стержнями аварийной защиты (АЗ) по импульсам опасных отклонений параметров блока или отказов оборудования; компенсацию изменений реактивности при разогреве и выходе на мощность; регулирование энерговыделения по активной зоне.

Независимые регуляторы при срабатывании АЗ вводятся в активную зону со скоростью 0,4 м/с.

СУЗ включает подсистемы локального автоматического регулирования (ЛАР) и локальной аварийной защиты (ЛАЗ). Обе работают по сигналам внутриреакторных ионизационных камер. ЛАР автоматически стабилизирует основные гармоники радиально-азимутального распределения энерговыделения, а ЛАЗ обеспечивает АЗ реактора от превышения заданной мощности ТВС в отдельных его зонах. Для регулирования высотных полей предусмотрены укороченные стержни-поглотители, вводимые в зону снизу (24 шт.).

В РБМК-1000 предусмотрены также следующие системы контроля и управления:

- физического контроля поля энерговыделения по радиусу (свыше 100 каналов) и по высоте (12 каналов) при помощи датчиков прямой зарядки;
- пускового контроля (реактиметры, пусковые выемные камеры);
- контроля расхода воды по каждому каналу шариковыми расходомерами;
- контроля герметичности оболочек твэлов по короткоживущей активности летучих продуктов деления в пароводяных коммуникациях на выходе из каждого канала; активность детектируется последовательно в каждом канале в соответствующих оптимальных энергетических диапазонах (<окнах>) сцинтилляционным датчиком с фотоумножителем, перемещаемым специальной тележкой от одной коммуникации к другой;
- контроля целостности труб каналов по влажности и температуре газа, омывающие каналы.

Все данные поступают в ЭВМ. Информация выдается оператором в виде сигналов отклонений, показаний (по вызову) и данных регистраторов.

Энергоблоки РБМК-1000 работают в базовом режиме (при постоянной мощности).

Основные проектные характеристики реактора 4 блока ЧАЭС следующие:

Тепловая мощность МВт	3200
Обогащение топлива, %	2,0
Масса урана в ТВС, кг	114,7
Число/диаметр твэлов в ТВС, мм	18/13,6



Глубина выгорания топлива, МВт сут/кг	20
Коэффициент неравномерности энерговыделения:	
по радиусу	1,48
по высоте	1,4
Максимальная расчетная мощность канала, кВт	3000
Паровой коэффициент реактивности $\alpha_p$ в рабочей точке, % <sup>-1</sup> объема пара	$2,0 \cdot 10^{-4}$
Быстрый мощностной коэффициент реактивности $\alpha_w$ в рабочей точке, МВт <sup>-1</sup>	$-0,5 \cdot 10^{-6}$
Температурный коэффициент топлива $\alpha_t$ , °C <sup>-1</sup>	$-1,2 \cdot 10^{-5}$
Температурный коэффициент графита $\alpha_g$ , °C <sup>-1</sup>	$6 \cdot 10^{-5}$
Минимальная эффективность стержней СУЗ, %	10,5
Эффективность стержней РР, %	7,5
Эффект замены (в среднем) выгоревшей твс на свежую, %,	0,02

Важной физической характеристикой с точки зрения управления и безопасности реактора является величина, называемая оперативным запасом реактивности (ОЗР), т.е. определенное число погруженных в активную зону стержней СУЗ в пересчете на полностью погруженные стержни СУЗ с учетом высотного нейтронного поля.

Согласно "технологическому регламенту при эксплуатации 3 и 4 энергоблоков ЧАЭС с реакторами РБМК-1000" IЭ-С-II (СТР. 34 и 46) на номинальной мощности в стационарном режиме величина ОЗР должна составлять 26-30 стержней.

Работа реактора при запасе менее 26 стержней допускается с разрешения главного инженера станции.

При снижении оперативного запаса реактивности до 15 стержней реактор должен быть немедленно заглушен.

Подъем мощности после кратковременной остановки без прохождения "йодной" ямы при мощности перед остановкой ниже 50% от номинальной разрешается, если ОЗР до остановки был не менее 30 стержней.

Минимальный запас реактивности в процессе подъема мощности после кратковременной остановки должен составлять не менее 15 стержней:

Если при извлечении стержней СУЗ во время выхода реактора в критическое состояние запас реактивности уменьшится до 15 стержней и будет продолжать падать - сбросить до нижних концевиков все стержни АР, РР, ПК-А3, стержни УСП ввести в зону их наибольшей эффективности. По кривым разотравления определить время простоя.

Зависимость эффективного коэффициента размножения от плотности теплоносителя в РБМК в большой степени определяется наличием в активной зоне разного рода поглотителей. При начальной загрузке активной зоны, в которую входит 240 борсодержащих дополнительных поглотителей, обезвреживание ТК приводит к отрицательному эффекту реактивности. Увеличение паросодержания в режиме установившихся перегрузок на номинальной мощности при запасе реактивности 30 стержней приводит к росту положительной реактивности.

Реакторная установка РБМК 4-го блока оснащена системами безопасности. К ним относятся.

Защитные системы безопасности, включающие:

- систему управления и защиты;
- систему аварийного охлаждения реактора (САОР);
- систему защиты от превышения давления в основном контуре теплоносителя;
- систему защиты реакторного пространства от превышения давления.

Локализирующие системы безопасности (СЛА), включающие:

- систему герметичных помещений;
- систему отсечной и герметичной арматуры;
- барботажно-конденсационное устройство.

Обеспечивающее системы безопасности.

Управляющие системы безопасности.

Система радиационного контроля.

Данные характеристики реакторной установки вместе с системами обеспечения безопасности (рис. 2):

- защитными;
- локализирующими;
- обеспечивающими

обеспечивали надежную и эффективную работу РБМК во всех регламентных режимах и безопасность для всего перечня проектных аварий в соответствии с утвержденной проектной документацией.

К особенностям реакторных установок РБМК следует отнести:

- недостаточную автоматическую техническую защищенность реакторной установки от перевода ее в нерегламентное состояние;
- характер изменения парового коэффициента реактивности  $\alpha_{\phi}$  и эффекта обезвреживания в зависимости от уменьшения плотности теплоносителя в активной зоне;
- недостаточное быстродействие аварийной защиты и возможность ввода положительной реактивности в условиях недопустимого снижения запаса реактивности.

Четвертый блок ЧАЭС введен в эксплуатацию в декабре 1983г. К моменту остановки блока на средний ремонт, которая была запланирована на 25 апреля 1986г., активная зона содержала 1650 ТВС со средним выгоранием 10,3 МВт\*сут/кг, 1 дополнительный поглотитель и 1 незагруженный канал. Основная часть ТВС (75%) представляла собой сборки первой загрузки с выгоранием 10-15 МВт\*сут/кг.

4-ый блок ЧАЭС был спроектирован в соответствии с действовавшими в СССР в конце 60-х - начале 70-х годов нормативными документами по безопасности. Технический проект АЭС разработан в 1974 году. Проект второй очереди ЧАЭС утвержден в установленном порядке. Проектные материалы по безопасности АЭС согласованы Госатомнадзором СССР, Госгортехнадзором СССР и Госсаннадзором СССР в 1975 году.

## 2. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ВОЗНИКНОВЕНИИ И РАЗВИТИИ АВАРИИ НА ЧАЭС

Анализ обстоятельств, связанных с возникновением и развитием Чернобыльской аварии, начался 27-28 апреля 1986г., когда специалистам стали доступны документы об основных параметрах 4-го блока перед аварией и в ее первой фазе (до момента разрушения систем измерения и регистрации). Обращали на себя внимание, по меньшей мере, два обстоятельства: во-первых, быстрое протекание процесса; во-вторых, практическое отсутствие в активной зоне регулирующих стержней перед аварией. Более или менее стало ясно, что процесс был не контролируемым и что разгон реактора связан с положительным эффектом реактивности.

В основу первой версии, разработанной на месте аварии, было положено, что авария на энергоблоке N 4 ЧАЭС произошла в результате неконтролируемого разгона реактора вследствие запаиривания топливных каналов активной зоны из-за срыва циркуляции в КМППЦ. Срыв циркуляции при этом происходил из-за несоответствия расхода питательной воды и расхода теплоносителя в КМППЦ.

Более тщательный анализ всей зарегистрированной информации показал, что для правильного понимания причин аварии необходимо расчетное моделирование аварийного процесса. Эта работа проводилась независимо тремя организациями (ИАЭ им. И.В.Курчатова, НИКИЭТ и ВНИИАЭС). Кроме того, был проведен большой объем экспериментальных исследований на стендах и действующих реакторах.

Было уточнено значение парового эффекта реактивности и влияние на эту величину дополнительных поглотителей (ДП) и стержней регулирования. Было показано, что при двугорбой форме высотного распределения нейтронного потока ввод регулирующих стержней из верхнего положения мог привести к вводу на первой секунде отрицательной реактивности, а при дальнейшем движении стержней к увеличению реактивности за счет вытеснения столбов воды в нижней части реактора графитовыми вытеснителями.

В августе 1986г. был выполнен анализ аварии на интегральной модели.

Этот анализ лег в основу доклада СССР для экспертов МАГАТЭ. В этом материале первопричиной аварии было названо "крайне маловероятное сочетание нарушений порядка и режима эксплуатации, допущенных персоналом энергоблока". Отмечалось также, что "катастрофические размеры авария приобрела в связи с тем, что реактор был приведен персоналом в такое нерегламентное состояние, в котором существенно усилилось влияние положительного коэффициента реактивности на рост мощности".

Дальнейший анализ аварии проводился уже с использованием распределенных нейтронно-физических моделей с обратными связями по теплогидравлике, тестированных на имеющейся экспериментальной информации.

Расчеты, результаты которых были представлены в МАГАТЭ в сентябре 1987 г., показали существенную роль аксиально-азимутальных эффектов. В то же время продолжались исследования на интегральных моделях, где было проще оценивать влияние разных физических процессов и отдельных факторов на ход аварийного процесса.

В октябре-ноябре 1989г. различные аспекты Чернобыльской аварии и эффективность мер по повышению безопасности АЭС с РБМК детально обсуждались на первой международной рабочей группе ученых и специалистов по тяжелым авариям и их последствиям в Дагомысе (СССР). На этом совещании советские и зарубежные специалисты представили доклады, в которых аварийный процесс анализировался на трехмерных нейтронно-физических моделях, с учетом обратных связей по теплогидравлике. По общему мнению специалистов причиной аварии была признана "нестабильность реактора, вызванная, как недостатками проекта реактора, так и режимом его работы". Была подтверждена эффективность принятых мер по повышению безопасности.

Зарубежными учеными было отмечено, что детали аварийного процесса могут отличаться от тех, которые получались у советских специалистов и было рекомендовано продолжить исследования в данном направлении.

К настоящему времени разработаны три полномасштабные модели согласованного физического и теплогидравлического расчета РБМК, детали которых описаны ниже.

## **2.1. Общая характеристика программы испытаний, при выполнении – которой произошла авария на 4 блоке ЧАЭС**

Авария произошла при проведении испытаний режима выбега с нагрузкой собственных нужд турбогенератора № 8 блока № 4 Чернобыльской АЭС.

Целью проведения этих испытаний была проверка возможности продления принудительного расхолаживания при обесточивании.

Для режима обесточивания АЭС при максимальной проектной аварии (МПА) электроснабжение питательных насосов (ПН), являющихся составными элементами третьей подсистемы аварийного охлаждения реактора (САОР), должно обеспечиваться за счет выбега турбогенератора (ТГ).

В 1982г. на Чернобыльской АЭС были проведены соответствующие испытания на 3 энергоблоке, которые показали, что для поддержания приемлемой величины электрического тока, вырабатываемого за счет выбега ТГ, в течение заданного времени необходима доработка системы регулирования возбуждения ТГ. Дополнительные испытания выбега с модернизированной системой возбуждения проводились в 1984 и 1985гг. Программами 1982 и 1984гг. предусматривалось подключать к выбегающему ТГ по одному ГЦН с каждой стороны реактора, а программами 1985 и 1986гг. – по два ГЦН. Программами 1984, 1985 и 1986гг. предусматривалось отключение САОР ручными задвижками. С точки зрения современных подходов к разработке программ проведения подобных испытаний на АЭС, данная программа неудовлетворительна прежде всего в части регламентации мер безопасности.

Выполнение намеченных испытаний неправомерно относить к чисто электрическим, поскольку их проведение сопровождается изменением схемы электропитания ответственных механизмов энергоблока, требует вмешательства в штатную систему защит и блокировок.

В соответствии с "Технологическим регламентом при эксплуатации 3 и 4 энергоблоков ЧАЭС с реакторами РБМК-1000" 1Э-С-11 (СТР. 11):

На предназначенные для работы в реакторе на мощности сборки, датчики, поглотители и другие устройства, не предусмотренные проектом реактора, дирекция АЭС обеспечивает разработку программ и чертежно-технологической документации, согласовывает их с Научным руководителем, Главным конструктором,

Главным проектировщиком, Госатомнадзором СССР и утверждает в ВПО "Союзатомэнерго" СССР.

Любые изменения, вносимые в проектные узлы или системы реактора, должны быть согласованы с Научным руководителем, Главным конструктором, Главным проектировщиком и утверждены в ВПО "Союзатомэнерго".

Изменения, связанные с обеспечением ядерной безопасности, дополнительно согласовываются с Госатомнадзором СССР.

Специфической теплогидравлической особенностью режима испытаний являлся повышенный, относительно номинального, начальный расход теплоносителя через реактор. Паросодержание было минимальным при незначительном недогреве теплоносителя до температуры кипения на входе в активную зону. Оба указанных фактора, как оказалось, имели прямое отношение к масштабу проявившихся при испытаниях эффектов.

## 2.2. Хронология технологического процесса

25-26.04 86г. на 4 блоке ЧАЭС

Время (по оперативному журналу, часы, минуты) 25 апреля 1986 года	События
01.06	начало разгрузки энергоблока; оперативный запас реактивности (ОЗР) равен 31 стержня ручного регулирования (РР);
03.45	начата замена состава газовой продувки графитовой кладки реактора с азотно-гелиевой смеси на азот;
03.46	тепловая мощность реактора 1600 МВт;
07.10	ОЗР равен 13,2 стержня РР;
13.05	отключен от сети ТГ-7;
14.00	САОР отключена от контура циркуляции;
14.00	отсрочка выполнения программы испытания по тре- бованию диспетчера Киевэнерго;
15.20	ОЗР равен 16,8 стержня РР;
18.50	нагрузка оборудования собственных нужд, не уча- ствующего в испытаниях, переведена на электропи- тание от рабочего трансформатора Т-6;

23.10 продолжена разгрузка энергоблока, ОЗР равен 26 стержней РР.

## 26 апреля 1986 года

Время (по распечатке программы диагностической регистрации ДРЕГ часы, минуты, секунды)

00.05 тепловая мощность реактора 720 МВт;  
(по оперативному дальнейшая равномерная разгрузка энерго блока;  
журналу)

00.28 при тепловой мощности реактора около 500 МВт  
(по оперативному переход с системы локального регулирования  
журналу) мощности (ЛАР) на автоматический регулятор мощ-  
ности основного диапазона (1АР, 2АР).  
В процессе перехода допущено  
непредусмотренное программой снижение  
тепловой мощности до 30 МВт (нейтронной  
мощности-до нуля). После паузы продолжитель-  
стью 4-5 мин. начат подъем мощности;

00.34.03" отклонения уровня в барабан-сепараторах за  
00.43.37" пределы срабатывания аварийной защиты  
00.52.27" "-600 мм" (аварийная уставка понижения  
01.09.45" уровня была оставлена на уровне  
01.18.52 "-1100 мм");

с 00.41 до отключение от сети ТГ-8 для снятия  
01.16 вибрационных характеристик на холостом ходу;  
(по оперативному журналу)

00.43.37" выключена из работы аварийная защита по  
(по оперативному отключению обоих ТГ;  
журналу)

01.03 тепловая мощность реактора поднята до 200 МВт и  
застабилизирована;

01.03 включен в работу седьмой ГЦН;  
(по оперативному журналу)

01.06 повышен расход питательной воды до 1200  
- 1400 т/ч для восстановления уровня в БС;

01.07 включен в работу восьмой ГЦН;  
(по оперативному журналу)

- 01.08 резко снижен расход питательной воды до 90 т/ч по правой стороне и до 180 т/ч по левой стороне при общем расходе по контуру 56000-58000 т/ч. В результате температура на всасе ГЦН составила 280,8° С (левая сторона) и 283,2° С (правая сторона);
- 01.18.52" сигнал МПА (по ДРЕГ);
- 01.22.30" произведена запись параметров системы централизованного контроля (СЦК "СКАЛА") на магнитную ленту. Расчет неизмеряемых параметров на ЧАЭС не производился. После аварии проведен расчет ОЗР по стандартной кривой высотного энергораспределения, заложенной в программу "ПРИЗМА", который оказался равным 1,9 стержня РР. В расчетах с использованием фактических данных о высотном энергораспределении он составил 6-8 стержней РР;
- 01.23.04" подана команда "Осциллограф включен", закрыты стопорно-регулирующие клапаны (СРК) турбины №8. Начался ее выбег. Время работы ГЦН, подключенных к выбегающему ТГ, составляло 36,2 сек. по данным осциллографа, фиксирующего электрические параметры ГЦН. Нажата кнопка МПА\*). Точное время ее нажатия и включения осциллографа не установлено;
- 01.23.40" зарегистрирован сигнал АЗ-5.  
По объяснительным запискам персонала нажата кнопка АЗ-5.  
Стержни АЗ и РР начали движение в активную зону;
- 01.23.43" по всем боковым ионизационным камерам (БИК) появились сигналы аварийных защит по периоду разгона (АЗС), а также по превышению мощности (АЗМ);
- 01.23.47" резкое снижение (на 40%) расходов ГЦН, не участвующих в выбеге, и недостоверное показание расходов ГЦН, участвующих в выбеге, резкое увеличение давления в барабанах - сепараторах (БС); резкий подъем уровня в БС;

---

\* По программе испытаний кнопка МПА (максимальная проектная авария) была специально смонтирована с целью имитации сигнала МПА. Этот сигнал должен был выдаваться в схему запуска дизель-генератора и включения системы выбега ТГ. Предусматривалось ее нажатие одновременно с закрытием СРК.



сигналы "неисправность измерительной части" обоих автоматических регуляторов основного диапазона (1АР, 2АР);

- 01.23.48" восстановление расходов на ГЦН, не участвующих в выбеге, до значений, близких к исходным; дальнейший рост давления в БС (левая сторона - 75,2 кг/кв.см, правая - 88,2 кг/кв.см) и уровня в БС; срабатывание быстродействующих редуccionных устройств сброса пара в конденсатор турбины;
- 01.23.49" сигнал аварийной защиты "Повышение давления в реакторном пространстве (РП) (разрыв ТК)"; сигнал "нет напряжения = 28в" (снято питание муфт сервоприводов СУЗ); сигналы "неисправность исполнительной части 1АР, 2АР";
- 01.24 сделана запись о сильных ударах, стержни СУЗ (по оперативному журналу) остановились, не дойдя до нижних концевиков; выведен ключ питания муфт.

## **2.3 Характеристики данных об источнике информации**

Ход предварительного и аварийного процессов анализировался с использованием данных регистрации следующих приборных и информационно-вычислительных систем:

### **2.3.1. Штатные самопишущие приборы**

Предназначены для регистрации сравнительно медленно протекающих процессов (скорость лентопротяжки не более 240 мм/ч) и поэтому позволяют достаточно определенно регистрировать значения экстремумов интересующих параметров, но не пригодны для восстановления хода быстропротекающих нестационарных процессов.

### **2.3.2. Система централизованного контроля СКАЛА с подсистемами**

Система обеспечивает расчет основных параметров реакторной установки с периодичностью около 5 мин., что обусловлено мощностью ЭВМ типа В-3М. Естественно, что такая периодичность расчетов также не пригодна для анализа быстропротекающих процессов.

Программа ДРЕГ опрашивает и регистрирует несколько сотен дискретных и аналоговых сигналов. Однако она не фиксирует такие важные параметры реакторной установки, как мощность,

реактивность, поканальные расходы теплоносителя и другие массовые параметры.

Из 211 стержней СУЗ регистрируются положения только 9 стержней, в том числе по одному стержню каждой из трех групп автоматических регуляторов. Эти параметры не являются непосредственно измеряемыми, поэтому цикл их опроса значительно больше (1 мин.). Несмотря на малый цикл регистрации некоторых параметров (1с), интервал опроса может быть довольно неопределенным в связи с тем, что программа ДРЕГ в СЦК СКАЛА является одной из самых низкоприоритетных. Кроме того, в течение последнего часа перед аварией ДРЕГ имел 3 перерыва в работе, связанные с перезапуском СЦК СКАЛА. Это привело к дополнительной потере информации. Другие результаты работы СЦК СКАЛА, включая программу ПРИЗМА и запись состояния реакторной установки на магнитную ленту (РЕСТАРТ), имеют больший цикл (5 мин.), а также перерывы во времени, обусловленные перезапуском системы и особенностями работы программного обеспечения. Кроме того, результаты работы программы ПРИЗМА регистрируются только на распечатках. Данные ДРЕГ по технологическим параметрам приведены.

### 2.3.3. Осцилографирование

Нештатная система осцилографирования быстроменяющихся параметров была смонтирована в соответствии с программой испытаний. Она позволила получить параметры работы отдельного электротехнического оборудования. Недостатком системы явилось отсутствие аппаратурной синхронизации указанных электрических параметров с реакторными параметрами, фиксируемыми СЦК СКАЛА.

### 2.3.4. Другая информация, полученная из эксплуатационных источников

К этой категории информации относятся данные о записях в эксплуатационных журналах и магнитофонные записи телефонных переговоров персонала.

Указанные данные, а также объяснительные записки персонала не дали сколько-нибудь существенной дополнительной информации по сравнению с инструментально зафиксированными данными. Отмечалось, например, что в ряде случаев персонал излагал даже последовательность событий с большими неточностями.

Наиболее важным является указание большинства на то, что на 4 блоке ЧАЭС имело место два взрыва. В журналах имеются также

записи, подтверждающие приведенную выше хронологию событий до и после развития аварии.

## 2.4. Первоначальные версии аварии

Как только стали известны характер разрушений и некоторые подробности аварии, возникло множество версий и сценариев развития событий, с помощью которых делались попытки понять и объяснить случившееся. Среди этих версий и сценариев были и достаточно "фантастические" и весьма правдоподобные. Большая часть из них отпала по мере получения дополнительной информации с аварийного энергоблока или в процессе более детального анализа.

Анализ был построен на выявлении противоречий между ожидаемым эффектом рассматриваемой версии аварии с имеющимися объективными данными, зафиксированными программой ДРЕГ.

## 2.5. Расчетное моделирование аварии

### 2.5.1. Моделирование переходного процесса снижения мощности проведено с помощью одномерной программы, учитывающей йодно-ксеноновую кинетику и обратные связи по температурам графита и топлива и по плотности теплоносителя

На рис. 3 приведен график снижения мощности, которое началось 25 апреля в 1 час 06 мин. На рис.4 приведена зависимость от времени ОЗР и отмечены также известные фактические значения ОЗР.

Видно, что ОЗР вначале снизился из-за 50%-ного снижения мощности до величины, меньшей минимально допустимого значения, равного 15 ст.РР. К 22 час. 25 апреля он вернулся примерно к исходному значению. Затем вскоре началось дальнейшее снижение мощности и ОЗР начал падать, достигнув перед аварией значения не превышающего 6-8 ст.РР. Коэффициент неравномерности аксиального поля ( $K_z$ ) как функция времени также приведен на рис.4. Форма аксиального поля приведена на рис.5. Видно, что перед аварией форма является двугорбой с большим верхним максимумом.

### 2.5.2. Характеристики трехмерных расчетных моделей.

Модель 1. (ИАЭ им. И.В.Курчатова). Нейтронное поле описывается системой двухгрупповых уравнений с расчетной точкой на ячейку в конечноразностной сетке. Нейтронные сечения

рассчитываются по программе WIMS. Имеется возможность настройки исходного состояния на показания датчиков внутриреакторного контроля. Теплогидравлический блок описывает участок контура циркуляции от напорного коллектора до барабана-сепаратора. Модель тестирована по большому числу известных стационарных состояний и переходных процессов на действующих реакторах.

Модель 2.(НИКИЭТ). Нейтронное поле описывается одногрупповым уравнением. Количество узлов разностной сетки в плане реактора варьировалось от 140 до 2000. Константы преобразовывались из двугрупповых, полученных по программе WIMS. Теплогидравлический блок модели 2 описывает часть контура от раздаточно-группового коллектора до сепаратора. Используется одножидкостная гомогенная модель одномерного течения двухфазного теплоносителя с эмпирическими поправками на проскальзывание фаз.

Модель 3 (ВНИИАЭС совместно с ИЯН АН УССР г. Киев). Нейтронное поле описывается одногрупповым уравнением с расчетной точкой на 4 ячейки. Константы преобразовывались из данных, полученных по программе WIMS. Детально описывается теплогидравлическая схема реакторного контура энергоблока с включением двух петель циркуляции теплоносителя. Используются уравнения модели потока со скольжением в одно-температурном варианте. Соотношения для проскальзывания и карта режимов течения использованы из программы TRAC-PIA.

Таким образом, описанные выше модели имеют довольно существенные различия. С другой стороны, наличие трех независимых моделей и возможность сопоставления результатов повышает достоверность основных выводов, получаемых при анализе аварийного процесса на 4-м энергоблоке Чернобыльской АЭС.

### 2.5.3. Результаты расчетов

Первоначально было воспроизведено положение всех регуляторов (рис.6) и "восстановлено" поле энерговыделения на время 1 час 22 мин. 30 сек. 26.04.86г. Радиально-азимутальное распределение показано на рис.7, показания датчиков высотного распределения — на рис.8. В момент времени, соответствующий 1 час 23 мин. 40 сек. 26.04.86г., по сигналу АЗ-5, имитировалось движение в активную зону всех стержней СУЗ.

Расчеты по всем трем моделям показали, что в первую секунду наблюдается некоторое падение реактивности. Далее поле нейтронов перераспределяется со смещением максимума в нижнюю часть активной зоны (рис.9) и начинается рост реактивности и

интегральной мощности реактора. В нерегламентных условиях этот эффект обусловлен конструктивными особенностями регулирующего стержня: при вводе его в активную зону из верхнего положения (рис.10) в нижней части реактора происходит увеличение коэффициента размножения за счет замены поглощающего нейтроны столба воды на графитовый вытеснитель. Изменение реактивности и интегральной мощности реактора, рассчитанное по модели 1, показано на рис.11.

В условиях малого запаса до кипения теплоносителя на входе в реактор непосредственно перед аварией существенно усилилось влияние положительного парового коэффициента реактивности на рост мощности.

Абсолютная величина всплеска интегральной мощности заметно отличается для разных моделей: от 3.5 раз по сравнению с исходной для модели 2 до 80 раз для модели 1 /3/; модель 3 дает промежуточное значение в 9 раз. Для всех моделей характерна высокая степень неравномерности объемного поля, хотя характер деформации радиального поля значительно отличается, что характерно для большого реактора.

Однако не может остаться незамеченным тот факт, что ни одна из трех моделей не воспроизводит такого разгона реактора, когда к третьей секунде от момента срабатывания АЗ-5 появляются сигналы, превышающие аварийные уставки по мощности и по скорости ее нарастания.

Для детального согласования результатов расчетов с экспериментальными данными необходимо дальнейшее уточнение моделей, как в части нейтронной физики, так и в теплогидравлических процессах.

Весьма важное обстоятельство, которое отмечают все группы исследователей, -это чрезвычайно сильная зависимость характеристик переходного процесса от возможной степени погрешности исходного аксиального распределения, величины парового эффекта реактивности, изменения реактивности при замене столба воды графитовым вытеснителем в канале СУЗ и многих других факторов.

Устранение главных недостатков, обусловивших неустойчивость реактора, устраняет и возможность повторения аварии. И на самом деле, расчеты по тем же моделям и для проанализированных исходных состояний реактора РБМК-1000 с его теперическими параметрами показывают, что происходит достаточно быстрое заглушение реактора. В этом смысле можно говорить о том, что все применяемые модели дают эквивалентные результаты.

Вместе с тем результаты анализа первой фазы Чернобыльской аварии нельзя считать вполне завершенными: вероятнее всего,

возможно добиться лучшего согласия между моделями, совершенствуя теплогидравлические блоки моделей, т.к. в последние годы большее внимание уделялось нейтроннофизическим моделям, хотя механизм формирования групповых констант также нуждается в совершенствовании.

Значительно в меньшей степени изучены стадии аварии, связанные с разрушением реактора и помещений энергоблока. Однако для понимания механизма протекания этих процессов дальнейшее изучение второй фазы аварии представляется необходимым, тем более что к настоящему времени накоплен большой объем информации на разрушенном блоке.

Расчеты, независимо проведенные по трем трехмерным динамическим моделям, показали, что во время аварии существенную роль играли пространственные факторы. Для анализа аварии также необходимо привлечение всей совокупности имеющихся данных, в частности, детального воспроизведения предаварийного состояния реактора, начиная с момента снижения мощности за сутки до аварии.

Основными факторами, повлиявшими на ход аварии явились положительный паровой эффект реактивности и недостатки конструкции СУЗ, приведшие к вводу положительной реактивности в условиях, в которых оказался реактор перед аварией. Эти выводы, легли в основу мероприятий по повышению безопасности АЭС с реакторами РБМК.

### **3. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС С РБМК**

Технические и организационные мероприятия по повышению безопасности эксплуатации действующих АЭС с реакторами РБМК были разработаны на основании анализа причин возникновения и развития аварии на 4-ом энергоблоке ЧАЭС.

В первую очередь были разработаны и внедрены на действующих АЭС те из них, которые были направлены на:

- уменьшение положительного парового коэффициента (эффекта) реактивности,
- повышение скоростной эффективности аварийной защиты,
- внедрение программ расчета оперативного запаса реактивности с цифровой индикацией его текущей величины на пульте оператора,
- предотвращение возможности отключения аварийных защит при работе реактора на мощности,

- исключение режимов, приводящих к снижению температурного запаса до кипения теплоносителя на входе в реактор.

Снижение парового эффекта реактивности проводилось в два этапа. На первом этапе его величина снижена до  $+1 \beta$  за счет установки в активную зону дополнительных поглотителей (80-90 шт.) и увеличения оперативного запаса реактивности до 43-48 стержней РР СУЗ. В таблице 1 представлены измеренные величины парового эффекта и быстрого мощностного коэффициента на всех действующих энергоблоках с реакторами РБМК в настоящее время. Расчетные изменения реактивности в зависимости от плотности теплоносителя до внедрения мероприятий по повышению безопасности, после их внедрения, а также то, что было заложено в проекте, представлены на рис.12.

Второй этап снижения парового коэффициента реактивности связывается с полным переводом реакторов на топливо с обогащением 2,4% U-235.

Повышение эффективности и быстродействия аварийной защиты проведено за счет трех самостоятельных направлений ее реконструкции.

Прежде всего были заменены исполнительные механизмы новой конструкцией, исключающей столбы воды в нижней части каналов СУЗ и имеющей большую поглощающую часть (рис.13).

За счет модернизации сервоприводов уменьшено время полного ввода стержней в активную зону с 18 сек. до 12 сек. В результате выполнения первых двух мероприятий на первых секундах движения стержней повышена в несколько раз скоростная эффективность аварийной защиты.

Третьим этапом увеличения эффективности аварийной защиты была разработка и внедрение на всех действующих реакторах быстродействующей аварийной защиты (БАЗ). Разработанная конструкция исполнительного механизма позволяет обеспечить охлаждение стенки трубы канала тонкой пленкой воды и перемещение стержня в газовой среде. В 1987-88 годах проведены полномасштабные испытания системы БАЗ на Игналинской и Ленинградской АЭС. При испытаниях были подтверждены расчетные характеристики системы БАЗ, а именно — 24 стержня БАЗ за время менее 2,5 сек. обеспечивают ввод отрицательно реактивности более  $2 \beta$  (рис.14). В настоящее время все реакторы РБМК оснащены быстродействующей аварийной защитой.

Достигнутое увеличение скоростной эффективности аварийной защиты после модернизации исполнительных механизмов СУЗ и внедрение быстрой аварийной защиты по сравнению с эффективностью, имевшей место на 4-ом блоке ЧАЭС в момент

аварии, представлено на рис.15 в виде кривых изменения реактивности.

Осуществление намеченных мероприятий по улучшению нейтронно-физических характеристик реактора, резкое повышение эффективности аварийной защиты позволило исключить неконтролируемый рост мощности при авариях с потерей теплоносителя и ограничить последствия всех проектных аварий допустимыми уровнями радиационного воздействия на персонал, население и окружающую среду.

Эксплуатационная документация была откорректирована с учетом результатов причин аварии и мероприятий по повышению безопасности АЭС с РБМК.

Известно, что шесть энергоблоков первого поколения с реакторами РБМК не имеют прочно-плотных боксов и специальных сооружений систем локализации радиоактивных выбросов. Поэтому для этих энергоблоков в первую очередь должна быть решена задача по снижению вероятности разрыва крупных трубопроводов до такой степени, когда такие события можно отнести к разряду гипотетических. С этой целью проведены расчетно-экспериментальные исследования возникновения и динамики подрастания трещин в металле, определены размеры критических трещин, которые могут привести к разрушению трубопроводов. На основании этих исследований установлен регламент усиленного контроля металла крупных трубопроводов, определяющий требования к средствам контроля, периодичности проведения, требования к подготовке и квалификации дефектоскопистов и т.д.

За период 1986-90 годов на всех энергоблоках проведен ультразвуковой контроль сварных швов трубопроводов Ду 800 и коллекторов Ду 900 контура циркуляции. По расчетам ВНИИАЭС с учетом результатов выполненного контроля вероятность разрыва таких трубопроводов оценивается величиной  $0,75 \cdot 10^{-6}$  1/реакт. год. Установленная периодичность 100% контроля металла и проведения инспекционных гидро-опрессовок — раз в четыре года. Ведутся работы по созданию автоматизированных систем неразрушающего контроля, которые позволят прежде всего исключить ручной труд дефектоскопистов и уменьшить вероятность связанной с этим возможности пропуска дефектов. Внедрение опытных образцов автоматизированных систем контроля намечено на 1991 год.

Одной из проблем реакторов канального типа, широко обсуждаемой после аварии на ЧАЭС, является вероятность одновременного разрыва множества топливных каналов. Существующая система паросброса из реакторного пространства рассчитана на прием пара



АЭС	№ БЛОКА	Дата измерения	Средняя энерговыработка на ТВС, МВт.сут./касс	Количество АП, шт.	Количество СВ, шт.	Запас реактивности, ст.РР	Количество ТВС-2,4 X, шт.	$\alpha_p$ , $\beta$	$\alpha_w$ , $\beta \cdot 10^{-4}$
ААЭС	1	29.03.91	1114	88	2	47,9	917	0,7	-2,7
	2	6.12.90	1280	80	3	46,5	1305	0,8	-2,8
	3	26.10.90	1230	80	0	47,0	1367	0,8	-2,7
	4	15.03.91	1229	80	12	46,0	1444	0,9	-2,7
КАЭС	1	29.07.90	1011	94	4	45,8	579	1,0	-1,2
	2	15.02.91	1001	99	21	44,5	833	1,0	-1,45
	3	11.08.90	1079	81	9	44,5	789	1,0	-1,25
	4	4.03.91	1164	81	0	50,4	1134	0,9	-1,3
САЭС	1	13.12.90	1121	81	3	50,6	1009	0,5	-2,58
	2	8.05.90	1145	81	0	48,5	1145	0,89	-2,98
ЧАЭС	1	27.02.91	1143	80	13	46,5	774	0,87	-1,85
	2	26.02.91	1101	81	1	48,4	787	0,66	-1,45
	3	17.02.91	1140	81	1	46,5	789	0,68	-1,2
ИАЭС	1	13.10.90	885	52	2	55,0	0	0,8	-1,9
	2	9.02.91	865	54	2	54,1	0	1,0	-1,6

при одновременном разрыве 2-х каналов, при этом вероятность такого события оценивается малой величиной.\*

За время эксплуатации энергоблоков было несколько случаев разрушения каналов. Причем в двух из них, связанных с локальным перекосом мощности и перекрытием расхода теплоносителя, возникших из-за отклонений от регламентных требований, произошло практически полное разрушение каналов и находящихся в них ТВС. Ни в том, ни в другом случае не было ни одного повреждения рядом расположенных труб технологических каналов. Все они находятся в эксплуатации без каких-либо замечаний. В то же время, несмотря на столь низкую вероятность события, на вновь введенном 3-ем энергоблоке Смоленской АЭС реализован проект аварийных паросбросов из реакторного пространства, рассчитанных на прием пара от 9-10 одновременно разрушающихся каналов. Аналогичные мероприятия будут выполняться и на всех действующих энергоблоках при выполнении запланированной реконструкции реакторов этих энергоблоков.

\* По расчетным данным НИКИЭТ эта вероятность оценивается величиной  $10^{-8}$  1/реактор год.

С целью максимального приближения к вновь введенным в настоящее время более жестким требованиям по проектному обеспечению безопасности АЭС в настоящее время разрабатываются проекты реконструкции первого поколения энергоблоков АЭС с реакторами РБМК. В основу проектов положена концепция реконструкции, прошедшая многоэтапное обсуждение и согласование.

Концепцией реконструкции предусматривается:

- создание более мощных систем аварийного расхолаживания,
- полная замена всех систем управления и защиты реактора, с созданием многозонной системы контроля полей энерговыделения и аварийной защиты по сигналам внутриреакторных датчиков,
- обеспечение многоканальности систем безопасности,
- внедрение в полном объеме систем автоматизированного контроля металла,
- увеличение мощности и надежности систем питания собственных нужд,
- повышение сейсмостойкости строительных конструкций и реакторного оборудования,
- увеличение производительности паросбросов из реакторного пространства и ряд других мероприятий.

Одновременно на всех реакторах во время их остановки на реконструкцию предусматривается замена всех топливных каналов. В целом эксплуатация энергоблока с реакторами РБМК характеризуется достаточно хорошими показателями (табл.2).

Установленная мощность АЭС с реакторами РБМК на начало 1991 года составила 45% (16,5 ГВт) от установленной мощности всех АЭС в СССР (36,6 ГВт). В 1990 году на АЭС с РБМК выработано 47,8% (101,0 млрд.кВт.час) от общей энерговыработки АЭС (211,5 млрд. кВт.час) в стране.

## 4. Заключение

За время после аварии проведена большая работа по уточнению параметров состояния 4-го энергоблока ЧАЭС перед аварией, обработке имеющейся фактической информации системы контроля о процессе протекания аварии, анализу состояния энергоблока после аварии и математическому моделированию первой фазы аварии.

На базе выполненных исследований, обсуждения их результатов на различных, в том числе, международных совещаниях, можно сделать следующие основные выводы по аварии на ЧАЭС.

Технико-экономические показатели АЭС с РБМК в 1986-1990 гг.

	Г о д	1986	1987	1988	1989	1990
АЭС		З. МАРА. кВт.ч КИУМ, %	З. МАРА. кВт.ч КИУМ, %	З. МАРА. кВт.ч КИУМ, %	З. МАРА. кВт.ч КИУМ, %	З. МАРА. кВт.ч КИУМ, %
ААЭС	1	6,42 73,3	8,11 92,6	7,17 81,9	4,96 56,7	0 0
	2	7,75 88,4	7,23 82,5	7,38 84,3	6,65 76,0	6,61 75,4
	3	7,53 86,0	6,02 68,7	7,60 86,8	7,56 86,3	8,20 93,7
	4	7,69 87,8	7,32 83,7	6,59 75,2	8,07 92,1	8,45 96,5
КАЭС	1	6,14 70,1	7,02 80,2	7,12 81,1	6,09 69,5	5,53 63,2
	2	6,07 69,3	7,20 82,2	6,45 73,5	6,65 75,9	5,24 59,8
	3	5,26 60,0	5,46 62,3	7,26 82,7	6,44 73,5	7,48 85,4
	4	6,84 78,1	6,17 70,4	7,19 81,8	6,68 76,2	6,05 69,1
ЧАЭС	1	3,55 40,6	6,41 73,1	6,12 69,9	6,57 75,0	5,65 64,5
	2	3,16 36,0	6,78 77,4	6,62 75,6	6,92 79,0	4,81 54,9
	3	2,36 27,0	- -	6,95 79,4	6,767 77,2	6,86 78,3
САЭС	1	3,29 37,5	7,44 85,0	7,21 82,1	7,06 80,6	6,76 77,2
	2	7,20 82,2	6,36 72,7	7,29 83,0	7,17 81,8	7,25 82,8
	3	- -	- -	- -	- -	5,09 58,1
ИАЭС	1	9,88 75,2	6,65 50,	5,34 48,3	8,94 81,6	8,07 73,2
	2	- -	3,53 -	7,55 68,9	7,71 70,4	8,95 81,8

Суммарная годовая энерговыработка, МАРД.кВт.ч:  
 84,8      91,0      103,9      104,2      101,0  
 КИУМ = Коэффициент использования установленной мощности.

1. Авария произошла в результате наложения следующих основных факторов:

Физических характеристик реактора, особенностей конструкции органов регулирования, вывода реактора в нерегламентное состояние.

2. Появление новых современных программ, использование мощных средств вычислительной техники, а также экспериментальное изучение эффекта обезвоживания РБМК, позволили уточнить основные физические параметры реактора, а следовательно и выработать новые требования к системам, повышающим его безопасность.

3. Изменение физических характеристик нагрузкой дополнительных поглотителей, переход на топливо с обогащением 2,4%, внедрение быстрой аварийной защиты, переработка эксплуатационной документации и повышение квалификации персонала, ужесточение требований технологического регламента, как и другие организационно-технические меры, выполняемые в рамках "Сводных Мероприятий", существенно повысили безопасность реакторов РБМК.

Директор ИАЭ им И.В. Курчатова Е.П. Велихов

Генеральный директор ВНИИАЭС А.А. Абагян

Директор НИКИЭТ Е.О. Адамов

Директор ИБРАЭ Л.А. Большов

Главный специалист ГКНТ Э.И. Чукардин

Директор НТЦ ГПАН В.А. Петров

Доклад подготовлен рабочей группой и одобрен комиссией в составе:

А.А. Абагян, Л.М. Воронин, Ю.Н. Филимонцев, А.Е. Крошин, И.М. Кисиль (ВНИИАЭС), Н.Н. Пономарев-Степной, Е.В. Бурлаков, А.К. Калугин, А.В. Краюшкин, В.Г. Асмолов (ИАЭ), Ю.М. Черкашов, Ю.М. Никитин, А.А. Петров, О.М. Новосельский, В.П. Василевский, Л.Н. Подлазов, В.П. Борщев (НИКИЭТ), Л.А. Большов, А.М. Афанасьев (ИБРАЭ), Э.И. Чукардин (ГКНТ), В.А. Петров, Д.М. Петрунин (ГПАН).

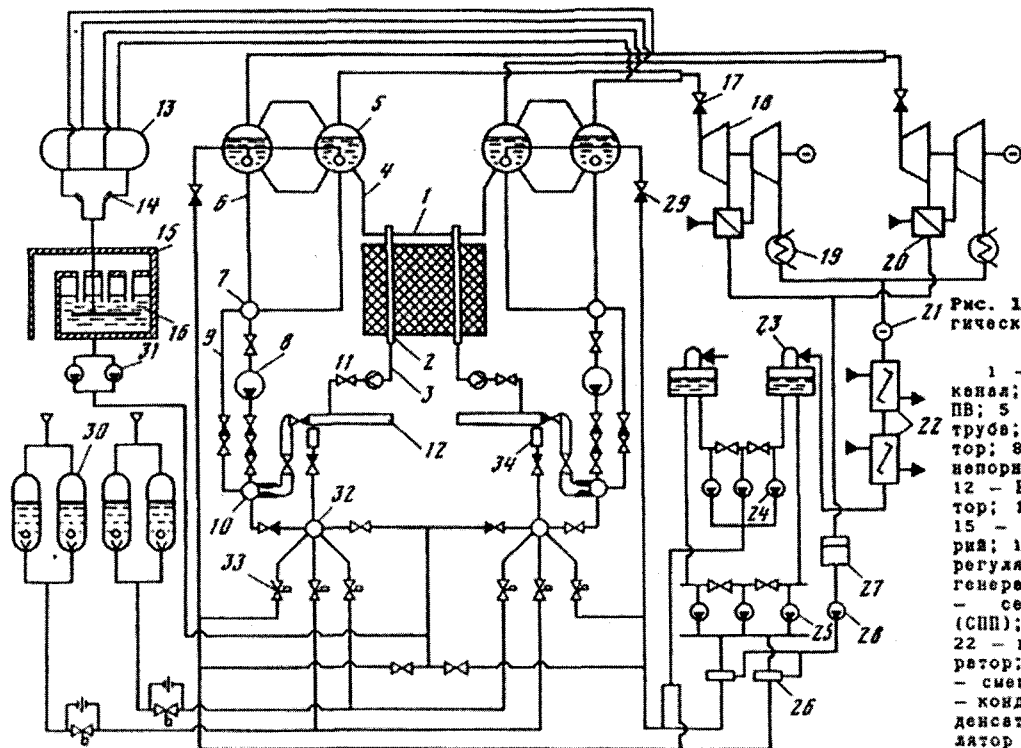


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема АЭС с реактором РВМК:

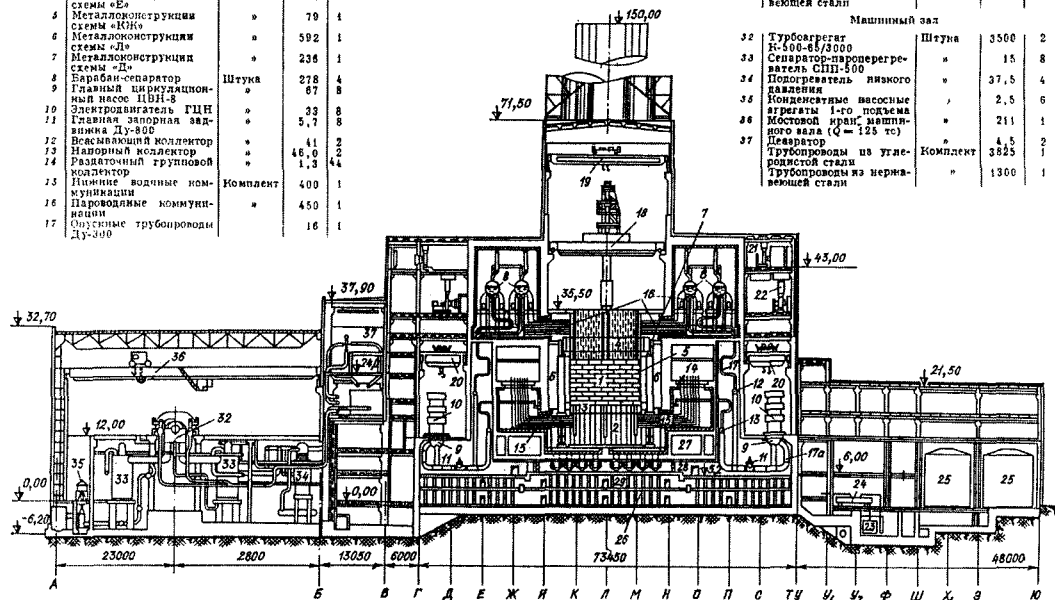
1 — реактор; 2 — топливный канал; 3 — труба ВК; 4 — труба ПВ; 5 — сепаратор; 6 — опускная труба; 7 — всасывающий коллектор; 8 — ГЧН; 9 — байпас; 10 — непорный коллектор; 11 — ЗРК; 12 — РРК; 13 — первичный коллектор; 14 — паросбросный клапан; 15 — система локализации аварии; 16 — запас воды САОР; 17 — регулятор давления; 18 — турбогенератор; 19 — конденсатор; 20 — сепаратор-пароперегреватель (СПП); 21 — конденсатный насос; 22 — подогреватель; 23 — деаэрактор; 24 — АПЭН; 25 — ПЭН; 26 — смешивающий подогреватель; 27 — конденсато-сборник; 28 — конденсатный насос СПП; 29 — регулятор уровня; 30 — гидроэвакуирующий узел САОР; 31 — насос САОР; 32 — коллектор САОР; 33 — быстродействующий клапан САОР; 34 — ограничитель течи

Рис. 2. Разрез по главному корпусу АЭС с РБМК-1000, включая зону локализации Перечень основного оборудования главного корпуса АЭС

Инвентарный номер	Оборудование или название	Единица измерения	Масса, т	Длина, м
Ректорное отделение				
1	Графитовая кладка	Комплект	1850	1
2	Металлоконструкция схемы «С»	"	128	1
3	Металлоконструкция схемы «ОР»	"	280	1
4	Металлоконструкция схемы «Е»	"	450	1
5	Металлоконструкция схемы «Юн»	"	79	1
6	Металлоконструкция схемы «Д»	"	592	1
7	Металлоконструкция схемы «Д»	"	234	1
8	Варран-сепаратор	Штука	278	4
9	Главный циркуляционный насос ЦНП-3	"	87	8
10	Электроподогреватель ГЦН	"	33	8
11	Главная запорная задвижка Ду-800	"	5,7	8
12	Всасывающий коллектор	"	41	2
13	Напорный коллектор	"	46,0	2
14	Раздаточный групповой коллектор	"	1,3	44
15	Нижние водные коммуникации	Комплект	400	1
16	Пароводяные коммуникации	"	450	1
17	Осушенные трубопроводы Ду-300	"	16	1

17а	Трубопроводы Ду-800 контура МПШ	Комплект	350	1
18	Разгрузочно-загрузочная машина	"	450	1
19	Мостовой кран центрального зала (Q = 50/10 тс)	Штука	121	1
20	Мостовой кран помещения ГЦН (Q = 50/10 тс)	"	176	2
21	Приточный вытяжной туннель ВДН на отметке +43,0	"	3,5	30
22	Вытяжной вентилятор на отметке +35,0	"	3,5	50
23	Банк организованных протечек	"	1,4	2
24	Теплообменник организованных протечек	"	0,2	2

25	Баки планово-предупредительных ремонтных работ	Штука	25	4
26	Металлоконструкция и трубопроводы зоны локализации аварий	Комплект	270	1
27	Обратные клапаны помещения нижних водных коммуникаций	"	2,5	11
28	Перископид клапан системы локализации аварий	Штука	2	8
29	Конденсаторы системы локализации аварий	"	3,7	36
30	Вагон-контейнер	"	140	1
31	Кран в помещении УПАК (Q = 30/5 тс)	"	43	1
32	Трубопроводы из углеродистой стали	Комплект	1170	1
33	Трубопроводы из нержавеющей стали	"	760	1



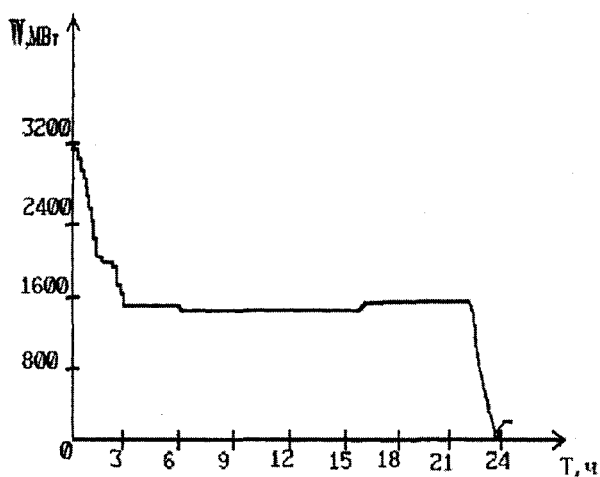


РИС. 3  
ИЗМЕНЕНИЕ МОЩНОСТИ ВО ВРЕМЕНИ.

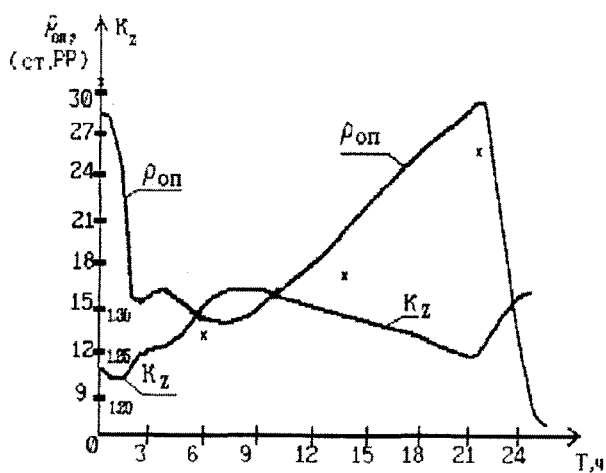
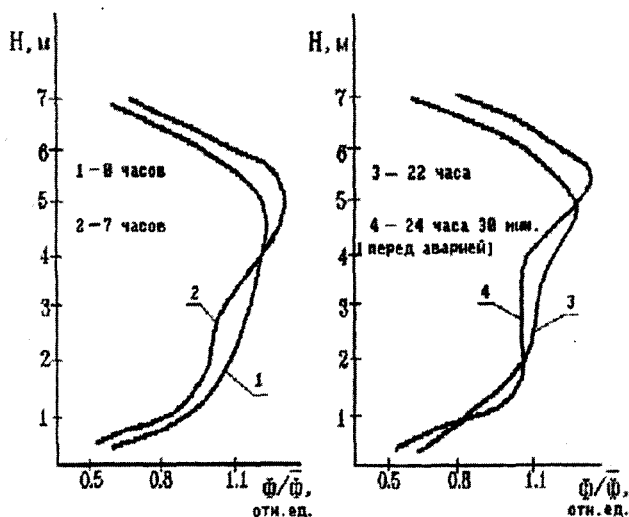


РИС. 4  
ИЗМЕНЕНИЕ ОПЕРАТИВНОГО ЗАПАСА РЕАКТИВНОСТИ  $\rho_{оп}$  И  
КОЭФФИЦИЕНТА НЕРАВНОМЕРНОСТИ  $K_z$  В ПЕРЕХОДНОМ РЕЖИМЕ.



АКСИАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА  
ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ МОМЕНТОВ  
ВРЕМЕНИ В ТЕЧЕНИИ КСЕНОНОВОГО ПЕРЕХОДНОГО  
ПРОЦЕССА, ПРЕДШЕСТВОВАВШЕГО АВАРИИ.

**РѢС. 6**

ГЛУБИНЫ ПОГРУЖЕНИЯ СТЕРЖНЕЙ СУЗ В СМ.



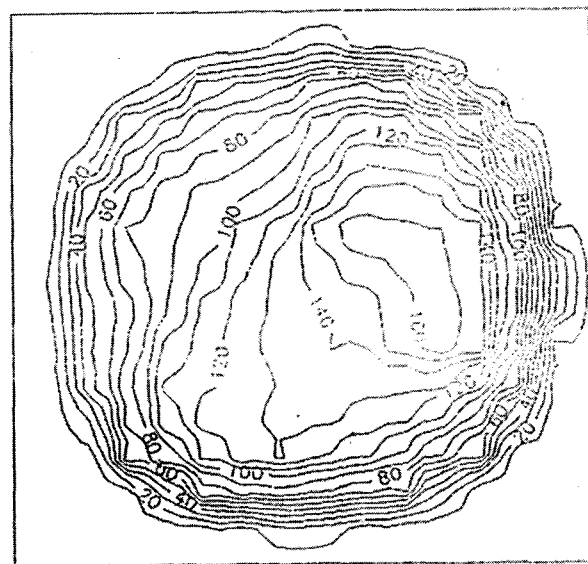
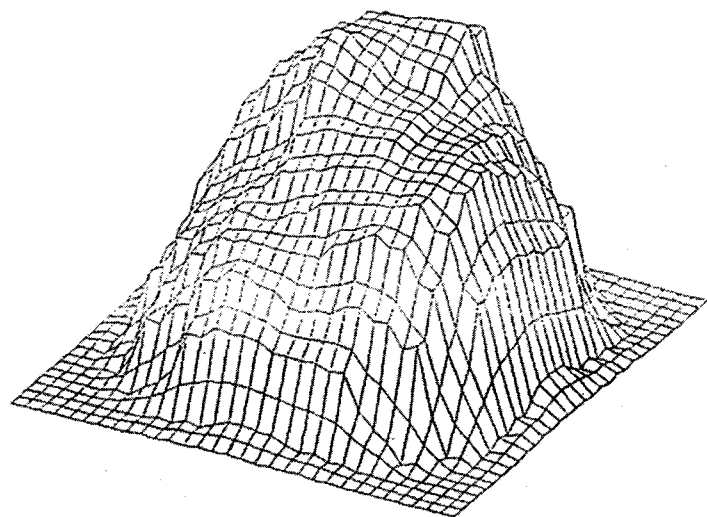


РИС. 7

РАДИАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИСХОДНОГО НЕЙТРОННОГО ПОЛЯ.

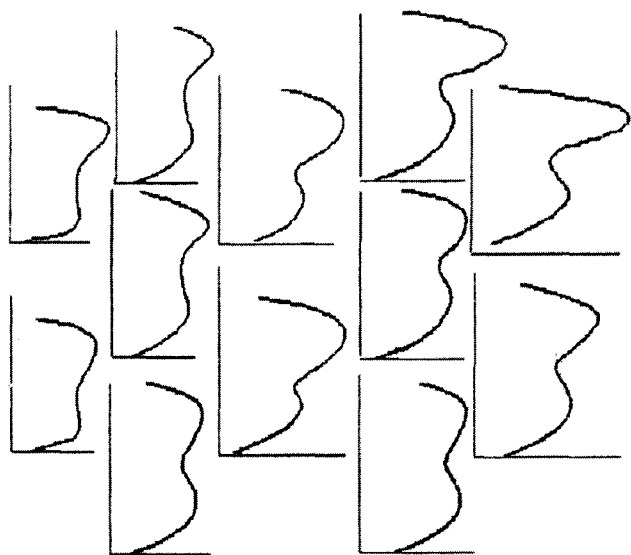


РИС. 8  
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОФИЛЕЙ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ ПО ОБЪЕМУ  
АКТИВНОЙ ЗОНЫ. ЗАРЕГИСТРИРОВАННОЕ ВЫСОТНЫМИ  
ДАТЧИКАМИ.

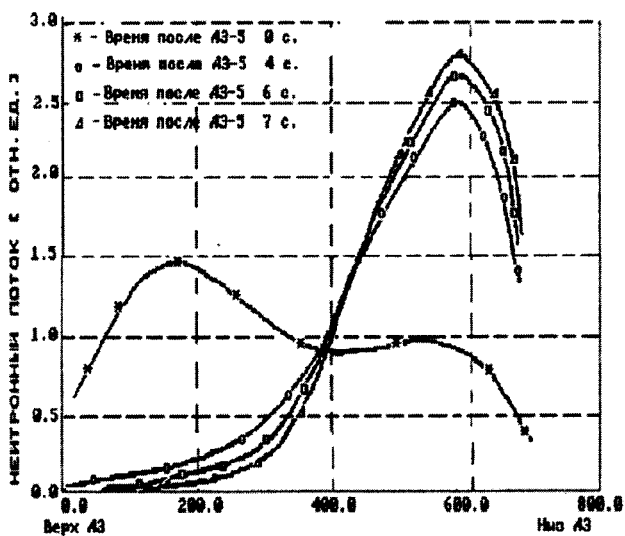
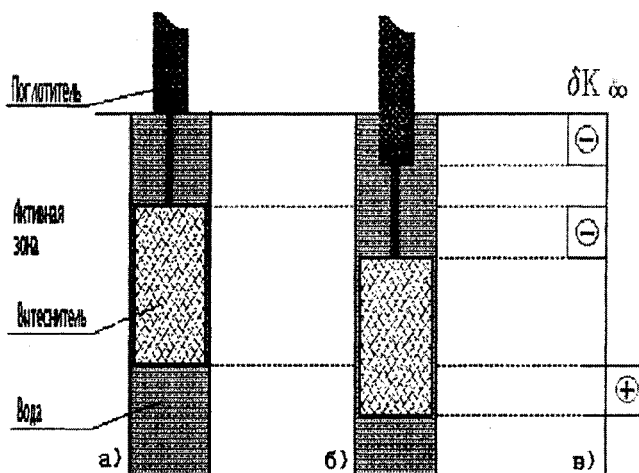


РИС. 9  
ИСКАЖЕНИЕ АКСИАЛЬНЫХ НЕЙТРОННЫХ ПОЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ  
ВВОДА СТЕРЖЕНЬ НА МОМЕНТ АВАРИИ РЕАКТОРА 4-ГО  
БЛОКА ЧАЭС. ВИДНО СМЕЩЕНИЕ НЕЙТРОННОГО ПОТОКА  
(МАКСИМУМА) В НИЖНЮЮ ЧАСТЬ АКТИВНОЙ ЗОНЫ.



- а) стержень РР извлечен  
 б) стержень РР на начальном участке погружения  
 в) схематическое изображение изменения  $\delta K_{\infty}$  в результате введения стержня

РИС.10

СХЕМАТИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ РЕАКТИВНОСТИ, ВВОДИМОЙ СТЕРЖНЯМИ СУЗ ПРИ ДВИЖЕНИИ ИЗ ВЕРХНЕГО ПОЛОЖЕНИЯ.

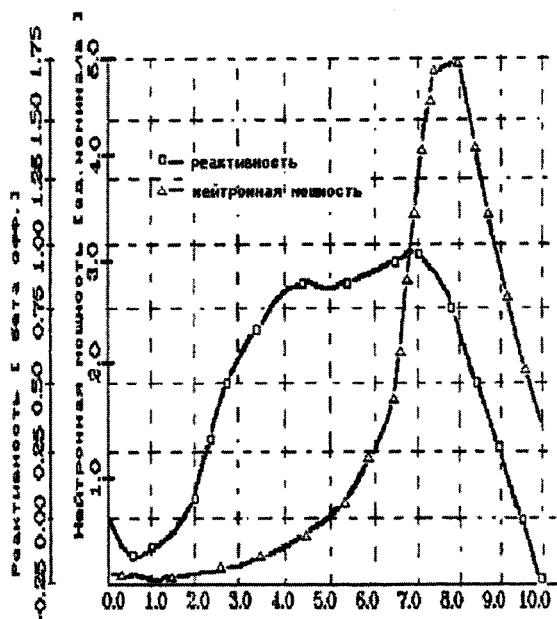
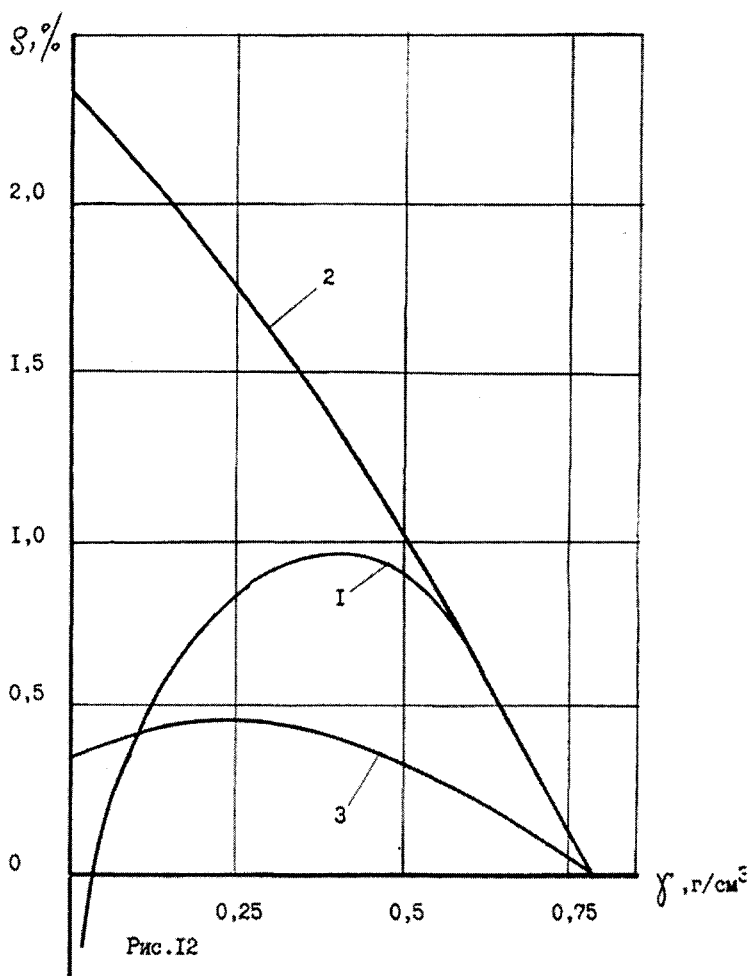


РИС. II

ЗАВИСИМОСТЬ РЕАКТИВНОСТИ И НЕЙТРОННОЙ МОЩНОСТИ ОТ ВРЕМЕНИ НА НАЧАЛЬНОЙ ФАЗЕ РАЗВИТИЯ АВАРИИ.



Зависимость реактивности  $\beta$  от плотности теплоносителя  $\gamma$ .

1 - проектные расчеты

2 - действительная зависимость в момент аварии 26.04.86.

3 - современное состояние после внедрения Мероприятий

# СТЕРЖНИ РУЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ В РЕАКТОРЕ ТИПА РБМК

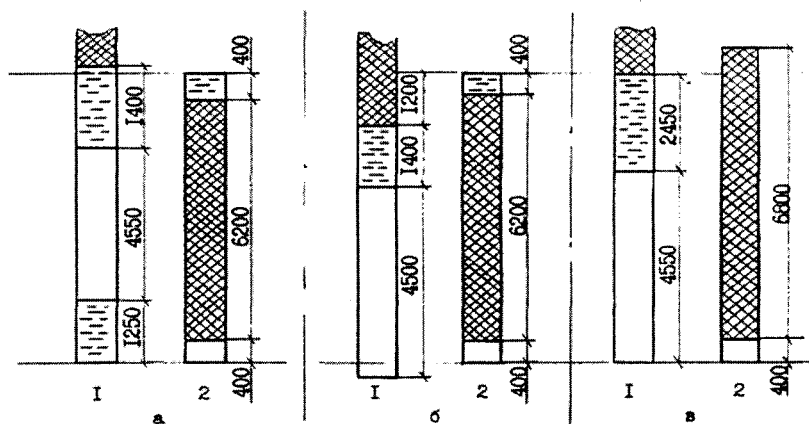





Рис.13

а - Стержень старой конструкции

б - Стержень старой конструкции смещенный в активную зону для исключения возможности ввода положительной реактивности

в - Модернизированный стержень

-  - поглощающий элемент
-  - графитовый вытеснитель
-  - охлаждающая вода

I - стержень выведен

2 - стержень введен

ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМЫ БАЗ НА ЛЕНИНГРАДСКОЙ И ИГНАЛИНСКОЙ АЭС

$$\# N_p = 40\% N_{\text{ном}}$$

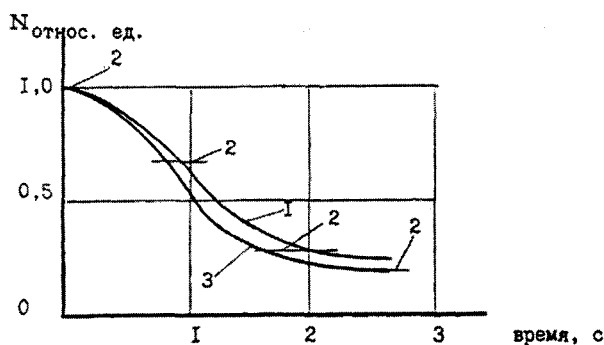
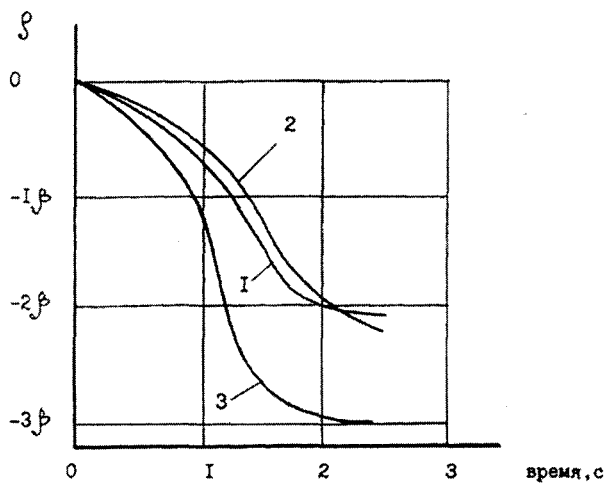


Рис. 14

1 - теория

2 - эксперимент на ЛАЭС

3 - эксперимент на ИАЭС

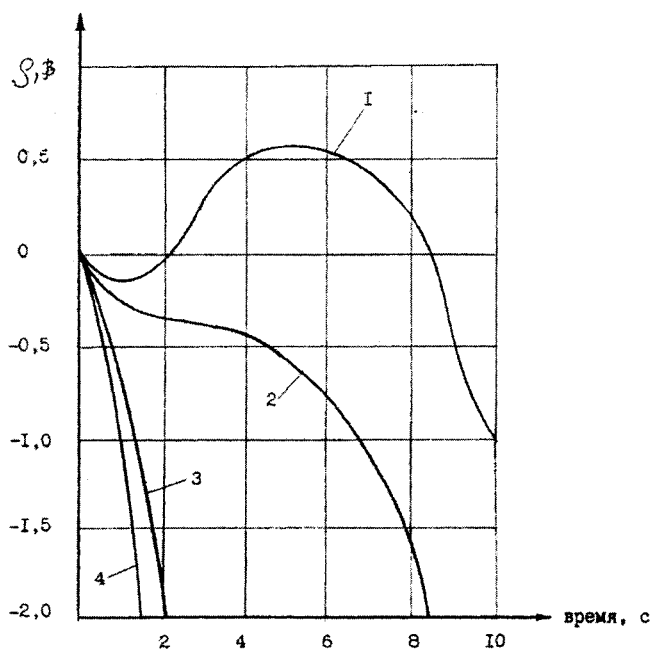


Рис. 15

Эффективность аварийной защиты.

1 - ЧАЭС 26.04.86, запас реактивности, ЗР=7РР

2 - Запас реактивности регламентный, ЗР=15РР

3 - Модернизированный СУЗ, ЗР=30РР

4 - Модернизированный СУЗ, БАЗ в работе

## Объяснительная записка

Директору ВНИИАЭС  
т. Абагяну А.А.

**Уважаемый Армен Артоваздович!**

Я прошу снять мою подпись под докладом о причинах и обстоятельствах аварии на ЧАЭС. Достаточно будет упоминания о том, что Петров В.А. и Петрунин Д.М. работали в редакционной группе.

В результате работы в этой группе в докладе практически не встречается утверждений, которые были бы принципиально неприемлемы для НТЦ. Вместе с тем направленность доклада, его логика, объем затронутых проблем не соответствуют моему пониманию темы, заданной заголовком.

Отсутствует анализ концептуального соответствия реакторных установок с РБМК основным принципам безопасности АС (ИН-САГ-3), недостаточно проакцентированы конкретные недостатки конструкции и характеристик реактора, не оценены действия персонала. Исправить это одним только редактированием не представляется возможным.

Характер доклада сильно отличается от подписанного мной докладом Комиссии Госатомнадзора на ту же тему.

О моей позиции по данному вопросу я доложил т. Беляеву А.И. С наилучшими пожеланиями ВАМ и членам редгруппы.

В. Петров  
21.05.91



Государственный Комитет СССР по надзору  
за безопасным ведением работ в промышленности  
и атомной энергетике

**О ПРИЧИНАХ И ОБСТОЯТЕЛЬСТВАХ АВАРИИ НА 4 БЛОКЕ  
ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС 26 АПРЕЛЯ 1986 г.**

**Доклад Комиссии Госпроматомнадзора СССР**

1991г.

Ключевые слова: Чернобыльская авария, безопасность, реактивность, правила Обеспечения безопасности, аварийная защита, СУЗ.

В докладе, представленном Комиссией по поручению Госпрома-томнадзора СССР, на основе анализа результатов отечественных и зарубежных исследований, проектных данных и нормативно-технической документации делается вывод о том, что начавшаяся из-за действия оперативного персонала Чернобыльская авария приобрела неадекватные им катастрофические масштабы вследствие неудовлетворительной конструкции реактора.

Комиссия считает необходимым продолжить работы по изучению причин и обстоятельств аварии с неременной разработкой соответствующих мер по повышению безопасности атомных станций.

Комиссия, назначенная приказом Госпроатомнадзора СССР 27 февраля 1990г. № 11.

Председатель	Н.А. Штейнберг
Заместитель Председателя	В.А. Петров
Члены Комиссии	М.И. Мирошниченко Ю.Э. Багдасаров А.Г. Кузнецов А.Д. Журавлев

Комиссия благодарит за активное участие в работе над докладом Н.М. Афанасьева, А.М. Букринского, Ю.А. Каменева, В.А. Канайкина, Н.В. Карпана, В.В. Ломакина, В.А. Орлова, В.М. Тарасенко, а также многих других специалистов, оказавших большую помощь при обсуждении затронутых в докладе проблем. Комиссия благодарит А.С. Лазареву за большую работу по оформлению доклада.

## СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ .....	336
1. ВВЕДЕНИЕ .....	338
2. КРАТКАЯ СПРАВКА О ПРОЕКТИРОВАНИИ БЛОКА №4 ЧАЭС .....	341
3. О НЕКОТОРЫХ НЕСООТВЕТСТВИЯХ ПРОЕКТА БЛОКА №4 ЧАЭС ТРЕБОВАНИЯМ ПРАВИЛ И НОРМ ПО БЕЗОПАСНОСТИ .....	343
4. ПРИЧИНЫ И ОБСТОЯТЕЛЬСТВА АВАРИИ .....	363
4.1. Общая характеристика программы испытаний, при выполнении которой произошла авария	
4.2. Хронология технологического процесса 25-26.04.86	
4.3. Данные о регистрируемой информации, использованной .....	
Комиссией	
4.4. О математическом моделировании предаварийного и аварийного процесса	
4.5. Версии и предполагаемые причины аварии	
4.6. Версия Комиссии о причинах аварии	
4.7. О действиях персонала ЧАЭС	
4.8. Об оперативном запасе реактивности	
4.9. Причины аварии	
5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	400
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	406

## ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

АЗ	— аварийная защита
АЗМ	— аварийная защита по мощности
АЗС	— аварийная защита по скорости нарастания мощности
АЗСР	— аварийная защита по скорости нарастании мощности в рабочем диапазоне ( $N > 5\% N_{ном.}$ )
АЗ-5	— аварийная защита реактора РБМК наибольшей интенсивности наивысшего ранга, осуществлявшая снижение мощности до нуля или до момента исчезновения аварийного сигнала
АР	— автоматический регулятор мощности реактора
АЭС	— атомная электростанция
$\beta_{эфф}$	— эффективная доля запаздывающих нейтронов
БАЗ	— быстродействующая аварийная защита
ББ	— бассейн-барботер
БИК	— боковая ионизационная камера
БРУ	— быстродействующее редуцирующее устройство
БРУ-К	— быстродействующее редуцирующее устройство сброса пара в конденсатор турбины
БС	— барабан-сепаратор
БЩУ	— блочный щит управления
ВВЭР	— водо-водяной энергетический реактор
ВК	— верхний концевой выключатель
ВНИИАЭС	— Всесоюзный научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций
ГИС	— главный инженер станции
ГЦН	— главный циркуляционный насос
ДРЕГ	— программа диагностической регистрации
ДРК	— дроссельно-регулирующий клапан
ДП	— дополнительный поглотитель
ЗГИС	— заместитель главного инженера станции
ИАЭ	— Институт атомной энергии им. И.В. Курчатова
ИК	— ионизационная камера
КАЭС	— Курская АЭС
ИЯИ АН СССР	— Киевский институт ядерных исследований АН УССР
КМПЦ	— контур многократной принудительной циркуляции
ЛАР	— локальный автоматический регулятор мощности реактора
ЛАЭС	— Ленинградская АЭС

МВНТС	— межведомственный научно-технический совет
МКУ	— минимально контролируемый уровень мощности
МПА	— максимальная проектная авария
НИКИЭТ	— научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники
НК	— нижний концевой выключатель
НСБ	— начальник смены блока
НСС	— начальник смены станции
НСЭЦ	— начальник смены электроцеха
НТД	— нормативно-техническая документация
НТС	— научно-технический совет
ОЗР	— оперативный запас реактивности
ОКБМ	— опытное конструкторское бюро машиностроения
ОПБ	— общие положения обеспечения безопасности атомных электростанций при проектировании, строительстве и эксплуатации
ПБЯ	— правила ядерной безопасности атомных электростанций
ПК-АЗ	— режим действия группы стержней перекompенсации
ППР	— планово-предупредительный ремонт
ПРИЗМА	— станционная программа оперативного физического расчета
ПН	— питательный электронасос
РБМК	— реактор большой мощности канальный
РП	— реакторное пространство
РР	— ручное регулирование
РУ	— реакторная установка
САОР	— система аварийного охлаждения реактора
САЭС	— Смоленская АЭС
СИУР	— старший инженер управления реактором
СИУТ	— старший инженер управления турбинами
СК	— стопорный клапан
СРК	— стопорно-регулирующий клапан
СУЗ	— система управления и защиты реактора
СФКРЭ	— система физического контроля распределения энерговыделения
СЦК	— система централизованного контроля
ТВС	— тепловыделяющая сборка
ТВЭЛ	— тепловыделяющий элемент
ТГ	— турбогенератор
ТК	— технологический канал
ТО Б	— техническое обоснование безопасности
ТР	— технологический регламент
УСП	— укороченный стержень поглотитель
ЧАЭС	— Чернобыльская АЭС
ЯППУ	— ядерная перепроизводящая установка

## 1. ВВЕДЕНИЕ

При проведении испытаний по проверке проектного режима автономного энергоснабжения при потере внешних источников электропитания на 4 блоке Чернобыльской АЭС 26 апреля 1986 г. произошла ядерная авария с катастрофическими последствиями.

Проблема преодоления последствий этой ядерной катастрофы к настоящему времени в сознании общественности оттеснила на второй план проблему выяснения причин и обстоятельств возникновения аварии и извлечения уроков на будущее. Однако в среде специалистов эти вопросы не считаются окончательно решенными, свидетельством чему является продолжающиеся расчетные исследования, а также проведение обсуждений этой проблемы на различных, в том числе международных, семинарах, научно-технических советах и т.д.

К сожалению до настоящего времени ни одной из научных организаций в СССР не опубликована достаточно обоснованная цельная версия, доказательно объясняющая зарождение и развитие аварийного процесса. Без этого продолжает иметь место настроенное отношение общественности ко всем реакторам чернобыльского типа, и заверения о невозможности подобных аварий в будущем мало чем отличаются от заверений в высокой безопасности реакторов типа РБМК-1000 в недалеком прошлом.

Комиссия, созданная Государственным комитетом СССР по надзору за безопасным ведением работ в промышленности и атомной энергетике (Госпроматомнадзор СССР) предпринимает попытку проанализировать и обобщить имеющиеся к настоящему времени материалы и доклады, относящиеся к аварии. Официальная версия, которая была признана Правительственной комиссией и положена в основу доклада (информации), представленного от СССР для совещания экспертов МАГАТЭ, 25-29 августа 1986 г. в г.Вене [29] говорит о том, что первопричиной аварии явилось крайне маловероятное сочетание нарушений порядка и режима эксплуатации, допущенных персоналом энергоблока. Спустя год, в МАГАТЭ на международную конференцию по показателям и безопасности ядерной энергетике (г.Вена, 28 сентября - 2 октября 1987 г.) от СССР был представлен доклад "Авария на Чернобыльской АЭС: год спустя" [30], в котором также подтверждена указанная версия. Однако, при анализе указанных докладов и их сопоставлении

возникает ряд вопросов, вызывающих сомнения относительно достоверности этой версии.

В отчете ИАЭ [28], утвержденном уже после представления доклада [29] в МАГАТЭ указывается, что "первопричиной аварии явилось крайне маловероятное сочетание нарушений порядка и режима эксплуатации, допущенных персоналом энергоблока, ПРИ КОТОРЫХ ПРОЯВИЛИСЬ НЕДОСТАТКИ В КОНСТРУКЦИИ РЕАКТОРА И СТЕРЖНЕЙ СУЗ" (выделенные слова в официальной версии отсутствуют). Более того, как говорится в этом же отчете, "... ДОСТАТОЧНО ОЧЕВИДНО, ЧТО ЕДИНСТВЕННОЙ ВЕРСИЕЙ, КОТОРАЯ НЕ ПРОТИВОРЕЧИТ ИМЕЮЩИМСЯ ДАННЫМ, ЯВЛЯЕТСЯ ВЕРСИЯ, СВЯЗАННАЯ С ЭФФЕКТОМ ВЫТЕСНИТЕЛЕЙ СТЕРЖНЕЙ СУЗ". Наличия указанных противоречий ДОСТАТОЧНО для того, чтобы продолжить анализ причин и обстоятельств аварии с целью установления истины и разработки обоснованных мер для исключения аналогичных аварий в будущем.

Следуя статусу надзорно-регулирующего органа, члены Комиссии уделили внимание рассмотрению и оценке соответствия проекта реактора и действий эксплуатационного персонала требованиям действовавшей в период проектирования и эксплуатации 4-го блока ЧАЭС нормативно-технической и эксплуатационной документации и пытались понять, почему действия персонала вызвали катастрофу, тем более, что выполнялись они не одним лицом, а коллективом смены.

В трудах психологической Отраслевой научно-исследовательской лаборатории "Прогноз" Минатомэнергопрома СССР [66,67,68] получены результаты анализа личностных и социально-психологических характеристик персонала ЧАЭС до и после аварии, которые показали, что личностные данные оперативного персонала ЧАЭС не имели таких отличий от данных персонала других станций, которые могли бы быть прямой причиной аварии. И в целом коллектив ЧАЭС в 1986 г. характеризуется как достаточно ординарный, зрелый, сформировавшийся, состоящий из квалифицированных специалистов — на уровне, признанном в стране удовлетворительным. Коллектив был не лучше, но и не хуже коллективов других АЭС.

Эти выводы говорят о том, что нарушения и ошибки допущены персоналом не потому, что персонал ЧАЭС имел из ряда вон "выдающиеся" характеристики, и поэтому существует НЕОБХОДИМОСТЬ продолжить анализ причин и обстоятельств аварии, чтобы установить действительно ли авария произошла из-за "маловероятного сочетания нарушений порядка и режима эксплуатации", или причинами аварии стала совокупность недостатков конструкции реактора, допущенных его разработчиками, и неправильных действий персонала.

В соответствии со сложившейся мировой и национальной практикой, конструирование и проектирование объектов атомной энергетики и их элементов должно осуществляться в строгом соответствии с требованиями специальных норм и правил. В указанных выше докладах не приводятся сведений о выполнении экспертизы конструкции РБМК и проекта блока N 4 ЧАЭС на соответствие их требованиям норм и правил. В процессе ознакомления с материалами и документами Комиссия установила, что об отступлениях, допущенных в проекте реактора РБМК-1000 от требований норм и правил по безопасности в атомной энергетике и конструктивных недоработках проекта, было известно уже в конце мая - начале июня 1986 года. Такие сведения содержатся в различных справках и отчетах, представленных в Правительственную комиссию. Однако вскрытые дефекты конструкции реактора и его неудовлетворительные физические характеристики не стали достоянием широкого круга специалистов и общественности страны. Отсутствуют они и в материалах, представленных в МАГАТЭ. Значительно раньше, еще 28.12.84 г. решением Межведомственного научно-технического совета по атомной энергетике (МВНТС) утверждены предложения экспертных комиссий NN 4 и 5, созданных МВНТС для разработки мероприятий по частичному приведению действующих энергоблоков РБМК-1000 в соответствие с требованиями нормативных документов по безопасности. Однако, экспертные комиссии МВНТС, к сожалению, не обратили внимание на некоторые особенности реактора РБМК-1000, которые оказались существенными для возникновения и развития аварии 26.04.86 г.

В настоящем докладе рассмотрены только те конструктивные и проектные решения, которые в той или иной мере могли стать причиной аварии, проявились в ее развитии или сказались на ее последствиях. Комиссия посчитала необходимым обратить внимание на то, как недостатки конструкции (проекта) отразились на качестве эксплуатационной документации, которой руководствовался персонал блока при ведении технологического режима. Уделено внимание рассмотрению состава мероприятий и требований, которые были осуществлены на всех АЭС с реакторами РБМК-1000 немедленно после аварии или в последствии, по мере технической готовности более сложных усовершенствований, рассматривая их как объективный указатель имевших место недостатков конструкции реактора. Комиссия обратила внимание на то, что направленность и сущность этих мероприятий не адекватны официальной версии о том, что причины аварии кроются только в ошибках персонала.



## 2. КРАТКАЯ СПРАВКА О ПРОЕКТИРОВАНИИ БЛОКА №4 ЧАЭС

Постановлением Совета Министров СССР от 29.09.66 г. был принят план ввода энергетических мощностей на атомных электростанциях в 1966-1977 гг. в размере 11,9 млн. кВт, в том числе на АЭС с реакторами РБМК-1000 — 8 млн. кВт. Данным постановлением было принято предложение Госплана СССР, Минсредмаша СССР и Минэнерго СССР о строительстве Ленинградской атомной станции, головной в серии станций с реакторами РБМК-1000, силами Минсредмаша СССР с передачей станции после завершения строительства в эксплуатацию Минэнерго СССР. Этим же постановлением на Минсредмаш СССР было возложено научно-техническое руководство разработками реакторных энергетических установок и выполнение научно-исследовательских и проектно-изыскательских работ; обеспечение заводов - изготовителей рабочими чертежами; ответственность за принятые конструктивные решения; научно-техническое руководство пусками реакторных установок и доведение их параметров до проектных; изготовление и поставка на АЭС топлива и его последующая переработка, а на Минэнерго СССР - проектирование АЭС в целом, строительство и эксплуатация атомных станций.

Выбор пункта строительства Чернобыльской АЭС осуществлялся на основании разработанного Киевским отделением Теплоэлектропроекта и Киевским ОКИ Энергосетьпроекта технико-экономического обоснования "Выбор пункта строительства Центрально-Украинской АЭС", в котором было предложено два пункта строительства: с. Ладыжино Винницкой области и с. Копачи Киевской области.

Совет Министров УССР распоряжением от 04.03.66 г. принял решение о размещении в с. Ладыжино ГРЭС на органическом топливе. Минэнерго СССР 15.03.66 г. утвердил размещение Центрально-Украинской АЭС у с. Копачи. 18.01.67 г. Коллегия Госплана УССР согласилась с размещением АЭС около с. Копачи Киевской области и дала будущей станции название Чернобыльской. Постановление ЦК КПСС и СМ СССР от 02.02.67 г. подтвердило решение Госплана УССР.

Разработка проектного задания на строительство Чернобыльской АЭС мощностью 2000 МВт была поручена Уральскому отделению института "Теплоэлектропроект". Задание на проектирование утверждено Минэнерго СССР 29 сентября 1967 г. Проектное задание было разработано в трех вариантах:

- с применением реактора РБМК-1000;
- с применением газового реактора РК-1000;
- с применением реактора ВВЭР-1000.

Согласно проектному заданию технико-экономические показатели первого варианта были наихудшими, но состояние разработки и готовности поставок оборудования более удовлетворительными.

Совместным решением Минэнерго СССР и Минсредмаша СССР от 21.09.68 г. проектное задание утверждено с применением газорафитового реактора, но затем, в связи с большей готовностью оборудования совместным решением этих министерств от 19.06.69 г. переутверждено на АЭС с реактором РБМК-1000. Переработанное проектное задание утверждено Советом Министров СССР 14.12.70 г. В соответствии с приказом Минэнерго СССР от 30.03.70 г. дальнейшее проектирование Чернобыльской АЭС было передано институту "Гидропроект". Разработку проекта реакторного отделения 1 очереди ЧАЭС, включая рабочее проектирование, согласно постановлению СМ СССР от 29.06.66 г., выполнил институт ВНИПИЭТ Минсредмаша СССР в качестве субподрядчика у Генерального проектировщика - института "Гидропроект".

Технико-экономическое обоснование расширения Чернобыльской АЭС до 4000 МВт утверждено решением НТС Минэнерго СССР от 30.03.72 г. Совместное решение Минэнерго СССР и Минсредмаша СССР о проектировании и строительстве Смоленской АЭС и второй очереди Чернобыльской АЭС было принято 04.01.74 г. Согласно этому решению, проектирование было поручено вести параллельно двум институтам — "Гидропроект" и ВНИПИЭТ. Технический проект второй очереди Чернобыльской АЭС разрабатывался институтом "Гидропроект", рассмотрен в Госстрое СССР и Госплане СССР и совместным письмом от 30.09.75 г. направлен в СМ СССР, который и утвердил технический проект своим постановлением от 01.12.75 г. N 2638Р.

Технический проект реакторной установки РБМК-1000 разрабатывался для головного блока Ленинградской АЭС в институте НИКИЭТ по заданию Минсредмаша СССР и в октябре 1967 г. утвержден на НТС Минсредмаша СССР [7]. Ни для одного из последующих блоков технический проект РБМК не разрабатывался вновь и не пересматривался.

### **3. О НЕКОТОРЫХ НЕСООТВЕТСТВИЯХ ПРОЕКТА БЛОКА № 4 ЧАЭС ТРЕБОВАНИЯМ ПРАВИЛ И НОРМ ПО БЕЗОПАСНОСТИ**

В данном разделе приводятся сведения о несоответствии проекта блока N 4 ЧАЭС некоторым требованиям действовавших на момент проектирования и сооружения "Правил ядерной безопасности атомных электростанций" [35] и "Общих положений обеспечения безопасности атомных электростанций при проектировании, строительстве и эксплуатации" [36]. В статье 1.1.4. ОПБ-73 есть запись о том, что "объем требований "Общих положений", распространяемых на вновь проектируемые АЭС с реакторами РБМК-1000 и ВВЭР-440, устанавливается для каждой конкретной электростанции или группы электростанций специальным решением организаций, утвердивших (согласовавших) "Общие положения". Согласно решению от 02.07.75 г. "по вопросу обеспечения безопасности при проектировании вторых очередей Курской и Чернобыльской АЭС", разработчики должны были руководствоваться действовавшей в то время нормативно-технической документацией, т.е. выполнить требования ОПБ-73 и ПБЯ-04-74. Комиссия приводит только те отступления от вышеупомянутых документов, которые оказались существенными для возникновения и развития аварии 26.04.86 г. Для удобства представления результатов анализа приводится содержание статьи правил, отступления от требований которых обсуждаются, а затем излагается существо допущенных отступлений.

**3.1. Статья 3.1.6. ПБЯ-04-74 гласит: "В ТЕХНИЧЕСКОМ ПРОЕКТЕ АЭС ПРОЕКТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДОЛЖНЫ ВХОДИТЬ ОТДЕЛЬНЫМ РАЗДЕЛОМ В ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ СООРУЖЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ. ПРИМЕЧАНИЕ: В ЭТОМ ЖЕ РАЗДЕЛЕ УКАЗЫВАЮТСЯ ВСЕ ОТСТУПЛЕНИЯ ОТ ТРЕБОВАНИЙ "ПРАВИЛ". ОТСТУПЛЕНИЯ ДОЛЖНЫ БЫТЬ СОГЛАСОВАНЫ С ГОСАТОМНАДЗОРОМ СССР НА СТАДИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ".**

Технический проект 2 очереди Чернобыльской АХ в составе блоков NN 3 и 4, разработанный Генеральным проектировщиком - институтом "Гидропроект" в 1974 г. [2] содержал раздел "Техническое обоснование безопасности ЧАЭС", согласованный Научным руководителем (ИАЭ им. И.В.Курчатова) и Главным конструктором (НИКИЭТ). Техническое обоснование безопасности

АЭС [3] было составлено с учетом "Технического обоснования безопасности реакторной установки" [4], разработанного НИКИЭТ, и технического решения Главатомэнерго Минэнерго СССР [5].

Во всех указанных выше проектных материалах отсутствовал перечень отступлений проектов АЭС и реакторной установки 2 очереди ЧАЭС от требования "Правил..." и не было проведено обоснование допустимости этих отступлений и согласование их с Госатомнадзором. Можно отметить, что "в конструкции РБМК было по меньшей мере два слабых места: положительный паровой эффект и аварийная защита, которая при нарушении эксплуатационных инструкций глушила реактор недостаточно быстро, а в ряде случаев могла даже кратковременно повысить его мощность" [75]. Оба этих "слабых места" явились результатом допущенных отступлений от требований норм и правил по безопасности и рассмотрены ниже. Поскольку формально отступлений не существовало, то не были разработаны технические и организационные меры по компенсации отступлений от требований "Правил..."

Техническое обоснование безопасности АЭС [3] согласовано с Управлением по надзору в атомной энергетике Госгортехнадзора СССР (письмо от 05.03.75 г. N 24-11/73), Госатомнадзором СССР (письмо от 18.05.75 N Н18 дсп) Государственным санитарным надзором СССР (письмо от 20.01.75 г. N 32-57 дсп).

#### **ПРИМЕЧАНИЕ:**

*До 1984 г. Госатомнадзор СССР являлся одним из структурных подразделений Министерства среднего машиностроения СССР.*

*Комиссия считает, что требования ст.3.1.6. ПБЯ-04-74 разработчиками проекта ЧАЭС и реакторной установки не выполнены, и отмечает, что поскольку техническое обоснование безопасности не содержало перечня отступлений от норм и правил и мер по компенсации этих отступлений, то и эксплуатационная документация, которой руководствовался в своих действиях персонал, не могла быть адекватной фактическим характеристикам реактора.*

**3.2. Статья 3.2.2. ПБЯ-04-74 (аналогичная статья 2.2.3. ОПБ-73) устанавливает, что: "ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РЕАКТОРА СЛЕДУЕТ СТРЕМИТЬСЯ К ТОМУ, ЧТОБЫ ПОЛНЫЙ МОЩНОСТНОЙ КОЭФФИЦИЕНТ РЕАКТИВНОСТИ НЕ БЫЛ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ ПРИ ЛЮБЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ АЭС. ЕСЛИ ПОЛНЫЙ МОЩНОСТНОЙ КОЭФФИЦИЕНТ РЕАКТИВНОСТИ В КАКИХ-ЛИБО ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ ПОЛОЖИТЕЛЕН, В ПРОЕКТЕ ДОЛЖНА БЫТЬ**

## ОБЕСПЕЧЕНА И ОСОБО ДОКАЗАНА ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ РЕАКТОРА ПРИ РАБОТЕ В СТАЦИОНАРНЫХ, ПЕРЕХОДНЫХ И АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ\*.

Определяющей составляющей полного мощностного коэффициента реактивности в реакторах типа РБМК является так называемый "паровой коэффициент реактивности"  $\alpha_p$ , численно отражающий изменение реактивности реактора в ответ на изменение паросодержания в активной зоне\*. В проекте РБМК-1000 изначально предусматривалось, что при выбранном из конструктивных соображений уран-графитовом отношении и достижении глубин выгорания топлива, соответствующих стационарному режиму перегрузок ТВС, паровой коэффициент реактивности будет иметь существенно положительное значение. Большие положительные значения парового коэффициента реактивности были следствием стремления к получению больших глубин выгорания ТВС (достижение высокой экономичности). Предполагалось обеспечить область устойчивости реактора в диапазоне значений парового коэффициента реактивности от  $-3,2 \Delta 10^{-4} \Delta$  к/к до  $+9,6 \Delta 10^{-4} \Delta$  к/к. Значение этого коэффициента существенным образом зависит от выбора шага решетки и состава активной зоны (числа погруженных в активную зону стержней СУЗ, количества установленных в реакторе ДП, обогащения топлива и глубины выгорания ТВС).

Экспериментальные определения парового  $\alpha_p$  и полного мощностного  $\alpha_N$  коэффициентов реактивности проводились по соответствующим методикам, начиная с пуска 1 блока Ленинградской АЭС, т.е. с 1973 г.

Для реакторов с обогащением топлива 1,8 % по урану - 235 в результате проведения экспериментов были получены данные, указывающие на увеличение парового коэффициента реактивности с ростом выгорания топлива и выгрузкой ДП:

- от  $-0,22 \beta$  эфф. (211 ДП) до  $+5,1 \beta$  эфф. (32 ДП) на блоке 1 ЛАЭС [11];
- от  $-0,16 \beta$  эфф. (215 ДН) до  $+4,9 \beta$  эфф. (39 ДП) на блоке 1 ЧАЭС [12];
- от  $-0,38 \beta$  эфф. (179 ДП) до  $+5,3 \beta$  эфф. (40 ДП) на блоке 2 ЧАЭС [12].

---

\* Здесь и дальше в тексте термин "паровой коэффициент реактивности" употребляется вместо правильного термина "паровой эффект реактивности". Термин "паровой коэффициент реактивности" обычно характеризует изменение реактивности при изменении параметра на одну единицу измерения, в качестве которой для паросодержания используется 1% (ред.).

Экспериментально было подтверждено, что по мере роста  $\alpha_\phi$  уменьшался такой важный параметр, как период развития первой азимутальной гармоники, характеризующий стабильность поля энерговыделения в реакторе и возможность эффективного управления реактора оперативным персоналом. При значении  $\alpha_\phi$  около +5  $\beta$  эфф. этот период уменьшался до 3-х минут, что делало реактор неустойчивым, а возможность управления его персоналом — проблематичной.

Для повышения устойчивости реактора в 1976 г. было принято решение о переводе реакторов РБМК на топливо с 2% обогащением по U-235 и оснащению реакторов системой ЛАР (локальный автоматический регулятор). Вторые поколения АЭС с РБМК-1000 (3 и 4 блоки ЛАЭС, КАЭС, ЧАЭС, 1 и 2 блоки САЭС) с самого начала загружались топливом обогащением 2% по U-235, однако и при этом обогащении по мере роста выгорания до значений 1100-1200 МВт\*сут./ ТВС и при регламентном оперативном запасе реактивности в 26-30 стержней РР, величина парового коэффициента реактивности становилась близкой к +5  $\beta$  эфф. Близкие значения величины выгорания топлива были на блоке № 4 ЧАЭС перед аварией.

Комиссия отмечает, что все вышесказанное относится к уровням мощности реакторов более 50% N ном. Для мощностей ниже 50% и для различных аварийных ситуаций и переходных режимов отсутствовали как расчетные, так и экспериментальные данные по определению величины  $\alpha_\phi$ .

Измерения быстрого мощностного коэффициента реактивности, характеризующего изменение реактивности реактора в ответ на изменения мощности показали, что при увеличении  $\alpha_\phi$  от — (0.2-0.4)  $\beta$  эфф до +5  $\beta$  эфф,  $\alpha_N$  менялся от  $-4 \cdot 10^{-4} \beta$  эфф/МВт(т) до  $+0.6 \cdot 10^{-4} \beta$  эфф/МВт(т). Однако и эти данные были справедливы только для мощностей выше 50% N ном. [12].

Комиссия, в связи с отсутствием расчетных данных по коэффициентам реактивности на уровнях мощности менее 50%, должна отметить, что разработчики реактора, видимо, не предполагали каких-либо опасных особенностей в поведении реактора на малых уровнях мощности и до аварии 26.04.86 г. не вводили никаких ограничений по работе на малых уровнях мощности.

Для анализа протекания максимальной проектной аварии (МПА), в качестве которой в проекте рассматривался разрыв напорного коллектора контура многократной принудительной циркуляции (КМПЦ) с осушением половины активной зоны, Научным руководителем и Главным конструктором по расчетным программам была определена зависимость реактивности реактора от плотности

теплоносителя в активной зоне. В соответствии с расчетной зависимостью при обезвоживании активной зоны (снижении плотности теплоносителя) вначале вводится положительная реактивность, до  $+2 \beta$  эфф, а затем, по мере приближения плотности теплоносителя к нулевому значению (полное запаривание каналов или обезвоживание активной зоны) реактивность уменьшается, и становится отрицательной, что приводит к самоглушению реактора, даже при отсутствии воздействия исполнительных органов СУЗ на реактивность. Это послужило основанием не рассматривать проблемы заглушения реактора при течах теплоносителя [4]. В действительности, согласно расчетам 1985 г. и затем 1987 г., при замещении воды в активной зоне на пар выделяется положительная реактивность величиной до  $+5 \beta$  эфф [72], что приводит не к "самоглушению реактора", а к вводу большой положительной реактивности и разгону реактора.

В целом надо отметить, что в материалах проекта РБМК-1000 отсутствует обоснование безопасной величины парового коэффициента реактивности, поэтому на всех АЭС с реакторами РБМК-1000 блоки эксплуатировались с фактически полученными значениями этого коэффициента, а не с установленными проектом. Выше уже отмечалось, что величина  $\alpha_f$  в значительной степени зависит от состава активной зоны реактора, который в свою очередь определялся принятой на конкретной АЭС методикой расчета и проведения перегрузок топлива. Эти методики также не обосновывались проектом.

Выявленным в результате экспериментов фактам значительных по величине положительных эффектов реактивности ни разработчики, ни АЭС, ни надзорный орган своевременно не придали должного значения и не добились удовлетворительного расчетно-теоретического объяснения. Очевидному несоответствию фактических характеристик активных зон их ожидаемым проектным значениям не было дано должной оценки, вследствие чего поведение реакторов РБМК в аварийных ситуациях оставалось неизвестным.

Низкое качество расчетного обоснования безопасности в проекте объясняется рядом причин, в том числе хроническим отставанием развития отечественной вычислительной техники и низким уровнем машиноориентированных расчетных методик, существовавших до недавнего времени. Для расчетного определения физических характеристик реактора РБМК в различных режимах необходимы 3х-мерные нестационарные нейтронно-теплогидравлические модели. Такие модели стали появляться незадолго до чернобыльской аварии и получили развитие лишь после нее.

Комиссия констатирует, что конструкция реактора, ядерно-физические и теплогидравлические характеристики активной зоны предопределили наличие положительных парового и мощностного коэффициентов реактивности для режима стационарных перегрузок реактора РБМК-1000, при этом не была "обеспечена и особо доказана ядерная безопасность" при таких коэффициентах ни для работы на номинальном уровне мощности, ни для промежуточных уровней мощности от минимально-контролируемой до номинальной. Это также не было сделано для переходных и аварийных режимов. Таким образом реактор РБМК-1000, из-за ошибочно выбранных его разработчиками физических и конструктивных параметров активной зоны, представлял из себя систему динамически неустойчивую по отношению к возмущению как по мощности, так и по паросодержанию, которое, в свою очередь, зависело от многих параметров состояния реактора.

Комиссия заключает, что проект реактора РБМК-1000 содержал в части конструкции и характеристик активной зоны отступление от требований статей 3.2.2. ПБЯ-04-74 и 2.2.3. ОПБ-73.

**3.3. Статьей 3.1.8. ПБЯ-04-74 установлено, что "СИСТЕМА СИГНАЛИЗАЦИИ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДОЛЖНА ВЫДАВАТЬ СЛЕДУЮЩИЕ СИГНАЛЫ:**

**АВАРИЙНЫЕ, (СВЕТОВЫЕ И ЗВУКОВЫЕ, ВКЛЮЧАЯ СИРЕНУ АВАРИЙНОГО ОПОВЕЩЕНИЯ) ПРИ ДОСТИЖЕНИИ ПАРАМЕТРАМИ УСТАВОК СРАБАТЫВАНИЯ АЗ И АВАРИЙНЫХ ОТКЛОНЕНИЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА;**

**ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНЫЕ (СВЕТОВЫЕ И ЗВУКОВЫЕ), ПРИ ПРИБЛИЖЕНИИ ПАРАМЕТРОВ К УСТАВКАМ СРАБАТЫВАНИЯ АЗ, ПОВЫШЕНИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ВЫШЕ УСТАНОВЛЕННЫХ ПРЕДЕЛОВ, НАРУШЕНИИ НОРМАЛЬНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ.**

Известно, что в информации [29] и докладе [30], представленных Государственным Комитетом СССР по использованию атомной энергии в МАГАТЭ, главной ошибкой персонала названа работа реактора-с оперативным запасом реактивности (ОЗР) ниже установленного предела. Однако, проектные материалы и научно-исследовательские работы, выполненные в обоснование проекта, не предусматривали ОЗР в качестве параметра, по которому должна быть обеспечена сигнализация, не говоря уже об аварийной защите при достижении этим параметром предельных значений. Только после аварии "Сводными мероприятиями по повышению безопасности и надежности РБМК" [39] в числе прочих, была предусмотрена разработка устройства регистрации



ОЗР с записывающим прибором на блочном щите управления и устройства выдачи аварийного сигнала на останов реактора при достижении ОЗР аварийной уставки.

Аналогично и по ряду других параметров, которые были отнесены к нарушениям допустимых пределов, проектом также не была предусмотрена сигнализация и тем более защита. В отдельных случаях, из-за неправильно принятых проектных решений, защиты действовали не во всем диапазоне возможных режимов работы реакторной установки (см. п.4.7.4. доклада).

Комиссия констатирует, что для ряда важнейших параметров, нарушение которых 26.04.86 г. разработчики реактора считали критическими для возникновения и развития аварии, не были предусмотрены проектом ни аварийные, ни предупредительные сигналы, что является нарушением статьи 3.1.8 ПБЯ-04-74.

**3.4. Статья 3.3.1. ПБЯ-04-74 устанавливает: "СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ДОЛЖНА ОБЕСПЕЧИВАТЬ НАДЕЖНЫЙ КОНТРОЛЬ МОЩНОСТИ (ИНТЕНСИВНОСТИ ЦЕПНОЙ РЕАКЦИИ), УПРАВЛЕНИЕ И БЫСТРОЕ ГАШЕНИЕ ЦЕПНОЙ РЕАКЦИИ, А ТАКЖЕ ПОДДЕРЖАНИЕ РЕАКТОРА В ПОДКРИТИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ".**

Система аварийной защиты РБМК рассчитывалась на компенсацию следующих эффектов реактивности [22]:

- обезвоживание технологических каналов в холодном состоянии реактора;
- схлопывание пара в активной зоне при охлаждении ТВЭЛ до температуры 265 С;
- возможное зависание части стержней АЗ.

Приведенный набор эффектов реактивности, который разработчики реактора РБМК-1000 посчитали достаточным учесть при проектировании системы аварийной защиты, не охватывает широкого спектра различных эффектов, известных уже на ранних стадиях создания реактора. Так, в частности, не учитывалось, что мощностной и паровой коэффициенты реактивности изменяются в широких пределах от отрицательного до положительного значения в зависимости от состава активной зоны и режима работы реактора. Не учитывалось также, что конструкция стержней СУЗ предопределяла ввод положительной реактивности при начале их движения в активную зону из крайнего верхнего положения. Низкие скоростные характеристики аварийной защиты (время полного погружения стержней в активную зону из верхнего положения 18 с) и наличие проектного недостатка в конструкции стержней (положительный выбег реактивности) вели к тому, что для ряда

режимов реактора аварийная защита не только не выполняла своих функций, но и сама инициировала разгон реактора.

Имеются основания считать, что разработчики реактора не смогли оценить эффективность аварийной защиты в возможных эксплуатационных ситуациях. Так в работе [71], выполненной после аварии показано, что реактивность, вносимая в реактор стержнями СУЗ, в сильной степени зависит от ОЗР. При ОЗР около 30 эффективных стержней РР (приблизительно 100 стержней РР, погруженных на 1.4 м каждый) происходит интенсивный ввод отрицательной реактивности. При ОЗР, равном 15 ст. РР, на протяжении первых 6 с. после команды АЗ-5 в реактор вносится менее 1  $\beta$  эфф отрицательной реактивности. В случае нерегламентного ОЗР, равного 7 стержням РР, в течение первых 8 с. после команды АЗ-5 вводимая реактивность положительна (т.е. цепная реакция разгоняется, а не гасится). Последнее не было в достаточной степени осознано разработчиками до аварии, ибо трудно поверить, что можно было рассчитывать на обеспечение безопасности организационными мерами в виде запрета работы с малыми ОЗР при названных характеристиках аварийной защиты.

Необходимо остановиться на вопросе обеспечения надежного контроля мощности (интенсивности цепной реакции) реактора РБМК-1000, который осуществляется двумя системами – системой физического контроля распределения энерговыделения (СФКРЭ), датчики которой расположены внутри зоны, и системой управления и защиты, датчики которой расположены как в баке боковой биологической защиты, так и внутри активной зоны. В принципе эти системы дополняют друг друга, однако каждая из них обладает существенными недостатками, которые в наибольшей степени проявляются на малой мощности. Это связано с тем, что СФКРЭ обеспечивает контроль относительного и абсолютного распределения энерговыделения в диапазоне 10-120 % и контроль мощности реактора в диапазоне 5-120 % номинальной мощности, а система локального автоматического регулирования и локальной автоматической защиты (ЛАР-ЛАЗ), действовавшая по сигналам внутризонных ИК, осуществляла свои функции по регулированию реактора при мощности более 10 % N ном. Контроль на малой мощности такого геометрически большого реактора, как РБМК-1000 (диаметр активной зоны — 11,8 м, высота — 7,0 м), только на основе боковых ИК представляет существенные трудности, поскольку на малой мощности, при отключенном ЛАР-ЛАЗ, боковые ИК "не чувствуют" центральные части активной зоны реактора и, тем более, "не чувствуют" распределения поля энерговыделения по высоте активной зоны, т.к. все ИК расположены

по высоте напротив середины активной зоны. Таким образом, оператор реактора на малых уровнях мощности "слепнет", полагаясь в своих действиях более на опыт и интуицию, нежели на показания приборов. И если "слепой" режим управления РБМК-1000 в какой-то степени приемлем при пуске разотравленного реактора, когда управление полем его энерговыделения ведется в соответствии с предварительным расчетом, то аналогичный режим на малой мощности при останове неравномерно отравленного реактора связан с риском большого перекаса поля и получения критически высоких неравномерностей энерговыделения как по высоте, так и по радиусу активной зоны. Это обстоятельство не учитывалось до аварии и, к сожалению, не вводились ограничения по условиям работы на малой мощности.

Комиссия делает вывод о том, что СУЗ РБМК-1000 не отвечала требованиям статьи 3.3.1. ПБЯ-04-74 в условиях реально существовавших эффектов реактивности реактора и конструкции стержней СУЗ.

**3.5. Статья 3.3.5. ПБЯ-04-74 устанавливает, что: "ПО КРАЙНЕЙ МЕРЕ ОДНА ИЗ ПРЕДУСМОТРЕННЫХ СИСТЕМ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РЕАКТИВНОСТЬ ДОЛЖНА БЫТЬ СПОСОБНА ПРИВЕСТИ РЕАКТОР В ПОДКРИТИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ И ПОДДЕРЖИВАТЬ ЕГО В ЭТОМ СОСТОЯНИИ ПРИ ЛЮБЫХ НОРМАЛЬНЫХ И АВАРИЙНЫХ УСЛОВИЯХ И ПРИ УСЛОВИИ НЕСРАБАТЫВАНИЯ ОДНОГО НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОГО ОРГАНА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РЕАКТИВНОСТЬ".**

Комиссия считает, что как показано в п. 3.4. настоящего доклада, просчеты разработчиков реактора в определении эффектов реактивности, учет которых был необходим при проектировании СУЗ, предопределили невыполнение требования статьи 3.3.5. ПБЯ-04-74.

**3.6. Статья 3.3.21. НБЯ-04-74 устанавливает, что: "В СУЗ ДОЛЖНА БЫТЬ ПРЕДУСМОТРЕНА БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩАЯ АВАРИЙНАЯ ЗАЩИТА (АЗ 1 РОДА), ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ АВТОМАТИЧЕСКИЙ ОСТАНОВ РЕАКТОРА, ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ. СИГНАЛЫ И УСТАНОВКИ СРАБАТЫВАНИЯ АВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ ДОЛЖНЫ БЫТЬ ОБОСНОВАНЫ В ПРОЕКТЕ".**

В проекте реактора РБМК-1000 отсутствует обоснование быстрого действия аварийной защиты. Время ввода всех стержней СУЗ в активную зону (18-21 с) было одинаковым, поэтому разбивка их на функциональные группы АЗ и РР (аварийной защиты и ручного

регулирования) была условной. В процессе эксплуатации реактора можно было без каких-либо технических и организационных затруднений перекоммутировать стержень АЗ в РР и наоборот. Указанное быстрое действие для реактора, обладающего большими положительными обратными связями было недостаточным. Можно полагать, что исследований по определению необходимого быстрого действия стержней АЗ со временем погружения в активную зону менее 10 с не проводилось из-за недостаточной изученности эффектов реактивности и отсутствия представительного изучения аварийных режимов, включая режимы с малыми исходными уровнями мощности.

#### **ПРИМЕЧАНИЕ:**

*Авторы информации [29], представленной в МАГАТЭ, отмечают, что "Реакторы РБМК оснащены большим количеством независимых регуляторов, которые при срабатывании АЗ вводятся в активную зону со скоростью 0,4 м/с. Небольшая скорость движения регуляторов компенсируется их большим количеством". Ошибочность такого подхода опровергнута как раз тем событием по поводу которого и была подготовлена названная информация. После аварии была разработана и внедрена быстродействующая аварийная защита (БАЗ) со временем полного погружения стержней в активную зону за время 2,5 с.*

Комиссия отмечает, что требования статьи 3.3.21. ПБЯ-04-74 в проекте не выполнены.

**3.7. Статья 3.3.26 ПБЯ-04-74 гласит: "АВАРИЙНАЯ ЗАЩИТА РЕАКТОРА ДОЛЖНА ОБЕСПЕЧИВАТЬ АВТОМАТИЧЕСКОЕ БЫСТРОЕ И НАДЕЖНОЕ ГАШЕНИЕ ЦЕПНОЙ РЕАКЦИИ В СЛЕДУЮЩИХ СЛУЧАЯХ:**

- **ПРИ ДОСТИЖЕНИИ АВАРИЙНОЙ УСТАВКИ ПО МОЩНОСТИ; ПРИ ДОСТИЖЕНИИ АВАРИЙНОЙ УСТАВКИ ПО СКОРОСТИ НАРАСТАНИЯ МОЩНОСТИ (ИЛИ РЕАКТИВНОСТИ);**
- **ПРИ ИСЧЕЗНОВЕНИИ НАПРЯЖЕНИЯ НА ШИНАХ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ СУЗ; ПРИ НЕИСПРАВНОСТИ ИЛИ НЕ РАБОЧЕМ СОСТОЯНИИ ЛЮБЫХ ДВУХ ИЗ ТРЕХ КАНАЛОВ ЗАЩИТЫ ПО УРОВНЮ ИЛИ СКОРОСТИ НАРАСТАНИЯ МОЩНОСТИ;**
- **ПРИ ПОЯВЛЕНИИ АВАРИЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ, ТРЕБУЮЩИХ ОСТАНОВА РЕАКТОРА; ПРИ НАЖАТИИ КНОПОК АВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ".**

Выше было показано, что СУЗ реактора РБМК, включая систему АЗ, не была способна удовлетворить требованиям этого пункта "Правил", а перечень аварийных технологических сигналов не был полным и не обеспечивал защиту реактора при достижении параметрами опасных значений (например, по оперативному запасу реактивности, по низкому уровню мощности и т.д.).

Дополнительно следует отметить, что ввод стержней СУЗ в активную зону из верхнего положения по любому аварийному сигналу или при нажатии кнопки аварийной защиты в зависимости от состава активной зоны, распределения поля энерговыделения и режима работы реактора мог приводить, из-за конструктивных недостатков стержней СУЗ и физических характеристик активной зоны, к прямо противоположному эффекту - к вводу положительной реактивности, а не к быстрому и надежному гашению цепной реакции (см. раздел 4 доклада). В разделе 4.6.3. доклада показано, что при имевших место характеристиках реактора и СУЗ возрастание мощности реактора при срабатывании АЗ-5 в определенных условиях могло быть столь значительным, что при достижении аварийных уставок АЗМ и АЗС ядерная реакция уже не могла быть остановлена без значительного повреждения ТВЭЛОВ, что при малой способности конструкции реактора к сбросу пара из реакторного пространства предопределяет его возможное разрушение.

В соответствии с проектом, реакторное пространство не имело защиты от множественного разрыва ТК, поэтому при разрыве более одного ТК мог произойти "отрыв" верхней плиты реактора, схемы "Е", и последующий выход из строя всей системы ввода стержней СУЗ в активную зону и даже вывод стержней СУЗ из активной зоны, что ведет к вводу положительной реактивности, а не к быстрому и надежному гашению цепной реакции.

Комиссия делает заключение, что проект СУЗ РБМК-1000 не соответствовал требованиям статьи 3.3.26 ПБЯ-04-74.

**3.8. Статьей 3.3.28 ПБЯ-04-74 установлено: "КОЛИЧЕСТВО, РАСПОЛОЖЕНИЕ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ И СКОРОСТЬ ВВЕДЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ АЗ ДОЛЖНЫ БЫТЬ ОПРЕДЕЛЕНЫ И ОБОСНОВАНЫ В ПРОЕКТЕ РЕАКТОРА, ГДЕ ДОЛЖНО БЫТЬ ПОКАЗАНО, ЧТО ПРИ ЛЮБЫХ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ОРГАНЫ АЗ БЕЗ ОДНОГО НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОГО ОРГАНА ОБЕСПЕЧИВАЮТ:**

**СКОРОСТЬ АВАРИЙНОГО СНИЖЕНИЯ МОЩНОСТИ РЕАКТОРА, ДОСТАТОЧНУЮ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВОЗМОЖНОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ ТВЭЛОВ СВЕРХ ДОПУСТИМЫХ ПРЕДЕЛОВ;**

**ПРИВЕДЕНИЕ РЕАКТОРА В ПОДКРИТИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ И ПОДДЕРЖАНИЕ ЕГО В ЭТОМ СОСТОЯНИИ С УЧЕТОМ ВОЗМОЖНОГО УВЕЛИЧЕНИЯ РЕАКТИВНОСТИ В ТЕЧЕНИЕ ВРЕМЕНИ, ДОСТАТОЧНОГО ДЛЯ ВВЕДЕНИЯ ДРУГИХ БОЛЕЕ МЕДЛЕННЫХ ОРГАНОВ СУЗ;**

**ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ КРИТ-МАСС".**

По этой статье правил проект СУЗ РБМК-1000 к моменту аварии 1986 г. имел весьма существенные несоответствия. Количество, эффективность и скорость введения исполнительных органов АЗ выбраны и обоснованы без учета теоретически предсказанных и экспериментально подтвержденных эффектов реактивности, которые могли сыграть (а в аварии 1986 года на 4 блоке ЧАЭС действительно сыграли) катастрофическую роль.

Представляет интерес эволюция проекта РБМК-1000 в части, касающейся определения и обоснованности количества и эффективности органов воздействия на реактивность.

Так, в эскизном проекте РБМК [7], разработанном в 1965 г., предусматривалось 212 стержней управления и защиты при обогащении топлива 2% по U-235, в то время как в техническом проекте было принято 179 стержней СУЗ при обогащении топлива 1.8% по U-235. Эскизным проектом предусматривались стержни СУЗ с поглотителем и вытеснителем длиной 7 м (т.е. полностью перекрывавшие активную зону), из них 68 стержней АЗ. Однако, техническим проектом предусматривался поглотитель длиной всего 6 м. для 146 стержней, 5 м. для 12 стержней и 3 м. для 21 стержня. Количество стержней АЗ было уменьшено до 20 с длиной поглотителя 6 м. В окончательном рабочем проекте предусматривалось 179 стержней СУЗ с длиной поглотителя 5 м. у всех (кроме 21 стержня УСП с длиной поглотителя 3,5 м) стержней. Количество стержней АЗ равно 21 для первых и 24 для вторых очередей РБМК. Для вторых очередей общее количество стержней СУЗ было увеличено до 211 без изменения конструкции. Таким образом в результате длительной эволюции была выбрана такая конструкция стержней СУЗ при которой органы воздействия на реактивность не предотвращали образование локальных критмасс, поскольку в силу своей конструкции не перекрывали по высоте всю активную зону (по данным [34] критическая высота активной зоны РБМК-1000 составляла от 0,7 до 2,0 м для различных состояний активной зоны).

Вследствие того, что поглощающая способность графитового вытеснителя, соединенного со стержнем соединительным телескопом, меньше поглощающей способности вытесняемой из нижней

части канала воды, при движении стержня СУЗ с верхнего концевика, происходил локальный ввод положительной реактивности в нижнюю часть активной зоны. При определенном составе активной зоны и профиле поля энерговыделения это могло привести к образованию локальной критической массы.

Главному конструктору [32] и Научному руководителю этот эффект был известен до аварии. Экспериментально он был обнаружен при проведении физических пусков 1 блока Игналинской и 4 блока Чернобыльской АЭС в ноябре - декабре 1983 г., т.е. почти за 2,5 года до катастрофы [69]. Комиссиями по физпуску для ликвидации этих негативных эффектов предлагались некоторые мероприятия, но ни одно из них, включая ограничение на извлечение стержней РР до верхних концевиков, доработка конструкции стержней СУЗ с исключением нижнего водяного столба или внедрение пленочного охлаждения каналов СУЗ до аварии не было выполнено. На чрезвычайную опасность выявленного эффекта обратила внимание организация Научного руководителя. В частности было отмечено, что "... При снижении мощности реактора до 50% (например при отключении одной турбины) запас реактивности уменьшается за счет отравления и возникают перекосы высотного поля до  $K_z - 1,9$ . Срабатывание. АЗ в этом случае может привести к выделению положительной реактивности.

Видимо, более тщательный анализ позволит выявить и другие опасные ситуации..." [70].

И далее делаются предложения, реализация которых в режиме, имевшем место 26.04.86 г. на блоке N 4 ЧАЭС позволила бы избежать катастрофы:

- доработать конструкцию стержней РР и АЗ реакторов РБМК с тем, чтобы исключить столб воды под вытеснителем при взведенном стержне;
- провести тщательный анализ переходных и аварийных режимов реакторов РБМК с учетом реальных градуировочных характеристик существующих стержней СУЗ;
- до проведения указанных мероприятий ввести в регламенты реакторов РБМК дополнение, ограничивающее число стержней, полностью извлеченных из реактора.

НИКИЭТ признал наличие положительного выбега реактивности [32] и предложил ряд мер по компенсации этого эффекта. Однако, технические меры самим же Главным конструктором не были реализованы (увеличение числа стержней УСП, увеличение длины телескопа, возврат к первоначальному проекту СУЗ с использованием стержней без вытеснителей и с пленочным охлаждением каналов СУЗ). Главный конструктор предлагает организационными

мерами устранить опасный эффект и дает следующую рекомендацию по исключению концевых эффектов СУЗ: "ограничить число стержней, извлекаемых из активной зоны полностью (на ВК) общим числом 150 для РБМК-1000. Остальные, частично погруженные стержни, должны быть введены в активную зону не менее, чем на 0,5 м." [32].

Рекомендация допускала такое положение стержней СУЗ, при одновременном движении из которого по сигналу аварийной защиты в нижней части активной зоны высотой 1.2 м происходило увеличение размножающих свойств. Следуя этой рекомендации, можно было иметь оперативный запас реактивности (ОЗР) в 3-5 ст. РР, что противоречило требованиям раздела 9 технологического регламента, который определял минимально-допустимый ОЗР в 15 ст. РР.

Одно из предложений Главного конструктора для компенсации положительного выбега реактивности при вводе стержней СУЗ состояло в том, чтобы по сигналу аварийной защиты в нижнюю часть активной зоны вводились стержни УСП (распредложение № 264 от 22.02.77 г.), однако, на большинстве блоков это реализовано не было, в том числе и на 4 блоке ЧАЭС. Также не было реализовано техническое задание Главного конструктора (8.794 ТЗ) на экспериментальный стержень СУЗ (с увеличенным до 7 м поглотителем и увеличенным телескопом).

Комиссия считает, что проект реактора РБМК-1000 не отвечал требованиям статьи 3.3.28 ПБЯ-04-74.

**3.9. Статья 3.3.29 ПБЯ-04-74 гласит: "АВАРИЙНАЯ ЗАЩИТА ДОЛЖНА БЫТЬ СПРОЕКТИРОВАНА ТАКИМ ОБРАЗОМ, ЧТОБЫ ЗАЩИТНОЕ ДЕЙСТВИЕ, КАК ПРАВИЛО, ДОВОДИЛОСЬ ДО КОНЦА. ДОПУСТИМОСТЬ ПРЕКРАЩЕНИЯ ДЕЙСТВИЯ ЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ В НЕКОТОРЫХ СЛУЧАЯХ ПРИ ИСЧЕЗНОВЕНИИ СЛИПАЛА, ВЫЗВАВШЕГО СРАБАТЫВАНИЕ ЗАЩИТЫ, ДОЛЖНА БЫТЬ ОБОСНОВАНА В ПРОЕКТЕ".**

Подход Главного конструктора к построению системы управления и защиты изложен в техническом проекте СУЗ [22], в котором, в частности, говорится: "...Условия работы станции с реактором РБМК, включенной в энергетическое кольцо, в котором удельный вес станции большой по величине, делают НЕПРИЕМЛИМОЙ СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ, ПОСТРОЕННОЙ ПО КЛАССИЧЕСКОМУ ПРИНЦИПУ, КОГДА ПО АВАРИЙНОМУ СИГНАЛУ ПРОИЗВОДИТСЯ СБРОС ВСЕХ СТЕРЖНЕЙ ИЛИ ЧАСТИ СТЕРЖНЕЙ СУЗ ДЛЯ БЫСТРОГО



**НЕУПРАВЛЯЕМОГО ПРЕКРАЩЕНИЯ РЕАКЦИИ.** Разработанная система позволяет не сбрасывать мощность, а осуществлять ускоренное управляемое снижение мощности с номинального до более низких уровней вплоть до собственных нужд и обеспечивает устойчивую работу станции на этих уровнях". Там же: "... Существенно новые решения приняты в системе АЗ. Полная остановка реактора путем сброса всех стержней СУЗ предусматривается только при обесточении объекта. При остальных аварийных ситуациях производится быстрое управляемое снижение мощности до определенных уровней с необходимой скоростью".

Каких-либо иных обоснований допустимости прекращения действия защит при исчезновении сигнала (защита по превышению мощности, защита по уменьшению скорости разгона) Комиссия в проектных материалах не установила.

Изложенное показывает, что алгоритм действия аварийной защиты разработчиками реактора обосновывался с точки зрения эффективности работы АЭС в энергосистеме, а не с точки зрения обеспечения ядерной безопасности для чего собственно и предназначена аварийная защита.

Комиссия считает, что проект РБМК-1000 не соответствовал требованиям статьи 3.3.29 ПБЯ-04-74.

**3.10.** По результатам рассмотрения вопроса о соответствии системы управления и защиты реактора РБМК-1000, существовавшей на 4-ом блоке ЧАЭС на момент аварии требованиям правил, Комиссия считает необходимым особо подчеркнуть, что практически все конструктивные недоработки СУЗ были известны до аварии. Были ясны и технические меры для их устранения, такие как:

- увеличение длины поглощающей части стержней СУЗ;
- увеличение длины телескопа и вытеснителя стержней СУЗ;
- внедрение независимой быстродействующей аварийной защиты (БАЗ);
- внедрение ряда новых технологических защит;
- введение в активную зону стержней УСП по сигналу АЗ;

Все вышеуказанные меры уже после аварии были включены в "Сводные мероприятия" [39,40], частично реализованы и продолжают реализовываться на всех реакторах РБМК-1000.

Комиссия отмечает, что кроме перечисленных выше отступлений проекта СУЗ РБМК-1000 от требований статей 3.1.6; 3.1.8; 3.2.2; 3.3.1; 3.3.5; 3.3.21; 3.3.26; 3.3.28; 3.3.29 ПБЯ-04-74, проект этой важнейшей для безопасности реактора системы также не соответствовал аналогичным требованиям статей 2.2.5; 2.2.6; 2.2.7; 2.2.8; 2.5.2; 2.5.8 ОПБ-73.

**3.11.** Кроме отступлений, изложенных выше, в проекте АЭС с реакторами РБМК имелись и другие отступления от правил, важные с точки зрения обеспечения безопасности. Комиссия считает необходимым остановиться на одной из часто дискутируемых проблем — отсутствии защитной оболочки реакторной установки блока N 4 ЧАЭС.

Четвертый блок Чернобыльской АЭС сооружался по проекту, разработанному в период действия "Общих положений обеспечения безопасности" 1973 г. Согласно п.2.7.1. ОПБ-73 разрешается размещать контур первичного теплоносителя вне герметичных помещений так, чтобы "в случаях возникновения аварийных ситуаций обеспечивалась локализация выделяющихся радиоактивных веществ в герметичных необслуживаемых помещениях или направлений их выброс, если он допустим в конкретных условиях". Пункт 2.7.4. ОПБ-73 требует, что "...если часть контура первичного теплоносителя или вспомогательных систем находится вне герметичных помещений, должны быть предусмотрены устройства, обеспечивающие безопасность населения и персонала в случае разрыва этой части контура".

Проектом 2 очереди ЧАЭС часть контура первичного теплоносителя (трубопроводы Ду70 и Ду300 мм) размещена вне зоны герметичных помещений. Для помещений, где расположена эта часть контура, предусмотрены специальные вышибные панели, обеспечивающие направленный выброс радиоактивной паровоздушной смеси в атмосферу при разрывах трубопроводов Ду70 и Ду300 мм. Радиационные последствия при таких авариях оценивались дозой в 2,1 бэр на щитовидную железу ребенка за счет ингаляции изотопов йода и тем самым обосновывалась допустимость отказа от полноценной системы локализации аварий [3].

Возможность более "тяжелых" исходных событий аварии не рассматривалась, в том числе аварии с разгерметизацией реакторного пространства и значительными повреждениями топлива, вызванными множественными разрывами технологических каналов, которые приводят к подъему верхней плиты реактора - сх. "Е", что и произошло 26.04.86 г.

Комиссия считает необходимым отметить, что дискуссии о возможном значительном уменьшении последствий аварии произошедшей 26.04.86 г. при наличии защитной оболочки не имеют под собой достаточных оснований, поскольку каких-либо серьезных исследовательских работ в этом направлении проведено не было. В тоже время важно отметить, что отсутствие полноценной системы локализации аварий у реакторов РБМК-1000, во-первых, говорит о пренебрежении вырабатывавшейся и реализовывавшейся за

рубежом в полном объеме уже в 60-70-х гг. философии безопасности АЭС, базирующейся на принципе глубокоэшелонированной защиты (защитная оболочка - четвертый барьер защиты в этой философии) и, во-вторых, именно Чернобыльская катастрофа трагически убедительно подтвердила цену отступления проекта от принципов многобарьерной защиты.

**3.12. Фактическое состояние обоснования ядерной безопасности реакторной установки на момент выпуска в 1976 г. дополнения к техническому обоснованию безопасности отражено в решении от 5-6 мая 1976 г. созданной Минсредмашем СССР комиссии по разработке основных исходных данных для проектирования АЭС и уточнений основных положений обеспечения системы безопасности реактора РБМК-1000, где в частности сказано, что обеспечение температурного режима оболочек ТВЭЛ и технологических каналов, при авариях с нарушением нормальной подачи охлаждающей воды с учетом таких факторов как влияние перерыва в подаче теплоносителя, изменение нейтронной мощности при срабатывании АЗ-5 и освобождении дополнительной реактивности за счет парового эффекта - является весьма сложной задачей, которая не решена. В решении отмечается, ЧТО ВАЖНЫМ УСЛОВИЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЯВЛЯЕТСЯ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЫСТРОГО ГАШЕНИЯ НЕЙТРОННОЙ МОЩНОСТИ С ПОМОЩЬЮ АЗ, КОТОРАЯ КОМПЕНСИРОВАЛА БЫ ПОЛОЖИТЕЛЬНУЮ РЕАКТИВНОСТЬ, ВЫДЕЛЯЮЩУЮСЯ ПРИ БЫСТРОМ РОСТЕ ПАРОСОДЕРЖАНИЯ в активной зоне после разрыва и создавала бы большую подкритичность.**

В этом же решении зафиксировано мнение ИАЭ о том, ЧТО СЛЕДУЕТ РАЗРАБОТАТЬ ДОПОЛНИТЕЛЬНУЮ БОЛЕЕ БЫСТРУЮ АВАРИЙНУЮ ЗАЩИТУ, ЧТОБЫ СКОМПЕНСИРОВАТЬ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЙ ПАРОВОЙ ЭФФЕКТ РЕАКТИВНОСТИ при разрывах. Указанная выше комиссия рекомендовала НИКИЭТУ СОВМЕСТНО С ИАЭ РАССМОТРЕТЬ РАСЧЕТЫ ИАЭ И ПРОВЕСТИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ ПО ДОСТАТОЧНОСТИ АЗ И ДАТЬ СООТВЕТСТВУЮЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ. Рекомендовалось также ускорить расчетные и экспериментальные работы по обоснованию системы безопасности и, прежде всего, по изменению реактивности при резком росте паросодержания в активной зоне. К сожалению, дальше рекомендаций дело не продвинулось, хотя актуальность предложений, высказанных еще в 1976 г., не вызывает сомнений.

Вышеупомянутая комиссия по разработке основных исходных данных для проектирования АЭС и уточнения основных

положений обеспечения системы безопасности реактора РБМК-1000 была создана после аварии 30.11.75 г. на блоке N1 Ленинградской АЭС, приведшей к радиоактивным выбросам. Приведенные выше выдержки говорят о понимании членами этой комиссии того, что авария 30.11.75 г. на блоке N1 ЛАЭС (головного в серии с реакторами РБМК-1000) явилась следствием принципиальных особенностей конструкции собственно реактора, а не ошибок персонала, хотя известно, что перед аварией 30.11.75 г. персонал ЛАЭС работал с оперативным запасом реактивности (ОЗР) значительно меньшим 15 ст. РР. К сожалению, действительные причины этой аварии не стали достоянием тех, кому предстояло эксплуатировать серию АЭС с реакторами РБМК-1000.

Официально объявленная причина аварии на ЛАЭС, разрушение ТК из-за заводского дефекта, представляется малоубедительной и в первую очередь об этом говорят приведенные выше рекомендации комиссии Минсредмаша СССР, работавшей в 1976 г.

В 1980 г. НИКИЭТ выполнил работу [12], которая в дальнейшем использовалась для обоснования безопасности 3 очереди ЧАЭС. В работе приведены факторы, существенно влияющие на ядерную безопасность и, в частности, показано, что:

- увеличение расхода теплоносителя через топливный канал ухудшает динамические свойства реактора;
- уменьшение оперативного запаса реактивности смещает значения всех коэффициентов реактивности, кроме температурного эффекта топлива, в положительную сторону;
- происходит переход парового коэффициента реактивности в положительную сторону и его последующий рост при увеличении выгорания топлива;
- увеличивается значение положительного эффекта реактивности по температуре графита при увеличении выгорания топлива;
- с ростом выгорания топлива происходит переход суммарного коэффициента реактивности при разогреве КМНЦ из отрицательной в положительную область;
- обезвоживание контура охлаждения СУЗ приводит к высвобождению положительной реактивности;
- при низких мощностях можно создать большие нерегулярности в размножающих свойствах, что может привести к большим перекосам в энерговыделении с величиной коэффициента неравномерности больше 10. При этом произойдет перераспределение "весов" стержней так, что стержни в районе "всплеска" могут иметь эффективность в десятки раз больше, чем вдали от него;
- изменение весов частично погружаемых стержней может также обуславливаться изменениями профиля высотного поля;

- за счет деформации нейтронных полей, а также перераспределения при этом расходов теплоносителя по каналам могут изменять свои значения и коэффициенты реактивности для реактора в целом.

**ПРИВЕДЕННЫЙ НАБОР НЕГАТИВНЫХ СВОЙСТВ РЕАКТОРОВ РАССМАТРИВАЕМОГО ТИПА, ПО МНЕНИЮ КОМИССИИ, СКОРЕЕ ВСЕГО ПРЕДОПРЕДЕЛЯЕТ НЕИЗБЕЖНОСТЬ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ, А ВОВСЕ НЕ СВИДЕТЕЛЬСТВУЕТ ОБ ИХ ИСКЛЮЧИТЕЛЬНОСТИ ПРИ КРАЙНЕ МАЛОВЕРОЯТНОМ СОЧЕТАНИИ ПОРЯДКА И РЕЖИМА ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЕРСОНАЛОМ ЭНЕРГОБЛОКОВ.**

Таким образом, разработчикам характеристики реактора, опасные последствия их проявления и пути повышения безопасности реактора РБМК-1000, видимо, были понятны до аварии. Это подтверждается тем, что уже через полтора месяца после аварии были названы первоочередные технические меры для повышения безопасности РБМК-1000 [38], которые включали:

- установку в активную зону реакторов 30 ДП (в дальнейшем количество ДП увеличено до 80); увеличение ОЗР до 43-48 стержней РР;
- определение минимально допустимого ОЗР величиной 30 стержней РР (а не 15, как это было до аварии); увеличение числа стержней УСП с 21 до 32; погружение всех стержней СУЗ (кроме УСП) на 1,2 м в активную зону (перенастройка ВК);
- ограничение перемещения стержней УСП в диапазоне 3,5-1,2 м по УП;
- обеспечение расчета ОЗР с цикличностью 5, а не 15 мин., как это было до аварии;
- запрет включения в работу 4-х ГЦН на мощности реактора менее 700 МВт(т) (подтверждение того, что такого запрета до аварии не было).

Очевидно, что сущность этих мероприятий не адекватна официальной версии о том, что причины аварии кроются только в ошибках персонала.

**3.13. Конструктивные дефекты и нестабильность физических и теплогидравлических характеристик реактора РБМК-1000** были теоретически и экспериментально определены до аварии 26.04.86 г., однако не было предпринято адекватных мер, во-первых, для устранения этих недостатков, во-вторых, для предупреждения персонала о последствиях этих опасных характеристик и соответствующей подготовки его к работе на реакторной установке, характеристики которой не отвечали требованиям НТД по безопасности.

Непонимание возможной цены последствий действий персонала по управлению таким реактором, привели к тому, что разработчики проекта и типового технологического регламента по эксплуатации РБМК-1000 не довели до сведения персонала действительную опасность проявления ряда характеристик реактора при возможных, в том числе и ошибочных, его (персонала) действиях. Установленные в регламенте пределы и условия безопасной эксплуатации (см. раздел 4 доклада) далеко не всегда были однозначны, обоснованы и понятны персоналу, что могло отразиться на безопасности эксплуатации установки, проектом которой ряд защитных функций был переложено с технических средств на персонал. Технических мер, компенсирующих несоответствие проекта РБМК-1000 "Правилам", разработчиками реакторной установки также не было принято. Можно предположить, что хотя разработчики реактора и знали о недостатках конструкции и особенностях физики реактора, они не смогли количественно оценить возможные последствия этих недостатков и понять, что они могут привести к катастрофе.

В целом, по результатам рассмотрения проектных материалов. Комиссия считает необходимым сделать следующие выводы:

- проект 4-го блока ЧАЭС имел существенные отступления от норм и правил по безопасности в атомной энергетике, действовавших на момент согласования и утверждения технического проекта 2 очереди Чернобыльской АЭС в составе блоков NN 3 и 4;
- разработчиками проекта отступления не были выявлены, проанализированы, обоснованы и согласованы в установленном порядке. Не было разработано технических и организационных мер, компенсирующих отступления от требований норм и правил по безопасности. От срока ввода в действие ОПБ-73 и ПБЯ-04-74 до аварии прошло более 10 лет, в течение которых осуществлялось проектирование, строительство, а затем и эксплуатация блока №4. ЧАЭС, однако, на протяжении всего этого периода Главным конструктором, Генпроектировщиком, Научным руководителем не было предпринято эффективных мер для приведения конструкции РБМК-1000 в соответствие с требованиями норм и правил по безопасности. Столь же бездейственными в вопросах приведения АЭС с реакторами РБМК-1000 в соответствие требованиям действующих правил по безопасности в атомной энергетике оказались Минсредмаш СССР, Минэнерго СССР и органы Государственного надзора и контроля.

Комиссия отмечает, что проект не был приведен также и в соответствие с "Общими положениями обеспечения безопасности" (ОПБ-82), вступившими в силу в 1982 г.

## 4. ПРИЧИНЫ И ОБСТОЯТЕЛЬСТВА АВАРИИ

*4.1. Общая характеристика программы испытаний, при выполнении которой произошла авария на 4 блоке ЧАЭС.*

Авария произошла при проведении испытаний режима выбега с нагрузкой собственных нужд турбогенератора №8 блока №4 Чернобыльской АЭС.

Необходимость проведения этих испытаний была обусловлена тем, что своевременно, до начала промышленной эксплуатации блоков данной серии, не был отработан один из важных противомаварийных режимов эксплуатации. Предложение об использовании выбега турбогенераторов с нагрузкой собственных нужд исходило от Главного конструктора [60] и объяснялось необходимостью гарантированного обеспечения принудительной циркуляции в контуре охлаждения реактора, для чего требовалось обеспечить главные циркуляционные насосы (ГЦН) и питательные насосы (ПН) надежным электроснабжением. Указанная концепция использования выбега была признана и включена в проекты строительства АЭС с реакторами РБМК (см. например ТОБ 2 очереди Смоленской АЭС: При МПА, сопровождающейся обесточиванием собственных нужд блока, охлаждающая вода подается в аварийную половину ПНами, работающими за счет выбега турбогенератора...").

В соответствии с требованиями проекта для режима обесточивания АЭС при максимальной проектной аварии (МПА) электроснабжение ПН, являющихся составными элементами третьей подсистемы аварийного охлаждения реактора (САОР), должно обеспечиваться за счет механической энергии выбега турбогенератора (ТГ). Однако 4 блок ЧАЭС был принят в эксплуатацию в декабре 1983 года без опробования этого проектного режима. Подобные испытания должны быть составной частью предэксплуатационных испытаний основных проектных режимов, проводимых при различных уровнях мощности энергоблока.

В 1982 г. Чернобыльской АЭС, с привлечением по договору предприятия "Донтехэнерго" и с участием представителей Генпроектанта, института "Гидропроект" им. С.Я. Жука, были проведены соответствующие испытания на 3 энергоблоке ЧАЭС. Испытания показали, что требования по характеристикам электрического тока, вырабатываемого за счет выбега ТГ, в течение заданного времени не выдерживаются и необходима доработка системы регулирования возбуждения ТГ.

Дополнительные испытания с модернизированным блоком выбега проводились в 1984 и 1985 гг.. Программами 1982 и 1984 гг. предусматривалось подключать к выбегающему ТГ по одному ГЦН

с каждой стороны реактора, а программами 1985 и 1986 гг. — по два ГЦН. Программами 1984, 1985 и 1986 гг. предусматривалось отключение САОР ручными задвижками.

Комиссия считает, что выполнение указанных выше испытаний неправомерно относить к чисто электрическим, поскольку их проведение сопровождается изменением схемы электропитания ответственных механизмов энергоблока, требует вмешательства в штатную систему защит и блокировок. Такие испытания должны классифицироваться как комплексные испытания блока, и программу их проведения целесообразно было согласовать с Генеральным проектировщиком, Главным конструктором. Научным руководителем и органом Государственного надзора. Однако действовавшие до аварии ПБЯ 04-74, ОПБ-82 не требовали от руководства атомной станции проводить согласование такого рода программ с указанными выше организациями.

В целом же главная идея программы подчинена возможно более реалистичной проверке проектного режима и существо ее не вызывает возражений. С точки зрения современных подходов к разработке программ проведения подобных испытаний на АЭС, рассматриваемый документ не вполне удовлетворителен прежде всего в части регламентации мер безопасности, однако, совокупность эксплуатационной документации (регламент, инструкции) вместе с обсуждаемой программой давали достаточные основания для безопасного проведения запланированного режима. Причины аварии скрыты не в программе, как таковой, а в незнании разработчиками программы особенностей поведения реактора РБМК-1000 в предстоявшем режиме работы.

Специфической теплогидравлической особенностью запланированного режима являлся повышенный, относительно номинального, начальный расход теплоносителя через реактор. Паросодержание было минимальным при незначительном недогреве теплоносителя до температуры кипения на входе в активную зону. Оба указанных фактора, как оказалось, имели прямое отношение к масштабу проявившихся при испытаниях эффектов.

#### **4.2. Хронология технологического процесса 25-26.04.86 г. на 4 блоке ЧАЭС.**

Комиссия основывает свой анализ и выводы на следующей хронологической последовательности событий, полученных ею на основе изучения источников, указанных в п. 4.3.



25 апреля 1906 г.

время

события

(по оперативному журналу)

часы, минуты)

01.06.	начало разгрузки энергоблока: оперативный запас реактивности (ОЗР) равен 31 ст. РР;
03.45.	начата замена состава газовой продувки графитовой кладки реактора с азотно-гелиевой смеси на азот;
03.47	тепловая мощность реактора 1600 МВт;
с 04.13.	поочередное измерение характеристик
до 12.36	систем регулирования и вибрационных характеристик ТГ-7, 8 при постоянной тепловой мощности реактора 1500 МВт;
07.10.	ОЗР=13,2 стержня РР;
13.05.	отключен от сети ТГ-7;
14.00.	САОР отключена от КМПЦ;
14.00.	отсрочка выполнения программы испытаний по требованию диспетчера Киевэнерго;
15.20.	ОЗР равен 16,8 ст. РР;
18.50	нагрузка оборудования собственных нужд, не участвующего в испытаниях, переведена на электропитание от рабочего трансформатора Т6;
23.10.	продолжена разгрузка энергоблока; ОЗР равен 26 ст. РР;

26 апреля 1986 года

время (по распечатке ДРЕГ, часы, минуты, секунды)

00.05 (по оперативному журналу)	тепловая мощность реактора составила 720 МВт;
00.28 (по оперативному журналу)	при тепловой мощности реактора около 500 МВт переход с системы локального автоматического регулирования мощности (ЛАР) на автоматический регулятор мощности основного диапазона (1АР, 2АР). В процессе перехода допущено непредусмотренное программой снижение тепловой мощности до 30 МВт (нейтронной мощности до нуля). Начат подъем мощности;
00.34.03"	аварийные отклонения уровня в барабан-
00.43.37"	сепараторах;
00.52.27"	
01.00.04"	
01.09.45"	
01.18.52"	
01.36.24"	уставка АЗ по снижению давления в барабанах сепараторах переведена с 55 на 50 кг/кв.см;
с 00.39.32"	программа ДРЕГ не работала;

до 00.43.35"	персоналом блокирован сигнал АЗ по останову двух ТГ;
с 00.41. до 01.16. (по оперативному журналу)	отключение от сети ТГ-8 для снятия вибрационных характеристик на холостом ходу;
с 00.52.35" до 00.59.54"	программа ДРЕГ не работала;
01.03. (по оперативному журналу)	тепловая мощность реактора поднята до 200 МВт и застabilизована;
01.03. (по оперативному журналу)	включен в работу седьмой ГЦН (ГЦН-12);
01.07. (по оперативному журналу)	включен в работу восьмой ГЦН (ГЦН-22);
с 01.12.10" до 01.18.49"	программа ДРЕГ не работала;
01.19.39" до 01.19.44"	зарегистрирован сигнал "1 ПК-ВВЕРХ"
с 01.19.57" 01.22.30"	сигнал "1ПК вверх" произведена запись параметров на магнитную ленту. (Расчет произведен на Смоленской АЭС после аварии. ОЗР по программе "ПРИЗМА" оказался равен 8стержням РР);
01.23.04"	подана команда "Осцилограф включен", закрыты стопорно регулирующие клапаны (СРК) турбины № 8. Начался выбег четырех ГЦН: - 13,23 (секция 8РА), - 14,24 (секция 8РБ);
01.23.10" 01.23.30"	нажатие кнопки МПА; снялся сигнал "1ПК-ВВЕРХ" (длительность 3 мин.33 сек.);
01.23.40" (1.23.39" — по телетайпу) 01.23.43"	нажата кнопка АЗ-5. Стержни АЗ и РР начали движение в активную зону; появились сигналы аварийных защит по периоду разгона (АЗС) — период менее 20с.; а также по превышению мощности (АЗМ) — мощность более 530 МВт;
01.23.46" 01.23.46,5"	отключение первой пары "выбегающих" ГЦН; отключение второй пары "выбегающих" ГЦН;

01.23.47"	резкое снижение расходов (на 40%) ГЦН, не участвующих в выбеге (ГЦН-11, -12, -21, - 22); и недостоверное показание расходов ГЦН, участвующих в выбеге (ГЦН-13, -14, -23, - 24); резкое увеличение давления в БС; резкий подъем уровня в БС; сигналы "неисправность измерительной части" обоих автоматических регуляторов основного диапазона (1АР, 2АР);
01.23.48"	восстановление расходов на ГЦН, не участвующих в выбеге, до значений, близких к исходным; на выбегающих ГЦН левой стороны восстановление расходов на 15% ниже исходного; на выбегающих ГЦН правой стороны восстановление расхода на 10% от исходного для ГЦН-24; и недостоверность для ГЦН-23; дальнейший рост давления в БС (левая сторона - 75,2 кгс/кв.см, правая – 88,2 кгс/кв.см) и уровня в БС; срабатывание БРУ-К1, БРУ-К2;
01.23.49"	сигнал аварийной защиты "Повышение давления в РП (разрыв ТК)"; сигнал "нет напряжения – 48в" (снято питание муфт сервоприводов СУЗ); сигналы "неисправность исполнительной части 1АР, 2АР";

Из записи в оперативном журнале старшего инженера управления реактором:

"01 ч. 24 мин. Сильные удары, стержни СУЗ остановились, не дойдя до ПК (нижних концевиков). Выведен ключ питания муфт".

#### *4.3. Данные о регистрируемой информации, использованной комиссией.*

Ход предаварийного и аварийного процессов анализировался Комиссией с использованием данных регистрации следующих приборных и информационно-вычислительных систем:

- штатные самопишущие приборы с соответствующими диаграммными лентами;
- штатная система централизованного контроля (СЦК) СКАЛА, использующая ЭВМ и включающая, в частности, программу диагностической регистрации параметров (ДРЕГ), а также программу расчета непосредственно не измеряемых параметров реактора (ПРИЗМА);
- нештатная система осциллографирования важных параметров, характеризующих выбег ТГ.

#### 4.3.1. Штатные самопишущие приборы.

Предназначены для регистрации сравнительно медленно протекающих процессов (скорость лентопотяжки не более 240 мм/ч) и поэтому позволяют достаточно определенно регистрировать значения экстремумов интересующих параметров, но не пригодны для восстановления хода быстропротекающих нестационарных процессов.

#### 4.3.2. Система централизованного контроля СКАЛА с подсистемами.

Система обеспечивает расчет основных параметров реакторной установки с периодичностью около 5 мин., что обусловлено мощностью ЭВМ типа В-3М. Естественно, что такая периодичность расчетов также не пригодна для анализа быстропротекающих процессов.

Программа ДРЕГ обладает большой полнотой и разрешением по времени. Она опрашивает и регистрирует несколько сотен дискретных и аналоговых сигналов. Время ввода информации в ЭВМ о непосредственно измеряемых параметрах составляет менее 1 с. Однако программа ДРЕГ не фиксирует такие важные параметры реакторной установки, как мощность, реактивность, поканальные расходы теплоносителя и другие массовые параметры. Из 211 стержней СУЗ регистрируются положения только 9-ти стержней, в том числе по одному стержню каждой из трех групп автоматических регуляторов. Эти параметры не являются непосредственно измеряемыми, поэтому цикл их опроса значительно больше (1 мин.). Несмотря на малый цикл, регистрации некоторых параметров (1с), интервал опроса может быть довольно неопределенным в связи с тем, что программа ДРЕГ в СЦК СКАЛА является одной из самых низкоприоритетных. Кроме того, в течение последнего часа перед аварией ДРЕГ имел 3 перерыва в работе, связанные с перезапуском СЦК СКАЛА. Это привело к дополнительной потере информации. Другие результаты работы СЦК СКАЛА, включая программу ПРИЗМА и запись состояния реакторной установки на магнитную ленту (РЕСТАРТ), имеют большой цикл (5 мин.), а также перерывы во времени, обусловленные перезапуском системы и особенностями работы программного обеспечения. Кроме того, результаты работы программы ПРИЗМА регистрируются только на распечатках.

#### 4.3.3. Осциллографирование.

Нештатная система осциллографирования быстроменяющихся параметров была смонтирована в соответствии с программой испытаний.

Она позволила получить с хорошей точностью параметры работы отдельного оборудования: ТГ-8; ГЦН-13, ПН-4, секций 8РА.8РБ. Недостатком системы явилось отсутствие синхронизации указанных электрических параметров с реакторными параметрами, фиксируемыми СЦК СКАЛА. Однако имеющиеся документы — расшифровка осциллограммы электрических параметров и фиксация программы ДРЕГ — позволяют довольно точно синхронизировать между собой реперные события. Главные из них — посадка стопорных клапанов турбины N 8 и момент нажатия кнопки АЗ-5 оператором.

По записи программы ДРЕГ известен момент посадки СК турбины N 8 - 1 ч. 23 мин. 04 с. Этот момент можно отметить по изменению ряда параметров на осциллограмме. Известно, что сигнал на срабатывание АЗ-5 прошел в 1 ч. 23 мин. 40 с., что также можно отметить на осциллограмме, а изменения электрических параметров на ней зафиксированы с высокой степенью точности, поэтому может быть определено время нажатия кнопки МПА, отключения ГЦН. Так определено, что отключение первой пары ГЦН ("выбегающих") произошло в 1 ч. 23 мин. 46 с., а сброс нагрузки другой пары ГЦН — через 0,45 сек после этого. Это значит, что эти события произошли через 6,0-6,45 с. после нажатия кнопки АЗ-5 оператором.

Анализ осциллограммы говорит о том, что нажатие кнопки МПА произошло через 6,6 с. после посадки стопорных клапанов турбины №8.

#### **ПРИМЕЧАНИЕ:**

*"Кнопка МПА" — специально смонтированная для проведения испытаний кнопка с целью имитации сигнала МПА (максимальной проектной аварии) и выдачи его в схему запуска дизельгенератора N 6 со схемой ступенчатого набора нагрузки и включения испытуемого блока выбега ТГ-8.*

#### **4.4. О математическом моделировании предаварийного и аварийного процесса.**

Комиссия отмечает, что сколько бы ни была полна и достоверна приборно-регистрируемая информация о параметрах реакторной установки в аварийном режиме, для анализа аварии рассматриваемого типа необходимо привлекать математическое моделирование предаварийных и аварийных процессов. Оно необходимо не только для того, чтобы заполнить имеющиеся регистрационные паузы и выполнить экстраполяции в область неизмеряемых параметров, но также и для того, чтобы выяснить

чувствительность результатов по отношению к некоторым важным исходным параметрам. Без этого невозможно также судить о достаточности последующих противоаварийных мероприятий.

Комиссия, проанализировав доступные ей источники, считает, что до настоящего времени не создана комплексная математическая модель в достаточной степени адекватная объекту РБМК-1000 и верифицированная по экспериментальным данным. Различные по охвату необходимых для анализа явлений модели имеются в НИКИЭТ, ИАЭ, ВНИИАЭС, КИЯИ АН УССР и некоторых других организациях. Имеются математические модели в ряде организаций зарубежных стран, результаты расчетов по которым обсуждались с советскими специалистами.

Компилируя результаты расчетов различных фрагментов хода предаварийного и аварийного процессов, не противоречащих друг другу и согласующихся с имеющимися экспериментальными данными, к настоящему времени удастся получить, по-видимому, достаточно реалистическую картину развития аварии.

Одно из первых расчетных исследований после аварии проведено с использованием одномерной модели в ИАЭ [28], в которой зависимость реактивности от положения стержней СУЗ была получена на пространственной модели. Однако, несмотря на удовлетворительное в целом описание основных событий, начиная с 01 ч. 19 мин., данная модель является качественной, т.к. не имеет детального описания процесса в активной зоне и поэтому не может давать надежных результатов по поведению реактивности, мощности и другим параметрам. Это подтверждается наличием расхождений между результатами моделирования и зарегистрированными данными (отсутствие в действительности сигнала "1ПК-ВНИЗ" в 01 ч. 23 мин. 38 с., заниженное значение расхода через КМПС по модели в 01 ч. 23 мин, 43 с. и др.), а также неадекватностью поведения реактивности и мощности.

Вариант распределенной быстродействующей нейтронно-физической модели РБМК был разработан и использовался в расчетных исследованиях аварии в КИЯИ АН УССР. Перенос нейтронов в ней описывается нестационарным однотрупповым уравнением диффузии, которое решается на крупной сетке с шагом 50 см. Плотность теплоносителя и перемещение стержней СУЗ учитывается путем пересчета констант, а изменение температуры топлива вводится как влияние обратной связи через температурный коэффициент реактивности. Для задания глубины выгорания топлива по высоте ТВС используются данные прогнозных расчетов (REFUELER). Однотрупповые константы готовятся из двухгрупповых, рассчитанных по программе WIMS.

Эта модель использовалась в программном комплексе ДИКРУС, разработанном во ВНИИАЭС, в качестве быстродействующего блока нейтронно-физического расчета [33]. С ее использованием было проведено исследование режима сброса стержней АЗ-5 для состояния, в котором находился реактор 4-ого блока ЧАЭС 26.04.86 г. на момент времени 01 ч. 22 мин. 30 с.

Сочетание удовлетворительного описания кинетики энерговыделения с удовлетворительным теплогидравлическим описанием тепловой инерции твэлов и роста парообразования в активной зоне с предварительной тщательной настройкой модели по распределенным исходным данным выдвигает данную модель в число наилучших в настоящее время моделей для анализа Чернобыльской аварии.

Результаты моделирования процесса не противоречат тем данным, которые зарегистрированы программой ДРЕГ за последние 9 с. (сигналы АЗС и АЗМ, рост давления и уровней в БС, повышение давления в РП соответственно на 3-ей, 6-ой и 9-ой секундах после нажатия кнопки АЗ-5).

Однако рассматриваемую модель все еще нельзя считать в достаточной мере адекватной объекту, поскольку одногрупповое приближение в нестационарном уравнении на зарубленной разностной сетке для реакторных установок подобного типа, вероятно, не дает результатов достаточной точности. Кроме того, в качестве исходных берутся данные (положение стержней СУЗ, токи датчиков СФКРЭ и др.), зафиксированные за 1 мин. 10 с. до начала исследуемого режима. Примерно в это время закончилась интенсивная подпитка БС, а через 34 с. были закрыты стопорные клапаны турбины. Таким образом, к моменту нажатия кнопки АЗ-5 в 1 ч. 23 мин. 40 с., указанные параметры могли измениться. Тем не менее Комиссия считает, что результаты рассмотренной работы к настоящему времени являются одними из наиболее полных, не содержат существенных нереалистических допущений в своей постановочной части и в части полученных результатов не противоречат результатам других фрагментарных исследований и поэтому могут претендовать на то, чтобы они были приняты за основу при анализе происшедших процессов.

Можно полагать, что из отечественных наиболее совершенной нейтронно-физической моделью реактора РБМК является модель, реализованная в программе STEPAN, разработанной в ИАЭ [52].

В ней решаются нестационарные двугрупповые диффузионные уравнения переноса нейтронов в трехмерной геометрии с учетом 18 групп запаздывающих нейтронов (по 6 для U-235, Pu-239, Pu-241). Двугрупповые диффузионные константы рабочих ячеек

РБМК представляются в виде зависимости от 5 переменных: глубины выгорания топлива, плотности теплоносителя, температур топлива и графита, концентрации ксенона. Исходные значения констант получают с помощью программы WIMS.

Комиссия отмечает, что подробный анализ развития и возникновение аварии с использованием программы STEPAN в качестве нейтронно-физического блока в математической модели, в котором бы рассматривалось влияние всех факторов (критические величины ОЗР, недогрева теплоносителя на входе в активную зону и др.), не проведен до настоящего времени.

Кроме указанных выше особенностей и недостатков разных методик расчетного моделирования, использование даже самых совершенных из них встречает трудность, обусловленную некорректностью исходных данных. Она заключается<sup>1</sup> в том, что расчет распределения изотопного состава (энерговыворботки) по высоте рабочих каналов штатной системой централизованного контроля не ведется. Поэтому распределение получается с помощью прогнозного расчета в зависимости от общей энерговыворботки ТВС, без учета конкретных условий их эксплуатации. Это же обстоятельство не дает возможности корректно учесть нестационарное распределение ксенона-135 непосредственно перед началом аварийного процесса. Влияние этих факторов для распределенных моделей, повидимому, может быть заметным. Следовательно, снижается точность в определении параметров состояния реактора (нейтронные потоки, мощность, реактивность, температура и др.), времен событий (достижение максимальной реактивности или мгновенной критичности, предельных температур и др.) и координат (максимума нейтронного потока, энерговывделения, разрушения топлива и др.).

Комиссия считает, что работы по усовершенствованию методик математического моделирования РБМК, их верификации и расчетному анализу аварии на ЧАЭС ведутся крайне медленно, являясь низкоприоритетными. В результате до настоящего времени нет достаточно представительного количественного анализа, выполненного на уровне, соответствующем возможностям современной вычислительной техники и разработкам по физике РБМК.

#### *4.5. Версии и предполагаемые причины аварии.*

Первая официальная версия происшедшей аварии была сформулирована 5 мая 1986 года на ЧАЭС межведомственной комиссией под председательством первого заместителя Министра среднего машиностроения СССР А.Г. Мешкова [46]. Она состояла в том, что авария на энергоблоке N 4 Чернобыльской АЭС произошла в



результате неконтролируемого разгона реактора вследствие запаивания технологических каналов активной зоны из-за срыва циркуляции в контуре МПЦ. Срыв циркуляции произошел из-за несоответствия расхода питательной воды и расхода теплоносителя в контуре МПЦ.

Несколько ранее, 1.05.86 г. в обращении к директору ИАЭ А.П. Александрову, а 9.05.86 в письме руководителям страны, сотрудниками ИАЭ, начальником группы по надежности и безопасности АЭС с РБМК В.П. Волковым, была изложена иная версия аварии, которая "обусловлена не действиями обслуживающего персонала, а конструкцией активной зоны и неверным пониманием нейтронно-физических процессов, протекающих в ней". Версия предполагала в качестве причин аварии - положительный выбег реактивности при вводе стержней СУЗ из-за их конструктивного дефекта и большой положительный паровой коэффициент реактивности.

Последующий более углубленный анализ теплогидравлического режима работы ГЦН, выполненный в конце мая 1986 г. представителями ОКБМ (разработчика ГЦН), института "Гидропроект" им. С.Я. Жука и ВТИ им. Ф.Э. Дзержинского, не подтвердил предположение о кавитации и срыве ГЦН [44]. Было установлено, что наименьший запас до кавитации ГЦН имел место в 1 ч. 23 мин. 00 с., т.е. приблизительно за 40 с. до разгона реактора, но был выше того, при котором мог бы произойти срыв ГЦН.

Тогда же, в конце мая 1986 г., после изучения имевшихся данных и проведения расчетов группа специалистов Минэнерго СССР (А.А.Абагян, В.А.Жильцов, В.С.Конвиз, В.З.Куклин, Б.Я.-Прушинский, А.С.Сурба, Ю.Н.Филимонцев, Г.А.Шашарин) направила дополнение к акту расследования аварии [48], в которой изложила причины аварии, такие как: принципиально неверная концепция стрежней СУЗ; положительные паровой и быстрый мощностной коэффициенты реактивности; большой расход теплоносителя при малом расходе питательной воды; нарушение персонала регламентного ОЗР, малый уровень мощности; недостаточность в проекте средств защиты и оперативной информации персоналу; отсутствие указаний в проекте и технологическом регламенте об опасности нарушения ОЗР.

На состоявшихся под председательством А.П.Александрова двух заседаниях МВНТС (2.06.86 г. и 17.06.86 г.) результатам расчетов ВНИИАЭС, продемонстрировавшим, что недостатки конструкции реактора в значительной мере явились причиной катастрофы, не было придано серьезного внимания и, по существу, все причины аварии были сведены исключительно к ошибкам в действиях персонала.

Решения МВНТС открыли путь для представления в МАГАТЭ, широкому кругу специалистов и общественности односторонней информации о причинах и обстоятельствах, приведших к аварии.

В докладе советской делегации совещанию экспертов МАГАТЭ в г. Вене в августе 1986 г. [47] версия о срыве ГЦН уже не фигурирует. В нем указывается, что "первопричиной аварии явилось крайне маловероятное сочетание нарушений порядка и режима эксплуатации, допущенных персоналом энергоблока". Исходное событие начала аварийного процесса не указывается. Однако существо аварийного процесса представлено следующим образом ([47] стр.309).

К началу испытаний, а именно к 1 ч. 23 мин. параметры реактора были наиболее близки к стабильным. Закрытие СРК турбины привело к медленному росту давления пара в БС со скоростью примерно 6 кПа/с. Одновременно начал снижаться расход теплоносителя через реактор, обусловленный выбегом четырех из восьми ГЦН. За минуту до этого (в 1 ч. 20 мин.), оператор снизил расход питательной воды.

#### **ПРИМЕЧАНИЕ КОМИССИИ:**

*В действительности это был возврат расхода питательной воды к некоторому среднему расходу, соответствующему мощности реактора 200 МВт, и равному, примерно, по 120 т/час на каждую сторону реактора.*

Снижение расхода теплоносителя через реактор, а также питательной воды в БС, несмотря на конкурирующее (по генерации пара) с этими факторами повышение давления, в конечном итоге привели к росту мощности реактора, поскольку реактор обладает положительной обратной связью между мощностью и парообразованием. В условиях эксперимента перед началом выбега ТГ имело место незначительное содержание пара в активной зоне, и его прирост был во много раз больше, чем при нормальной эксплуатации на номинальной мощности (стр. 309).

Именно рост мощности мог побудить персонал нажать кнопку аварийной защиты АЗ-5. Поскольку в нарушение технологического регламента из активной зоны персоналом было выведено больше допустимого количества поглощающих стержней РР, эффективность стержней АЗ оказалась недостаточной и суммарная положительная реактивность продолжала расти (стр. 311).

Как следует из вышеизложенной официальной версии, исходным событием аварийного процесса было закрытие СРК турбины, т.е. начало испытаний по выбегу, усугубленное снижением расхода питательной воды.

Комиссия считает, что недостатком изложенной версии является отсутствие подтверждения ее расчетом без привлечения каких-либо дополнительных данных. В частности, в работе американских специалистов [49], выполненной на основе информации, подготовленной специалистами СССР для МАГАТЭ, указано: "Расчеты не подтверждают утверждение об изменении мощности и взрыве в течение минуты испытаний". Этот же вывод содержится в отчете НИКИЭТ [72], выпущенном в 1990 г. и публикации его директора Е.О.Адамова [73].

ИАЭ в 1986 г. выполнил анализ возможных версий аварии, согласно которым в реакторе могло бы происходить быстрое и значительное увеличение реактивности [28].

Анализ построен на выявлении противоречий между ожидаемым эффектом рассматриваемой версии аварии с имеющимися объективными данными, зафиксированными программой ДРЕГ.

Перечень этих версий насчитывает 13 позиций, причем выдвигались они разными специалистами на разных стадиях расследования причин аварии.

1. Взрыв водорода в баесеине-барботере (ББ).
2. Взрыв водорода в нижнем баке контура охлаждения СУЗ.
3. Диверсия (взрыв заряда с разрушением трубопроводов КМПЦ).
4. Разрыв напорного коллектора ГЦН или раздаточного группового коллектора.
5. Разрыв БС или пароводяных коммуникаций.
6. Эффект вытеснителей стержней СУЗ.
7. Неисправность АР.
8. Грубая ошибка оператора при управлении стержнями РР.
9. Кавитация ГЦН, приводящая к подаче пароводяной смеси в ТК.
10. Кавитация на дроссельно-регулирующих клапанах (ДРК).
11. Захват пара из БС в опускные трубопроводы.
12. Пароциркониевая реакция и взрыв водорода в активной зоне.
13. Попадание сжатого газа из баллонов САОР.

В работе ИАЭ показано, что все перечисленные версии, кроме одной (п.6), противоречат имеющимся объективным данным.

Применительно к этому анализу Комиссия считает необходимым отметить, что согласно расчетам ВНИИАЭС [33], при исходном состоянии реакторной установки, имевшем место перед началом испытаний, возникновение крупной (более Ду 300 мм) течи теплоносителя из КМПЦ, в силу присущего реактору большого положительного парового коэффициента реактивности, могло привести к не менее крупномасштабной аварии. И некоторое время при расследовании аварии предполагалось, что контур МПЦ действительно поврежден, например, по причине повышенной

вибрации ГЦН, обусловленной их возможной кавитацией. Однако версия о течи теплоносителя (см. пп. 3,4,5 перечня возможных версий аварии) были отвергнуты из-за того, что при них показания приборов давления и уровня в БС и ряда других параметров были бы другими. Кроме того, осмотры помещений КМПЦ блока N 4 ЧАЭС, проводившиеся в течение нескольких лет после аварии не выявили повреждений контура, которые могли бы стать исходным событием аварии.

На основании изложенного, Комиссия считает необходимым углубленно рассмотреть версию аварии, связанную с реактивностным эффектом вытеснителей стержней СУЗ, обусловленным их конструкцией, в увязке со всей последовательностью технологических операций при испытаниях режима выбега и с учетом физических особенностей реактора РБМК-1000, как не требующую каких-либо предположений о маловероятных событиях.

Как следует из письма от 26.03.90 г., подписанного заместителем директора ИАЭ Н.Н.Пономаревым-Степным, директором НИКИЭТ Е.О.Адамовым, директором ВНИИАЭС А. А. Абагяном, эта версия ими не отвергается, что выражается следующей формулировкой:

"Авария произошла в результате вывода реактора в нерегламентное состояние, обусловленное рядом причин, основными из которых являются: снижение оперативного запаса реактивности ниже регламентного значения, малая величина недогрева теплоносителя на входе в реактор. В ЭТИХ УСЛОВИЯХ ПРОЯВИЛИСЬ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЙ ПАРОВОЙ ЭФФЕКТ РЕАКТИВНОСТИ, НЕДОСТАТКИ КОНСТРУКЦИИ СТЕРЖНЕЙ СУЗ, А ТАКЖЕ НЕУСТОЙЧИВАЯ ФОРМА НЕЙТРОННОГО ПОЛЯ, ВОЗНИКШАЯ ВСЛЕДСТВИЕ СЛОЖНОГО ПЕРЕХОДНОГО РЕЖИМА. Авария завершилась разгоном реактора на мгновенных нейтронах" [51].

В приведенной формулировке отсутствует упоминание о каком-либо внешнем теплофизическом возмущении, проявившем большую негативную роль положительного парового эффекта реактивности реактора, на существовании которого настаивает НИКИЭТ [72]. Это очевидное существующее до настоящего времени противоречие требует дополнительных усилий для выяснения причин аварии.

Комиссия не располагает математической моделью, описывающей ход аварийного процесса, однако, основываясь на результатах инструментальных измерений на аварийном блоке и на фрагментарных результатах расчетов, проведенных и опубликованных другими организациями, находит возможным и целесообразным

изложить сценарий предаварийного и аварийного процесса в нижепредставленном виде, комментируя его оценками действий персонала и влиянием характеристик реактора.

#### **4.6. *Версия Комиссии о причинах аварии.***

##### **4.6.1. Период нормальной эксплуатации и подготовки испытаний.**

Процесс разгрузки энергоблока, начатый в 1 ч. 06 мин. 25.04.86 г. до процесса продолжения разгрузки ниже 720 МВт тепловых в первом часу ночи 26.04.86 не повлиял на возникновение аварии, хотя в названный период времени и было допущено два нарушения технологического регламента: работа с ОЗР ниже допустимого и отключение САОР.

После 00 ч. 28 мин. 26.04.86 г. произошло весьма важное для безопасности событие. СИУР при переходе с системы локального автоматического управления распределением энерговыделений по объему активной зоны (ЛИАР) на автоматический регулятор общей мощности реактора (АР), не смог устранить достаточно быстро разбаланс, появившийся в измерительной части АР, допустил снижение тепловой мощности реактора с 500 до уровня 0 - 30 МВт (ориентировочно).

Следствием допущенных неудачных действий по управлению реактором явилось то, что для компенсации дополнительной отрицательной реактивности, возникшей из-за ксенонового отравления активной зоны при снижении мощности, а также в процессе последовавшего затем повышения мощности до 200 МВт из реактора пришлось извлечь часть стержней оперативного запаса - ОЗР, чем, как считает Комиссия, с осознанием тяжести последствий или без него, персонал перевел реактор в нерегламентное положение, при котором аварийная защита перестала быть гарантом гашения ядерной реакции (см. раздел 4.8. доклада).

В период времени от начала подъема мощности до стабилизации параметров энергоблока при мощности 200 МВт, наступившей приблизительно к 1 ч. 23 мин. на энергоблоке шли обычные технологические процессы и проводились обычные технологические операции (за исключением включения четвертой пары ГЦН), такие как: срабатывание паросбросных устройств БРУ-К, ручное регулирование уровня в БС, перекомпенсация реактора и т.д.

В 1 ч. 22 мин. 30 с. была произведена запись параметров энергоблока системой СЦК СКАЛА на магнитную ленту, причем оперативные расчеты по программе ПРИЗМА в тот период не производились. Они были выполнены после аварии с использованием снятой с СЦК

магнитной ленты по программе "ПРИЗМА-АНАЛОГ" вне пределов ЧАЭС (на Смоленской АЭС). Персонал БЩУ и персонал системы СКАЛА результатов оперативных расчетов не имел и вычисляемых параметров, включая значение ОЗР, на этот момент не знал.

С позиций оценки причин и масштабов аварии Комиссия отмечает следующие характерные особенности существовавшего в тот период режима.

Высотное распределение энерговыделения по большей части активной зоны было двугорбым с более высокими значениями нейтронного потока в верхней части активной зоны [71]. Такое распределение является вполне естественным для того состояния, в котором находился реактор: выгоревшая активная зона, почти все стержни регулирования в верхнем положении, отравление ксеноном в центральных частях реактора больше, чем на периферии [29,47]. Как показали расчеты [61,48], такое распределение чрезвычайно неблагоприятно с точки зрения кинетической устойчивости в сочетании с существовавшей конструкцией СУЗ.

Теплогидравлический режим работы активной зоны характеризовался весьма малым недогревом теплоносителя до кипения (ЗС) и соответственно, незначительным паросодержанием, которое имело место лишь в верхней части активной зоны [33]. В создавшихся условиях небольшой прирост мощности (по любой причине) в силу малого недогрева до кипения теплоносителя мог приводить к приросту объемного паросодержания в нижней части активной зоны значительно большему, чем его прирост в верхней части активной зоны.

Таким образом, перед началом испытаний параметры активной зоны обусловили повышенную восприимчивость реактора к саморазгонному процессу в нижней части активной зоны. Комиссия считает, что такое состояние создалось не только потому, что имел место повышенный против обычного расход теплоносителя через реактор (под воздействием работы восьми вместо обычных шести ГЦН, повышенный расход препятствует парообразованию), а прежде всего малым значением мощности реактора. Подобные теплогидравлические параметры могут иметь место при каждой разгрузке реактора.

Исходное состояние блока непосредственно перед испытаниями на 01 ч. 23 мин. характеризовалось следующим: мощность 200 МВт (т), ОЗР (величина получена по программе ПРИЗМА-АНАЛОГ по состоянию на 01 ч. 22 мин. 30 с.) 8 ст. РР, поле по высоте двугорбое с максимумом вверху, расход теплоносителя 56 тыс. куб.м/час, расход питательной воды 200 т/час, теплофизические параметры близки к стабильным.

Руководство смены энергоблока сочло, что проведение испытаний подготовлено, и после включения осциллографа последовала команда на закрытие стопорно-регулирующих клапанов, которые были закрыты в 1 ч. 23 мин. 04 с.

Как в этот период, так и на протяжении приблизительно 30 с. процесса выбега 4-х ГЦН параметры энергоблока уверенно контролировались, находились в ожидаемых для данного режима пределах и не требовали каких-либо действий персонала.

Однако, ПОЛЬЗОВАТЬСЯ АВАРИЙНОЙ ЗАЩИТОЙ РЕАКТОРА ДАННОГО КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ДОПУЩЕННОГО СНИЖЕНИЯ ОЗР НИ ПО АВАРИЙНЫМ СИГНАЛАМ, НИ ВРУЧНУЮ ПОСЛЕ ЗАВЕРШЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ БЕЗ ПОВРЕЖДЕНИЯ АКТИВНОЙ ЗОНЫ УЖЕ БЫЛО НЕЛЬЗЯ, ПОВИДИМОМУ, НАЧИНАЯ С 00 Ч. 30 МИН. 26.04.86 г., что требуется проверить дополнительными исследованиями.

#### 4.6.2. Период испытаний по программе.

Начавшиеся в 1 ч. 23 мин. 04 с. испытания вызвали следующие процессы в реакторной установке.

ГЦН, получавшие электропитание от замедлявшего свое вращение ТГ-8 (ГЦН-13, -14, -23, -24), снижали обороты и уменьшали производительность. Остальные ГЦН (ГЦН-11, -12, -21, -22) в небольшой степени ее увеличивали. Суммарный расход теплоносителя снижался. За 35 с переходного процесса он снизился на 10-15% от исходного.

Снижение расхода теплоносителя вызвало соответствующее увеличение паросодержания в активной зоне, чему в некоторой (малой) мере противодействовало повышение давления вследствие закрытия СРК ТГ-8.

Математическое моделирование этой стадии процесса выполнено советскими [48] и американскими специалистами [49]. Оно показало хорошее согласие теоретических предсказаний интегральных параметров с действительно зарегистрированными. Оба расчета показали, что высвобождавшаяся пустотная (паровая) реактивность была незначительна и могла быть скомпенсирована небольшим погружением в активную зону стержней АР (до 1,4 м).

В процессе выбега ТГ-8 не происходило увеличение мощности реактора. Это подтверждается программой ДРЕГ, которая с 01 ч 19 мин 39 с до 01 ч 19 мин 44 с и с 01 ч 19 мин 57 с до 01 ч 23 мин 30с, т.е. до испытаний и значительную часть периода испытаний, регистрировала сигнал "1ПК-ВВЕРХ", при котором стержни автоматических регуляторов не могут двигаться в активную зону.

Их положения, зарегистрированные последний раз в 01 ч 22 мин 37 с составляли: 1,4; 1,6 и 0,2 м для 1АР, 2АР, 3АР соответственно.

Таким образом, ни мощность реактора, ни другие параметры реакторной установки: давление и уровень в БС, расходы теплоносителя и питательной воды и другие — не требовали какого-либо вмешательства ни персонала, ни предохранительных устройств на протяжении периода от начала испытаний до нажатия кнопки АЗ-5.

Комиссия не выявила событий или динамических процессов, например, незаметно начавшегося разгона реактора, которые могли бы стать исходным событием аварии. Комиссия выявила наличие достаточно продолжительного исходного состояния реакторной установки, при котором под воздействием возникшей по какой-либо причине положительной реактивности мог развиваться процесс увеличения мощности в условиях, когда аварийная защита реактора могла и не быть таковой.

#### 4.6.3. Развитие аварийного процесса.

В 01 ч. 23 мин. 40 с. старшим инженером по управлению реактором была нажата кнопка ручной аварийной остановки реактора АЗ-5.

Комиссии не удалось достоверно установить, по какой причине она была нажата.

Поскольку скорость развития последовавшего затем процесса не совместима с разрешающей способностью регистраторов параметров реакторной установки, то дальнейший анализ возможен только на базе теоретических построений, адекватность которых базируется на инструментально измеренных показаниях с временными поправками, присущими системе регистрации, сведения о которых даны в разделе 4.3.

Восстановление путем физического расчета [33] поля энерговыделений, с приемлемой точностью подтверждающее высотное распределение, показало, что и радиальное распределение энерговыделений также обладает высокой неравномерностью (коэффициент неравномерности достигает 2,0). Таким образом, начальное энерговыделение по объему активной зоны весьма неоднородно [33,71].

Выполненное различными организациями независимо друг от друга математическое моделирование кинетики изменения энерговыделения [34,73] показывает весьма удовлетворительное качественное их согласие. Результатов, которые опровергали бы результаты, указанные выше, не обнаружено. Это позволяет интерпретировать происшедший процесс следующим образом.



Движение стержней АЗ и РР по команде АЗ-5 вызвало значительные дополнительные деформации энерговыделений. -В верхних слоях активной зоны, куда начали вдвигаться поглощающие части стержней АЗ и РР, нейтронный поток начал убывать. В нижних сечениях активной зоны, из которых начали убираться поглощающие нейтроны столбы воды, - возрастать.

Самописец мощности реактора, который воспроизводит суммарный ток боковых ионизационных камер, расположенных за пределами активной зоны, зарегистрировал небольшое снижение мощности, а затем ее рост. В дальнейшем оба рассматриваемых расчета показывают, что практически все энерговыделение смещается в нижнюю часть активной зоны высотой около 2 м. Оба расчета показывают, что линейные тепловые нагрузки в нижних участках твэлов возрастают многократно, причем в различной степени на различных участках по сечению активной зоны. Локальный рост энерговыделений после нажатия кнопки АЗ-5, согласно расчетам, таков, что наблюдается рост интегральной мощности реактора в несколько десятков раз по сравнению с исходным за время порядка 5 с. Расчеты [71,72] показывают появление всех сигналов БИК спустя всего 3 с. после нажатия кнопки АЗ-5. Сведений об этих сигналах в расчетах [33] не приводится, возможно, из-за отсутствия внимания к этому показателю.

Полное отсутствие в активной зоне черных поглотителей (все-го один ДП), наличие во многих участках активной зоны седловины на высотном энерговыделении, которая обуславливает кинетическую неустойчивость высотного поля, особенно при внесении отрицательной реактивности в одну его часть и положительной реактивности в другую часть, вызвали сильные деформации энерговыделений в объеме реактора [71,72,33].

Из изложенных результатов следует, что начавшееся движение стержней АЗ и РР в условиях имевшего место стартового положения нейтронного поля не могло не вызвать сильных деформаций энерговыделения в активной зоне с чрезвычайно высокими показателями неравномерности.

Согласно расчету [33], объемный коэффициент неравномерности энерговыделения достиг  $K_v=5,5$ . С учетом того, что исходная мощность активной зоны (по тем же расчетам) возрастает приблизительно в 30 раз, линейные тепловые нагрузки на наиболее напряженных участках многократно превосходят номинальные при 100 % -ой мощности реактора. Поэтому в нижних участках активной зоны в отдельных ТК энтальпия твэлов достигла критических величин, при которых происходит разрушение твэлов различной степени.

Как показано в работе японских специалистов, основанной на прямых экспериментальных исследованиях [73], при энтальпии твэлов 220 кал/г  $\text{UO}_2$  ( $T=3300$  К) начинается их разрушение. При энтальпии 285 кал/г  $\text{UO}_2$  твэлы разрываются, а при 320 кал/г  $\text{UO}_2$  происходит их диспергирование (дробление на мелкие части) взрывного характера.

#### **ПРИМЕЧАНИЕ:**

*Твэлы реактора РБМК не вполне идентичны твэлам, использовавшимся при экспериментах японскими специалистами. Однако возможное количественное несоответствие критических энтальпий модельных и реальных твэлов, по мнению Комиссии, не может изменить принципиальный вывод о механизме катастрофического разрушения, который указывается также в информации [29] и в работе [76].*

Таким образом, результаты расчетных анализов, выполненных спустя 4 года после аварии наиболее компетентными в вопросах физики реакторов организациями: НИКИЭТ, ВНИИАЭС, ИАЭ, КИАИ АН СССР [33,72], показали возможность опасного увеличения мощности реактора РБМК-1000 с многократным ростом локальных энерговыделений в активной зоне по причине ввода стержней аварийной защиты в реактор.

Таким образом, как следует из изложенного, ИСХОДНЫМ СОБЫТИЕМ АВАРИИ ЯВИЛОСЬ НАЖАТИЕ КНОПКИ АЗ-5 В УСЛОВИЯХ, КОТОРЫЕ СЛОЖИЛИСЬ В РЕАКТОРЕ РБМК-1000 ПРИ НИЗКОЙ ЕГО МОЩНОСТИ И ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИЗ РЕАКТОРА СТЕРЖНЕЙ РР СВЕРХ ДОПУСТИМОГО ИХ КОЛИЧЕСТВА.

#### **ПРИМЕЧАНИЕ:**

*Поскольку возможность изложенного сценария аварии, насколько известно Комиссии, в настоящее время не оспаривает ни одна организация и, более того, этот сценарий полностью адекватен формуле аварии, выраженной руководителями трех ведущих институтов: ИАЭ, НИКИЭТ, ВНИИАЭС [51], то для завершения изложения представляется возможным привести версию последовавших процессов уже не основанную на расчетах.*

*С использованием данных работы [73] относительно разрушительных сил катастрофического процесса и с привлечением изложенных в разделе 3 данных о характеристиках и конструкции реактора сценарий аварийного процесса может быть представлен в следующем виде.*

*Разрывы и разрушение отдельных участков твэлов в ограниченной зоне реактора под воздействием больших локальных тепловыделений вызвали увеличение парообразования из-за прямых контактов воды непосредственно с топливной матрицей, рост давления в соответствующих участках ТК и их разрушение как по причине непосредственного контакта топлива с трубой канала, так и по причине локального роста давления [73].*

*Если на начальной фазе разгона решающее значение имели факторы определенной конфигурации нейтронного поля с седловиной в средних сечениях активной зоны (что объективно и неизбежно при многих состояниях реактора [48]) и наличие более допустимого столбов воды внизу активной зоны (что редко, субъективно и допущено персоналом), то после преодоления определенной тепловой инерции твэлов в зоне наибольших энерговыделений началось парообразование, которое из-за большого локального парового коэффициента реактивности в значительной мере способствовало неравномерному саморазгону активной зоны и быстрому повреждению твэлов в наиболее энергонапряженной области.*

*После первоначальной фазы перераспределения нейтронного потока, обусловленной конструкцией стержней СУЗ и не зависящей от теплогидравлического состояния реактора и контура МПЦ, повышение энерговыделений до определенных значений вызвало к действию большой паровой эффект реактивности, органически присущий конструкции РБМК-1000. С появлением и ростом парообразования зона повышенных энерговыделений саморазгонным образом возрастает, распространяясь на всю активную зону.*

*Локальный характер начальной стадии разгона подтверждается в значительной мере неравномерным ростом давления в левых и правых барабанах-сепараторах. О том, что локальный разгон быстро переходит в общий свидетельствует быстрое изменение многих общих параметров (сигналы АЗС, АЗМ, рост давления, появление сигнала о повышении давления в реакторном пространстве).*

*Создавшиеся условия значительного повреждения хотя бы ограниченного количества ТВС (достаточно 3-4 шт) из-за особенностей конструкции реактора могут и в данном случае привести к разрушению самого реактора с выводом из строя его системы аварийной защиты. Разрыв труб нескольких ТК приводит к повышению давления в реакторном пространстве и частичному отрыву несущей плиты реактора от кожуха и заклинивания по этой причине всех стержней СУЗ, которые к этому моменту прошли только около половины своего пути.*

*Разрушение труб ТК, которое первоначально инициировалось лишь локальным всплеском нейтронной мощности, усиливаемым*

образованием пара в ограниченной зоне реактора, с момента начала разрыва канальных труб вызывает к действию новый эффект - массовое парообразование по всему объему активной зоны из-за декомпрессии контура охлаждения реактора и высвобождения полной величины присущего реактору большого парового эффекта реактивности. Однако, сигнал МПА на включение САОР при начавшейся разгерметизации КМПЦ не вырабатывается по той причине, что место разрыва КМПЦ находится не в прочно-плотных боксах, где расположены датчики, а в самой активной зоне.

В дальнейшем большую роль играют процессы бурного парообразования в реакторном пространстве.

Комиссия констатирует наличие работ, в которых содержится достаточный материал для выяснения физических процессов, происходивших в активной зоне реактора на начальной стадии аварийного процесса. Это работы группы сотрудников ВНИИАЭС, КИАИ АН УССР, ИАЭ [33] и НИКИЭТ [72]. В обоих из них без внешних теплотехнических возмущений типа кавитации ГЦН, разгерметизации КМПЦ и др., исследуются физические процессы в активной зоне при движении в нее стержней СУЗ по команде АЗ-5.

Как изложено выше, оба расчета с хорошим качественным согласием указывают на смещение поля энерговыделений в нижнюю часть активной зоны и на значительный рост объемной его неравномерности. Однако, выводы расчетов противоположны в части объяснения причин аварии. Если расчет [33] раскрывает причину аварии в виде локального подъема мощности, то расчет [72] подтверждая эти эффекты, констатируют, что количественные значения локальных всплесков энерговыделения недостаточны для повреждения твэлов. Возможно это объясняется недостаточно адекватным описанием теплогидравлики активной зоны. Сведений о методике расчета теплогидравлических процессов в работах НИКИЭТ [71,72] не приводится.

Комиссия не может признать вывод работы [72] корректным, поскольку авторы расчетов аварийного процесса не могут гарантировать высокую точность и адекватность методик производимых расчетов. Более того в исследованиях НИКИЭТ [71] в исследованиях других организаций [48] отмечается большая чувствительность результатов к небольшой вариации исходных данных. В исследовании [33] найдено такое незначительное изменение стартового нейтронного распределения, которое резко ухудшает характеристики аварийного процесса, Так, в пределах 20%-ой вариации исходного энерговыделения на 6-7 с переходного процесса может быть получена скорость увеличения тепловой мощности реактора и 400 МВт/с, и 1000 МВт/с. Соответственно, к 6,5 с.

общая мощность реактора может возрасти и в 31, и в 64 раза против исходной. Критическая энтальпия топлива может быть достигнута либо в 5 ТВС, либо в 40 ТВС.

По мнению Комиссии, показанная в работе [33] возможность значительного повреждения твэлов в предположении о существовании незначительной погрешности определения исходного объемного энерговыделения, реализовалась в действительности. Однако в работе [72], подтверждающей сильную зависимость результата от незначительного изменения исходных данных, не найдено таких их стартовых значений, при которых мог бы развиваться аварийный процесс. В ней делается вывод, что для объяснения аварии в дополнение к неблагоприятному толчку реактивности, наносимому стержнями СУЗ, необходимо одновременное проявление еще каких-либо факторов: "кавитация ГЦН, попадание неравновесного пара на вход активной зоны, опережающие сигнал АЗ отключение выбегающих ГЦН, вскипание теплоносителя на входе в реактор, частичные нарушения герметичности НВК, кратковременное открытие паровых предохранителей клапанов".

Возможно, в будущем эти версии, фигурировавшие с первых дней поиска причин аварии, обретут какие-либо количественные подтверждения (которых за 4 года исследований пока не опубликовала ни одна организация). Тем не менее с позиции объяснения и, самое главное, с позиции необходимости исправления конструктивно-физических характеристик реактора Комиссия считает достаточным сосредоточить внимание на реактивной природе происшедшей аварии, обусловленной конструкцией стержней СУЗ и физико-теплотехническими характеристиками реактора, наиболее неблагоприятные стороны которых вызвал к действию персонал Чернобыльской АЭС. Подтверждение такого подхода Комиссия находит в перечне организационных и технических мероприятий, которые были немедленно осуществлены и запланированы к исполнению на реакторах рассматриваемого типа [38,39,40,62].

#### **4.7. О действиях персонала ЧАЭС.**

Официально опубликованные документы о причинах Чернобыльской аварии основную тяжесть вины за нее возлагают на действия персонала ЧАЭС. Поэтому Комиссия не может не выразить свою оценку его действий, имея в виду два аспекта. Во-первых, установить по возможности полно перечень всех допущенных нарушений технологического регламента эксплуатации [42] и другой обязательной для исполнения эксплуатационной документации и, во-вторых, ретроспективно, основываясь на

имеющихся данных, попытаться оценить степень влияния тех или иных нарушений на причину и масштаб случившейся аварии.

Комиссия считает необходимым подчеркнуть, что ПРИВЕДЕННЫЕ ОЦЕНКИ НИ В КОЕМ СЛУЧАЕ НЕЛЬЗЯ РАССМАТРИВАТЬ КАК ДОПУСТИМОСТЬ НАРУШЕНИЙ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПЕРСОНАЛОМ И РАЗРАБОТЧИКАМИ.

**4.7.1.** В процессе разгрузки блока N 4 25.04.86 (примерно в 03 ч.) при мощности реактора около 2000 Мвт ОЗР снизился ниже 26 ст. РР. Технологический регламент (ТР) по эксплуатации [42] блоков N3,4 ЧАЭС (глава 9) допускал работу блока с ОЗР менее 26 ст.РР с разрешения главного инженера (ГИС) АЭС.

При дальнейшей разгрузке (примерно с 7 ч. 25.04.86 г.) на мощности реактора 1500 МВт ОЗР снизился до 15 ст. РР. В таких случаях в соответствии с требованием главы 9 ТР реактор должен быть заглушен. Персонал не выполнил это требование ТР. Комиссия полагает, что персонал осознанно шел на такое нарушение. В это время была выявлена недостоверность работы расчетной программы "ПРИЗМА" из-за неучета положения стержней регуляторов 1 АР, 2 АР, 3 АР (всего 12 стержней). Запись об этом сделана в оперативном журнале СИУРа. ТР и другие эксплуатационные документы не предписывали, как должен был поступить персонал в данной (с недостоверным расчетом) и аналогичных ей (например, при полном отказе программы "Призма" по функции определения ОЗР) ситуациях. Тем не менее, оставив в работе реактор 25.04.86 г. на уровне мощности 1500 МВт с ОЗР менее 15 ст. РР в период примерно с 07 до 13 ч. 30 мин. персонал ЧАЭС, в том числе и руководящий, нарушил требования гл.9 ТР, хотя это нарушение и не явилось причиной аварии и не повлияло на ее результат.

#### **ПРИМЕЧАНИЕ:**

*Глава 12 ТР, посвященная плановому останову и расхолаживанию реактора, не содержала требований по контролю и поддержанию ОЗР.*

*В ней указывалось, в частности, что снижение мощности должно производиться "С помощью задатчиков регуляторов АР до 160 МВт (т) (5% N ном.), а затем АРМ или кнопкой АЗ-5".*

*В этой связи необходимо указать на следующие обстоятельства.*

*Первое. Пункт 8.9.1.(а). ТР относит реактивность к важным технологическим параметрам, которые должны контролироваться на всех уровнях мощности. ОЗР в перечне важных параметров отсутствует.*

*Второе. Прибор, измеряющий оперативный запас реактивности в эффективных стержнях РР проектом реактора РБМК не предусмотрен. Оператор должен либо по приборам определить глубину погружения тех стержней, которые находятся в промежуточном положении, ввести поправку на нелинейность градуировочной характеристики и просуммировать результаты, либо заказать расчет станционной ЭВМ и получить результат спустя несколько минут. В обоих случаях представляется неправомерным требовать от персонала поддерживать обсуждаемый показатель как оперативно управляемый параметр, тем более, что он может быть оценен с погрешностями, зависящими от формы распределения поля энерговыделений.*

*Третье. Технологический регламент не заостряет внимание персонала, что ОЗР есть важнейший параметр, от соблюдения которого зависит эффективность действия аварийной защиты (АЗ).*

*В действительности, как показали послеаварийные расчетные исследования, полное извлечение из активной зоны стержней РР, не запрещаемое в других реакторах, например, в ВВЭР, для реактора РБМК было недопустимо из-за конструкции стержней РР, поскольку извлечение из активной зоны более некоторого количества стержней СУЗ, сосредотачивало в нижней ее части слишком много "положительных запалов" реактивности в виде удаляемых столбов воды.*

4.7.2. В 14 ч. 25.04.06 г. персонал, согласно п. 2.15. рабочей программы [43] закрыл ручные задвижки САОР, тем самым отключил ее от КМПЦ, как сказано в программе, "во избежание заброса воды в КМПЦ по всем трем подсистемам САОР". В пункте 2.10.5 ТР существовала запись о том, чтобы при разогреве КМПЦ после планово-предупредительного ремонта (ППР) до начала повышения температуры в нем выше 100 град.С "САОР должна быть приведена в состояние готовности". В тоже время раздел 2 "Регламента переключения ключей и накладок ..." [45] давал право ГИС выводить автоматику запуска САОР, что равносильно выводу быстроедействующей части системы, а, следовательно, и всей САОР в целом. Комиссия отмечает что, с одной стороны, вывод САОР из работы является нарушением п.2.10.5. ТР, а, с другой стороны, отключение САОР не повлияло на возникновение и развитие аварии, поскольку хронология основных событий, предшествовавших аварии, и хронология развития самой аварии, показали, что не было зафиксировано сигналов на автоматическое включение САОР. Таким образом, "возможность снижения масштаба аварии" [46] из-за отключения САОР была не потеряна, а в принципе отсутствовала в конкретных условиях 26.04.86 г.

**4.7.3.** В 00 ч. 28 мин. 26.04.86 г. (из записей в оперативных журналах) персонал не справился с управлением реактором из-за чего произошло непредусмотренное снижение тепловой мощности реактора до уровня порядка 30 Мвт. Из имеющейся неполной информации об этой ситуации сделать однозначный анализ обстоятельств причин провала мощности затруднительно. В оперативном журнале СИУР в 00 ч. 28 мин. сделана следующая запись: "Включение АЗСР. Кнопкой "быстрое снижение мощности" снижена уставка АР. Включен 1АР. Недопустимый разбаланс по 2АР устранен. 2АР приведен в готовность". Анализируя эту запись, а также регистрацию ДРЕГ и алгоритм работы СУЗ, Комиссия делает следующие предположения относительно произошедшего в этот период события:

- по невыясненной причине (возможно из-за возмущения со стороны КМПЦ — изменения расхода питательной воды или давления пара в БС) отключился ЛАР, в автоматический режим включился регулятор 1АР и, отрабатывая отрицательный разбаланс, "вышел" на ВК;
- регулятор 2АР по выходу 1АР на ВК не включился в автоматический режим из-за недопустимого разбаланса в его измерительной части;
- по выходу из автоматического режима всех регуляторов включилась в режим готовности АЗСР с засветкой табло "АЗСР ВКЛ." на панели СИУРа;
- в связи с тем, что продолжалось "отравление" реактора, его мощность начала падать, в измерительной части 1АР и 2АР увеличились недопустимые разбалансы, в результате сформировались сигналы "неисправность измерительной части 1АР", "неисправность измерительной части 2АР" с засветкой соответствующих табло на панели СИУР и фиксацией их в ДРЕГ; вероятно, кнопкой "быстрое снижение мощности" СИУР со скоростью 2% в секунду снизил уставки задатчиков мощности регуляторов, компенсировал разбаланс в измерительной части регулятора 1АР и включил его в автоматический режим работы.

Затем, воздействуя на задатчик мощности регулятора 1АР, СИУР начал восстанавливать мощность для создания условий проведения испытания.

#### **ПРИМЕЧАНИЕ:**

*Событие, происшедшее в 00 ч.28 мин. 26.04.86 г. на блоке №4 ЧАЭС требует дополнительного комментария. По самописцу СФКРЭ не зафиксировано снижение тепловой мощности ниже 30 МВт.*



*В то же время самописец нейтронной мощности около 5 мин., фиксировал нулевую мощность, после чего кривая нейтронной мощности вышла на уровень, соответствующий 30-40 МВт по самописцу СФКРЭ. Низкое значение мощности и соответствующая малая точность ее определения средствами штатного контроля означают, что мощность реактора практически опустилась к минимально контролируемому уровню (МКУ). Снижение мощности до любого уровня, но не ниже МКУ согласно пункта 6.7. ТР считалось частичной разгрузкой блока, после которой согласно того же пункта ТР разрешалось ее восстановление вплоть до номинальной.*

*Здесь необходимо обратить внимание на противоречивость указаний эксплуатационной документации, поскольку под кратковременным остановом пункт 6.1. ТР понимал "снижение мощности реактора до нулевого уровня без расхолаживания КМПЦ". Однако не дается пояснений какая мощность имеется в виду. Если нейтронная, то персонал нарушил ТР, если тепловая, то нарушения ТР не имело места (на основании показаний сохранившихся лент самописцев). Комиссия констатирует, что действовавшие правила и эксплуатационная документация не содержали четких определений, что есть "минимально контролируемый уровень мощности" и что есть "заглушенный реактор" применительно к маневру мощности, который произошел.*

Авторы доклада считают, что "провал" мощности реактора в 00 ч. 28 мин. и последующий подъем его мощности во многом определили трагический исход процесса. Изменение режима работы реактора, имевшее место между 00 ч. 20 мин. и - 00 ч. 33 мин., возбудило в реакторе новый ксеноновый процесс перестройки полей энерговыделений, контролировать который персонал не имел возможности (см. раздел 3.4.). Расчетных исследований динамики полей энерговыделения с указанного момента и до момента аварии не выполнено.

Сделать окончательное заключение о правомерности или ошибочности действий персонала в рассматриваемой ситуации не представляется возможным из-за отмеченной выше противоречивости требований регламента, недостаточности и противоречивости аппаратурно зафиксированных данных. Расчетного анализа данной ситуации также до сих пор не проведено.

**4.7.4. Провал мощности реактора сопровождался снижением уровня воды и давления пара в БС, причем уровень воды в БС снижался ниже аварийной уставки "-600" без формирования сигнала аварийной защиты АЗ-5 на исполнительные органы СУЗ. Комиссия отмечает, что персонал 4 блока при снижении мощности**

реактора не перевел защиту АЗ-1 по нижнему уровню воды в БС с уставкой "-1100" в режим АЗ-5 с уставкой "-600". Записи по этому поводу в оперативных журналах отсутствуют. Такое действие персонала является нарушением пункта 9 "Регламента переключений ключей и накладок технологических защит и блокировок" [45]. Однако Комиссия отмечает, что существовала и была введена другая защита от снижения уровня в БС ниже "-1100", уставка которой не изменяется в зависимости от мощности, поэтому сделанное в [29] заявление о том, что "защита реактора по тепловым параметрам была полностью отключена" не соответствует действительности.

#### **ПРИМЕЧАНИЕ:**

*На примере защиты реактора от снижения уровня в БС хорошо видна логика переложения функций аварийной защиты на персонал из-за отсутствия соответствующих технических средств. Авторы проекта в решении [77] заявляют, что "АВТОМАТИЧЕСКИЙ ПЕРЕВОД уставок АЗ-1,5 при аварийных отклонениях уровня воды в БС недопустим, т.к. при работе любой защиты АЗ- 1 + АЗ-3 происходит снижение уровня до уставки "-600 мм" по прибору "+400...-1200 мм", что в свою очередь приведет к срабатыванию АЗ-5 и полному заглушению реактора" и находят чрезвычайно простой выход из положения: "ВМЕСТО АВТОМАТИЧЕСКОГО ПЕРЕВОДА уставок и автоматического ввода (вывода) АЗ-5 ПРЕДУСМОТРЕТЬ ПЕРЕВОД ИХ ОПЕРАТОРОМ С ПОМОЩЬЮ ОБЩЕГО КЛЮЧА при появлении предупредительной сигнализации..."*

*Нашей задачей не является демонстрация возможности решения указанной задачи с помощью технических средств (такая возможность существует), но продемонстрировать, что в случаях, когда возникала дилемма — соблюсти требования безопасности и остановить блок или отдать приоритет экономическим факторам и оставить блок в работе, решение принималось в пользу последнего, а функции обеспечения аварийной защиты перекладывались на оператора с глубоким убеждением в его безусловной надежности как элемента системы безопасности.*

Персонал блока в 01 ч. 36 мин. 24 с. изменил уставку защиты от понижения давления пара в БС на отключение турбины с 55 кгс/кв.см на 50 кгс/кв.см. Эти действия персонала соответствуют требованиям эксплуатационной документации, поскольку, согласно п.12 "Регламента переключений ключей и накладок" [45] право выбора этой уставки предоставлялось персоналу. Обвинения, в блокировке защиты по давлению пара в БС, предъявленные персоналу в официальных материалах, Комиссия не подтверждает.

#### ПРИМЕЧАНИЕ:

*Необходимо подчеркнуть, что защита от снижения давления пара в БС действует на останов турбины и не является "защитой реактора по тепловым параметрам", как это написано в [29]. Объективности ради, авторам [29] надо было бы отметить, что реактор, в соответствии с проектом, при мощности турбины менее 100 МВт (эл) вообще оставался без защиты от снижения давления, что при фактически существовавшем  $\alpha_{\phi}$  могло привести реактор к разгону при регламентном ОЗР (например при открытии и неподаче главных предохранительных клапанов, БРУ-Б, разрыве паропроводов и т.д.).*

**4.7.5.** В 00 ч. 41 мин. (согласно записей в оперативных журналах НСС, НСБ, НСЭЦ, СИУТ) ТГ-8 был отключен от сети для снятия вибрационных характеристик агрегата на холостом ходу. Эта операция не предусматривалась рабочей программой испытания режима выбега ТГ-8. Замер вибрации ТГ-7 и ТГ-8 с различной нагрузкой на них предусматривался другой программой, которую персонал частично уже выполнил 25.04.06 г. при поочередном перераспределении нагрузок турбогенераторов и постоянной тепловой мощности реактора 1500-1600 МВт. Отключение ТГ-8 от сети с отключенным другим турбогенератором блока (ТГ-7 был отключен в 13 ч. 05 мин. 25.01.86 г.) без заглушения реактора требовало вывода защиты реактора "АЗ-5 по останову двух ТГ", что и было сделано в соответствии с пунктом 1 "Регламента переключения ключей и накладок..."[45], который предусматривает вывод этой защиты при нагрузке турбогенератора менее 100 МВт (эл.). Обвинения, предъявленные персоналу в части вывода защиты на останов реактора при закрытии СРК обеих турбин Комиссия не поддерживает.

**4.7.6.** К 01 ч. 26.04.86 г. подъем мощности был прекращен и мощность реактора застabilизирована на уровне порядка 200 МВт (теп.). Решение провести испытания выбега ТГ-8 на уровне мощности реактора порядка 200 МВт является отступлением от рабочей программы. Однако, проектными, нормативными и эксплуатационными документами не запрещалась эксплуатация блока на указанном уровне мощности. Предела безопасной эксплуатации в виде минимально разрешенного уровня тепловой мощности реактора до аварии на ЧАЭС не существовало. Ни в одном из известных Комиссии документов, так или иначе связанных с обоснованием режимов эксплуатации реактора РБМК-1000, разработчиками реактора не ставился вопрос о необходимости введения ограничений

на работу реактора при мощности ниже какого-то уровня. Более того, глава 11 ТР (п.11.4.) требовала от персонала снижение мощности реактора до уровня, определяемого нагрузкой собственных нужд блока (200-300 МВт (теп.)) после автоматической разгрузки по штатному режиму АЗ-3 или дистанционно при нарушениях в энергосистеме (отклонениях частоты). Время работы реактора на минимально-контролируемом уровне мощности не ограничивалось.

#### **ПРИМЕЧАНИЕ:**

*ТР допускал режимы работы, подобные тому, который имел место на блоке N 4 ЧАЭС 26.04.86 г., и реализоваться они могли без какого-либо вмешательства персонала: достаточно предположить вполне вероятную ситуацию, требующую срабатывания штатной аварийной защиты по алгоритму АЗ-3 при исходных номинальной мощности реактора и ОЗР 26 ст. РР. В таком режиме примерно через один час после срабатывания АЗ-3 ОЗР мог стать ниже 15 ст. РР при мощности реактора 200-300 МВт (т), и любое последующее действие, автоматическое или дистанционное, на остановах реактора во многом повторило бы события 26.04.86 г.*

Комиссия считает, что обвинения оперативному персоналу в эксплуатации энергоблока на уровне мощности менее 700 МВт не имеют оснований.

4.7.7. В 01 ч. 03 мин. и 01 ч. 07 мин. в соответствии с пунктом 2.12. рабочей программы испытаний [43] "для обеспечения расхолаживания реактора в опыте" дополнительно включены еще по одному ГЦН с каждой стороны — ГЦН-12 и ГЦН-22. Подключение к реактору всех восьми ГЦН на любом уровне мощности до 26.04.86 г. никаким документом, в том числе и ТР, не запрещалось. Комиссия считает, что нарушение со стороны персонала в этих действиях отсутствует. В то же время на малых уровнях мощности, когда расход питательной воды составляет менее 500 т/ч, по условиям исключения кавитации ТР ограничивал производительность каждого ГЦН величиной 6500-7000 куб. м/ч. Действительно 26.04.86 г. имели место превышения расходов отдельных ГЦН (нарушение пункта 5.8 ТР), но это не привело к кавитации насосов, что видно из распечатки ДРЕГ и подтверждается результатами исследований, проведенных ОКБМ и другими организациями. В отчете [44] указано, что "выбегающие и невыбегающие насосы сохраняли устойчивую подачу, включая момент разгона и разрушения реактора".

**4.7.8.** Проведенный Комиссией анализ действий персонала в период подготовки и проведения испытаний показывает, что им были допущены следующие нарушения требований эксплуатационной и нормативной документации:

- эксплуатация РУ с ОЗР 15 ст. и менее в период с 07 до 13 ч. 30 мин. 25.04.86 г. и, ориентировочно, с 01 ч. 26.04.86 г. до момента аварии (нарушение главы 9 ТР);
- отключение САОР в полном объеме (нарушение п.2.10.5 ТР);
- заглубление уставки защиты реактора по снижению уровня в БС с "-600" до "-1100" (нарушение п.9 Регламента переключения ключей и накладок...);
- увеличение расходов по отдельным ГЦН до 7500 куб.м/час (нарушение п.5.8 ТР).

Кроме того персоналом были допущены отступления от программы испытаний (см. разделы 4.7.5; 4.7.6. доклада). Вывод о правомочности действий персонала после провала мощности (раздел 4.7.3. доклада) может быть сделан только после дополнительных исследований.

**4.7.9.** В заключении данного раздела Комиссия считает необходимым подытожить изложенное по степени влияния "наиболее опасных нарушений режима эксплуатации, совершенных персоналом четвертого блока ЧАЭС" [46], на причину и масштаб последствий аварии.

По мнению Комиссии, отключение САОР не повлияло на возникновение аварии и ее масштабы.

Подключение к реактору восьми вместо обычных шести ГЦН скорее всего затрудняло саморазгонный процесс в реакторе, начавшийся и происшедший вне связи с режимом работы насосной группы и с временным превышением расходов теплоносителя через отдельные ГЦН, что, впрочем, целесообразно подвергнуть дополнительному расчетному анализу.

Операции со значениями уставок и отключением технологических защит и блокировок не явились причиной аварии, не влияли на ее масштаб. Эти действия не имели никакого отношения к аварийным защитам собственно реактора (по уровню мощности, по скорости ее роста), которые персоналом не выводились из работы.

Изменение начальной мощности проведения испытаний и продолжение разгрузки энергоблока обусловило необходимость оперативных действий по управлению энергоблоком, не предусмотренных программой, что увеличивало риск неудачных действий. Подтверждением этого служит непредусмотренное

снижение мощности реактора до МКУ и необходимость ее подъема, что весьма негативно отразилось на дальнейшем поведении реактора.

Малая мощность реактора обусловила наибольшую возможность реализации положительного эффекта реактивности, который получил способность проявиться в максимальной мере не только из-за локального роста энерговыделений, но и по другим причинам (течь теплоносителя, например). Таким образом, выбор значения мощности повлиял на масштаб аварии. Как ни парадоксально, но опасными были именно малые мощности, на которых безопасность реактора в проектных материалах не исследовалась и не обосновывалась.

Проведение испытаний при первоначально запланированном уровне мощности 700 МВт (теп.) возможно не привело бы к аварии. Однако справедливость такой точки зрения должна быть подтверждена или опровергнута исследованиями, которые до сих пор не проведены.

#### **4.8. Об оперативном запасе реактивности.**

Одной из важных в Чернобыльской аварии является проблема оперативного запаса реактивности.

Дополнительно к изложенному в п.4.7.1. и п.4.7.3. доклада, в которых Комиссия анализирует соответствие действий персонала технологическому регламенту, необходимо отметить, что действительная роль ОЗР реактора, как показали послеаварийные исследования, крайне противоречиво отражается в технологическом регламенте и в проекте реактора РБМК-1000.

В главе 9 "Нормальные параметры эксплуатации блока и допустимые отклонения" ТР указывается:

"На номинальной мощности в стационарном режиме величина ОЗР должна составлять не менее 26-30 стержней.

Работа при запасе менее 26 стержней допускается с разрешения главного инженера станции.

При снижении оперативного запаса реактивности до 15 стержней реактор должен быть немедленно заглушен.

Научное руководство станции должно периодически (1 раз в год) рассматривать конкретные условия **УСТОЙЧИВОГО ПОДДЕРЖАНИЯ ПОЛЕЙ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ** на данном блоке и при необходимости пересматривать их в сторону ужесточения по согласованию с Научным руководителем и Главным конструктором".

### **ПРИМЕЧАНИЕ:**

*Понятие "научное руководство станции", фигурирующее в регламенте и не определенное ни самим регламентом, ни действовавшими нормативными документами, по мнению Комиссии весьма растяжимо, впрочем, как и понятие ужесточения конкретных условий устойчивого поддержания полей энерговыделения.*

Противоречивость указаний относительно ОЗР иллюстрируется и нижеприведенными цитатами из ТР, связанными с ситуацией в 00 ч. 28 мин. (провал мощности реактора):

"6.2. Подъем мощности реактора после кратковременной остановки без прохождения "йодной ямы" разрешается при наличии необходимого запаса реактивности, определяемого по запасу до останова реактора. Необходимый запас реактивности в зависимости от уровня мощности, на котором реактор работал до остановки, приведен в таблице.

Таблица 6.1.

Уровень мощности реактора, % ном.	Необходимый оперативный запас стержней РР, шт.
80-100	50
50-80	45
<50	30

"6.6.4. Минимальный запас реактивности в процессе подъема мощности после кратковременной остановки должен составлять не менее 15 стержней.

Если при извлечении стержней РР во время выхода реактора в критическое состояние запас реактивности уменьшится до 15 стержней и **БУДЕТ ПРОДОЛЖАТЬ ПАДАТЬ** - сбросить до нижних концевиков все стержни ..."

Приведенные выдержки из ТР позволяют сделать выводы о том, что:

- во-первых, ТР однозначно трактует ОЗР как средство управления полем энерговыделения;
- во-вторых, некорректная запись о возможности снижения ОЗР ниже 15 ст. РР говорит о том, что ОЗР не трактовался как предел безопасной эксплуатации, нарушения которого могло привести к аварии.

### **ПРИМЕЧАНИЕ:**

*Столь же противоречивы указания относительно ОЗР и в проектных материалах, так, например, в [63] записано, что "на номинальном уровне мощности в стационарном режиме величина оперативного запаса реактивности должна составлять не менее 26 и не более 35 стержней РР. По разрешению главного инженера станции (ГИС) ДОПУСКАЕТСЯ РАБОТА ПРИ ЗАПАСЕ МЕНЕЕ МИНИМАЛЬНОГО ЗАПАСА РЕАКТИВНОСТИ, НО НЕ БОЛЕЕ 3-Х СУТОК. ПРИ ЗАПАСЕ РЕАКТИВНОСТИ МЕНЕЕ 10 СТЕРЖНЕЙ РАБОТА БЛОКА НЕ ДОПУСКАЕТСЯ".*

Таким образом ОЗР в регламенте не трактуется, как показатель способности аварийной защиты к выполнению своих функций. Это и естественно, поскольку подобная трактовка воспринималась бы как НЕПРАВОМЕРНОЕ ПЕРЕНЕСЕНИЕ РАЗРАБОТЧИКАМИ ПРОЕКТА ФУНКЦИЙ ЗАЩИТЫ РЕАКТОРА С ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА ПЕРСОНАЛ, на его способность работать в режиме бортового компьютера (см. примечание к и. 4.7.1. доклада). Проектом ОЗР также не рассматривался как предельный параметр, по которому необходимо вводить защиту (см. раздел 3.3. и 3.7. доклада).

Однако, по мнению Комиссии, главное заключается в том, что ОСОЗНАВ ВСЮ ОПАСНОСТЬ СНИЖЕНИЯ ОЗР ИМЕННО С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ СПОСОБНОСТИ АЗ К ВЫПОЛНЕНИЮ СВОИХ ФУНКЦИЙ РАЗРАБОТЧИКИ НАДЛЕЖАЩИМ ОБРАЗОМ НЕ ПРОИНФОРМИРОВАЛИ ОБ ЭТОМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ ПЕРСОНАЛ, КОТОРЫЙ, ОСОЗНАВ ПРОБЛЕМУ, МОГ БЫ И НЕ ПРИНЯТЬ НА СЕБЯ ОТВЕДЕННУЮ ЕМУ РАЗРАБОТЧИКАМИ ФУНКЦИЮ ПО ЗАЩИТЕ РЕАКТОРА ОТ РАЗГОНА.

В самом деле, в 1984 г., когда экспериментально проявился не предсказанный на стадиях проектирования эффект выбега положительной реактивности, обусловленный конструкцией стержней СУЗ, организация Главного конструктора уведомила другие организации и все АЭС с реакторами РБМК о том, что она намеревается ввести ограничение на полное извлечение из активной зоны стержней СУЗ общим количеством 160 штук, причем каждый оставшийся должен *быть* погружен в активную зону не менее чем на 0,5 м [32].

С позицией существующих в настоящее время знаний, полученных из послеварийных исследований, можно понять смысл предполагавшегося ограничения следующим образом.

Поскольку высотное поле энергovyделений в РБМК может



иметь специфическую неустойчивость, определяемую наличием седловины в средних сечениях активной зоны (двугорбое поле), при которой ввод стержня РР вносит положительную реактивность в нижней части реактора и отрицательную - в верхнюю (аффект "кормысла"), то можно снизить суммарную величину вводимой положительной реактивности если исключить формирование столбов воды сверх какого-то допустимого значения. Это достигается, если запретить извлечение полностью соответствующего количества стержней. При этом уменьшается эффект реактивностного "запала" в виде вытеснителя стержня РР, замещающего водяной столб в нижней части активной зоны, а поглощающая часть соответствующего стержня уже располагается в нейтронном потоке, в то время как основная часть стержней СУЗ возымеет такое же влияние на реактивность реактора лишь спустя более секунды после команды АЗ-5.

#### **ПРИМЕЧАНИЕ:**

*Ввиду сильной зависимости способности реактора к разгону от количества поглотителей стержней РР и столбов воды под их вытеснителями, находящихся в активной зоне, представляется проблематичным суммирование длин частично погруженных в активную зону стержней РР для вычисления эффективного ОЗР (по крайней мере для конструкции стержней СУЗ, имевшейся к моменту аварии).*

Однако, несмотря на очевидную важность именно для эффективности аварийной защиты параметра ОЗР соответствующих изменений в ТР до 1986 г. внесено не было и персоналу АЭС с РБМК соответствующих разъяснений не дано. В любой ситуации "...персонал был вправе надеяться, что при любом режиме работы реактора аварийная защита срабатывает и эффективно прекратит цепную реакцию, предотвратит разгон реактора" [65]. Но это было не так и ДО САМОЙ АВАРИИ ПЕРСОНАЛ ЭНЕРГООБЛОКОВ С РЕАКТОРАМИ РБМК ОСТАВАЛСЯ В НЕВЕДЕНИИ О ТОМ, ЧТО ВЕЛИЧИНА ОЗР (ДЛЯ КОНСТРУКЦИИ СТЕРЖНЕЙ СУЗ, ИМЕВШЕЙСЯ ДО АВАРИИ) НЕ ТОЛЬКО И НЕ СТОЛЬКО ОПРЕДЕЛЯЕТ ВОЗМОЖНОСТЬ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОЛЯ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ РЕАКТОРА, НО, В ПЕРВУЮ ОЧЕРЕДЬ, ОПРЕДЕЛЯЕТ СПОСОБНОСТЬ АВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ РЕАКТОРА К ВЫПОЛНЕНИЮ СВОИХ ФУНКЦИЙ.

После реконструкции стержней СУЗ (исключены столбы под вытеснителями). Главный конструктор, спустя четыре года после аварии, получил право заявить, что: "применительно к реактору

РБМК этот вопрос (об оперативном запасе реактивности) тщательно изучался и было определено, что для оптимального управления полем энерговыделения необходимо иметь запас реактивности в 26-30 ст.РР" [51]. Теперь это действительно так, однако Комиссия обращает внимание, что установленные в настоящее время регламентные величины ОЗР (43-48 стержней РР для стационарного режима и 30 стержней РР — предел, после которого реактор должен быть остановлен) значительно отличаются от "установленных до аварии.

#### **ПРИМЕЧАНИЕ:**

*Очевидно, что на АЭС с РБМК многие функции аварийной защиты (в том числе при достижении предельного значения ОЗР) были переложены на персонал в глубокой уверенности, что персонал абсолютно надежный элемент в сложной и разветвленной системе обеспечения безопасности реактора. Ошибочность такой концепции через четыре с половиной года после аварии признается представителями научного руководителя: "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 выполняют. 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 происходит автоматически, без вмешательства оператора. Более того, нужно предпринять меры, чтобы такая автоматическая защита не могла быть произвольно отключена" [75].*

*К этому правильному, но запоздалому высказыванию, следует добавить, что существовавшие в 1986 г. инструкции по эксплуатации РБМК сложно признать правильными.*

#### **4.9. Причины аварии.**

Исходным событием аварии было нажатие старшим инженером управления реактором кнопки сброса стержней аварийной защиты (кнопка АЗ-5) с целью заглушения реактора по причине, которая достоверно не установлена.

Причиной аварии является неуправляемый рост мощности реактора, который на начальной стадии возник из-за увеличения реактивности, внесенной вытеснителями стержней СУЗ [72,33,73].

Увеличение реактивности не было подавлено поглотителями

СУЗ не только из-за малой скорости их перемещения, но и вследствие того, что оперативный персонал перед началом испытаний извлек из реактора больше поглощающих стержней ручного регулирования (РР) чем допустимо, создав тем самым условия для многократного увеличения интенсивности первоначального разгона реактора, предопределенного конструкцией стержней СУЗ.

Возникшее первоначальное увеличение реактивности обусловило — значительный рост мощности, поскольку реактор обладал сильной положительной связью между реактивностью и парообразованием в активной зоне, чему в немалой степени способствовала низкая исходная мощность реактора, теплогидравлические характеристики, способствовавшие максимальному проявлению парового эффекта реактивности, и значительные неравномерности энерговыделений по объему активной зоны.

#### **ПРИМЕЧАНИЕ:**

*Оценка причин аварии давалась во многих документах, при этом отмечалось, что они носят комплексный характер. В частности, достаточно компактно, взгляды на причины аварии изложен в работе [54] "При анализе Чернобыльской аварии выяснилось: большой эффект вытеснителей; большой паровой эффект реактивности; образование чрезмерно большой объемной неравномерности энерговыделения в активной зоне в процессе аварии. Последнее обстоятельство одно из наиболее важных и обусловлено большими размерами активной зоны (7\*12 м), малой скоростью перемещения неоднородных (имеющих поглотители, вытеснители и водяные столбы) стержней 0,4 м/сек и большим паровым эффектом реактивности ~ 5Вэфф. Все это и предопределило размеры Чернобыльской катастрофы.*

*Таким образом, масштаб аварии на ЧАЭС обусловлен не действиями обслуживающего персонала, а непониманием прежде всего со стороны научного руководства влияния паросодержания на реактивность активной зоны РБМК, что привело к неправильному анализу надежности эксплуатации; к игнорированию неоднократных проявлений большой величины парового эффекта реактивности при эксплуатации; к ложной уверенности в достаточной эффективности СУЗ, которая на самом деле не могла справиться как с происшедшей аварией, так и со многими другими, в частности, с проектными авариями, и, естественно, к составлению неверного регламента эксплуатации.*

*Подобное научно-техническое руководство объясняется, кроме всего прочего, чрезвычайно низким уровнем научно-технических*

*разработок по обоснованию нейтронно-физических процессов, происходящих в активной зоне АЭС с РБМК, игнорированием расхождения результатов, получающихся по различным методикам; отсутствием экспериментальных исследований в условиях, наиболее приближенных к натурным; отсутствием анализа специальной литературы и, в конечном итоге, передачей Главному Конструктору неверных методик расчета нейтронно-физических процессов и своих функций — обоснование процессов, протекающих в активной зоне, и обоснование безопасности АЭС с РБМК.*

*Важным обстоятельством является и то, что Минэнерго длительное время пассивно эксплуатировало АЭС с РБМК с нейтронно-физической нестабильностью в активной зоне, не придавало должного значения неоднократным выпаданиям сигналов АЗМ и АЗС при срабатывании АЗ, не требовало тщательного разбора аварийных ситуаций.*

*... необходимо констатировать, что авария, подобная Чернобыльской, была неизбежной.*

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Чернобыльская авария была рассмотрена и проанализирована Международной Консультативной Группой по Ядерной Безопасности (INSAG) при Генеральном директоре МАГАТЭ [64]. Не вдаваясь в содержание этого доклада, комиссия отмечает, что анализируя коренные причины чернобыльской аварии, INSAG приходит к выводу о необходимости формирования и поддержки "культуры безопасности", как важнейшего условия безопасности АЭС.

Выражение "культура безопасности" относится к очень общему понятию приверженности и личной ответственности всех лиц, занимающихся любой деятельностью, которая влияет на безопасность АЭС. Реализация культуры безопасности в числе прочего предполагает, что при подготовке и обучении персонала прежде всего подчеркивается причина установления принятой практики обеспечения безопасности, а также последствия для безопасности, к которым ведут недостатки в выполнении персональных обязанностей. Особо подчеркивается причина установления пределов безопасности и последствия их нарушений для безопасности. Культура безопасности предполагает всеобщую психологическую настроенность на безопасность, которая в первую очередь определяется деятельностью руководителей организаций, участвующих в создании и эксплуатации АЭС [56].

В работах INSAG содержание концепции "Культура безопасности" было выведено за рамки чисто эксплуатационной деятельности и охватило все виды деятельности, на всех стадиях жизненного цикла АЭС, которые могут оказать влияние на безопасную эксплуатацию АЭС. Оно даже охватило высшие сферы управления, в том числе законодательную и правительственную, которые согласно концепции должны формировать национальный климат, при котором безопасность является делом ежедневного внимания.

Оценка с позиций указанной концепции событий чернобыльской аварии показывает, что недостаточность культуры безопасности характерна не только для стадии эксплуатации, но в не меньшей степени и для участников других стадий создания и эксплуатации АЭС, (конструкторы, проектанты, строители, изготовители оборудования, министерские управляющие и контролирующие структуры и т.д.).

Комиссия, с учетом изложенных в докладе фактов и преамбулы данного раздела, пришла к следующим выводам.

**5.1. Недостатки конструкции реактора РБМК-1000, эксплуатировавшегося на 4-ом блоке Чернобыльской АЭС, предопределили тяжелые последствия чернобыльской аварии.**

Причиной Чернобыльской катастрофы является выбор разработчиками реактора РБМК-1000 концепции, в которой, как оказалось, не были достаточно учтены вопросы безопасности, в результате чего получены физические и теплогидравлические характеристики активной зоны реактора, противоречащие принципам создания динамически устойчивых безопасных систем. В соответствии с избранной концепцией была спроектирована не отвечающая целям безопасности система управления и защиты реактора. Неудовлетворительные с точки зрения безопасности физические и теплогидравлические характеристики активной зоны реактора были усугублены ошибками, допущенными при конструировании СУЗ.

В проектной, конструкторской и, соответственно, эксплуатационной документации не было указано на возможные последствия эксплуатации реактора с имевшимися опасными характеристиками. Разработчиками проекта на самом высоком уровне постоянно утверждалось, что реактор РБМК — самый безопасный, чем приглушалось требуемое концепцией культуры безопасности чувство "опасности" у персонала по отношению к объекту управления, т.е. к реакторной установке.

Разработчики реактора знали о таком опасном свойстве созданного ими реактора, как возможность ядерной неустойчивости, но количественно не смогли оценить возможные последствия ее

проявления и оградили себя регламентными ограничениями, которые, как показала практика, оказались весьма слабой защитой. Такой подход не имеет ничего общего с культурой безопасности.

Следует отметить еще одно обстоятельство. Упомянутая весьма слабая защита против очень опасных последствий неустойчивого реактора не соответствует концепции глубоко эшелонированной защиты, на основе которой развивалась атомная энергетика во всем мире.

Реактор РБМК-1000 с его проектными характеристиками и конструктивными особенностями по состоянию на 26.04.86 г. обладал столь серьезными несоответствиями требованиям норм и правил по безопасности, что эксплуатация его стала возможной лишь в условиях недостаточного уровня культуры безопасности в стране.

*5.2. Практика переложения на человека-оператора функций аварийной защиты из-за отсутствия соответствующих технических средств опровергнута самой аварией. Совокупность проектных недостатков техники и не гарантированной надежности человека-оператора привела к катастрофе.*

Персоналом действительно были допущены нарушения ТР и Комиссия отмечает их в докладе. Часть этих нарушений не оказала влияния на возникновение и развитие аварии, а часть позволила создать условия для реализации негативных проектных характеристик РБМК-1000. Допущенные нарушения во многом определяются неудовлетворительным качеством эксплуатационной документации и ее противоречивостью, обусловленной неудовлетворительным качеством проекта РБМК-1000.

Персонал не знал о некоторых опасных свойствах реактора и, следовательно, не осознавал последствий допускаемых нарушений. Но это как раз и свидетельствует о недостатке культуры безопасности не столько у эксплуатационного персонала, сколько у разработчика реактора и эксплуатирующей организации. Можно обратить внимание на иной подход к анализу причин аварии и роли персонала в ее возникновении и развитии. После тяжелой аварии на АЭС "Три Майл Айленд" (США) разработчики менее всего старались обвинить оперативный персонал потому, что "они (инженеры) могут анализировать первую минуту инцидента несколько часов или даже недель для того, чтобы понять случившееся или спрогнозировать развитие процесса при изменении параметров", тогда как оператор должен "описать сотни мыслей, решений и действий, предпринимаемых в течение переходного процесса". [53] Американские специалисты поняли, что **НЕКОТОРЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ МОЖНО ИЗБЕЖАТЬ ПРИ НАЛИЧИИ ХОРОШЕГО ПРОЕКТА. ЕСЛИ**

МОЖНО ПРЕДСТАВИТЬ СЕБЕ ПЕРЕХОДНОЙ ПРОЦЕСС, ТО ВСЕ МОЖНО УЧЕСТЬ В ПРОЕКТЕ, ЧТОБЫ УПРАВЛЯТЬ ПЕРЕХОДНЫМ ПРОЦЕССОМ" [53]. Эдвард Р. Фредерик, американский оператор, принявший ночью 28.04.79 г. ошибочные решения, но не преследовавшийся за них, пишет "Как бы я желал вернуться и изменить эти решения. Но это не может быть переделано и не должно случиться снова. ОПЕРАТОР НИКОГДА НЕ ДОЛЖЕН ОКАЗАТЬСЯ В СИТУАЦИИ, КОТОРУЮ ИНЖЕНЕРЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НЕ ПРОАНАЛИЗИРОВАЛИ. ИНЖЕНЕРЫ НИКОГДА НЕ ДОЛЖНЫ АНАЛИЗИРОВАТЬ СИТУАЦИЮ БЕЗ УЧЕТА РЕАКЦИИ ОПЕРАТОРА НА НЕЕ" [53].

Можно констатировать, что неоднозначность проблемы человека-оператора и причин его ошибок начинает находить понимание и в среде советских специалистов: "отдельно приходится говорить о том, что в среде создателей нашей техники, как, пожалуй, вообще в технической среде, еще низка, к сожалению культура человековедения. Технократический ум с большим трудом воспринимает тот факт, что психология действий оператора отлична от психологии действий исследователя, изготовителя техники, наладчика, ремонтника. Отсюда, и это, конечно, характерно не только для атомной энергетики, непонимание природы ошибок оператора" [59].

Приоритет экономических факторов и производства электроэнергии на практике являлся и до сих пор является определяющим принципом деятельности атомной энергетики. Исходя именно из этого принципа сформулирована действующая до сих пор на большинстве АЭС такая система стимулов и наказаний эксплуатационного персонала, которая при возникновении противоречий между экономикой (планом) и безопасностью побуждает эксплуатационный персонал решать его не в пользу последней. Это также сыграло свою роль 26.04.86 г. на Чернобыльской АЭС, когда возникшие затруднения в исполнении программы испытаний и отдельные нарушения технологического регламента были преодолены многолетней привычкой к безусловному достижению поставленной цели.

*5.3. Существовавшая до аварии и существующая в настоящее время системы правовых, экономических и общественно-политических взаимоотношений в области атомной энергии законодательно не урегулирована, не отвечает и не отвечает требованиям обеспечения безопасности при использовании атомной энергии в СССР.*

Настоящий вывод вытекает, в частности, из того, что в отсутствии закона об использовании атомной энергии полную ответственность за безопасность эксплуатируемых станций практически никто не несет. Все участники создания и эксплуатации

АЭС несут ответственность только за те части работы, которые они непосредственно выполняют. В соответствии с международными нормами и практикой такая общая ответственность возлагается на эксплуатирующие организации. В нашей стране до настоящего времени таких организаций нет. Выполнение их функций в части принятия наиболее важных, общих для АЭС в целом решений, обычно возлагалась и возлагается на соответствующие министерства, являющиеся органами государственного управления. Тем самым право принимать решение оторвано от ответственности за него. Более того, ввиду неоднократных преобразований органов государственного управления исчезли даже те структуры, которые принимали ответственные решения. Таким образом опасные объекты есть, а несущих за них ответственность нет.

В соответствии с общепризнанной мировой практикой, изложенной в рекомендациях МАГАТЭ [58] и официально признанной СССР [57] конечную ответственность перед населением и страной в целом за безопасную эксплуатацию АЭС всегда несет эксплуатирующая организация. Однако ответственность не может реализовываться без необходимых для нее прав. Между тем, существовавшая и существующая до сих пор система не дает никаких прав ни самим АЭС, ни даже вышестоящей для них организации, которые совместно выполняют функции эксплуатирующей организации.

По существующим нормам и правилам эти организации не имеют права принимать никаких ответственных решений (а после Чернобыльской аварии и не очень ответственных, практически никаких) без Главного конструктора. Научного руководителя, Генерального проектировщика и надзорного органа. При этом все эти организации, диктующие владельцам принятие решений и не оставляющие для них никакого выбора, кроме прекращения эксплуатации АЭС в случае несогласия, сами не несут никакой ответственности (за исключением надзорного органа, что тоже неверно) за принимаемые решения.

В докладе указано на множество отступлений проекта и конструкций 4-го блока Чернобыльской АЭС от действовавших в период сооружения и создания АЭС норм и правил по безопасности, тем не менее, этот проект был согласован и утвержден к строительству всеми ведомствами и надзорными органами. Это говорит о фактическом отсутствии в стране хорошо организованной, обладающей соответствующими ресурсами, правами и ответственной за свои заключения экспертизы.

Государственный надзорный орган по вопросам безопасности АЭС был образован всего за 3 года до Чернобыльской аварии и



вопреки концепции культуры безопасности его нельзя было считать независимым, поскольку он входил в те же государственные структуры, на которые была возложена ответственность за сооружение АЭС и производство на них электроэнергии. За прошедший после аварии период осуществлен ряд конструктивных перемен в системе надзора за безопасным использованием атомной энергии. Однако, в отсутствие законодательной базы, экономических методов регулирования, человеческих и финансовых ресурсов у регулирующего органа и сложностью создания в стране института независимой экспертизы, существовала и существует многозвенная система пооперационного контроля и мелочной опеки АЭС, но не полнокровная система регулирования безопасного использования атомной энергии в интересах всего населения страны.

Наиболее важным уроком чернобыльской аварии является не только необходимость улучшения отдельных характеристик реакторов РБМК и условий их эксплуатации, хотя это и важно само по себе, но и необходимость внедрения во все аспекты использования атомной энергии в СССР требований концепции "культура безопасности".

***5.4. ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИЧИН И ОБСТОЯТЕЛЬСТВ АВАРИИ НА 4-ОМ БЛОКЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС НЕЛЬЗЯ СЧИТАТЬ ЗАВЕРШЕННЫМИ И ОНИ ДОЛЖНЫ БЫТЬ ПРОДОЛЖЕНЫ С ЦЕЛЬЮ УСТАНОВЛЕНИЯ ИСТИНЫ И ИЗВЛЕЧЕНИЯ НЕОБХОДИМЫХ УРОКОВ ДЛЯ БУДУЩЕГО.***

За время прошедшее после 26.04.86 г. проведены значительные работы по анализу причин и обстоятельств аварии, однако их нельзя считать завершенными. Необходимо выполнить большие объемы расчетных и, возможно, экспериментальных работ с той целью, "чтобы ни одно связанное с безопасностью событие не осталось незамеченным и были внесены нужные исправления для предотвращения повторения связанных с безопасностью аномальных событий где бы то ни было, независимо от того, где они произошли впервые" [56].

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Техническое обоснование безопасности 2 очереди Курской и Чернобыльской АЭС, Гидропроект инв. N 180, 4Д-183, 1974 год.
2. Курская, Чернобыльская АЭС, 2 очередь. Технический проект, Гидропроект инв. N 174, 1974 год.
3. Техническое обоснование безопасности, Гидропроект инв. N 176, 1976 год.  
Смоленская АЭС 1 очередь;  
Курская АЭС 2 очередь;  
Чернобыльская АЭС 2 очередь;
4. Техническое обоснование безопасности реакторной установки РБМК-4, НИКИЭТ инв. N Е4. 306-387, 1973 год и инв. N Е4. 306-440, 1973 год.
5. Техническое решение Главтомоэнерго и организации п/я В-2250 по системе обеспечения безопасности АЭС с реакторами РБМК-1000, проектируемых Минэнерго СССР от 19 июля 1974 года.
6. Отчет "Техническое обоснование безопасности реакторной установки РБМ-К4, сб.01 с дополнением к отчету", НИКИЭТ инв. К Е4. 306-440, 1973 год.
7. Расчетно-пояснительная записка к техническому проекту РБМ-К, ИАЭ им. И.В. Курчатова инв. N 35-877, 1966 г.
8. Исследование эффектов реактивности и переходных процессов в процессе энергопуска реактора РБМК, НИКИЭТ, ЛАЭС инв. N КТО 5521/42-565/. 1974 год.
9. Оценка парового коэффициента реактивности по данным режима с отключением ГЦН на мощности 45% от номинальной. ЛАЭС инв. N НТО-667, 1974 год.
10. Влияние перегрузки реактора 1 блока в КПП 1976 г. на величину парового коэффициента реактивности. ЛАЭС инв.М НТБ 1092 дсп, 1976 год.
11. Материалы по изменениям на 1 блоке ЛАЭС до КПП 1976 г. и после него, НИКИЭТ исх. 120-1244 от 07.02.77.
12. Исследования эффектов реактивности в переходных процессах реакторов РБМК на ЧАС. НИКИЭТ, инв. N 53-44, 1980 год.
13. Физические характеристики реактора РБМК 2 блока в процессе эксплуатации. ЛАЭС, инв. N 504-ОТ/51-130/, 1979 год.
14. Исследование эффектов реактивности реактора РБМК 3 блока. ЛАЭС, НИКИЭТ инв. N 51-281, 1979 год.
15. Об уменьшении парового коэффициента реактивности, НИКИЭТ, исх. 050-571 от 12.01.76.
16. Исследования парового и мощностного эффектов реактивности реактора РБМК-1500 при энерговыработке 13 эфф. суток. НИКИЭТ, ИАЭС инв. N 251-1-84 НТБ, 1984 год.
17. Анализ результатов измерения парового коэффициента реактивности реакторов РБМК в ходе выполнения мероприятий по повышению безопасности. НИКИЭТ инв. N 120-398-2999, 1989 год.
18. Дополнительные нейтронно-физические расчеты к техническому проекту РБМ-К. Предварительные результаты экспериментов на физстенде УГ./сб.01Р и сб.010Т/. ИАЭ им. И.В.Курчатова.

19. Техническое обоснование безопасности 2 очереди КАЭС и ЧАЭС / дополнение/, Гидропроект инв. N 253 ТП, 1976 год.
20. Решение о порядке перевода РБМК "на обогащение 2%. Инв. N 1597с, исх. 16-1807.
21. "Отчет о переводе реакторов РБМК-1000 на топливо 2% обогащения". НИКИЭТ, ИАЭ им. Курчатова, инв. N 050-001-098с, 1977 год.
22. Технический проект системы управления и защиты реактора РБМК, НИКИЭТ инв. N 11526. /8.146-9144./
23. Технические условия на СУЗ РБМ-К5, РБМ-К9 ТУ95. 5115-82.
24. Изменение мощности РБМК с разрывом труб контура циркуляции, ИАЭ им. Курчатова инв. N 31/1490 дсп 1977 год.
25. Ядерная безопасность РБМК вторых очереди, нейтронно-физические расчеты, НИКИЭТ инв. 050-0750933.
26. Ядрихинский А.А. "Ядерная авария на 4-ом блоке Чернобыльской АЭС и ядерная безопасность реакторов РБМК", 1989 г.
27. Система физического контроля распределения энерговыделения. Технические условия ТУ 95.5098-78 РБМ-К7. Сб. 170 ТУ.
28. "Исследование причин аварии на ЧАЭС". Отчет ИАЭ им.И.В.Курчатова инв. N 34/716186 дсп от 30.10.86.
29. "Авария на ЧАЭС и ее последствия" - информация, подготовленная для совещания экспертов МАГАТЭ части 1 и 2, ГКАЭ СССР.
30. "Авария на ЧАЭС: год спустя " IAEA-48163, Вена, 02.10.87.
31. Итоговый доклад МКГЯБ МАГАТЭ о Совещании по рассмотрению причин и последствий аварии в Чернобыле, Вена, 1988.
32. Письмо НИКИЭТ иск. N 050-СИ/1-120 от 02.02.84.
33. Разработка полномасштабных математических моделей динамики АЭС с РБМК-1000 и анализ на их основе начальной стадии аварии на Чернобыльской АЭС. Отчет ВНИИАЭС и ИАЭ им. И.В.Курчатова. Инв. N 07-282 1/89. 1989 год.
34. Анализ причин аварии на Чернобыльской АЭС путем математического моделирования физических процессов. Отчет ВНИ-ИАЭС, инв. N 864, 1987г.
35. Правила ядерной безопасности атомных электростанций: ПБЯ-04-74. Москва, Атомиздат, 1976 г.
36. Общие положения обеспечения безопасности атомных электростанций при проектировании, строительстве эксплуатации (ОПБ-73). Москва, Атомиздат, 1974 г.
37. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций при проектировании, сооружении и эксплуатации (ОПБ-82). Москва, Энергоатомиздат, 1984 г.
38. План реализации мероприятий по повышению безопасности АЭС с реакторами РБМК. Июнь 1986 г.
39. Сводные мероприятия по повышению надежности и безопасности действующих и сооружаемых атомных станций с реакторами РБМК. от 19.12.86.
40. Сводные мероприятия по повышению надежности и безопасности действующих и сооружаемых атомных станций с реакторами РБМК. СМ-88-РБМК.
41. Типовой технологический регламент по эксплуатации блоков АЭС с реактором РБМК-1000, ИАЭ им.И.В.Курчатова, инв. 33/262982, 1982 г.

42. Технологический регламент по эксплуатации 3 и 4 энергоблоков Чернобыльской АЭС. ВПО Союзатомэнерго, 1984 г.
43. Рабочая программа испытаний турбогенератора N 8 Чернобыльской АЭС в режимах совместного выбега с нагрузкой собственных нужд".
44. Анализ режима работы ГЦН в предварительный период и в первой фазе аварии на 4 блоке ЧАЭС. Отчет ОКБМ и ИАЭ им. И.В.Курчатова, инв. N 333/1-360-89.
45. Регламент переключения ключей и накладок технологических зашит и блокировок. ЧАЭС инв. N 280/11.
46. "Акт расследования причин аварии на энергоблоке N 4 Чернобыльской АЭС, происшедшей 26.04.86". ЧАЭС уч. N 79 пу. 05.05.86.
47. "Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствия, подготовленная для МАГАТЭ". "Атомная энергия", т.61, вып.5, ноябрь 1986 г., с. 320.
48. "К акту расследования причин аварии на энергоблоке N 4 Чернобыльской АЭС, происшедшей 26 апреля 1986 года". Минэнерго СССР, Союзатомэнерго инв. N 4/611, 1986г.
49. "США: Моделирование аварии на ЧАЭС", Национальная лаборатория, штат Айдахо. Перевод предприятия п/я 7755, N 92 от 12.07.88.
50. Решение N 8 секции N 2 НТО Госатомэнергонадзора СССР от 15.02.90
51. О решении секции 2 НТС ГАЭН СССР, письмо НИКИЭТ, исх. N 040-04/2571 от 28.03.90.
52. Трехмерная нейтронно-теплогидравлическая модель и программа для исследования быстрых нестационарных процессов в РБМК. ИАЭ им. И.В.Курчатова, инв. 33/1-282-88, 1988 г.
53. Эдвард Р. Фредерик. Взгляд на проект, подготовку персонала, эксплуатацию, как на критические звенья. АЕА-5М-296/91.
54. В.П. Волков. Чернобыльская авария. Истоки и уроки. Научно-технический отчет о НИР, ИАЭ им. И. В. Курчатова, 1987 г.
55. Экспертное заключение по работе т. Ядрихинского А.А. "Ядерная авария на 4-м блоке ЧАЭС и ядерная безопасность РБМК", НИКИЭТ, исх. 050-02/1226 от 13.02.90
56. Основные принципы безопасности атомных электростанций, 75 INSAG-3, Вена, 1988 г.
57. Итоговый документ Венской встречи представителей государств-участников совещания по безопасности и сотрудничеству в Европе, Москва, Политиздат, 1989 г.
58. Безопасность атомных электростанций — эксплуатация, ввод в эксплуатацию и снятие с эксплуатации. Свод положений, N 50-С-О, МАГАТЭ, Вена, 1979 г.
59. В. Абрамова "Взгляд психолога на Чернобыльскую аварию" Наука и жизнь N 11, 1989 г.
60. О режиме выбега, письмо НИКИЭТ, исх. 040-9253 от 24.11.76
61. Моделирование на ЭВМ динамических процессов в эксплуатационных режимах АЭС, включая аварийные. Изменение реактивности при погружении СУЗ РБМК-1000 в активную зону. КИЯИ АН УССР, 1986 г.
62. "Ввод в эксплуатацию реакторов РБМК-1000 I и II блоков ЧАЭС после длительной остановки и меры ядерной безопасности" НИКИЭТ, программа 12.170П от 29.06.86 г.

63. Чернобыльская АЭС ТОВ III очередь, Гидропроект, Москва, 1982 г. Согласован НИКИЭТ исх. 040-06/3396 от 06.04.83, согласован ИАЭ им.И.В. Курчатова исх. 33-33/13 от 16.02.83 .
64. Совещание по рассмотрению причин и последствий аварии в Чернобыле. Итоговый доклад INSAG. Вена. 30 августа — 3 сентября 1986 г.
65. Б. Г. Дубовский "О факторах неустойчивости ядерных реакторов на примере реактора РБМК", УДК 621.039.58, Обнинск, 1989 г.
66. Абрамова В.Н., Белехов В.В., Бельская Е.Г. и др. Социально-психологические исследования на ЧАЭС в период с мая 1986 по 1987 гг. Научный отчет ОНИЛ "Прогноз", т.2. Обнинск, ИАТЭ, 1987 г.
67. Абрамова В.Н. Авария на Чернобыльской: психологические уроки. Энергия: Экономика, техника, экология. 1988 г. N 3.
68. Абрамова В.Н. Психологическое обеспечение кадровой службы атомной энергетики. Докторская диссертация, Обнинск, 1990 г.
69. Физический пуск реактора РБМК-1500 первого блока Игналинской АЭС, НИКИЭТ. Отчет 12.346 От, 1987 г.
70. Письмо ИАЭ им. И. В. Курчатова исх. 33-08/67. дсп от 23.12.83 г.
71. Анализ развития аварии на ЧАЭС, НИКИЭТ инв. П-34962, 1986 г.
72. Обобщенный анализ аварии на 4 блоке ЧАЭС, НИКИЭТ, 13.168 От, 1990 г.
73. Анализ разрушительных сил, приведших к аварии на ЧАЭС, Nucl. Eng. And Design, V.106, N 2, 1988, p. 179-189.
74. The Soviet RBMK: There do where do we go from here? E.O. Adamov, Nucl. Intern., v.6 1990 , p.33-36.
75. А.К.Калугин. Сегодняшнее понимание аварии. "Природа 1990 г. N 11 стр. 70-77.
76. Implication of the Accident at Chernobyl for Safety Regulation of Comercial Nuclear Power Plants in the United States, NUREG-1251, US NRC, 1987 г.
77. Техническое решение по вопросу схем защит реактора от снижения уровня в сепараторах пара и от снижения расхода питательной воды, НИКИЭТ, "Гидропроект", 1983 г.



Серия изданий по безопасности № 75-INSAG-7

## ЧЕРНОБЫЛЬСКАЯ АВАРИЯ:

Обновление INSAG-1

INSAG-7\*

Доклад Международной консультативной  
группы по ядерной безопасности

Международное Агентство по атомной энергии  
Вена 1992

---

\* Доклад подготовлен группой ИНСАГ в 1992 году. Неофициальный перевод с английского сделан В.А. Сидоренко. Публикация доклада на русском языке сделана МАГАТЭ в 1993 году (Ред.)

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Доклад № 75-INSAG-1 Серии изданий по безопасности МАГАТЭ (INSAG-1) был подготовлен Международной консультативной группой по ядерной безопасности (ИНСАГ) по просьбе Генерального директора МАГАТЭ вслед за Совещанием по рассмотрению причин и последствий чернобыльской аварии, проведенным в Вене в период 25-29 августа 1986 года. На этом совещании в ходе обсуждения причин аварии ведущие советские ученые и инженеры представили первый публичный отчет, посвященный аварии 26 августа 1986 года на четвертом блоке Чернобыльской атомной электростанции в Украинской республике Союза Советских Социалистических Республик. Они доложили этот отчет большому числу экспертов из стран-членов МАГАТЭ и международных организаций. Доклад №75-INSAG-1 Серии изданий по безопасности основывался на этих сведениях, на дополнительных материалах, представленных советскими экспертами во время конференции и на обсуждениях во время заседаний Рабочей группы между советскими экспертами, членами ИНСАГ и другими помогавшими им экспертами.

До совещания в Вене делалось множество предположений по причинам чернобыльской аварии. Аналитические исследования, побуждаемые этими предположениями, были предприняты в разных местах на основе неполной информации о конструктивных характеристиках реакторов РБМК, опубликованных в открытой литературе. Данные на совещании объяснения советских экспертов последовательности ошибок, приведших к разрушению блока №4 Чернобыльской АЭС, были сформированы на основе аналитической модели, "отнормированной" по скудным и неточным данным о параметрах станции, которые были зафиксированы во время испытаний, проводившихся на турбогенераторе и приведших к аварии.

Отчет, представленный Венской конференции, утверждал, что возможно объяснить характер аварии и степень произошедших повреждений конструкции неконтролируемым разгоном реактора, обусловленным увеличением реактивности. Было заявлено, что разгон стал возможным из-за знаков и величин парового и мощностного коэффициентов реактивности, характеризовавших состояние реактора в это время. Оно было непреднамеренно сформировано операторами при подготовке испытаний наряду с влиянием торможения насосов, которые уменьшили расход теплоносителя в



ходе испытания. Представление советскими экспертами подробного отчета сопровождалось заявлениями о нарушениях операторами правил и инструкций. При отсутствии доказательств невозможно было проверить соответствие этих правил и инструкций или защитных систем проектным характеристикам реактора. Было сделано утверждение, что авария вызвана маловероятным совпадением ряда нарушений правил и инструкций оперативным персоналом и персоналом, ответственным за разрешение испытания.

Члены ИНСАГ и помогавшие им эксперты нашли это объяснение причины аварии правдоподобным и не сделали попытки разработать альтернативные сценарии, хотя было признано, что были другие возможные объяснения. Все стороны признавали, что анализы переходного процесса были очень сложны и чувствительны ко многим факторам. В INSAG-1 было заявлено (стр.2) что "было бы в самом деле удивительно, если бы доклад, подготовленный и выпущенный за короткий период и в то время, когда многие вопросы оставались предметом анализов, считался бы правильным во всех деталях. ИНСАГ поэтому использовал свой здравый смысл при формировании заключений и рекомендаций к действию".

Со времени Венской конференции 1986года экспертными группами была выполнена значительная дополнительная аналитическая работа по причинам чернобыльской аварии. Многие результаты были опубликованы. Появилась другая информация, часто противоречивая. Наиболее важными среди источников этой информации являются доклады советских комиссий, возглавляемых соответственно Н.А. Штейнбергом и А.А. Абагяном. Эти два доклада, переведенные на английский язык МАГАТЭ, воспроизводятся в качестве Приложений I и II к настоящему документу, поскольку они не доступны для широкого использования\*. Все это дополнило сведения, которыми владели авторы INSAG-1 во время подготовки доклада. Настоящая публикация обновляет ту часть доклада INSAG-1, в которой основное внимание уделено причинам аварии.

---

\* В настоящем сборнике указанные доклады приводятся как самостоятельные документы в оригинале.

## 2. ОСОБЕННОСТИ РЕАКТОРА

Здесь кратко суммируются определенные проектные особенности реактора РБМК-1000<sup>1</sup> и связанных с ним систем 4-го блока Чернобыльской АЭС во время аварии 26 апреля 1986 года. Эти особенности проекта оказали основное влияние на причины аварии и ее последствия.

### 2.1. Пустотный коэффициент реактивности

Реактор, охлаждаемый кипящей водой, содержит в активной зоне определенное количество пара. Паровые пузыри называют пустотами, и ту часть объема теплоносителя, которая содержит пустоты, называют пустотная фракция (или паросодержание). Если пустотная фракция изменяется, изменяется реактивность; отношение двух изменений называют пустотным (паровым) коэффициентом реактивности, который в зависимости от конструкции реактора может быть либо отрицательным, либо положительным. Изменение мощности реактора может приводить к изменению пустотной фракции и также может приводить к другим эффектам, изменяющим реактивность. Эти изменения реактивности должны компенсироваться стержнями регулирования. Отношение общего изменения реактивности, получаемого в результате изменения мощности, к изменению мощности называют мощностным коэффициентом реактивности, и он также может быть положительным или отрицательным.

В реакторах типа РБМК пустотный коэффициент реактивности является определяющей составной частью мощностного коэффициента реактивности, отражая высокую степень зависимости реактивности от содержания пара в активной зоне. Пустотный коэффициент существенно зависит от шага решетки активной зоны и состава зоны (числа стержней регулирования, введенных в активную зону, числа дополнительных установленных поглотителей, обогащения топлива и его выгорания).

На основании исследований, проведенных после аварии, было доложено, что расчетное значение пустотного коэффициента реактивности

<sup>1</sup> Концепция проекта атомной электростанции часто используется в данном докладе. Здесь используются значения понятий, установленные в серии публикаций МАГАТЭ по нормам ядерной безопасности (NUS): Процесс и результаты разработки концепции, детальных чертежей, обосновывающих расчетов и спецификаций для атомной электростанции и ее оборудования.

для реактора РБМК-1000 изменяется от  $-1,3 \cdot 10^{-4} (\delta k/k) \%^{-1}$  пустоты для свежей топливной загрузки до  $+(2,0-2,5) \cdot 10^{-4} (\delta k/k) \%^{-1}$  пустоты для стационарного режима перегрузки; и что эффект реактивности при полной потере теплоносителя был  $-2\beta$  для свежей топливной загрузки и  $+(4-5)\beta$  для стационарного режима перегрузки (где  $\beta$  это доля запаздывающих нейтронов). В проектной документации реактора РБМК утверждалось, что пустотный коэффициент реактивности отрицателен как для начальных, так и для стационарных условий. Таким образом, хотя пустотный коэффициент реактивности изменяется в широком диапазоне от отрицательных до положительных значений в зависимости от состава активной зоны и эксплуатационного режима реактора, быстрый мощностной остается отрицательным при нормальных эксплуатационных условиях. Во время аварии пустотный и мощностной коэффициенты реактивности были оба положительны.

## 1.2 Конструкция стержней управления и защиты

Стержни управления и стержни аварийной защиты в реакторе РБМК вводятся в активную зону сверху за исключением 24 укороченных стержней, которые вводятся снизу и используются для выравнивания распределения мощности. К концу поглотителя каждого стержня прикреплен графитовый стержень, называемый "вытеснителем", (за исключением двенадцати стержней, используемых для автоматического регулирования). Нижний вытеснитель предотвращает заполнение охлаждающей водой пространства, освобождающегося при извлечении стержней, увеличивая тем самым компенсирующую способность стержня. Графитовый вытеснитель каждого стержня во всех реакторах РБМК был во время аварии связан со своим стержнем по типу "телескопа", причем вытеснитель и поглощающий стержень разделяло пространство высотой 1,25 м, заполненное водой (см. рис 1).

Размеры стержня и вытеснителя были такими, что при полном извлечении стержня вытеснитель располагался по центру топливной части активной зоны, оставляя с каждого конца столб воды высотой 1,25 метра. При поступлении аварийного сигнала, вызывающего падение полностью извлеченного стержня, вытеснение воды из нижней части канала при движении стержня вниз из его верхнего положения вызывало локальное введение положительной реактивности в нижней части активной зоны. Величина этого "положительного эффекта аварийной защиты" зависит от пространственного распределения энерговыделения и эксплуатационного режима реактора.

### 2.3. Скорость введения стержней аварийной защиты

Полное время, необходимое для введения стержней аварийной защиты в активную зону, составляло от момента срабатывания верхних концевых выключателей 18 сек. Эта малая скорость ввода была естественным следствием тесного размещения стержня в канале, в результате чего охлаждающая вода, в которой двигался стержень, действовала подобно жидкости гидравлического тормоза.

### 2.4. Регулирование мощности

Для обеспечения регулирования мощности реактор РБМК-1000 был оборудован двумя системами. Первая представляла собой систему физического контроля распределения энерговыделения, детекторы которой располагались внутри активной зоны (СФКРЭ). Другая система представляла собой систему управления реактора, детекторы которой располагались как внутри активной зоны, так и вне ее, в боковом баке биологической защиты.

В принципе две системы были спроектированы как дополняющие одна другую. СФКРЭ была сделана для контроля распределений абсолютной и относительной мощности в диапазоне 10-120% от их номинальных значений и для управления общей мощностью реактора в диапазоне 5-120% от его номинального значения. Система управления реактора включала систему локального автоматического регулирования и локальной автоматической защиты (ЛАР-ЛАЗ). Системы ЛАР-ЛАЗ получали сигналы от внутриреакторных датчиков и работали на уровнях мощности выше 10% от номинальной. Управление более низкими уровнями мощности опиралось только на внешние детекторы.

Когда реактор эксплуатировался на малой мощности с отключенными системами СФКРЭ и ЛАР-ЛАЗ, не было возможности внутриреакторных измерений. При принятии решений по воздействию на общую мощность и ее объемное распределение оператор полагался в основном на измерители, размещенные вне активной зоны. Однако внешние детекторы не могли представлять распределение нейтронного потока в активной зоне. Более того, они не могли представлять распределение усредненного осевого потока, поскольку были расположены в средней плоскости активной зоны.

Таким образом при управлении реактором на низких уровнях мощности оператор полагался в основном на опыт и интуицию, а не на показания приборов системы управления. В этих обстоятельствах от оператора требовалось проводить управляющие действия с частотой до 1000 в час.

Тем не менее управление РБМК-1000 при пуске, когда в реакторе отсутствует поглощение нейтронов "отравляющим" ксеноном-135, отличается и много проще, чем управление распределением мощности неоднородно отравленного реактора на малой мощности. В этой последней ситуации, которая имела место в большой мере во время испытания, окончившегося разрушением реактора 4-го блока Чернобыльской АЭС, могли возникнуть большие неравномерности и большие отклонения как осевого, так и радиального распределений мощности. Операторы не имели или имели малый опыт управления в этих условиях.

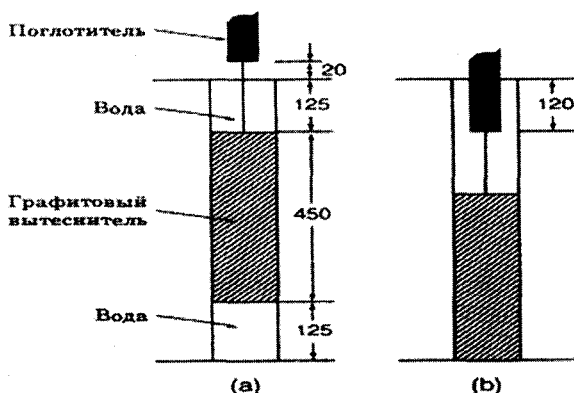


Рис. 1 Крайнее верхнее положение регулирующего стержня системы аварийной защиты РБМК относительно активной зоны реактора перед (а) и после (б) изменений, сделанных после Чернобыльской аварии. Размеры даны в сантиметрах.

## 2.5. Приборная индикация запаса реактивности

Компьютер и приборы, используемые для определения запаса реактивности в реакторе РБМК-1000, расположены примерно в 50 метрах от пульта управления. Система сбора данных получает информацию примерно от 4000 входных датчиков. Система используется для периодического расчета оперативного запаса реактивности (ОЗР), который представляет собой избыточную реактивность, которая может появиться в случае извлечения всех регулирующих и аварийных стержней, и измеряемую в единицах полной реактивности, компенсируемой стандартным стержнем. Этой системе требуется 10-15 минут для осуществления цикла всех измерений и расчетов ОЗР. Система была создана, чтобы предоставить оператору руководство при управлении распределением удельной мощности в стационарном состоянии, и использовалась для

этих целей в сочетании с системой измерения объемного распределения мощности.

## 2.6. Размер активной зоны реактора

Из-за больших размеров активной зоны реактор РБМК (высота 7м, диаметр 11,8м) цепная реакция в одной части активной зоны очень мало связана с реакцией в других, удаленных от нее районах. Это приводит к требованию контролировать объемное распределение мощности почти так, как будто в объеме активной зоны расположено несколько независимых реакторов. Эта ситуация в экстремальных условиях может быть очень нестабильной, поскольку малое объемное перераспределение реактивности может вызвать большие объемные перераспределения мощности. Проявлением этого разобщения активной зоны было то, что прямо перед аварией цепные реакции в верхней и нижней половинах реактора проходили почти независимо, что было вызвано большим ксенонным отравлением в центральной зоне между ними. Когда регулирующие и аварийные стержни были введены в этих условиях из полностью извлеченного состояния, положительный эффект аварийной защиты, обсуждавшийся выше, мог вызвать переход нижней части активной зоны в сверхкритическое состояние, распределение нейтронов быстро сместилось вниз, несмотря на распределение, существовавшее непосредственно перед вводом стержней. В условиях аварии сдвиг распределения мощности из-за положительного эффекта аварийной защиты мог быть значительным.

## 2.7. Возможность изменения систем безопасности, остановки и аварийной сигнализации станции

На блоке 4 Чернобыльской АЭС существовала возможность вмешательства операторов в определенные системы безопасности, байпасирование сигналов автоматической аварийной остановки и возможность изменять или подавлять различные сигналы аварийной сигнализации. Это можно было сделать обычным образом путем установки перемычек в доступных местах. Эксплуатационные инструкции позволяли в некоторых условиях такое вмешательство.

## 2.8. Недогрев воды на входе

РБМК является реактором с кипящей водой. Теплоноситель, поступающий в активную зону реактора снизу, представляет собой воду, недогретую до температуры кипения, и кипение начинается на некотором расстоянии от входа потока в активную зону.

Анализы и эксперимент показывают, что величина недогрева входящего теплоносителя в реакторах с кипящей водой имеет важное значение для устойчивости реактора. Если недогрев приближается к нулю, кипение начинается почти на входе в активную зону, и из-за пустотного коэффициента реактивности реактивностные эффекты становятся очень чувствительными к входной температуре теплоносителя.

Более того, поскольку разница между температурой потока в циркуляционных насосах и на входе в активную зону не велика, температура воды в насосах и на их входе в случае малого недогрева близка к точке кипения. Поведение насосов в этих условиях становится неустойчивым, может существенно уменьшаться напор, либо в определенных условиях он может полностью исчезнуть (процесс, называемый кавитацией). Это обсуждается далее в разделе 2.9.

## 2.9. Система первичного теплоносителя

Реактор РБМК-1000 имеет две независимых петли первичного теплоносителя, каждая из которых охлаждает половину реактора. Каждая петля включает четыре циркуляционных насоса, из которых в нормальной работе используется три; четвертый находится в резерве и используется в случае вынужденной остановки одного из трех. Каждый насос имеет производительность от 5500 до 12000 м<sup>3</sup>/час. Напорная линия от каждого насоса имеет регулирующий клапан и обратный клапан для предотвращения обратного расхода в случае остановки насоса. Каждый насос имеет отсечные задвижки для его изоляции в случае необходимости.

Теплоноситель, подаваемый в циркуляционный контур от каждого из трех насосов, поступает в общий коллектор и затем в 22 раздаточных коллектора на каждой половине реактора.

Из этих коллекторов поток распределяется по индивидуальным напорным трубопроводам к каналам, содержащим ядерное топливо. Каждый канал снабжен регулятором расхода, используемым для оптимизации радиального распределения теплоносителя по активной зоне. Когда теплоноситель, проходящий через каналы, поступает в активную зону, возникает кипение. Пароводяная смесь от различных тепловыделяющих каналов отводится по индивидуальным трубам в два горизонтальных сепаратора барабанного типа на каждой петле.

Пар отводится от верхней части каждого сепаратора в два паровых коллектора, от которых направляется к турбинам. Поток конденсата от турбины на каждой петле образует поток питательной воды, который объединяется с рециркулирующим потоком воды

от парогенераторов и образует поток теплоносителя на входе в насосы. Так формируется поток циркулирующего теплоносителя.

В нормальных условиях производительность каждого насоса составляет  $8000 \text{ м}^3/\text{час}$ . Нормальная температура на входе в активную зону  $270^\circ \text{ С}$ , а выходная температура  $284^\circ \text{ С}$  при давлении 7 МПа (примерно 70 атм). Температура воды, поступающей во входной коллектор главного циркуляционного насоса, зависит от паропроизводительности реактора, поскольку пар конденсируется после прохождения турбины и определяет составляющую питательной воды на входе в насосы и активную зону. Когда поток этой составляющей питательной воды в теплоносителе уменьшается из-за уменьшения мощности реактора, температура теплоносителя на входе в насосы и в активную зону соответственно увеличивается.

При нормальном пуске или остановке расход теплоносителя в первом контуре изменяется при помощи регулирующих задвижек дроссельного типа, чтобы уменьшить расход от нормальной величины  $8000 \text{ м}^3/\text{час}$  на насос до уровня  $6000\text{--}7000 \text{ м}^3/\text{час}$ . При работе на малой мощности при пусках и остановках используется меньшее число насосов. Эти меры гарантируют, что температура на входе в главные циркуляционные насосы достаточно низка, чтобы предотвратить кавитацию в насосах и поддержать необходимое осевое распределение генерации пара в топливных каналах.

Как раз накануне и в начале аварии в Чернобыле в работе находились все восемь насосов. Четыре питались от турбогенератора, оставшегося в работе, и четыре получали энергию от внешнего источника. Использование всех восьми насосов увеличивало расход выше значения, соответствующего номинальным условиям на полной мощности, уменьшая уже низкое паросодержание в активной зоне. Это низкое паросодержание уменьшило коэффициент трения потока теплоносителя. Вдобавок из-за низкого уровня мощности в это время теплоноситель на входе в активную зону была лишь слегка недогрет и, в зависимости от фактического значения расхода питательной воды и расхода рециркуляции, а также распределения давления в системе трубопроводов, недогрева могло не быть вовсе.

Эти условия привели к закипанию вблизи начала активной зоны. В сложившихся условиях эксплуатации пустотной коэффициент реактивности был определенно положительным, и активная зона находилась в условиях повышенной чувствительности к расходящейся положительной обратной связи пустотной реактивности при повышении мощности. Более того, повышенный расход теплоносителя также уменьшал запас до кавитации насосов.

Когда турбина была отключена, питавшиеся от нее насосы начали замедляться по мере уменьшения скорости вращения турбины и



соответствующего уменьшения напряжения на генераторе. Это уменьшило расход через активную зону, привело к росту паросодержания в активной зоне и вызвало начальную положительную обратную связь в реактивности, которая, стала по крайней мере одной из причин аварии.

Остаются вопросы, уменьшалась ли производительность насосов в этот период еще более в условиях, когда насосы перекачивали пароводяную смесь, либо насосы могли даже кавитировать и прекратить циркуляцию теплоносителя. Доклад комиссии Государственного комитета СССР по надзору за безопасным ведением работ в промышленности и атомной энергетике (Госпроматомнадзора) опирается на исследования, в которых утверждается, что насосы не кавитировали. По крайней мере положительный пустотный коэффициент реактора РБМК определяет повышенную чувствительность установки к нарушениям работы насосов или их повреждению в условиях аварии.

## 2.9. Контейнмент

Реактор РБМК имеет "локальные" контейнменты. Так отдельные части реактора и циркуляционного контура размещены в индивидуальных локализующих объемах, каждый из которых рассчитан по проекту на разрыв оборудования первого контура только в пределах этого пространства. В частности активная зона реактора размещена внутри конструкции, боковые стенки которой служат также защитой. Днище этой конструкции представляет собой тяжелую плиту, на которую опирается активная зона, а прикрыта она 2000 - тонной верхней плитой. Подводящие и отводящие части топливных каналов пронизывают нижнюю плиту и крышку и приварены к ним.

Отдельные объемы контеймента соединяются трубами с расположенным внизу барботером, который представляет собой бассейн для снижения давления, устройство сходное по назначению с аналогичными, используемыми в западных странах на большинстве кипящих водяных реакторов.

Так же как и в других реакторах РБМК, имеющих такой локализующий объем для активной зоны, этот объем может выдержать давление, возникающее в результате выхода пара при одновременном разрыве двух каналов. Это ограничение связано с размером выхлопных труб, соединяющих объем с барботером. Одновременный разрыв большего числа топливных каналов может привести к давлению, достаточно высокому, чтобы нарушать функцию локализации из-за подъема верхней плиты и привести к тяжелому повреждению остальных технологических (топливных) каналов.

### 3. АВАРИЯ

Последовательность событий, описанная в INSAG-1, была воспроизведена из информации, представленной советскими учеными в 1986 году на Совещание по чернобыльской аварии, и из обсуждений между советскими учеными и МАГАТЭ в течение следующей недели. Таблица 1 в JASAG-1 и поясняющей текст, представляет последовательность событий, как они тогда понимались на основании данных станции и компьютерного моделирования. Со времени Совещания в Вене было проведено значительное количество дальнейших анализов событий, которые привели к новому осмысливанию физических характеристик реактора РБМК (описанных в разделе 2) и также некоторых деталей развития аварии 26 апреля 1986 года. Это понимание привело к необходимости пересмотреть некоторые детали сценария, представленного в INSAG-1, и изменить некоторые важные выводы.

Детальное описание последовательности событий, как они представляются в настоящее время, содержится в советских докладах комиссии Госпроматомнадзора под председательством Н.А. Штейнберга и Рабочей Группы Экспертов СССР под председательством А.А. Абагыана. Более того, некоторая информация в конце таблицы 1 INSAG-1, в большой мере основывалась на представленных в 1986 году результатах компьютерного моделирования, которая была заменена результатами более сложного анализа. Раздел 3 не содержит обсуждения существа различия в моделировании. Время, события и их значимость в последовательности взяты из таблицы 1 INSAG-1.

- (1) Отключение системы аварийного охлаждения активной зоны (14:00:00, 25-го апреля)

В INSAG-1 было заявлено, что блокирование системы аварийного охлаждения реактора (САОР) явилось нарушением инструкций. Однако последняя советская информация подтверждает, что блокирование САОР было действием, допустимым на Чернобыле, если разрешалось Главным инженером, и что это разрешение было дано для проведения испытаний, приведших к аварии, и было даже утвержденным этапом в программе испытаний. ИНСАГ полагает, что это обстоятельство не влияло на начало и развитие аварии. Однако нужно признать, что станция работала перед аварий на половинной мощности в течение примерно 11 часов с заблокированной САОР. Это может рассматриваться как отсутствие нарушения только в том случае, если 11-часовой период работы на

половинной мощности был бы частью запланированного испытания, что не так. Блокирование САОР на это время и разрешение эксплуатации в течение длительного периода с неработающей жизненно необходимой системой безопасности является свидетельством отсутствия культуры безопасности.

- (2) Минимальная разрешенная рабочая мощность реактора  
(23:10:00, 25 апреля)

Утверждение, сделанное в INSAG-1 (стр. 15), "Продолжительная эксплуатация ниже 700 MW(т) запрещена нормальными инструкциями по безопасности из-за проблем термогидравлической нестабильности" было основано на устном заявлении, сделанном советскими экспертами в течение недели, последовавшей за венским Совещанием. В действительности непрерывная эксплуатация реактора на мощности ниже 700 MW (т) не запрещена ни в проекте, ни в регулирующих ограничениях, ни в эксплуатационных инструкциях. Выделение этого заявления, сделанное в INSAG-1, не оправдано. После случившегося ясно, что такое запрещение должно было существовать.

- (3) Переход от локального к общему регулированию мощности  
(00:28:00, 26 апреля)

Доклад INSAG-1 описывает резкое падение мощности до 30 MW (т), как процесс вызванный ошибкой оператора. Современные доклады утверждают, что это не было ошибкой оператора; доклад комиссии Госпроматомнадзора (ГПАН) относит это к невыясненным причинам и невозможности регулировать мощность, а А.С. Дятлов, прежний заместитель Главного инженера по эксплуатации Чернобыльской станции, в частной встрече ссылаясь на недостаточную работоспособность системы.

- (4) Сигнал по отключению турбогенератора заблокирован  
(01:23:04, 26 апреля)

Как время, так и значимость блокирования сигнала отключения турбогенератора в свете новой информации изменяется. Событие произошло в 00:43:27 а не в 01:23:04, как утверждает в INSAG-1. Время, когда был отключен второй турбогенератор, остается без изменения.

Сигнал отключения был заблокирован в соответствии с эксплуатационными инструкциями и программой испытаний, и Комиссия

ГПАН не поддерживает обвинение в адрес оперативного персонала. В свете новой информации, связанной с положительным эффектом аварийной защиты, утверждение, сделанное в соответствующей колонке таблицы 1 INSAG-1, что "сигнал остановки должен был защитить реактор" не соответствует действительности.

(5) Не обеспечен требуемый оперативный запас реактивности (01:00:00; 26 апреля)

Современные доклады утверждают, что ограничение минимального ОЗР было действительно нарушено в 01:00:00 26 апреля, но фактически ясно, что ограничение минимального ОЗР было также нарушено в течении нескольких часов 25 апреля. Согласно записям компьютер СКАЛА, который использовался для расчетов ОЗР, вышел из строя в период проведения эксперимента.

По мнению ИНСАГ оператор вероятно не знал величину ОЗР во время критической части испытания. Вероятно он сознавал, что продолжение эксплуатации в условиях увеличивающегося содержания ксенона в реакторе уменьшает ОЗР. Операторы привыкли к тому, что нижнее ограничение ОЗР необходимо для обеспечения управления пространственным распределением мощности, но не сознавали, что оно имеет значение для безопасности, поскольку при уменьшении ОЗР увеличивается положительный пустотный коэффициент реактивности. Также они не ощущали необходимость оставлять достаточное количество стержней регулирования или защиты в частично введенном положении для быстрого уменьшения реактивности, если это потребуется. Фактически значимость для безопасности уменьшения ОЗР значительно большая, чем отмечено в докладе INSAG-1. Вся эта проблема обсуждается детально в разделе 4 настоящего доклада.

(6) Выведена защита по уровню в сепараторе пара (01:19:00, 26 апреля)

Последняя информация позволяет утверждать, что защита по параметрам в паровом барабане была изменена по крайней мере в 00:36 26 апреля, а не в 01:19:00, как говорится в INSAG-1. Однако согласно докладу комиссии ГПАН (раздел I-4.7.4), "Обвинения в блокировке защиты по давлению пара в барабане — сепараторе, предъявленные персоналу в официальных документах, Комиссия не подтверждает".

Это изменение точки зрения исходит из факта, что обеспечено два уровня защиты по снижению уровня воды в барабане, один при

600мм и другой - нормально при 1100 мм, в зависимости от уровня мощности. Операторы не восстановили это значение уставки и технически нарушили пункт 9 Регламента переключений ключей и накладок технологических защит и блокировок (согласно Комиссии ГПАН, раздел I-4.7.4, I-4.7.8). Однако защита при более низком уровне в барабане оставалась эффективной в любом случае.

## 4. БОЛЕЕ СОВРЕМЕННЫЕ АНАЛИЗЫ СЦЕНАРИЯ НАРУШЕНИЙ

### 4.1. Сценарий

Аналитическая работа, проводившаяся в конце 1986 года, оказалась полезной благодаря представлению советских данных в Вене. В числе критических факторов были представлены конфигурация органов регулирования, уровень мощности и пространственное распределение мощности непосредственно перед аварией, так же как информация по превалировавшим теплогидравлическим условиям. Информация, что формируется двугорбое пространственное распределение мощности, обусловила мнение, что величина положительного пустотного коэффициента реактивности снижается до меньших положительных значений в связи с меньшим облучением топлива на верхней и нижней границах активной зоны. В некоторых анализах обнаружено, что с уменьшенным пустотным коэффициентом трудно получить слишком большую длительность всплеска мощности, которая была опубликована советскими учеными на венском Совещании. Поэтому были начаты исследования дополнительного механизма, который мог вступить в игру. В этой связи впервые публично в некоторых западных анализах появился постулат о положительном эффекте ввода аварийных стержней.

Детальные анализы показывали, что ввод реактивности за счет положительного эффекта аварийной защиты, если его добавить к реактивности, обеспечиваемой пустотами при увеличении кипения, оказывается существенным для развития тяжелого реактивного переходного процесса, сравнимого с тем, что был описан на венском Совещании.

Существование положительного эффекта аварийной защиты было впервые объявлено советскими экспертами на конференции по эксплуатационным вопросам атомной энергетики и безопасности в Вене в 1987 году <sup>2</sup>. Доклад комиссии ГПАН утверждает, что это явление было известно во время аварии, и оно впервые было обнаружено на Игналинской АЭС с РБМК в Литовской республике

600мм и другой - нормально при 1100 мм, в зависимости от уровня мощности. Операторы не восстановили это значение уставки и технически нарушили пункт 9 Регламента переключений ключей и накладок технологических защит и блокировок (согласно Комиссии ГПАН, раздел I-4.7.4, I-4.7.8). Однако защита при более низком уровне в барабане оставалась эффективной в любом случае.

## 4. БОЛЕЕ СОВРЕМЕННЫЕ АНАЛИЗЫ СЦЕНАРИЯ НАРУШЕНИЙ

### 4.1. Сценарий

Аналитическая работа, проводившаяся в конце 1986 года, оказалась полезной благодаря представлению советских данных в Вене. В числе критических факторов были представлены конфигурация органов регулирования, уровень мощности и пространственное распределение мощности непосредственно перед аварией, так же как информация по превалировавшим теплогидравлическим условиям. Информация, что формируется двугорбое пространственное распределение мощности, обусловила мнение, что величина положительного пустотного коэффициента реактивности снижается до меньших положительных значений в связи с меньшим облучением топлива на верхней и нижней границах активной зоны. В некоторых анализах обнаружено, что с уменьшенным пустотным коэффициентом трудно получить слишком большую длительность всплеска мощности, которая была опубликована советскими учеными на венском Совещании. Поэтому были начаты исследования дополнительного механизма, который мог вступить в игру. В этой связи впервые публично в некоторых западных анализах появился постулат о положительном эффекте ввода аварийных стержней.

Детальные анализы показывали, что ввод реактивности за счет положительного эффекта аварийной защиты, если его добавить к реактивности, обеспечиваемой пустотами при увеличении кипения, оказывается существенным для развития тяжелого реактивного переходного процесса, сравнимого с тем, что был описан на венском Совещании.

Существование положительного эффекта аварийной защиты было впервые объявлено советскими экспертами на конференции по эксплуатационным вопросам атомной энергетики и безопасности в Вене в 1987 году <sup>2</sup>. Доклад комиссии ГПАН утверждает, что это явление было известно во время аварии, и оно впервые было обнаружено на Игналинской АЭС с РБМК в Литовской республике

в 1983 году. Хотя Главный конструктор реакторов РБМК распространил эту информацию на другие станции с РБМК и заявил, что будут произведены изменения конструкции для устранения этой проблемы, таких изменений не было сделано, и организационные меры, рекомендованные им для включения в инструкции по эксплуатации станции, не были внедрены. По-видимому существовало широко распространенное мнение, что условия, при которых положительный эффект аварийной защиты окажется важным, никогда не возникнут. Однако, они появились почти во всех деталях в ходе действий, приведших к аварии.

Большинство анализов сейчас связывают тяжесть аварии с дефектами в конструкции стержней управления и аварийной защиты в сочетании с физическими характеристиками конструкции, которые определяют большой положительный пустотный коэффициент. Срабатывание защиты прямо перед резким увеличением мощности, разрушившим реактор, вполне может рассматриваться как решающий фактор среди других причин аварии.

С другой стороны особенности реактора РБМК создали также ряд других ловушек для оперативного персонала. Любая из них вполне могла бы послужить начальным событием для этой или почти идентичной аварии. Они включают:

- Отказ насоса, нарушающий функцию прокачки теплоносителя, или кавитация насоса в сочетании с эффектом положительного пустотного коэффициента. Любая из этих причин могла привести к внезапному увеличению эффекта положительного пустотного коэффициента.
- Повреждение топливных каналов из циркониевого сплава, либо соединений между каналом и трубой из нержавеющей стали, наиболее вероятно около входа в активную зону на днище реактора. Повреждение топливного канала вызвало бы внезапное локальное увеличение паросодержания из-за вскипания теплоносителя; это могло бы привести к локальному увеличению реактивности, что могло вызвать цепочку распространения реактивных эффектов.

Таким образом возникает вопрос: какие недостатки в конце концов вызвали аварию?

Имеется и второй вопрос: имеет ли реальное значение, какой недостаток оказался действительной причиной, если любой из них мог потенциально стать определяющим фактором аварии.

---

<sup>2</sup> *Эксплуатационные вопросы атомной энергетики и безопасность (труды конференции, Вена, 1987 год) 6 томов, МАГАТЭ, Вена (1988).*

## 4.2. Оперативный запас реактивности

ОЗР выражается в единицах "эквивалентных" регулирующих стержней номинальной эффективности, остающихся в активной зоне. Определение не является точным; важность этой величины для безопасности станции по всей видимости плохо понималась операторами. Имелось широко распространенное мнение, что важность ОЗР концентрируется на необходимости иметь в активной зоне какое-то количество регулирующих органов, достаточное для маневра при выравнивании распределения мощности в разных условиях, особенно в свете тенденции к ксенонной неустойчивости в такой большой и слабо связанной активной зоне. Тем не менее значение величины ОЗР не было в достаточной мере доступно оператору и этот параметр не был включен в систему защиты реактора. Из обсуждения сценария вытекает, что операторы не сознавали других причин важности ОЗР, который имел экстремальное влияние на пустотный и мощностной коэффициенты реактивности.

Одним из проектных способов предотвращения недопустимо больших значений пустотного коэффициента является увеличение обогащения топлива и обеспечение баланса избыточной реактивности путем введения поглотителей. В начальной загрузке активной зоны реакторов РБМК эти поглотители присутствуют, размещаясь в топливных каналах отдельно от системы управления и защиты. По мере выгорания топлива по проекту эти поглотители можно удалять, увеличивая облучение топлива. Это существенно сдвигает пустотный коэффициент в положительную сторону и также делает его очень чувствительным к присутствию вводимых регулирующих и аварийных стержней. В условиях аварии пустотный коэффициент увеличился в такой мере, что перекрыл другие компоненты мощностного коэффициента, и мощностной коэффициент сам стал положительным.

Имеется и другой аспект важности для безопасности оперативного запаса реактивности, которому вообще уделялось слишком малое внимание. Персонал 4-го блока Чернобыльской АЭС по видимому полагал, что поскольку выполняется требование нижнего предела ОЗР (15 эквивалентных стержней), требования безопасности выполняются вне зависимости от реальной конфигурации стержней. Это далеко от истины. Положение аварийных стержней сможет только тогда обеспечить защиту от увеличения мощности, когда с самого начала ввода стержней в активную зону после аварийного сигнала начинается существенное уменьшение реактивности. Эффективность может быть гарантирована, если поглощающая часть стержней находится в районе, где малое



перемещение вызывает относительно большое уменьшение реактивности. Такой район не может находиться вблизи границы активной зоны реактора. Отсутствие какой-либо политики по эффективному расположению стержней при проведении испытаний привело к разрушению реактора.

Комиссия ГПАН утверждает, что после обнаружения положительного эффекта аварийной защиты на Игналинской АЭС в 1983 году организация главного конструктора информировала другие организации и все атомные станции с реакторами РБМК, что она собирается ввести ограничение на полное извлечение регулирующих и аварийных стержней из активной зоны. Такое ограничение не было никогда введено, и по-видимому дело было забыто.

## 5. ВЗГЛЯДЫ ИНСАГ

Предыдущие разделы пересказывали и уточняли информацию, полученную после Совещания 1986 года по чернобыльской аварии.

Цель раздела 5 — прокомментировать поднятые вопросы, исходя из необходимости пересмотра INSAG-1 и важности новой информации в контексте аварии. При этом рассматривались три взаимосвязанных аспекта: особенности конструкции, действия операторов и общие рамки управления в области безопасности. Необходимо заметить, что новая информация надежна в той мере, в какой это может быть в настоящее время. Однако нельзя исключить в будущем изменений как в этой информации так и в понимании ее важности.

### 5.1. Конструкция

Имеется несколько возможностей назвать конечный инициатор аварии, каждый из которых определяется специфическими особенностями конструкции. Не начиная дискуссию исходя из твердой точки зрения, которая в любом новом свете может несколько изменяться, ИНСАГ предпочитает рассмотреть те особенности конструкции, в связи с которыми возникают фундаментальные вопросы.

INSAG-1 повторил точку зрения, высказанную в советском представлении, что переходный процесс, вызванный большой реактивностью, стал возможным из-за положительного мощностного коэффициента, что и явилось главной причиной аварии. Общий комментарий в INSAG-1 состоял в том, что как только появляется серьезная угроза безопасности станции должны действовать автоматические системы безопасности (стр. 77). Предотвращение аварии,

вызванной быстродействующим положительным мощностным коэффициентом, зависило от быстрых действий оперативного персонала; это находится в неприемлемом противоречии с фундаментальными принципами конструирования.

Той особенностью конструкции станции, которая вызвала активные обсуждения и которая не была отмечена в начальном советском сообщении, оказалась дефектная системы аварийной остановки, которая стала основой положительного эффекта аварийной защиты. Наиболее вероятным финальным событием, как теперь представляется, был ввод аварийных стержней в необходимый момент испытания, который ухудшил до разрушительного уровня условия, уже сложившиеся из-за положительного мощностного коэффициента. Авария смогла произойти из-за сомнительных действий и процедур, которые проявили и объединили два критических проектных дефекта: в конструкции стержней и положительной обратной связи. Для того, чтобы возник положительный эффект аварийной защиты, было необходимо особое расположение стержней управления и защиты, а двугорбое распределение мощности указывает на то, что произошло разобщение верхней и нижней половины реактора. Все эти условия сложились в одно время.

Возможно никогда не удастся узнать достоверно соответствует ли эта версия аварии действительности. До сих пор нет реальных доказательств, был ли положительный эффект аварийной защиты заключительным шагом, вызвавшим разрушение реактора. Суть в том, что такой недостаток существует, и что он мог вызвать аварию. Предсудительно то, что этот недостаток был известен задолго и не был устранен. Определенно, что изложение в INSAG-1 было бы иным, если бы эта особенность стержней управления и защиты была обнародована на послеаварийном Совещании в 1986 году.

Подразумеваемым в проекте и полностью признаваемым во время подготовки INSAG-1 было требование о поддержании конфигурации стержней регулирования, обеспечивающей по крайней мере минимальный ОЗР. Если, как уже было сказано, на пульте управления не было эффективных средств для информирования оператора об этом параметре, мы опять имеем дело с недостатком в проекте станции, и необходимо высказать мнение, отличающееся от того, что дано в INSAG-1. В приведенных выше рассуждениях ИНСАГ фактически ставит под сомнения концепцию ОЗР, поскольку его определение (см. раздел 4.2.) не дает полной гарантии, что конфигурация стержней регулирования обеспечивает защиту реактора.

На основании сегодняшних знаний возникает впечатление, что во время подготовки INSAG-1 могло быть прояснено больше, чем

было сделано. Проект предъявил противоречивые требования к системе управления и защиты. С позиции операторов обычным является то, что система обеспечивает средства для управления мощностью реактора и корректировки распределения мощности. Система также влияет на величину пустотного коэффициента реактивности, и она необходима для обеспечения останова станции при авариях. Нет причин, по которым в нормальных условиях все эти требования не могут быть выполнены. Однако, действия оператора по подъему почти всех стержней в крайние положения приводят к противоречию с одновременными требованиями по поддержанию способности остановить реактор и обеспечить необходимую величину мощностного коэффициента (думается, что этот последний момент не понимался в то время операторами). Возможность противоречия между этими целями является нежелательной чертой проекта, которая делает станцию чрезмерно зависимой от разумных действий оператора. В INSAG-1 сформулировано общее положение в качестве первого урока и рекомендации, что "проекты атомной станции должны быть как можно более неуязвимыми по отношению к ошибкам оператора и непреднамеренным нарушениям инструкций по безопасности".

Относительно специфических характеристик системы останова ИНСАГ в свое время обращал внимание на отсутствие достаточно быстродействующих устройств, и нет причин изменять эту точку зрения, несмотря на новые взгляды на возможные причины аварии. Теперь укрепилось другое общее впечатление, сформированное в свое время. Инструкции, по которым управляется станция, в недостаточной степени опираются на анализ характеристик безопасности. Признание этого выразилось во втором пункте Уроков и Рекомендаций INSAG-1: "Процедуры управления станцией должны тщательно готовиться, при этом постоянно должно иметься в виду их влияние на безопасность".

## 5.2. Действия оператора

### 5.2.1. Нарушения инструкций

В INSAG-1 были воспроизведены взгляды советских экспертов о действиях операторов, и здесь уместно воспользоваться более современной информацией. Специфические нарушения инструкций были в 1986 году квалифицированы в качестве главных причин аварии. В частности:

- Было сделано заявление, что запрещалась продолжительная работа реактора на мощности менее 700 MW (т). Заявление основывалось на неправильной информации. Такое запрещение должно было быть, но его не было в то время.

- В работе находилось восемь главных циркуляционных насосов с полным расходом, и представляются, что он существенно превышал предписанное значение. ИНСАГ высказал точку зрения, что такая работа была неправильной. Комиссия ГПАН сообщает, что работа всех восьми насосов одновременно никакими документами не запрещалась, включая программы испытаний, хотя повышенный расход, который они обеспечивали, нарушал инструкции. Это имеет отношения к вопросу недогрева, обсужденному в разделе 5.2.3.
- В INSAG-1 было заявлено что работа с чрезмерно малым ОЗР явилась нарушением требований. ИНСАГ в настоящее время повторяет, что нарушение имело место, но оно было важно по причинам, отличным от того, как это понималось прежде. Оно привело к увеличению пустотного коэффициента и привело к такому расположению стержней управления и защиты, что они не только стали неэффективными, но и приобрели разрушительные свойства.
- В INSAG-1 было заявлено, что во время испытаний в Чернобыле три элемента защиты реактора были выведены из работы. В противоречие тому, что было сказано в INSAG-1, новая информация говорит о следующем:
  - Отключение САОР в принципе не запрещалось инструкциями нормальной эксплуатации, действовавшими в Чернобыле. ИНСАГ понимает, что таково было требование программы испытания и, в соответствии с правилами, было получено специальное разрешение главного инженера на такое выведение из работы. В любом случае не было необходимости выводить САОР из работы на такой длительный период времени. ИНСАГ полагает, что это не повлияло на аварию, но свидетельствует о низком уровне культуры безопасности.
  - Блокирование защиты по уровню воды в барабане - сепараторе могло быть допустимым; однако этого не произошло, и ИНСАГ считает, что это не повлияло бы на аварию, и, в любом случае, существовала другая цепь защиты.
  - Отключение сигнала "остановка двух турбин" было разрешенным и действительно требовалось инструкциями по нормальной эксплуатации на малых уровнях мощности, таких как уровень мощности в проводимом испытании. В любом случае появление этого сигнала вполне могло вызвать разрушение реактора в момент отключения турбины, а не несколько позже.

ИНСАГ хотел бы сделать замечание, что, хотя все это так, блокирование защит реактора, по-видимому должно рассматриваться как слишком легковесное действие и в эксплуатационных инструкциях, и в поступках оператора: об этом говорит длительность времени, в течение которого была выведена из работы САОР, в то время как реактор работал на половинной мощности.

### 5.2.2. Отступление от программы испытаний

Не оспаривается, что испытание было начато на уровне мощности 200 MW (т), что значительно ниже предписанной в программах испытаний. Некоторые недавние комментарии, адресованные ИНСАГ, сводятся к аргументам, что это было допустимо, поскольку ничего в инструкциях нормальной эксплуатации не запрещало этого. Однако, факты таковы, что:

- Программа испытаний была изменена на ходу;
- Причиной этому была неспособность оператора достичь предписанного уровня мощности;
- Это случилось из-за условий в реакторе, возникших в результате предшествующей работы на половинной мощности и последующего уменьшения мощности до очень низких значений;
- В результате, когда испытание началось, расположение стержней регулирования, распределение мощности в активной зоне и теплогидравлические условия стали такими, что реактор попал в крайне неустойчивое состояние.

Когда реактор не смог быть выведен на предусмотренный уровень мощности 700 MW (т), оперативный персонал не остановил его, чтобы обдумать создавшееся положение, но на ходу изменил условия испытаний таким образом, чтобы они соответствовали их пониманию сложившейся ситуации.

Хорошее планирование программ очень важно, когда испытания проводятся на атомной станции. Эти программы должны строго выполняться. Если в процессе испытаний выясняется, что начальная программа ошибочна, либо нельзя выполнить работу по плану, испытание должно быть прекращено; в то же время хорошо спланированный процесс предполагает проведение оценок любых возможных изменений.

### 5.2.3. Другие недостатки в культуре безопасности

Предыдущие обсуждения показывают много направлений, где виден недостаток культуры безопасности. Критика недостаточной культуры безопасности была главным элементом INSAG-1, и настоятельной обзор не ослабляет это акцент. Два уже приведенных

примера обращают внимание на важную сторону проблемы, подчеркивая необходимость особого инстинкта при управлении реактором.

Реактор работал при кипении охлаждающей воды в активной зоне и в то же время в условиях малого или отсутствующего недогрева на всасе насосов и на входе в активную зону. Такая работа сама по себе может привести к разрушительной аварии, которая в конечном счете произошла, имея в виду характеристики положительной обратной связи реактора РБМК. Отсутствие понимания необходимости избегать подобного положения в процессе эксплуатации ядерной энергетической установки без основательного исследовательского анализа безопасности, когда персонал не руководствуется выводами такого анализа безопасности, свидетельствует о том, что он не владеет культурой безопасности.

Последнее замечание особенно уместно во втором случае, который связан с работой реактора при почти полностью извлеченных стержнях управления и защиты, когда они находятся в положении, не обеспечивающем быстрое уменьшение реактивности в случае срочной остановки. Сознание необходимости избегать таких ситуаций должно быть второй натурой любого ответственного оперативного персонала и любого проектанта, ответственного за разработку эксплуатационных инструкций для станции.

### **5.3. Рамки безопасности**

INSAG-1 был сосредоточен на срочных проблемах чернобыльской аварии и мало уделил внимания общим рамкам и управлению безопасностью, в пределах которых станция эксплуатируется.

С тех пор некоторые вопросы выяснились, и были высказаны суждения, справедливые и в настоящее время, на основании которых можно представить более широкую оценку.

Комиссия ГПАН сравнила проект 4-го блока Чернобыльской АЭС с требованиями безопасности, действовавшими во время проектирования, и установила, что проект не удовлетворял целому ряду стандартов. ИНСАГ замечает, что ряд вопросов, поднятых в докладе комиссии ГПАН отражают и его мнение.

Этот вопрос далее обсуждается в последующих разделах.

### **5.4. Последствия игнорирования недостатков**

Приложение I и II показывает, что важные проблемы в проекте Чернобыльской АЭС, признаваемые в настоящее время, фактически признавались и перед аварией. ИНСАГ обращал внимание

на наблюдения, сделанные в 1983 году на Игналинской АЭС, когда стала очевидной возможность ввода положительной реактивности при остановке реактора, и на случай на Ленинградской АЭС в 1975 году, который в ретроспективе показывал, что события, возникающие из-за обратной связи в локальной реактивности, могут вызвать повреждения реактора. Эти два случая указывали на существование проектных проблем. Хотя эти случаи имели признаки потенциальных предвестников аварии, по-видимому основательного анализа не было проведено. Наиболее существенно то, что эта важная информация не была рассмотрена должным образом и, хотя она была распространена среди разработчиков, эксплуатационников и в регулирующих органах, ее значимость полностью не понималась, и она по существу была проигнорирована.

### **5.5. Важность компетентных анализов безопасности**

Краеугольным камнем удовлетворительного режима обеспечения безопасности являются независимые технические обзоры и анализы безопасности, и в этой связи ИНСАГ утверждает, что проекту и эксплуатации 4-го блока Чернобыльской АЭС, так же как и других реакторов РБМК, должно быть уделено больше внимания. В ходе таких обзоров проектные недостатки наверняка были бы выявлены. Возникающие в результате обзоров улучшенное понимание, в сочетании с режимом, требующим независимости и формального утверждения относящихся к безопасности аспектов изменения проектных решений и эксплуатационных инструкций, могли бы открывать путь к предотвращению возможности аварий вообще. Даже помимо этих очевидных соображений, компетентный анализ безопасности помогает возникновению обстановки внимания к безопасности, как предмету первой важности. Следует подчеркнуть важность передачи операторам знаний, получаемых в результате анализов безопасности.

## **5. 6. Недостатки режима регулирования безопасности**

### **5.6.1. Общие недостатки**

Гарантирование безопасности перед лицом неизбежного давления, направленного на достижение производственных целей, требует ответственной эксплуатирующей организации а также строгого и независимого режима регулирования, достаточных ресурсов, поддерживаемых на правительственном уровне, и необходимых возможностей наблюдения за выполнением всего этого. Такого рода режим не существовал в СССР во время аварии.

ИНСАГ был информирован, что режим регулирования был неэффективным во многих важных областях, таких как анализ безопасности проекта и эксплуатации станции, в требованиях к обучению и к внедрению и продвижению культуры безопасности и в осуществлении регулирования. Он не функционировал как независимый компонент гарантии безопасности.

#### 5.6.2. Доклад Комиссии Госпроатомнадзора

Доклад комиссии ГПАН содержит богатую информацию, подчеркивающую недостаточную эффективность режима ядерного регулирования в годы, предшествующие аварии.

Базовый проект реакторов РБМК был одобрен несмотря на невыполнение многих требований к проектам атомных электростанций СССР.

#### 5.7 Общие замечания по недостаточной культуре безопасности

В своем докладе по чернобыльской аварии ИНСАГ ввел понятие "культура безопасности", по отношению к режиму безопасности, который должен господствовать на атомной станции. В своем последующем докладе, JNSAG-4, "Культура безопасности" <sup>3</sup>, который излагал концепцию, ИНСАГ прослеживает развитие культуры безопасности от ее возникновения в национальном законодательстве, относящемся к ядерной безопасности. Это устанавливает надлежащую цепь ответственности и управления требуемым уровнем безопасности.

Культура безопасности должна как в эксплуатационном, так и регулирующем режимах устанавливаться в организациях через соответствующую позицию и практику органов руководства. В предыдущих обсуждениях многократно подчеркивалось, что в эксплуатационном режиме в Чернобыле не доставало культуры безопасности. В соответствии с его мнением, отраженным в JNSAG-4, ИНСАГ и сейчас считает, что на атомных станциях СССР перед чернобыльской аварией не была развита необходимая культура безопасности. Многие ее требования, повидимому, присутствовали в правилах, но их не проводили в жизнь. Многих других необходимых черт не существовало вовсе. Местная практика на атомных станциях, относительно которой можно предположить, что практика на Чернобыльской АЭС была типичной, не отражала культуру безопасности.

---

<sup>3</sup> *Международная консультативная группа по ядерной безопасности. Культура безопасности, Серия безопасности № 75-JNSAG-4, МАГАТЭ, Вена (1991).*



## 5.8. Суммарная оценка

В свете пересмотренной информации, ставшей доступной со времени послеаварийного Совещания, ИНСАГ заключает, что в основе факторов, приведших к аварии, лежат особенности безопасности конструкции, действия операторов и общие рамки безопасности и ее регулирования. Необходимо сместить баланс предпочтений таким образом, чтобы больше подчеркнуть недостатки черт безопасности конструкции, чем это было сделано в INSAG-1, и признать проблемы, образуемые теми рамками, в которых проводилась эксплуатация станции. Однако, ИНСАГ остается на точке зрения, что во многих отношениях действия операторов были неудовлетворительными.

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЯ ПО ВКЛАДУ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ В АВАРИЮ

(1) Была пересмотрена информация по аварии на 4-м блоке Чернобыльской АЭС, обнародованная с 1986 года. С осторожностью было признано, что дальнейшая информация, которая все еще может появиться, может снова изменить картину. Однако сейчас представляется, что главные черты проблем становятся ясными.

(2) В 1986 году ИНСАГ выпустил свой доклад INSAG-1, в котором обсуждалась чернобыльская авария и ее причины на основе информации, представленной советскими специалистами на послеаварийное Совещание в Вене в августе 1986 года. Появившаяся сейчас новая информация таким образом меняет точки зрения, представленные в INSAG-1, что акцент смещается в сторону вклада особенностей проекта, включая конструкции стержней регулировавшая и систем безопасности и устройств для представления оператору важной информации по безопасности. Сейчас представляется, что авария явилась результатом совпадения следующих главных факторов: специфические физические характеристики реактора; специфические конструктивные черты регулирующих элементов реактора; и того факта, что реактор был выведен в состояние, не предусмотренное инструкциями или не изученное независимым органом безопасности. Наиболее важно, что физические характеристики реактора обусловили его неустойчивость.

(3) Две прежних аварии на реакторах РБМК, одна в Ленинграде (блок 1, в 1975 году) и повреждение топлива в Чернобыле (блок 1, в 1982г.), уже указывали на главные слабые места в характеристиках и эксплуатации блоков РБМК. Авария на

Ленинградском блоке 1 даже рассматривается некоторыми как предвестник чернобыльской аварии. Однако уроки, извлеченные из этих аварий, побудили, самое большое, провести лишь очень ограниченные изменения конструкции или улучшения в практике эксплуатации. Из-за отсутствия связей и отсутствия обмена информацией между различными эксплуатирующими организациями, эксплуатационный персонал в Чернобыле не сознавал природу и причины аварии на блоке 1 в Ленинграде.

(4) Достоверно неизвестно что вызвало начало разгона, который разрушил чернобыльский реактор. Вероятно, некоторая положительная реактивность образовалась из-за увеличения паросодержания при уменьшении расхода теплоносителя. Дальнейшее добавление положительной реактивности при вводе стержней управления и защиты, которые были полностью извлечены при испытаниях, вероятно оказалось решающим фактором. Этот последний эффект явился результатом ошибочной конструкции стержней, природа чего была обнаружена на Игналинской АЭС в 1983 году. Однако после обнаружения этого явления на Игналине не было сделано никаких исправлений, не предпринято никаких компенсирующих мер, и какого-либо распространения информации среди эксплуатирующих организаций не последовало.

(5) Можно сказать, что авария стала следствием недостаточной культуры безопасности, существовавшей в то время не только на Чернобыльской станции, но также среди советских проектных, эксплуатирующих и регулирующих организаций в ядерной энергетике. Культура безопасности, всесторонне обсуждаемая в JNSAG-4, требует полной приверженности, которая на атомной электростанции прежде всего порождается отношением руководителей организаций, вовлеченных в разработки и эксплуатацию. При оценке чернобыльской аварии в этом отношении демонстрируется, что недостаток культуры безопасности был присущ не только этапу эксплуатации, но не в меньшей степени распространялся на деятельность на других этапах жизни атомных электростанций (включая проектирование, техническое обеспечение, конструирование, изготовление и регулирование).

(6) Значимость данной в INSAG-1 советской точки зрения, представленной на венском совещании, которая почти полностью возлагала вину на действия оперативного персонала, таким образом уменьшена. Определенные действия операторов, которые идентифицировались в INSAG-1 как нарушения правил, фактически не были нарушениями. Тем не менее ИНСАГ сохраняет свое мнение, что критические действия операторов оцениваются самым плохим образом. Как подчеркивалось в INSAG-1 человеческий

фактор все еще должен рассматриваться как главный элемент в причинах аварии. Слабое качество эксплуатационных процедур и инструкций и их противоречивый характер возложило тяжелое бремя на эксплуатационную команду, включая Главного инженера. Также было отмечено, что тип и количество измерительных приборов, так же как и оснащение щита управления, делало затруднительным определение небезопасных условий в реакторе. Однако эксплуатационные правила были нарушены, стержни управления и защиты были расположены в конфигурации, которая подрывала эффективность аварийной защиты реактора даже если бы конструкция стержня не была ошибочной в части упомянутого ранее положительного эффекта аварийной защиты. Наиболее предосудительны неутвержденные изменения в процедуре испытаний, преднамеренно сделанные на месте, хотя было известно, что установка находится в условиях, сильно отличающихся от назначенных для испытаний.

(7) ИНСАГ в представляемом докладе не отменяет INSAG-1 и не изменяет заключений прежнего доклада за исключением тех, которые ясно изложены здесь. Хотя баланс в суждениях ИНСАГ'a по вкладу различных факторов в аварию сдвинут, многие другие заключения INSAG-1 остаются неизменными.

(8) В итоге новая информация подняла ряд широких проблем, внесших свой вклад в аварию. Сюда относятся:

- Станция при проектировании не удовлетворяла ряду стандартов безопасности и даже имела небезопасные черты;
- Неадекватные анализы безопасности;
- Незначительное внимание к независимым обзорам безопасности;
- Эксплуатационные процедуры недостаточно опираются на анализы безопасности;
- Неадекватный и неэффективный обмен важной для безопасности информацией как между операторами, так и между операторами и разработчиками;
- Неадекватное понимание операторами аспектов безопасности собственной станции;
- Недопустимое отношение части операторов к формальным требованиям процедур эксплуатации и испытаний;
- Недостаточно эффективный режим регулирования безопасности, который не был в состоянии противостоять давлению со стороны производства;
- Общий недостаток культуры безопасности в ядерных делах как на национальном, так и на местном уровне.

## ДОПОЛНЕНИЕ

### Меры по повышению безопасности атомных станций с РБМК

Сообщалось, что сразу после чернобыльской аварии были разработаны организационные и технические меры по повышению безопасности эксплуатации станций с РБМК. Они включали ограничение дальнейшего распространения станций с РБМК, внедрение изменений, которые ранее рассматривались как необходимые, и других изменений, которые были очевидно полезными в свете безопасности.

ИНСАГ'у сообщили, что прежде всего были разработаны и внедрены меры, направленные на достижение следующих целей:

- Уменьшение положительного парового (пустотного) коэффициента реактивности и эффекта реактивности при полном опустошении активной зоны;
- Повышение быстродействия систем аварийной остановки;
- Внедрение новых расчетных программ для ОЗР, с количественной индикацией ОЗР на пульте управления;
- Предотвращение возможности байпассирования систем защиты по требуемым эксплуатационным пределам для реактора, работающего на мощности, и введение системы "двух ключей" для действий по байпассированию;
- Устранение таких видов работы, которые ведут к уменьшению запаса до кризиса теплообмена (DNB) теплоносителя на входе в реактор (это относится к вопросу недогрева на входе в активную зону).

ИНСАГ'у также сообщили, что уменьшение пустотного коэффициента реактивности было обеспечено установкой дополнительных неподвижных поглотителей (до 90 штук) в активную зону и путем внедрения использования топлива с обогащением 2,4% по  $U^{235}$  во всех реакторах РБМК. Все реакторы мощностью 1000 MW(эл) обеспечены необходимым количеством более высокообогащенного топлива, которое необходимо для компенсации дополнительных неподвижных поглотителей, и переход на использование только более высоко обогащенного топлива может быть завершен. В связи с этим, ИНСАГ замечает, что выгода от увеличения обогащения топлива будет достигнута только в том случае, если выгорание не будет увеличиваться выше того, какое было обычным в прошлом. Если дополнительное обогащение топлива будет применяться для продления его работы, топливо в конце цикла будет содержать меньше  $U^{235}$  и больше  $Pu^{239}$ , и это будет приводить к увеличению положительной пустотной доли в коэффициенте реактивности.

Утверждается, что таким путем ОЗР будет увеличен до 43-48 стержней регулирования, в зависимости от реактора.

ИНСАГ'у сообщили, что существующие стержни управления и защиты должны быть заменены на новые, улучшенной конструкции, в которых не оставалось бы столбов в нижней части и которые бы имели удлиненную поглощающую секцию.

ИНСАГ был информирован, что скорость ввода стержней управления и защиты была увеличена таким образом, что время, необходимое для полного ввода в активную зону, уменьшилось с 18 до 12 секунд.

ИНСАГ'у сообщили, что во всех работающих реакторах установлена система быстродействующей аварийной защиты (БАЗ). Эта система включает 24 дополнительных стержня защиты. Имеется в виду, что БАЗ гарантирует в случае необходимости введение отрицательной реактивности более  $2\beta$  (где  $\beta$  - доля запаздывающих нейтронов) за время менее 2,5 секунд. Величина  $2\beta$  была вычислена консервативно, чтобы перекрыть любую дополнительную реактивность, связанную с полной потерей теплоносителя из реактора. ИНСАГ'у сообщили, что все реакторы РБМК в настоящее время оснащены системами БАЗ.

Меры по уменьшению пустотного коэффициента и увеличению скорости снижения реактивности аварийной защитой могли бы также быть полезны в связи с неконтролируемым увеличением мощности в случае потери теплоносителя.

ИНСАГ был информирован, что эксплуатационные инструкции усовершенствованы с учетом уроков, извлеченных из чернобыльской аварии, и мер, предпринятых для улучшения безопасности станций с РБМК. Среди новых ограничений введен нижний предел мощности для стационарной работы реактора РБМК - 700 MW (т).

Было сообщено, что были предприняты также другие меры для улучшения возможностей ослабления последствий аварии. О них говорится в докладе Рабочей группы экспертов СССР.

## Члены Международной консультативной группы по ядерной безопасности (ИНСАГ)

Бенинсон (Beninson, D)  
Биркхофер (Birkhofer, A)  
Чаттерджи (Chatterjee, S.K)  
Домарацки (Domaratzki, Z)  
Эдмондссон (Edmondson, B)  
Гонзалез-Гомез (Gonzalez — Gomez, E)  
Каутс (Kouts, H.J.C.) — председатель  
Лепецки (Lepecki, W)  
Ли-Де-Пинг (Li, Deping)  
Сато (Sato, K)  
Сидоренко (Sidorenko V.A.)  
Танги (Tanguy, P)  
Вуоринен (Vuorinen, A.P.)

Карбасион (F. Karbassioun) занимался делами ИНСАГ в Отделе ядерной безопасности МАГАТЭ.

## Члены рабочей группы

(Вена, 13-15 ноября 1991 год)

Абагян А.А.	— Всесоюзный исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций, Российская Федерация.
Браун (Bown, R.A.)	— Онтарио Гайдро, Канада.
Кони (Cogne, F.)	— Комиссариат по атомной энергии, Франция.
Гуппи (Guppy, J)	— Брунхейвенская национальная лаборатория, США.
Штейнберг Н.А.	— Государственный комитет по надзору в атомной энергетике, Украинская республика.
Юнг (Young, J.D.)	— Нуклеар электрик, Соединенное королевство

## Привлеченные эксперты

(Вена, 27-28 июля 1992г.)

Абагян А.А.	— Всесоюзный исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций, Российская Федерация
Бурлаков Е.В.	— Институт атомной энергии им. И.В. Курчатова, Российская Федерация
Черкашов Ю.М.	— Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники, Российская Федерация
Найденов М.	— Министерство по атомной энергии, Российская Федерация
Петров В. А.	— Государственный Комитет по надзору за ядерной и радиационной безопасностью, Российская Федерация
Штейнберг Н.А.	— Государственный Комитет по надзору в атомной энергетике, Украинская республика

**МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ,  
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ И ЛИКВИДАЦИИ  
ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ**

**10 ЛЕТ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ  
КАТАСТРОФЫ**

**Итоги и проблемы преодоления ее последствий в России**

**Российский национальный доклад**

**Москва, 1996**



## ВВЕДЕНИЕ

Авария на Чернобыльской АЭС, произошедшая 26 апреля 1986 года, стала крупной техногенной и гуманитарной катастрофой XX века.

В результате аварии радиоактивному загрязнению только в России подверглась территория 19-ти субъектов Российской Федерации с населением около 30 миллионов человек. Площадь территорий, загрязненных цезием-137 с плотностью выше 1 Ки/кв.км составила более 56 тысяч кв.км (рис. 1), на которой проживало около 3 млн. человек.

Работы по радиационному мониторингу территории страны были развернуты начиная с первых дней после аварии. Первые карты радиоактивного загрязнения были получены к 10 мая (I-131, Cs-137). Всего обследовано более 6 миллионов квадратных километров территории России. На основе аэрогаммасъемки и наземных обследований подготовлены и изданы карты по загрязнению цезием-137, стронцием-90 и плутонием-239 европейской части России (масштаб 1:500000) и цезием-137 (масштаб 1:2500000). К настоящему времени имеется информация об уровнях радиоактивного загрязнения более 12000 населенных пунктов, расположенных на 23 административных территориях субъектов Российской Федерации.

Сразу после аварии, к работам по ликвидации ее последствий были привлечены сотни тысяч граждан СССР, в том числе — 200 тысяч чел. из России.

## 1. РЕТРОСПЕКТИВА ЗАЩИТНЫХ И РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ МЕР

### 1.1. Стратегия послеаварийных действий

1986–1988 годы. Мероприятия по радиационной защите населения от переоблучения были начаты в России сразу после выявления радиоактивных загрязнений. Они заключались во введении различных ограничений, проведении дезактивационных работ, осуществлении переселения жителей. По мере уточнения радиационной обстановки расширялась зона проведения работ, наращивались объемы противоаварийных мероприятий (см. табл. 1). Основные мероприятия на начальном этапе проводились в так называемой зоне жесткого контроля, ограниченной изолинией

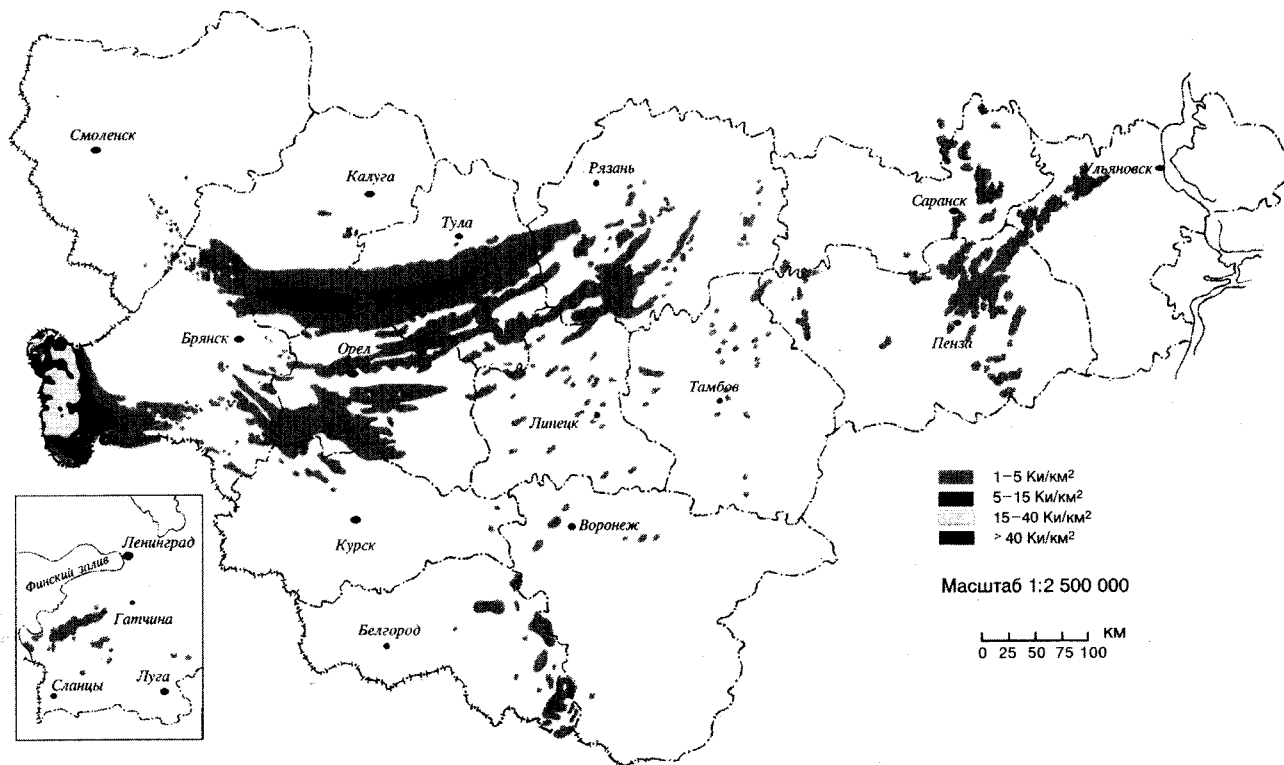


Рис. 1. Карта плотности загрязнения цезием-137 с запасом  $\geq 1$  Ки/км<sup>2</sup> территории европейской части России

Таблица 1

Даты принятия решений по защитным мерам и типы критериев

Дата	Критерий	Затронутое население или территория
1. 06.05.86	$^{131}\text{I}$ в продуктах питания	~150 тыс.чел.
2. 12.05.86	100 мЗв/год	~100 тыс.чел.
3. 15.05.86	Мощность дозы (1,3,5,20 мР/час)	<100 тыс.чел.
4. 16.05.86	Суммарная активность в продуктах питания	<100 тыс.чел.
5. 30.05.86	Суммарная активность в продуктах питания	2 млн. чел.
6. 30.05.86	Мощность дозы и содержание в продуктах	700 тыс.чел.
7. 12.06.86	Мощность дозы	<50 тыс.чел.
8. 22.08.86	$^{137}\text{Cs}$ в почве	0,2 тыс.чел.
9. 22.08.86	$^{137}\text{Cs}$ в почве (15 Ки/км <sup>2</sup> )	78,7 тыс.чел.
10. 24.10.86	Мощность дозы и загрязнение поверхностей	<50 тыс.чел.
11. 23.04.87	30 мЗв/год	78,7 тыс.чел.
12. 29.07.87	Мощность дозы и загрязнение поверхностей	<50 тыс.чел.
13. 12.08.87	Cs в почве и соц. факторы 15 Ки/км <sup>2</sup>	+17,9 тыс.чел.
14. 15.12.87	$^{132}\text{Cs}$ и $^{137}\text{Cs}$ в продуктах	1 млн.чел.
15. 23.05.88	$^{134}\text{Cs}$ и $^{137}\text{Cs}$ в почве и продукции	1 млн. га
16. 18.07.88	25 мЗв/год	96 тыс.чел.
17. 19.07.88	Мощность дозы и загрязнение поверхностей	<50 тыс.чел.
18. 13.09.88	Cs в почве и соц. факторы (15 Ки/км <sup>2</sup> )	+6,0 тыс.чел.
19. 06.10.88	$^{134}\text{Cs}$ и $^{137}\text{Cs}$ в продуктах	2 млн.чел.
20. 22.11.88	350 мЗв	
21. 24.05.89 и 05.10.89	350 мЗв	4,7 тыс. чел.
22. 20.10.89	АР	100 тыс.чел.
23. 30.12.89	$^{137}\text{Cs}$ в почве (15 Ки/км <sup>2</sup> ) и соц. факторы	+0,7 тыс.чел.
24. 26.01.90	Cs в молоке	200 тыс. чел.
25. 16.03.90	350 мЗв	+ 2,3 тыс. чел.
26. 11.05.90	наст./мин см <sup>2</sup>	<10 тыс. чел.
27. 28.09.90	Cs в почве 1,5,10,15,30 Ки/км <sup>2</sup>	259,6 тыс.чел.
28. 22.01.91	$^{137}\text{Cs}$ в продуктах	3 млн.чел.
29. 11.03.91	Cs в молоке	+75 тыс.чел.
30. 19.02.91	$^{134}\text{Cs}$ и $^{137}\text{Cs}$ в почве и продукции	3,5 млн. га
31. 08.04.91	1 и 5мЗв/год	
32. 15.05.91	Cs в почве 1,5,15,40 Ки/км <sup>2</sup> ПГД	
33. 28.12.91	Cs в почве, соц. факторы	2,3 млн. чел.
34. 25.02.92	Соц. факторы, Cs в почве	+0,2 млн.чел.
35. 18.06.92	Cs в почве и ПГД	
36. 01.10.92	АР по пп. 33 и 34 (Госпрограмма)	3 млн.чел.
37. 25.12.92	АР по пп. 33 и 34 (Режим территорий)	8000 км <sup>2</sup>
38. 05.04.92	Cs в почве, соц. факторы	+0,1 млн.чел.
39. 21.07.93	$^{137}\text{Cs}$ в продуктах	3 млн.чел.
40. 25.04.95	Cs в почве, соц. факторы	+70 тыс.чел.
41. 17.07.95	1,5,20 мЗв/год	-50-100 тыс.чел.

Санитарные ограничения на дозы (годовые или за жизнь), содержание радиоактивных веществ в продуктах питания, загрязнение поверхностей и территории

Ведомственные рекомендации и инструкции по ведению сельского и лесного хозяйства

Административные решения (Правительства) по перечням населенных пунктов, в которых осуществлялись мероприятия, включая госпрограммы

Решения законодательных органов по защите населения

Научные концепции защиты населения

15 Ки/кв.км (около 100 тысяч жителей). Граница зоны была выбрана исходя из допущения не превышения предела дозы за первый год — 100 мЗв. В последующем были приняты следующие ограничения на допустимые дозы облучения населения: 30 мЗв — второй год, 25 мЗв — третий год. Проводимые защитные мероприятия позволяли существенно снизить дозы облучения населения, однако нарушили его привычный жизненный уклад.

**1988–1990 годы.** Изменения в обществе и понимание негативного эффекта многочисленных ограничений жизнедеятельности инициировали попытку перехода к восстановительной фазе аварии на основе определения предела дополнительной дозы за жизнь в 350 мЗв. По поводу данной концепции в быстро меняющемся обществе, каким тогда был Советский Союз, развернулась острая дискуссия. В данной ситуации Правительство СССР обратилось в МАГАТЭ с просьбой об организации независимой экспертизы. Результаты Международного чернобыльского проекта, подтвердившие достаточность принимаемых защитных мер, не смогли преодолеть наметившуюся тенденцию обострения проблемы. Компетентные организации (НКРЗ СССР, ВОЗ, МАГАТЭ и др.), ориентировавшиеся на радиологические подходы, не смогли в полной мере оценить роли социально-психологических и политических факторов.

В начале 1991 года была принята концепция проживания на загрязненных территориях, которая устанавливала новый уровень вмешательства — дополнительное облучение в дозе свыше 1 мЗв/год. Она нашла отражение в Законе Российской Федерации "О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на чернобыльской АЭС", принятом в 1991 году. В этом законе, действующем с небольшими изменениями до настоящего времени, определены льготы и компенсации на основе принципа зонирования территории, по степени их радиоактивного загрязнения. При сильном политическом давлении в основу принципа зонирования, наряду с дозовым критерием, был внесен еще один — плотность загрязнения почвы цезием-137. При этом за нижнюю границу зон радиоактивного загрязнения была взята изолиния в 1 Ки/кв.км.

Таким образом, в первые годы после аварии принимаемые меры носили преимущественно защитный характер и были ориентированы, главным образом, на предотвращение облучения населения выше установленных пределов доз. Вместе с тем, опыт этих лет показал, что эффективные меры по смягчению последствий катастрофы могут быть реализованы только при взаимоувязке на государственном уровне всего комплекса инвестиционных, экологических,

экономических и других проблем загрязненных регионов. Первой попыткой, предпринятой в 1988 году, стала Программа работ по Брянской области. В 1990 году была принята Государственная программа, которая включала неотложные меры на 1990-92 годы. Закон, принятый в 1991 году потребовал ее переработки. С 1992 года работы проводятся в соответствии с "Единой государственной программой по защите населения Российской Федерации от воздействия последствий чернобыльской катастрофы на 1992-1995 годы и на период до 2000 года". Кроме этого реализуются специальные программы — "Дети Чернобыля" и "Жилье для ликвидаторов". Для защиты населения и реабилитации территорий программа реализуется дифференцировано по зонам радиоактивного загрязнения (см. табл. 2).

Таблица 2.

**Зонирование территории России, подвергшейся загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС, в соответствии с Законом РФ**

"Зона проживания с льготным социально-экономическим статусом" — территории за пределами зоны отчуждения, зоны отселения и зоны проживания с правом на отселение с плотностью загрязнения почв цезием от 1 до 5 Ки/кв.км.		"Зона проживания с правом на отселение" — территории за пределами зоны отчуждения и зоны отселения с плотностью загрязнения почв цезием-137 от 5 до 15 Ки/кв.км.		"Зона отселения" - территории за пределами зоны отчуждения, на которых плотность загрязнения почв цезием-137 составляет выше 15 Ки/кв.км.		"Зона отчуждения" — территории, из которых население было эвакуировано либо переселено	
Нас. Пунктов	Кол-во жителей тыс.чел.	Нас. Пунктов	кол-во жителей тыс.чел.	нас. пунктов	кол-во жителей тыс.чел.	Нас. Пунктов	кол-во жителей тыс.чел.
6594	2249	802	347	279	91	17	-

Государственная программа предусматривает снижение негативных медицинских, социальных и психологических последствий до возможно низкого уровня на основе общего повышения уровня жизни, опережающего развития сети здравоохранения, экологического оздоровления окружающей среды и компенсации экономического ущерба (рис. 2).

В настоящее время координация работ по преодолению последствий чернобыльской аварии Правительством Российской Федерации поручена Министерству по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России). В проведении работ принимают участие



Рис.2. Структура затрат согласно Государственной программе в 1992-1995 годах (фактически израсходовано более 14 трлн. руб. в ценах 1995 г.)

Министерства здравоохранения и сельского хозяйства, Государственный комитет санитарно-эпидемиологического надзора, Федеральная служба леса, Росгидромет, Министерство социальной защиты населения, Министерство образования и другие ведомства. Часть работ выполняется непосредственно местными органами власти за счет средств государственной программы.

## 1.2. Мероприятия по снижению доз облучения населения в течение 1986-1995 годов

С первых дней после аварии на Чернобыльской АЭС в целях снижения доз облучения населения осуществлялись следующие мероприятия: переселение, дезактивация и захоронение радиоактивных отходов, ограничение доступа на загрязненные территории и прекращение хозяйственной деятельности, специальные меры в сельском и лесном хозяйстве, ограничение потребления загрязненных продуктов питания и другие).

**Переселение.** На начальном этапе работ по защите населения и территорий решения по необходимым мерам принимались, в основном, по принципу исключения острых радиационных поражений у населения и превышения действовавших критериев. В соответствии с этими критериями эвакуация на территории России не проводилась. Осенью 1986 г. были переселены жители лишь из 4 населенных пунктов (186 человек).

Масштабное переселение жителей Брянской области РФ стало осуществляться с 1989 г. согласно прогнозу превышения пожизненной дозы, а в последующем эта мера проводилась по отношению к жителям зоны отселения. Для ее части было введено понятие зоны обязательного отселения. Кроме того было предоставлено право добровольного выезда жителям зоны проживания с правом на отселение (загрязнение Cs-137 выше 5 Ки/кв.км). В результате реализации этих мер за годы после аварии из загрязненных территорий было переселено или выехало добровольно почти 50 тысяч человек (рис. 3). Часть жителей отказалась от переселения.

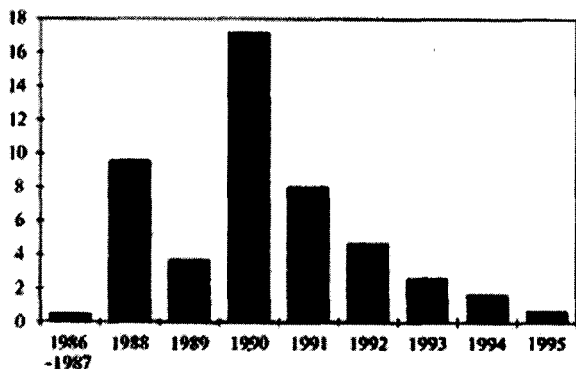


Рис. 3. Динамика отселения жителей из населенных пунктов Брянской области, подвергшихся радиоактивному загрязнению, тыс. человек.

Решения, касающиеся переселения, во многом оказались вынужденными. Они были приняты под мощным давлением общественного мнения и органов законодательной власти. С позиций сегодняшнего дня можно утверждать, что в условиях, когда избежать переселения было невозможно по социальным и психологическим причинам, имело смысл, вероятно, ограничиться предоставлением возможности добровольного выезда.

**Дезактивация территорий, зданий и сооружений и захоронение отходов.** Работы начались в конце мая 1986 года. Они проводились силами подразделений химических войск МО СССР и подразделений гражданской обороны. Работы по дезактивации проводились, в основном, в зоне жесткого контроля (загрязнение Cs-137 выше 15 Ки/кв.км). Всего после аварии была выполнена дезактивация 472 населенных пунктов в западных районах Брянской области. В 50 населенных пунктах дезактивация проводилась дважды, а в 6 — трижды. Были захоронены десятки тысяч кубометров

грунта и других отходов. Захоронения как правило производились в специальные траншеи с глиняными замками и глиняной подушкой вне естественных понижений рельефа и с низким уровнем грунтовых вод.

В 1986–1987 годах дезактивацией удавалось добиться улучшения радиационной обстановки за счет многократного снижения мощности доз излучения в отдельных, но часто посещаемых местах населенных пунктов. К 1989 году сплошная дезактивация практически исчерпала свои возможности.

В период 1990–1995 годов характер работ изменился — проводилась дезактивация лишь локальных участков в населенных пунктах, очистка ферм, отдельных производственных объектов, работы по строительству новых и переоборудованию ранее созданных пунктов временного захоронения, ликвидации (захоронению) малочисленных народнохозяйственных объектов, имеющих повышенные уровни радиоактивного загрязнения, пожароопасных или опасных в другом отношении.

**Защитные меры в сельском и лесном хозяйстве.** Практически все известные защитные меры использовались с 1986 г. На загрязненных территориях были приняты меры по частичной замене культур растений и типов животноводства. Были сокращены площади выращивания ряда культур, свернуто овцеводство, ограничено лесопользование.

За 1986–1994 гг. в 4-х наиболее загрязненных областях Российской Федерации (Брянской, Калужской, Тульской и Орловской) только известкование кислых почв было проведено на площади 1334,8 тысяч га, внесение повышенных доз удобрений — на 1526,5 тысячах га, коренное улучшение лугов и пастбищ — на 130,9 тысячах га. Наибольший объем работ был выполнен в Брянской области. Практически повсеместно организовано составление рационов кормления на основе фактической загрязненности кормов. С 1994 года в Брянской области широко внедряется применение ферроцинсодержащих препаратов, способствующих снижению загрязненности молока в 2–4 раза. В Брянской области внедрен заключительный дооткорм скота на чистых кормах и прижизненный контроль содержания цезия в организме животных.

Принятые меры позволили избежать получения сверхнормативно загрязненной растениеводческой продукции везде, кроме наиболее загрязненных районов Брянской и Калужской области. За прошедшие годы в Калужской области практически прекращено производство загрязненной продукции. В юго-западных районах Брянской области превышение установленных нормативов по основным видам сельхозпродукции многократно снижено (рис. 4).



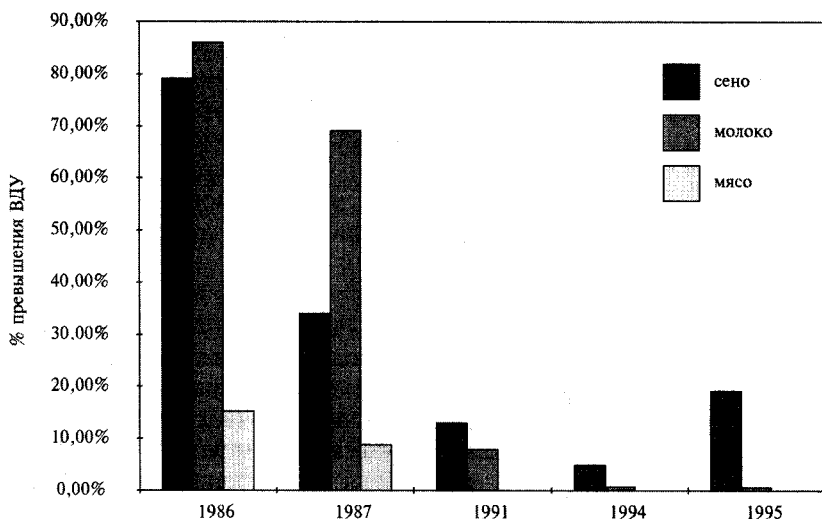


Рис. 4. Бракераж сельскохозяйственной продукции в Брянской области (юго-западные районы)

Разработаны и реализованы меры по обеспечению безопасного ведения работ в сельском и лесном хозяйстве, включая средства индивидуальной защиты и дозиметрический контроль.

Для ограничения поступления радионуклидов в организм жителей вводились временные допустимые уровни (ВДУ) содержания радиоактивных веществ в продуктах питания.

Практическая реализация ограничений связана с системой обязательного контроля, осуществляемой производителями продукции и санитарными службами. Ежегодные объемы контроля только в Брянской области достигают 100 тысяч измерений. Любой житель может получить информацию о результатах анализа продуктов питания. В тех случаях, когда контролируемая продукция не соответствует ВДУ (рис. 5), она перерабатывается или утилизируется. Предупреждение потребления загрязненных продуктов питания преследуют и многочисленные запреты на сбор грибов, ягод, лекарственных трав, заготовку сена в лесах и т.д., которые сохраняются до настоящего времени.

Эффективность системы ограничений оказалась достаточно высокой. Средняя доза внутреннего облучения за 1986 год по зоне жесткого контроля (выше 15 Ки/кв.км) не превышала 15 мЗв, в 1989 году у 95% жителей этой зоны дозы внутреннего облучения были меньше 2.5 мЗв, а в 1994 году — ниже 1 мЗв.

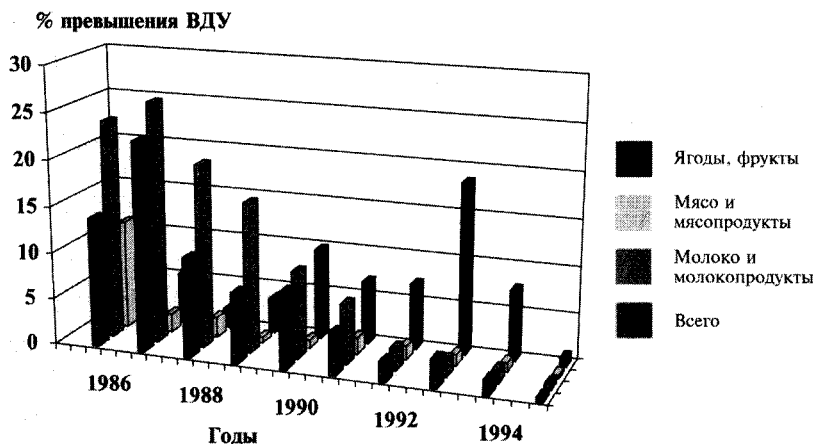


Рис. 5. Динамика превышения временных допустимых уровней (ВДУ) по некоторым видам продуктов в Брянской области

Для жителей, ведущих сельскохозяйственную деятельность, распространялись рекомендации по правилам ведения приусадебных участков, способам переработки продукции, грибов и ягод, правилам содержания домашних животных, гигиеническим мерам. В наиболее загрязненных регионах известкование и внесение калийных удобрений было проведено и на приусадебных участках. Местным властям неоднократно рекомендовалось выделять окультуренные пастбища для выпаса частного скота. Однако, в силу ряда причин, не все рекомендации выполнялись. В результате молоко — один из основных компонентов рациона, зачастую оказывалось загрязненным сверх установленных нормативов. В настоящее время начато применение ферроцинсодержащих препаратов для коров частного сектора. Препараты распространяются бесплатно.

Меры по благоустройству населенных пунктов, которые в больших объемах реализовывались на загрязненных территориях, также способствовали снижению доз. Это газификация, строительство и обустройство дорог, строительство объектов жилищно-коммунального хозяйства, обустройство улиц и зон рекреации, строительство и ремонт водоснабжения и канализации.

Реализовывались и другие меры, которые прямо или косвенно приводили к снижению доз облучения, или трактовались общественностью как защитные. С 1986 года начали осуществляться мероприятия по оздоровлению детей — их организованный вывоз в санатории и дома отдыха. Населению выплачиваются компенсации

и предоставляются многочисленные социальные льготы. В загрязненных районах приняты меры по снижению доз облучения при медицинских процедурах. Реализованный комплекс защитных мер обусловил значительное снижение доз облучения населения (рис. 6).

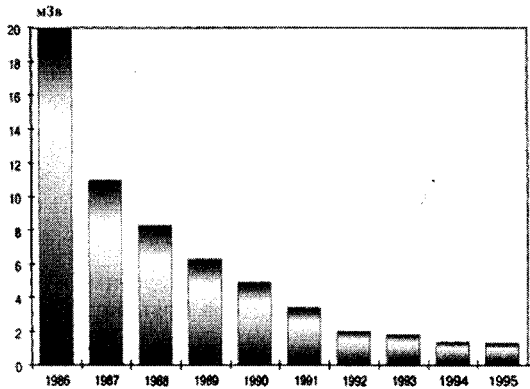


Рис. 6. Динамика средних годовых доз облучения населения, проживающего в зоне загрязнения 15-40 Ки/кв.км

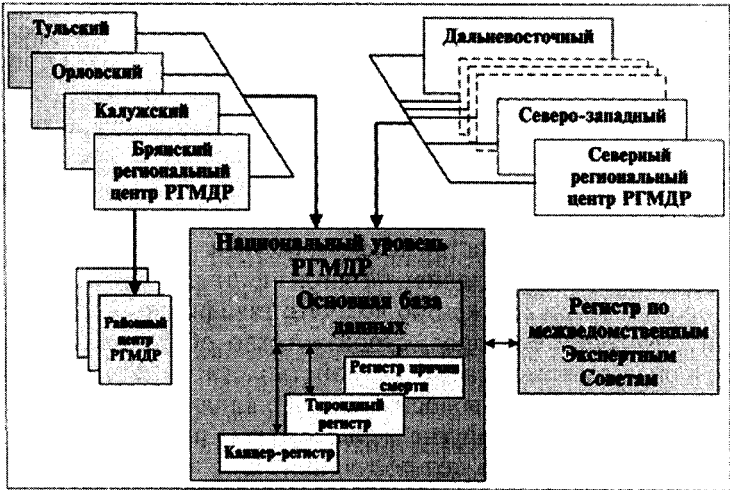


Рис. 7. Российский государственный медико-дозиметрический регистр

### 1.3. Меры в области охраны здоровья

Все годы после аварии областным и районным медицинским учреждениям поставлялись или выделялись бюджетные средства на приобретение диагностической аппаратуры и лекарственных препаратов. Принимались меры по привлечению необходимых медицинских кадров. Только за 1992–1995 годы в рамках программы было построено и введено в эксплуатацию больниц — на 750 мест, поликлиник — на 4585 посещений в смену.

Большое внимание уделялось охране здоровья участников ликвидации последствий аварии. Создан Всероссийский центр экологической медицины в г. Санкт-Петербурге, который стал головной организацией по оказанию медицинской помощи участникам ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Центр оснащен современным оборудованием и способен оказывать высококвалифицированную медицинскую помощь более чем 1500 больным в год. В период с 1992 по 1995 годы в Центре были квалифицированно обследованы и получили лечение более 8 тысяч человек. Создано 10 межведомственных экспертных советов по установлению причинной связи заболеваний, инвалидности и смерти лиц, подвергшихся радиационному воздействию. Созданы и функционируют 4 центра социально-психологической реабилитации в Брянской, Орловской и Тульской областях, ориентированные на правовую, социальную и психологическую помощь всем возрастным группам пострадавшего населения.

Для обеспечения учета лиц, подвергшихся воздействию радиации вследствие аварии на ЧАЭС, создан Российский Государственный медико-дозиметрический регистр (РГМДР) (рис. 7). Число зарегистрированных в РГМДР лиц, подвергшихся радиационному воздействию после чернобыльской катастрофы, составляет 435 тысяч человек (в том числе 152 тысячи ликвидаторов). Включение в регистр предполагает регулярную диспансеризацию. Регистр включает в себя три уровня ведения наблюдения: Государственный уровень регистра, областной и районный уровни.

Только в последние годы к медицинским наблюдениям было привлечено 25 ведущих профильных НИИ системы Минздрава-медпрома России и Российской академии медицинских наук.

Для загрязненных районов реализуются специальные продовольственные программы, которые предусматривают выпуск продукции с лечебными и радиопротекторными свойствами.

#### 1.4. Социальная защита населения и экономическая реабилитация территорий

С 1991 года особое внимание уделялось социальной защите лиц, подвергшихся радиационному воздействию и экономической реабилитации территорий, затронутых аварией. Участникам работ по ликвидации последствий аварии и проживающему населению (дифференцированно по зонам) предоставлены многочисленные льготы и компенсации (бесплатное приобретение лекарств; бесплатное оказание медицинской помощи; уменьшение возраста выхода на пенсию; ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск; налоговые льготы и т.д.). Кроме этого на загрязненных территориях выполнен большой объем работ по строительству жилья (свыше 2 миллионов кв.м), объектов здравоохранения, социальной и производственной сферы.

Только за 1992—1995 годы в загрязненных районах построено и введено в эксплуатацию 1200 тысяч кв.м общей площади жилых домов, общеобразовательных школ — на 15,5 тысяч ученических мест, дошкольных учреждений — на 3 тысячи мест, клубов и домов культуры — на 3,5 тысячи мест, газопроводов — свыше 1,5 тысяч км, дорог — более 500 км.

Для предприятий этих зон предоставлены экономические льготы, включая налоговые. Ряду регионов предоставлена возможность получения льготных кредитов.

#### 1.5. Научное обеспечение работ

Начиная с 1986 года к научно-исследовательским работам, призванным смягчить последствия аварии были привлечены сотни научно-исследовательских организаций. Научные исследования координировали и проводили такие крупные научные центры, как: НПО ТАЙФУН, Институт прикладной геофизики и Институт глобального климата и экологии — в части мониторинга окружающей среды; НИИ радиационной гигиены (г. Санкт-Петербург) и ГНЦ "Институт биофизики" — в части оценки радиационно-гигиенической ситуации и доз облучения населения; Медицинский радиологический научный центр РАМН — в части наблюдения за состоянием здоровья сотен тысяч лиц, включенных в регистр; ВНИИ сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии — в части разработки научных основ ведения агоропромышленного производства на загрязненных территориях; Институт эволюционной экологии и морфологии животных — в части проблем радиоэкологии; РНЦ "Курчатовский институт" — в части физико-химических и технических последствий аварии и разработки новых средств

мониторинга; Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН — по проблемам информационно-аналитической поддержки работ; Институт экономики РАН и ВНИИ ГОЧС — по проблемам экономической реабилитации. В результате выполненных научно-исследовательских работ разработаны многочисленные рекомендации, технологии, приборы и оборудование, которые использовались в работах по преодолению последствий аварии. Многие исследования будут продолжены. Общую координацию работ осуществляет научный совет Российской Академии наук и МЧС России по проблемам последствий аварии (председатель — академик РАН С.Т.Беляев) и Российская научная комиссия радиационной защиты (председатель — академик РАМН А.Ф.Цыб).

### **1.6. Мероприятия с участием зарубежных стран и международных организаций**

Первые годы ликвидация последствий катастрофы осуществлялась Советским Союзом самостоятельно, практически без участия других стран. Исключение составляет помощь в лечении больных ОЛБ и некоторые гуманитарные программы. После реализации под эгидой МАГАТЭ Международного чернобыльского проекта с участием около 200 независимых ученых из 23 стран и международных организаций (1990 г.) и специальной резолюции Генеральной Ассамблеи ООН по чернобыльской проблеме (45/190 от 21 декабря 1990 г.) международные контакты получили значительное развитие. Интересным и эффективным оказалось международное сотрудничество между КЕС и странами СНГ, в рамках которого реализовано 16 научно-исследовательских проектов. Научная кооперация подобного масштаба, когда в исследовательских проектах участвует около 200 лабораторий и институтов, принципиально изменяет уровень исследований в таких областях, как поведение радиоактивных веществ в окружающей среде; анализ риска и управление им; дозы и эффекты облучения. Положительный резонанс среди населения получила практическая Российско-Германская измерительная программа. Много полезных результатов получено в работах по двусторонним соглашениям с США и Францией. Существенен вклад Всемирной организации здравоохранения (программа АЙФЕКА), ЮНЕСКО и других международных организаций в помощь ликвидации последствий аварии. Начаты работы по использованию чернобыльского опыта при подготовке к чрезвычайным ситуациям на ядерных объектах. В 1995 году прошло крупное международное учение "Полярные Зори-95", организованное МЧС России совместно с ДГВ ООН.

## 2. СОВРЕМЕННАЯ СИТУАЦИЯ

Реализация "Единой государственной программы по защите населения Российской Федерации от воздействия последствий чернобыльской катастрофы на 1992–1995 годы и на период до 2000 года" позволила во многом смягчить последствия аварии, однако современная ситуация по-прежнему далеко неблагоприятна.

### 2.1. Радиационно-гигиеническая обстановка

К настоящему времени около 100 тысяч чел. подвергаются дополнительному облучению в дозах свыше 1 мЗв/год, а в 4-х населенных пунктах средние дозы дополнительного облучения превышают 5 мЗв/год. На больших территориях отмечаются случаи обнаружения радиоактивных веществ в сельскохозяйственной продукции в количествах превышающих допустимые значения, в том числе в молоке, в грибах и ягодах. Ухудшение экономической ситуации обусловило повышения доли продукции собственного производства, лесных грибов и ягод в рационе жителей. По этим причинам в ряде населенных пунктов наблюдается рост доз внутреннего облучения.

### 2.2. Радиоэкологические последствия

**Сельское хозяйство.** Радиоактивному загрязнению после аварии в России подверглись 2 миллиона 955 тысяч гектаров сельскохозяйственных земель, в том числе 171 тысяч га с плотностью 15 Ки/кв.км. и выше. Естественные процессы и реализованные контрмеры позволили многократно снизить бракераж продукции.

Вместе с тем, ухудшение экономической ситуации в стране обусловило сокращение объемов специальных агромероприятий в 1993–1994 годах, что в свою очередь вызвало повышение содержания радионуклидов в растениеводческой продукции и кормах. В Новозыбковском районе, например, уровень загрязнения сена и кормов в 1994 году по сравнению с 1992 годом вырос в среднем 1.5 раза.

Остается нерешенной проблема реабилитации кормовых угодий, расположенных в поймах рек (в водоохранной зоне практически невозможно использование традиционных технологий). В засушливые годы для многих хозяйств эти угодья являются основным источником кормов. В 1994–95 гг. в Брянской области зарегистрированы в продуктах питания в частном секторе следующие концентрации Cs-137: молоко — 3070 Бк/л, мясо домашних животных — 7 кБк/кг.

**Лесное хозяйство.** Наибольшее загрязнение лесного фонда наблюдается в Брянской (228.5 тысяч га), Калужской (159 тысяч га).

Тульской (107.6 тысяч га) и Орловской (93 тысяч га) областях, что составляет более 30% общей площади лесного фонда в этих областях. Соблюдение принятых технологических условий и ограничений при заготовке позволяет в целом обеспечить нормативное содержание радионуклидов в древо и пиломатериалах. Исключение составляет заготовка дров и хвойно-витаминной муки, которые ранее производились в этих районах в больших количествах. Сегодня на более 59 тысяч га лесов прекращена хозяйственная деятельность. Результат — ухудшение санитарного состояния и возрастание пожароопасности. В Брянской области в этих зонах выявлено 10 тысяч га высохшего леса. Другим примером может служить факт первого выделения возбудителя туляремии в Брянской области. Содержание радиоцезия в мясе диких животных, грибах и ягодах зачастую многократно превышает принятые санитарные уровни и не имеет тенденций к снижению.

**Реки и озера.** Загрязнение воды и донных отложений практически во всех реках и водоемах не представляет опасности для водопользования. Исключение составляют несколько озер, в том числе озеро Кожановское (запасы цезия около 100 Ки при площади зеркала 6.5 кв.км.). Содержание цезия-137 в образцах рыбы из данного водоема многократно превосходит допустимые уровни.

### 2.3. Демографическая ситуация

Демографическая ситуация в затронутых аварией районах в целом повторяет драматические тенденции, характерные для современной России — рост смертности и снижение рождаемости и, как следствие этого, естественная убыль населения (рис.8, табл. 3). В отдельные годы (1992—1993 годы), благодаря реализации мер социальной защиты, в зонах радиоактивного загрязнения удавалось добиваться некоторого улучшения показателей по рождаемости и снижения темпов роста смертности. Однако оценки показывают, что в случае пессимистичного варианта социально-экономического развития России демографическая ситуация в наиболее загрязненных районах будет ухудшаться гораздо более высокими темпами, чем в России в целом.

На сегодня из загрязненных районов выехали наиболее обеспокоенные жители, как правило это семьи имевшие детей и лица трудоспособного возраста. С 1993 года в загрязненных районах стало наблюдаться положительное сальдо миграции, правда в основном за счет приезда новых жителей в города и крупные поселки (рис. 9).



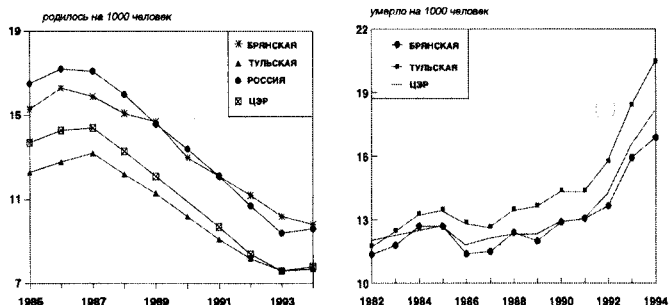


Рис.8. Динамика рождаемости и общей смертности в наиболее загрязненных областях и в целом по стране (ЦЭР - центральный экономический район)

Таблица 3.  
Показатели рождаемости и смертности по зонам, областям и в целом по стране

РЕГИОН	Доля сельских жителей, (%)	Рождаемость на 1000			Общая смертность на 1000		
	1994	1992	1993	1994	1992	1993	1994
ЗО	53	13.1	12.3	11.2	15.1	18.4	19.8
ЗПО	51	10.2	9.4	9.5	15.1	17.9	19.5
Брянская	32	11.2	10.2	9.8	13.7	15.9	16.9
Тульская	19	8.2	7.7	7.6	15.8	18.4	20.5
ЦЭР	17	8.4	7.6	7.8	14.3	16.6	18.2
Россия	27	10.7	9.4	9.6	12.2	14.5	15.7

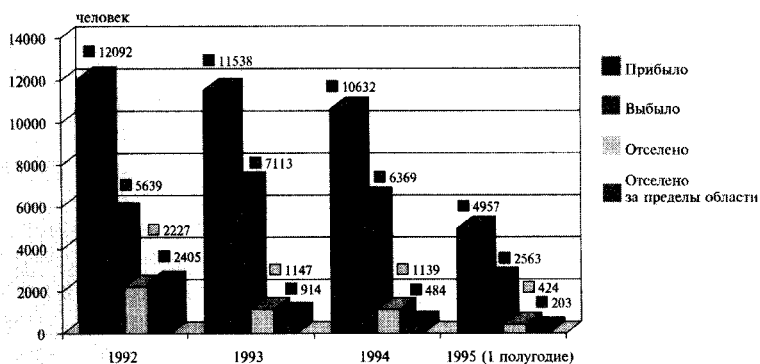


Рис. 9. Миграция населения Брянской области (зона отселения и зона с правом на отселение)

## 2.4. Состояние здоровья населения на загрязненных территориях

Наиболее вероятным последствием воздействия радиации на человека является риск развития злокачественных новообразований (в первую очередь опухолей щитовидной железы у детей и подростков Брянской области). В связи с ожидаемыми последствиями для всех детей, проживающих на загрязненных территориях было организовано ежегодное медицинское обследование, включающее ультразвуковое обследование щитовидной железы. К настоящему времени в Брянской (рис. 10), Калужской, Орловской и Тульской областях выявлено более 100 случаев рака щитовидной железы у лиц бывших на момент аварии детьми и подростками, что в десятки раз выше средних показателей.

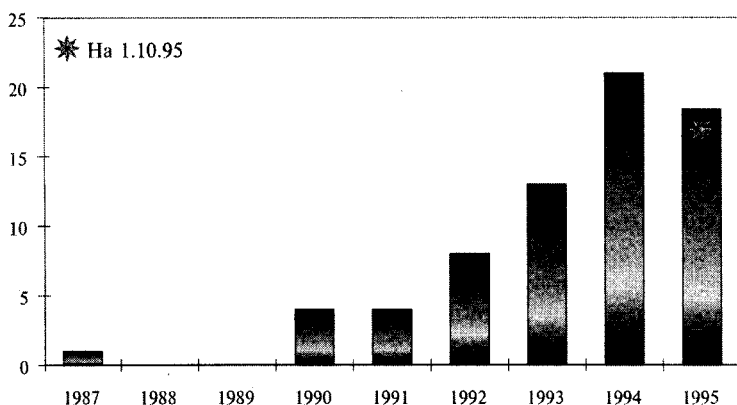


Рис. 10. Заболеваемость раком щитовидной железы.  
Детское население, Брянская область

По прогнозам даже в наиболее загрязненных районах не ожидалось возникновения "эпидемий" лейкозов, других онкозаболеваний и генетических нарушений. Проведенные исследования позволяют утверждать, что по состоянию на 1995 г. мы не имеем явного роста лейкозий, солидных опухолей и генетических нарушений среди населения, подвергшегося радиационному воздействию.

Общая заболеваемость и ее структура на данном этапе количественно и по тенденциям в целом не отличается от процессов, происходящих в России. Однако, местными медицинскими и научными учреждениями выявлены отдельные нарушения в состоянии здоровья: увеличение частоты заболеваемости ишемической болезнью, сахарным диабетом и язвенной болезнью желудка, выявлены признаки угнетения функционирования иммунной системы. Для детского населения отмечен рост общей и первичной

заболеваемости эндокринной системы, болезнями крови, врожденными аномалиями развития и болезнями органов пищеварения. Отмечается устойчивый рост заболеваемости, связанной с психическими расстройствами.

Наблюдения, проводимые в рамках Национального Российского Чернобыльского регистра, также выявили неблагоприятные тенденции в динамике отдельных классов общесоматических заболеваний у детского и взрослого населения загрязненных территорий.

Большую роль в снижении адаптационных возможностей организма играет высокий уровень тревожности населения загрязненных территорий. Постоянное психо-эмоциональное напряжение, повышенный страх перед радиацией, пассивное ожидание помощи и разочарование при ее отсутствии вызывают неблагоприятные изменения здоровья. У населения загрязненных территорий сформировался психологический дистресс, который выражается в увеличении числа невротических стрессовых расстройств, психосоматических симптомов.

Проводимый мониторинг социально-психологической ситуации в зонах радиоактивного загрязнения позволил установить некоторые тенденции. В начале экономических реформ вплоть до 1993 года, удавалось выявить явное компенсирующее действие Федеральной программы на население. Негативные тенденции, характерные для всей России, проявлялись здесь с некоторой задержкой и в менее выраженных формах. По некоторым показателям (внутренняя напряженность и др.) ситуация в зонах льготного статуса и с правом на отселение оказывалась лучшей, чем в контрольных. Продолжающееся повсеместное снижение уровня жизни и снижение объемов финансирования постепенно нивелировало эти положительные отличия. Не произошло серьезных изменений и с негативными тенденциями. Как и прежде, население гораздо хуже, чем в контрольных территориях, оценивает состояние своего здоровья, состояние загрязнения окружающей среды и своей информированности по этим вопросам.

## 2.5. Экономическое положение

Экономическое положение на загрязненных территориях в настоящее время крайне неблагоприятное. В течение первых послепаварийных лет, вплоть до 1993 года оно было достаточно стабильным благодаря централизованному финансированию по государственным программам. Начиная с 1994 года в общественном секторе наблюдается сокращение поголовья скота и заготовок мяса. Аналогична ситуация и в растениеводстве, где в последний

период сократилось производство основных сельхозкультур в 1.5–2 раза за счет снижения урожайности и сокращения возделываемых площадей. Данные обстоятельства можно связывать с общим снижением сельхозпроизводства в России. Однако, результаты исследований показывают как на более низкий уровень доходов жителей загрязненных районов по сравнению с чистыми, так и на зависимость уровня доходов от общего загрязнения области. Наиболее низкие доходы на душу населения наблюдаются в загрязненных районах Брянской области.

## 2.6. Проблемы ликвидаторов

Наблюдения в рамках национального Регистра выявили неблагоприятные тенденции в динамике отдельных классов общесоматических заболеваний у ликвидаторов. По данным РГМДР средняя доза внешнего облучения участников ликвидации последствий аварии составила около 12 сГр. Более 44% участников ЛПА получили дозы от 10 до 25 сГр. Средняя продолжительность работы в зоне радиационного воздействия составила около двух месяцев. По ряду классов болезней показатель заболеваемости ликвидаторов 1986 года статистически значимо отличается от соответствующих показателей в дозовой группе 0–5 сГр, которую составляют ликвидаторы 1988 года. С учетом воздействия комплекса факторов радиационной и нерадиационной природы ликвидаторы 1986–1987 годов представляют группу особого риска.

Анализ основных форм заболеваний, рассматриваемых экспертными советами по установлению причинной связи заболеваний, инвалидности или смерти у лиц, подвергшихся радиационному воздействию, показал, что наиболее часто предметом экспертизы являются заболевания системы кровообращения, нервной системы и органов чувств, органов пищеварения, психические расстройства, онкологические заболевания. На фоне проблем со здоровьем ликвидаторы оказываются гораздо более уязвимыми в других сферах жизни. Тем более, что определенные социальные гарантии, предоставленные им со стороны государства в соответствии с Законом, выполняются не в полной мере. Особенно остро стоит вопрос об обеспечении жильем участников работ по ликвидации последствий аварии. Для его решения в 1995 году разработана и утверждена специальная Федеральная программа "Жилье для ликвидаторов".

## 2.7. Анализ и обобщение последствий аварии на Чернобыльской АЭС

За 10 лет после Чернобыльской катастрофы накоплен огромный опыт в ликвидации ее последствий по целому ряду практических направлений в различных областях науки и техники (медицине, сельском хозяйстве, охране окружающей среды, работе с населением и т.д.).

Для сохранения этого опыта государственной программой предусмотрен крупный информационный проект — управленческая информационная система "Чернобыль" (рис. 11) с центральным банком обобщенных данных (рис. 12) в Институте проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (г. Москва), в котором собирается информация по радиационно-гигиеническим, экологическим, социально-психологическим и экономическим аспектам аварии. В этой информационной системе сбор и систематизация данных сопровождается разработкой и эксплуатацией информационных систем по проблеме, систем поддержки принятия решений и систем тренинга, апробированного в деловых играх и командно-штабных учениях: российско-французская деловая игра "Санкт-Петербург — 93", КШУ МЧС России в ноябре 1994 г., КШУ "Полярные зори — 95" (МЧС России совместно с ДГВ ООН). При подготовке учения "Полярные Зори — 95" широко использовался чернобыльский опыт.

## 3. ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Реализация комплекса защитных мер обеспечила существенное снижение доз облучения населения, проживающего на территориях России, загрязненных в результате аварии на ЧАЭС, и коллективную дозу облучения всего населения РФ. В настоящее время кризисное состояние экономики не позволяет в полном объеме реализовывать намеченные ранее планы по минимизации последствий аварии. Однако реализация государственной программы будет продолжена.

В канун 10-летия чернобыльской катастрофы важно оценить состояние проблемы и перспективы преодоления последствий аварии на территории России. Краткие итоги могут быть сформулированы следующим образом:

1. Выполнен большой объем работ по уточнению радиационной обстановки, экологическим, медико-демографическим, экономическим и социальным характеристикам затронутых аварией территорий и контингентов. В настоящее время возможно

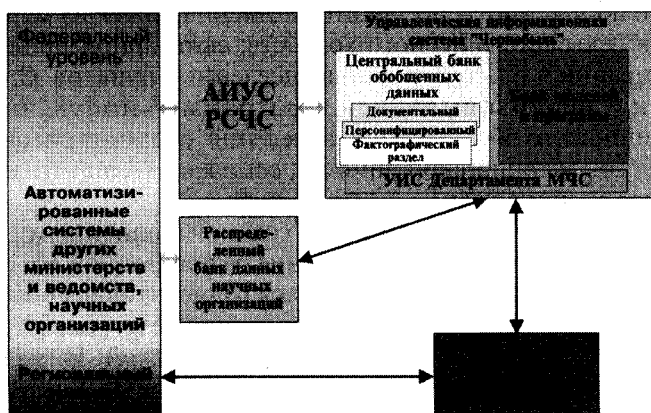


Рис. 11. Информационная система "Чернобыль"

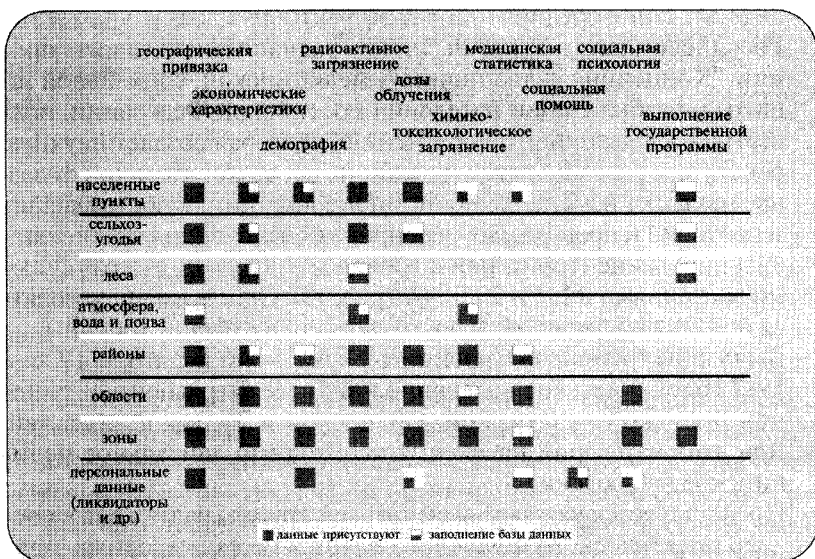


Рис. 12. Текущее состояние Центрального банка данных — 1995г.

надежное прогнозирование ситуации на загрязненных территориях.

2. Выполнены работы по защите населения, включая меры в области сельского и лесного хозяйств, санитарной защиты, дезактивации и благоустройства населенных пунктов. Одновременно реализовывались программы по улучшению медицинского обслуживания населения, оказания специализированной медицинской помощи, социальной защиты затронутых аварией граждан.
3. Благодаря естественным процессам и выполненным работам произошло объективное улучшение радиационной обстановки на всех территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению. На слабозагрязненных территориях Белгородской, Воронежской, Курской, Липецкой, Ленинградской, Нижегородской, Пензенской, Рязанской, Тамбовской и Ульяновской областей, Мордовии и Чувашии ее можно считать нормализовавшейся.
4. В России принят Федеральный закон "О радиационной безопасности населения", устанавливающий допустимые пределы доз облучения на территории Российской Федерации, в том числе для населения средняя годовая эффективная доза равна 1 мЗв.
5. Российской научной комиссией по радиационной защите принята "Концепция радиационной, медицинской, социальной защиты и реабилитации населения Российской Федерации, подвергшегося аварийному облучению", которая создает научную основу для работ по реабилитации на восстановительной фазе и предполагает изменение принципов зонирования пострадавших территорий и проводимых мероприятий. Концепция предполагает зонирование территорий и уровня доз облучения с граничными значениями в 1, 5 и 20 мЗв/г (рис. 13). Одновременно вводятся понятия облученного и пострадавшего населения (рис. 14).
6. Выявлены группы повышенного риска — ликвидаторы 1986 — 1987 годов и детское население наиболее загрязненных районов Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей. Для этих категорий населения необходимо длительное медицинское наблюдение.

Представляется важным выделить две группы задач долгосрочных мер практического и научного плана и первоочередных задач ближайших лет.

К проблемам, которые потребуют усилий со стороны государства как до 2000 года, так и в последующий период, следует отнести:

1. Оказание медицинской помощи участникам ликвидации последствий аварии и облученному населению. Данная проблема

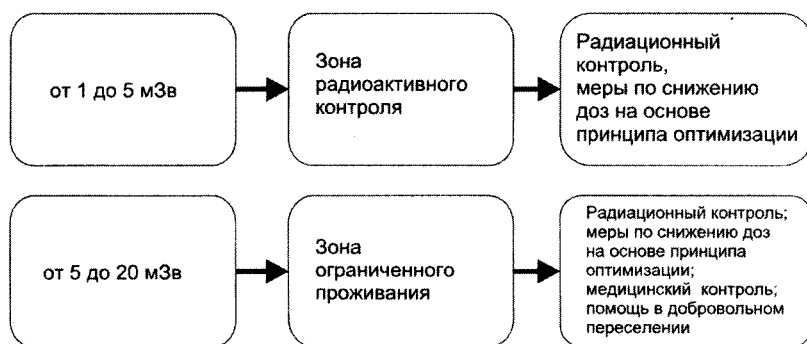
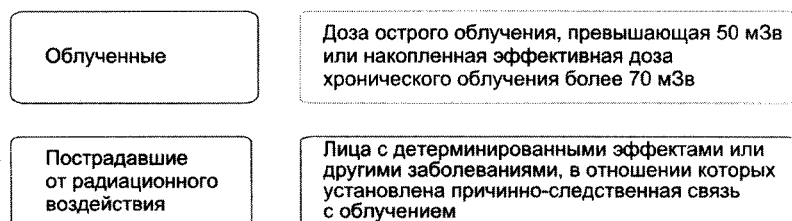


Рис. 13. Концепция РНКРЗ-95. Зонирование территорий по средней годовой эффективной дозе, обусловленной радиоактивным загрязнением



Кроме этих категорий в национальный регистр включаются следующие категории граждан:

дети, получившие дозу на все тело в период внутриутробного развития более 10 мЗв;  
 взрослые, получившие поглощенную дозу на щитовидную железу более 0.5 Гр  
 и дети — более 0.2 Гр;  
 дети облученных лиц, родившиеся после аварии;  
 лица, эвакуированные или переселенные из зон радиоактивного загрязнения,  
 независимо от полученных доз

Рис. 14. Концепция РНКР-95. Радиационная, медицинская и социальная защита лиц, подвергшихся облучению

останется одинаково актуальной и десять, и двадцать лет спустя. В ней, однако, необходимо выделить эффекты, связанные с поражением щитовидной железы. Ближайшие годы станут пиком количества заболевших радиационно-индуцированным раком щитовидной железы. Одновременно с вопросами медицинской помощи будет существовать задача социальной защиты данного контингента, включая участников работ по ликвидации последствий аварии.

2. Радиационно-гигиеническая обстановка на юго-западе Брянской области требует продолжения мер по радиационной, медицинской, социальной защите и реабилитации населения,



реабилитации сельских и лесных угодий. На этих территориях в сельских населенных пунктах проживает около 50 тысяч человек. В непосредственном окружении таких территорий расположен г. Новозыбков (45 тыс. жителей).

На больших территориях, где радиационная обстановка уже нормализовалась или нормализуется в последующие годы, необходима реализация мер по социально-экономической и социально-психологической реабилитации населения.

3. Необходимо продолжить научные исследования по ряду ключевых направлений, которые важны как для преодоления последствий чернобыльской аварии, так и для обеспечения адекватного реагирования на возможные радиационные инциденты в будущем:

- эпидемиология радиационно-индуцированных патологий среди участников ЛПА и населения;
- радиозология в части долгосрочного наблюдения за созданными радиозоэкологическими полигонами;
- комплексный анализ проблем преодоления последствий аварии и создание систем, интегрирующих накопленный опыт;
- социология и психология, в части разработки методов социально-психологической реабилитации затронутых контингентов.

**О задачах 1996–2000 годов.** Упомянутый выше Закон о радиационной безопасности и принятая РНКРЗ в 1995 году "Концепция радиационной, медицинской, социальной защиты и реабилитации населения Российской Федерации, подвергшегося аварийному облучению" составляют правовую и научную основу для приведения в соответствие с ними "Закона о социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие аварии на Чернобыльской АЭС". Накопленный опыт убедительно доказывает, что единовременно свернуть масштаб реализации программы с территории в 57 тысяч кв.км., очерченной изолинией по плотности загрязнения цезием-137 в 1 Ки/кв.км. до ограниченных территорий, где дозы дополнительного облучения превышают 1 мЗв/год, весьма проблематично. Возможная негативная реакция населения и местных властей может усугубить и без того немалые социальные последствия катастрофы. В этой ситуации необходима разработка стратегии переходного периода, длительностью несколько лет, который обеспечил бы плавный "адекватно воспринимаемый" населением выход регионов из сферы действия государственной программы преодоления последствий аварии.

INFCIRC/510  
Приложение  
Оригинал – английский\*

Международная конференция  
"Десять лет после Чернобыля:  
Подведение итогов по последствиям аварии"  
Краткое изложение результатов конференции

1996 год

---

\* *Неофициальный перевод В.А. Сидоренко*

*Краткое изложение результатов Объединенной Международной Конференции ЕК/МАГАТЭ/ВОЗ:*

*"Десять лет после Чернобыля — подведение итогов по последствиям аварии", которая проведена в Вене 8-12 апреля 1996 года, было составлено на основании следующих материалов:*

- *обновленные доклады и ключевые представления;*
- *итоговые Доклады, подготовленные круглыми столами экспертов, и их обсуждение на конференции;*
- *заключения председателей Сессий, которые также учитывали материалы, представленные в стендовых докладах и на технических выставках.*

*Эти материалы не обязательно отражают точки зрения правительств Государств-членов и Поддерживающих организаций.*

*Объединенный секретариат конференции рекомендует, чтобы это краткое изложение результатов конференции использовалось в качестве основы для принятия решений по предстоящим работам и сотрудничеству с целью уменьшения последствий чернобыльской аварии.*

1. 26 апреля 1986 года на 4-м блоке Чернобыльской атомной электростанции в бывшей Украинской республике Союза Советских Социалистических республик, расположенной вблизи границ современных Украины, Белоруссии и России, произошла самая серьезная авария в истории атомной промышленности. Реактор был разрушен, и примерно в течении последующих 10 дней в окружающую среду было выброшено большое количество радиоактивных веществ.

### **Начальные действия.**

2. Были предприняты аварийные меры, чтобы взять под контроль выброс радиоактивных материалов, собрать обломки реактора и впоследствии создать изолирующую конструкцию, так называемый "саркофаг", который был закончен в ноябре 1986 года, для закрытия остатков активной зоны реактора.

3. Непосредственно в событиях, связанных с аварией, участвовало большое число работников, включая операторов электростанции, работников аварийных служб, таких как пожарные и военные, а также большое количество непрофессионалов. Все эти люди стали известны под русским названием "ликвидатор". В районе Чернобыля в период 1986-1987 годов работало около 200 000 ликвидаторов, дозы облучения которых были наиболее высокими.

Количество людей, зарегистрированных как принимавших участие в деятельности по уменьшению последствий аварии, составило от 600 000 до 800 000.

Это число включает лиц, которые принимали участие в работах по очистке после аварии (включая очистку территории вокруг реактора, сооружение саркофага, дезактивацию, строительство дорог, разрушение и захоронение загрязненных сооружений, лесов и оборудования), так же как многих других, работавших на территориях, обозначенных как "загрязненные", и получивших в целом низкие дозы.

4. В период с 27 апреля по середину августа 1986 года было эвакуировано около 116 00 человек населения из их жилищ в районе вокруг Чернобыльской станции с целью защиты от излучения. Были установлены так называемые "запретные зоны", включавшие территории с наиболее высокой мощностью дозы, куда был запрещен свободный доступ людей. Эти зоны продолжают существовать в преемных независимых государствах - Белоруссии, и Украине - после распада Советского Союза. Запретные зоны занимают в сумме 4300 кв. км.

### **Выбросы <sup>1</sup>**

5. Полная активность всех радиоактивных материалов, выброшенных в аварии, оценивается сегодня величиной около  $12 \cdot 10^{18}$  Bq, включая около  $6-7 \cdot 10^{18}$  Bq благородных газов. Было выброшено около 3-4% топлива, присутствовавшего в реакторе в то время, кроме того до 100% благородных газов и 20-60% летучих радионуклидов. Эта оценка выброшенной активности выше той, которая была доложена в 1986 году специалистами бывшего СССР и которая основывалась на суммировании активности материалов, загрязнивших территорию в пределах бывшего СССР.

Однако эта переоценка не изменяет оценок индивидуальных доз.

6. Выброс имел сложный состав радионуклидов. Особое радиологическое значение имеют радиоактивные изотопы йода и цезия: йоды с их коротким временем жизни дают наибольший радиологический вклад в начальный период времени;

цезии с временами жизни порядка десятков лет будут давать наибольшей радиологический вклад в долговременном плане. Оценки активности выбросов ключевых радионуклидов следующие:

---

<sup>1</sup> *Количество радионуклидов выражается в терминах количества "активности", которое соответствует числу спонтанных распадов ядер, образующих излучение, в единицу времени. Эта единица, отнесенная к секунде ( $S^{-1}$ ), названа "бекерель" (Bq).*

$J^{131} \sim 1,3-1,8 \cdot 10^{18}$  Bq,  $Cs^{134} \sim 0,05 \cdot 10^{18}$  Bq и  $Cs^{137} \sim 0,09 \cdot 10^{18}$  Bq. Эти величины составляют около 50-60%  $J^{131}$  и около 20-40% двух радиоцезиев, находившихся в активной зоне реактора во время аварии.

## Загрязнение

7. Материал, выброшенный в атмосферу, широко распределился и в конечном итоге осел на поверхность земли. Он мог быть измерен практически во всем северном полушарии. Наибольшее количество материала осело в районах вокруг площадки станции с большими вариациями плотности осадения. Площади земли на окружающих территориях Белоруссии, России и Украины с измеряемыми уровнями активности  $Cs^{137}$ , превышающими 185 KBq/m<sup>2</sup>, оцениваются соответственно в 16 500 км<sup>2</sup>, 4 600 км<sup>2</sup> и 8 100 км<sup>2</sup>.

## Дозы облучения

8. 200 000 человек, участвовавших в 1986-1987 года в "ликвидации" аварии, получили средние дозы порядка 100 mSv<sup>2</sup>. Около 10% из них получили дозы порядка 250 mSv, несколько процентов получили дозы более 500 mSv; вероятно имеется несколько десятков человек, действовавших в начале аварии, которые получили потенциально смертельные дозы в несколько тысяч миллизиверт.

9. 116 00 человек, эвакуированных из загрязненной зоны в 1986 году, уже подверглись облучению. Менее 10% получили дозы более 50mSv и менее 5% - дозы более 100mSv.

10. Дозы облучения от радиоидов воспринимаются щитовидной железой. Йод, поглощаемый потоком крови и обычно поступающий по пищевым цепочкам, главным образом через загрязненное молоко, а также через дыхание из первичных радиоактивных выпадений, концентрируется в щитовидной железе. Ожидаемые

---

<sup>2</sup> Мера дозы облучения представляет собой величину энергии излучения, поглощенной тканью, отнесенную к единице массы ткани, отнормированную на эффективность типа излучения и радиационную чувствительность различных тканей тела. Эта единица обозначается Sv (зиверт), подразделяется на миллизиверт (т.е. тысячная часть зиверта) (mSv). В перспективе общая годовая средняя доза облучения, обусловленная естественным радиационным фоном, составляет 2,4 mSv с существенными географическими вариациями. Следовательно за стандартное время жизни 70 лет индивидуум получить в среднем  $2,4 \text{ mSv} \cdot 70 \sim 170 \text{ mSv}$  от естественных источников излучения.

дозы на щитовидной железе высоки по сравнению с дозами на других органах тела, особенно у детей. Оцененные эквивалентные дозы на щитовидку (полученные прежде всего на основании измерений, относящихся к 150 000 человек на Украине, а также в Белоруссии и России) составляют до нескольких зиверт или более <sup>3</sup>.

Эти данные были представлены на полеаварийной конференции в Вене в 1986 году, в Международном Чернобыльском проекте (выполненном в 1990 году с целью определения безопасности длительного проживания на загрязненных территориях), и даются всеми другими международными оценками. Однако не было сделано международной верификации опубликованных величин доз, поглощенных щитовидной железой.

11. Долговременные дозы у населения различных стран северного полушария, связанные с аварией, включающие средние дозы в различных странах, были оценены Научным Комитетом Объединенных наций по влиянию атомной радиации (UNSCEAR). UNSCEAR оценил, что индивидуальные дозы за пределами бывшего СССР в результате аварии следующие: наибольшая средняя национальная доза за первый год составляет 0,8 mSv; наибольшая средняя накопленная доза для европейского региона за 70 лет до 2056 года была оценена величиной 1,2 mSv. В Международном чернобыльском проекте было оценено, что наибольшие накопленные дозы за 70 лет с 1986 по 2056 год для людей, живущих на наиболее загрязненных территориях оставляют порядка 160 mSv. Недавние, более подробные, исследования дали сходные результаты. За период с 1996 по 2056 годы типичные накопленные дозы для населения, проживающего на территориях с плотностью загрязнения 185-555 KBq/m<sup>2</sup>, порядка 5-20 mSv; для населения, проживающего на территориях с плотностью загрязнения 555-1480 KBq/m<sup>2</sup>, дозы за этот период будут порядка 20-50 mSv, главным образом за счет внешнего облучения. Однако, в местностях, где особенно велик коэффициент перехода из почвы в пищевые цепочки, только внутреннее облучение населения может превышать 50 mSv за 70 лет.

### **Наблюдаемые клинические эффекты**

12. Всего у 237 облученных профессионалов были выявлены клинические синдромы, связанные с облучением, и они были помещены в больницу.

<sup>3</sup> *Дозы на отдельные органы обычно выражаются в греях (Gy). Для того типа облучения, которое обсуждается здесь, один грей на щитовидную железу соответствует (с учетом "веса") эквивалентной дозе один зиверт на щитовидку.*

Острые радиационные синдромы (ARS) были диагностированы в 134 случаях. Из этих 134 пациентов 28 умерли вследствие радиационных повреждений, все в пределах первых трех месяцев. Еще два человека погибли на 4-м блоке от повреждений, не связанных с радиацией (и еще один считается умершим по причине коронарных тромбозов). Гастрокишечные повреждения были серьезной причиной, вызвавшей ранние изменения в желудочно-кишечном тракте с летальным исходом у 11 пациентов, получивших дозы более 10 грей. Смерть 26 из 28 пациентов была связана с повреждениями кожи, которые затронули более 50% общей поверхности тела. После острой фазы дополнительно 14 пациентов умерли в течение последующих 10 лет; однако их смерть не коррелирует с первичной тяжестью острого радиационного синдрома и следовательно не была непосредственно обусловлена — в некоторых случаях определенно не была связана — с произошедшем облучением.

13. Имеется некоторое сомнение, что пациенты получили наилучшее возможное лечение в соответствии с уровнем знаний, имевшим место в то время и достигнутым для большинства опытных центров. Однако, применение трансплантации костного мозга, рекомендованное в то время, было мало эффективным. В соответствии с современными знаниями это легко понять в свете присущих иммунологических рисков этой процедуры, гетерогенных характеристик облучения и других дополнительных повреждений, вызванных облучением, таких как тяжелые гастрокишечные изменения и повреждения кожи. Повреждения костного мозга можно будет наилучшим образом лечить в будущем с помощью экстренного применения факторов, вызывающих повышение кроветворной функции. Однако для этого еще необходимо определить оптимальную комбинацию и схему облучения. Для других радиационных повреждений стали доступны новые диагностические средства, которые могут внести свой вклад в более точное прогнозирование и более индивидуально подобранные методы лечения.

14. В настоящее время наиболее тяжелые пациенты пострадали от многочисленных болезней, включающих влияние психического стресса, и необходимо лечение и профилактические меры против вторичных эффектов. Необходимо обеспечить заботу о здоровье этих пациентов, и их состояние необходимо контролировать в течение последующих двадцати-тридцати лет. Среди различных историй болезни важно различить те, которые вызваны облучением и те, которые связаны с побочными факторами, присущими воздействию аварии на население.

## **Воздействие на щитовидную железу.**

15. Весьма существенное увеличение распространения рака щитовидной железы среди тех лиц на территориях, подвергшихся загрязнению, которые были детьми в 1986 году, является единственным ясным свидетельством, относящимся к воздействию облучения в результате чернобыльской аварии на здоровье населения. (В 1991 году отчет Международного чернобыльского проекта утверждал, что "ожидается, что должно быть радиогенное увеличение случаев рака щитовидной железы в последующие десятилетия. Этот риск связан с дозами, действовавшими на щитовидку, полученными в первые месяцы после аварии..."<sup>(4)</sup>). Это увеличение распространения наблюдается в Белоруссии и в меньшей степени на Украине и в Российской Федерации. Число зафиксированных случаев к концу 1995 года составило около 800 у детей до 15 лет на время диагностики; более 400 случаев относится к Белоруссии. В большинстве случаев диагностирование проводилось международными экспертами.

16. Увеличение наблюдалось у детей, которые родились перед или в течение шести месяцев после аварии; распространение рака щитовидки у детей, родившихся более чем через шесть месяцев после аварии резко падает до малых уровней, ожидаемых у необлученного населения. Более того, большинство случаев рака щитовидки концентрируется на территориях, считающихся загрязненными радиоиодами в результате аварии. Таким образом как временное так и географическое распределение ясно указывает на связь увеличения распространения заболевания с облучением в результате чернобыльской аварии. Более того, поскольку щитовидная железа концентрирует йод, полагают, что один или более изотопов йода являются активными агентами, определяющими увеличение распространения рака щитовидки у детей.

17. По публикациям большинство опухолей щитовидки находятся в прогрессирующей стадии, так как выявляется распространение метастазов на ткани вне щитовидной железы или метастазирование в лимфатические узлы и, менее часто, отдаленное метастазирование. Эти факты являются строгим свидетельством того, что наблюдаемое увеличение только в малой степени связано с увеличением обнаруживаемости, обусловленным массовостью проверки (скринингом).

---

<sup>4</sup> *Международный Консультативный комитет, Международный Чернобыльский Проект: Технический отчет, определение радиологических последствий и оценка защитных мер, часть F: Воздействие на здоровье, раздел 3.11.3. стр.389.*



18. Патология фактически всех случаев рака щитовидки представляет папиллярную карциному, многие с необычной твердо/фулликулярной формой роста. Тип молекулярного изменения достаточно хорошо изучен и не дает большого отличия от опухолей того же типа в щитовидных железах, не подвергшихся облучению. Однако эти изменения более часты в опухолях щитовидных желез, подвергнутых облучению.

19. Анализ возраста облученных подтверждает гипотезу, что очень юные дети подвергаются наибольшему риску. Сейчас считается, что увеличение распространения рака щитовидки среди облученных в юном возрасте, может продолжаться. Это может увеличивать прева-лирования рака щитовидки в пострадавшей группе в будущем, требуя адекватных ресурсов для соответствующих действий.

20. В рассматриваемом случае минимальной латентный период между облучением и диагностированием случаев рака щитовидки около 4 лет. Этот латентный период несколько короче того, который ожидался на базе предыдущего опыта, относящегося к случаям острого внешнего облучения.

21. На сегодня только три ребенка из когорты диагностированных случаев умерли от рака щитовидки. Эти послечернобыльские папиллярные раки щитовидки у детей, несмотря на их агрессивность, демонстрируют благоприятную реакцию на стандартные терапевтические процедуры при их соответствующем применении; однако за короткий срок накоплено еще недостаточно данных. Поэтому необходимо полное и постоянное наблюдение за пострадавшими детьми, чтобы установить оптимальную терапию. Для детей после удаления щитовидной железы обязательно пожизненное применение L-тироксина.

22. Степень последующего распространения рака щитовидки в результате чернобыльской аварии очень трудно предсказать. Остаются неопределенности в оценках дозы и, хотя нет определенности, что настоящее увеличение распространенности сохранится в будущем, оно наиболее вероятно продолжится несколько десятилетий. Если существующий относительно высокий риск сохранится, возможно большое увеличение в последующие десятилетия распространенности карциномы щитовидной железы у юношей, получивших высокие дозы облучения в детстве.

23. В случае любой будущей аварии должны быть приняты установленные меры в строго определенных условиях для защиты населения от риска облучения щитовидной железы радиоiodом, такие как предупреждение поставки загрязненной пищи и йодная профилактика посредством обеспечения населения фармакологическими дозами стабильного йода. Население, живущее вокруг

Чернобыльской станции, исторически является иододефицитным, и исправление этого дефицита путем поставки йодированной соли для питания рекомендуется в любом случае.

### **Долговременные воздействия на здоровье.**

24. Кроме подтвержденного увеличения распространенности рака щитовидной железы у молодежи имеются свидетельства об увеличении распространенности специфических злокачественных образований у части населения, проживающего на загрязненных территориях, и у ликвидаторов. Эти сообщения, однако, не последовательны, и отмечаемые увеличения могут отражать различие в обследовании облученного населения и увеличенное выявление после чернобыльской аварии; они могут требовать дальнейших исследований.

25. Лейкемия, редкая болезнь, привлекает основное внимание после облучения. Несколько смертельных случаев, вызванных радиационно индуцированной лейкемией, можно теоретически ожидать в соответствии с прогнозными моделями (основанными на данных по уцелевшим после ядерной бомбардировки Японии и других). Общее ожидаемое увеличение смертельных случаев из-за лейкемии может быть порядка 470 среди 7,1 миллиона жителей "загрязненных" территорий и "строго контролируемых зон", что невозможно различить среди спонтанных случаев, составляющих 25 000 смертей. Общее ожидаемое число среди 200 000 ликвидаторов (работавших в 1986-1987 годы) может быть порядка 200 смертей по сравнению со спонтанным уровнем 800 смертей, обусловленных лейкемией. В соответствии с современными моделями около 150 из этих 200 дополнительных смертей от лейкемии среди ликвидаторов можно ожидать в первые десять лет после облучения, для которых спонтанная распространенность составляет 40. В результате на сегодня нельзя зафиксировать последовательного зависимого увеличения ни скорости нарастания лейкемии, ни распространенности любых злокачественных образования кроме канцеромы щитовидный железы.

26. Среди 7,1 миллионов жителей "загрязненных" территорий и "строго контролируемых зон" число фатальных раков, обусловленных аварией, рассчитываемых с использованием прогнозных моделей, составляет порядка 6 600 за последующие 85 лет, по сравнению со спонтанным количеством 870 000 смертей от рака. Будущее увеличение сверх естественной распространенности для всех раков, за исключением рака щитовидки, или влияния на наследственность среди населения будет трудно различить даже в

больших и хорошо организованных долговременных эпидемиологических исследованиях, подобных тому, которое реализовано в Международном Чернобыльском проекте.

27. Сообщалось от увеличении частоты возникновения неспецифических вредных воздействий на здоровье, отличных от рака, среди облученного населения и особенно среди ликвидаторов. Трудно толковать эти данные, поскольку облученное население подвергалось значительно более интенсивно и активно воздействию на состояние здоровья по сравнению с населением вне зоны воздействия. Любые такие увеличения, реально, могут также отражать влияние стресса и беспокойства.

28. Существующие регистры данных по ракам и смертности должны быть улучшены или, в ряде случаев, такие регистры должны быть созданы. В дополнение, должны быть проведены специальные исследования для изучения отмеченных изменений, а также предсказываемых увеличений заболеваемости, особенно лейкемией среди ликвидаторов. Это должно делаться с использованием тщательно разработанных протоколов, пригодных для однотипного анализа с возможностью выявления эффектов радиации среди фоновых факторов.

### **Психологические последствия.**

29. За последние десять лет было проведено несколько важных исследований и программ в области социальных и психологических последствий и реакций на чернобыльскую аварию. Они подтвердили прежние выводы (включая выводы Международного Чернобыльского Проекта), что среди населения, подвергнувшемуся воздействию чернобыльской аварии, имеются существенные психологические симптомы расстройства здоровья, такие как беспокойство, депрессия и различные психопатические нарушения, являющиеся следствием психического бедствия. Чрезвычайно трудно отделить психологические последствия чернобыльской аварии от эффектов экономических трудностей и развала СССР.

30. Психологические эффекты чернобыльской аварии имели в основе отсутствие общественной информации, особенно сразу после аварии, стресс и травмирование от переселения, нарушение общественных связей и страх, что любое облучение является губительным и может разрушать здоровье людей и здоровье их детей в будущем. Можно понять, что люди, которым не говорили правду в течении ряда лет после аварии, продолжают относиться скептически к официальным заявлениям и полагают, что все заболевания, которые кажутся сейчас более распространенными, должны

быть связаны с радиацией. Ощущение беды, вызванное этим ошибочным восприятием радиационного риска, в высшей степени вредно для людей.

31. Отсутствие консенсуса по последствиям аварии и политизация всей проблемы создает такое положение, что психологические последствия среди населения стали обширными, серьезными и длительными. Некоторые эффекты включают ощущение беспомощности и отчаяния, ведущие к замкнутости и потере надежды на будущее. Эти эффекты продлеваются длительными дебатами о радиационном риске, контрмерах и общей социальной политике, а также появлением раков щитовидной железы, связанных с первоначальным облучением.

32. Настоятельно необходимо создавать доверие к возможности изменить жизнь к лучшему; начать маломасштабные и коммунальные проекты улучшения местных дел и поддерживать организацию мероприятий, направленных на реабилитацию населения; повышать знания людей о влиянии на здоровье и защите от облучения; и развивать, объединять и укреплять существующие связи местных властей, специалистов и исследователей в области социологии и психологии.

### **Последствия в окружающей среде.**

33. Что касается прямых последствий для животных и растений, то были достигнуты смертельные дозы радиации в некоторых локальных экосистемах, особенно для хвойных деревьев и для некоторых мелких млекопитающих в пределах 10 км от реакторной площадки в первые несколько недель после аварии. К осени 1986 года мощность дозы упала до 100 раз. К 1989 году природная среда в этих местах начала восстанавливаться. Никакого существенного тяжелого влияния на популяции или экосистемы не наблюдалось. Возможность долговременных генетических эффектов и их значимость остается предметом для изучения.

34. Для населения значимость загрязнения окружающей среды зависит от путей облучения. Главными путями являются внешнее облучение от радиоактивных веществ, осевших на грунт, и внутреннее облучение, связанное с загрязнением пищевых цепочек. В первые несколько недель после аварии радионуклидами, наиболее важными в радиологическом отношении, являлись радиоiodы. С 1987 года наибольшая доза радиации была обусловлена  $\text{Cs}^{134}$  и  $\text{Cs}^{137}$  с малым вкладом  $\text{Sr}^{90}$ , в то время как  $\text{Pu}^{239}$  давал минимальный вклад в дозу.

35. Некоторые предметы нормальной диеты были загрязнены радиоактивными веществами. В ранний период после аварии ключевые пищевые цепочки, такие как молоко и зеленые овощи, имели уровни загрязнения, превышающие те, которые сегодня рассматриваются как допустимые кодексом пищевой комиссии ВОЗ и организации по сельскому хозяйству и продуктам питания ООН (WHO/FAO), установившим уровни максимально допустимого загрязнения продуктов, поступающих на международный рынок. (Эти уровни сейчас установлены глобально Основными стандартами безопасности для защиты от ионизирующего излучения и безопасности радиационных источников.) Остается ряд вопросов, связанных с эффективностью контрольных мер, которые предпринимались на ранних стадиях после аварии.

36. Контрмеры относительно неэффективны для снижения внешнего облучения, но могут быть очень эффективны для уменьшения поглощения радиоактивных веществ. В долгосрочном плане использование подходящих мер агрокультурного характера может эффективно уменьшать поступление в пищу цезия. Какие из контрмер являются наиболее подходящими и их эффективность в сильной степени зависит от местных условий, таких как тип почвы. Например, в некоторых местах, где количество цезия, высадившегося на грунт было относительно мало, переход в молоко был тем не менее высоким. В целом ни в каких коллективных хозяйствах в настоящее время нет превышения уровня, установленных кодексом WHO/FAO, хотя в некоторых продуктах питания частных хозяйств эти уровни превышаются.

37. Полуестественная окружающая среда, т.е. среда с характеристиками промежуточными между землями с регулируемой агрокультурой и естественной природой, может иметь преобладающее влияние на уровни будущих доз гражданского населения. Коэффициент перехода радионуклидов из почвы в молоко коров, пасущихся на лугах, меняется на величину нескольких сотен в зависимости от типа почвы. Некоторые продукты питания, получаемые от животных, пасущихся на полуестественных пастбищах, лесах и горных районах, и от диких продуктов (таких как дичь, ягоды и грибы), могут содержать в течение следующих десятилетий уровни  $Cs^{137}$ , превышающие уровни кодекса продуктов питания — в некоторых случаях значительно — и могут легко быть в будущем главным источником внутренних доз.

38. Мощность локальных доз, обусловленных радиоактивными веществами, погребенными на чернобыльской площадке, может быть значительной. Более того, для организованного управления временными захоронениями радиоактивности, оставшейся после

аварии, в долговременном плане необходимо обратить внимание на локальное загрязнение грунтовых вод.

### **Социальное, экономическое, системное и политическое влияние.**

39. Между 1990 и концом 1995 года властями были приняты решения по дальнейшему переселению на Украине (около 53 000 человек), в Белоруссии (около 107 000 человек) и в России (около 50 000 человек). Эвакуация и переселение создавали ряд серьезных социальных проблем, связанных с трудностями и проблемами приспособления к новым условиям жизни.

40. Демографические показатели в "загрязненных" районах ухудшаются: рождаемость уменьшилась, и рабочая сила мигрирует из "загрязненных" в "незагрязненные" районы, наблюдается сокращение рабочих и профессионалов.

41. Меры, предпринимаемые властями для ограничения облучения на "загрязненных" территориях, ограничивают промышленную и сельскохозяйственную активность. Более того, отношение всего населения к продуктам из загрязненных областей создает трудности в продаже или экспорте продукции, ведущие к снижению местных доходов.

42. Нарушение обычной жизнедеятельности людей ежедневно создает жизненные трудности и проблемы. Основные реабилитационные действия были предприняты в течение последних лет. Однако, необходимо больше и лучше давать людям информацию о мерах, предпринимаемых для ограничения последствий аварии, о существующих уровнях радиации и концентрациях радионуклидов, замеряемых по пищевым цепочкам.

43. Социальные и экономические условия людей, живущих и работающих на "загрязненных" территориях очень сильно зависят от общественных субсидий. Если будет возможность пересмотреть компенсационную систему, часть фондов должна быть переориентирована на новые промышленные и сельскохозяйственные проекты.

44. Последствия чернобыльской аварии и меры, предпринятые для их преодоления, обострились политическими, экономическими и социальными изменениями последних лет, приведшими к ухудшению качества жизни и здоровья людей и к неблагоприятным итогам в общественной жизни. Положение было еще более усложнено в послеаварийные годы неполной и неточной информацией населения о последствиях и мерах по их преодолению.

## Ядерная безопасность.

45. Главной причиной чернобыльской аварии является совпадение серьезных недостатков в конструкции реактора и системы аварийной остановки и нарушений инструкций по управлению. Недостаток "культуры безопасности" в ответственных организациях Советского Союза, проявился в неспособности исправить такие недостатки конструкции, даже несмотря на то, что они были известны до аварии.

46. В дополнение к этим факторам, имеющим прямое отношение к причинам аварии, оригинальная конструкция станций с реакторами РБМК (советские реакторы с графитовыми замедлителем и легководным охлаждением) имела другие недостатки. В частности оригинальная конструкция первого поколения реакторов РБМК недостаточна оснащена средствами безопасности. Дальнейшего внимания требуют другие недостатки, такие как частичный контейнмент.

47. В соответствии с развивающимся подходом к безопасности все атомные электростанции, не соответствующие международно признаваемому уровню безопасности, подлежат соответствующей модернизации, либо должны быть остановлены. В сентябре 1991 года конференция МАГАТЭ "Безопасность ядерной энергетики: стратегия на будущее" выразила консенсус, что стандарты безопасности<sup>5</sup> старых работающих станций должны быть разумным образом поправлены в соответствии с современными целями безопасности. Активная приверженность этой цели остается делом первой важности для гарантии приемлемого уровня безопасности ядерных установок и повышения доверия населения к ядерной энергрии.

48. Значительное количество первоочередных мер для повышения ядерной безопасности было принято за прошедшее десятилетие на существующих станциях с РБМК: технические и организационные меры были предприняты немедленно после чернобыльской аварии; между 1987 и 1991 годом были проведены работы по повышению безопасности, которые существенно исправили недостатки конструкции, внесшие вклад в аварию. Был достигнут прогресс в таких областях, как управление станций, подготовка персонала, неразрушающий контроль и анализы безопасности. В результате повторение того же сценария аварии не представляется в дальнейшем практически возможным. Однако возможность других аварий, приводящих к существенным выбросам, не может быть исключена.

---

<sup>5</sup> *Безопасность ядерной энергетики: стратегия на будущее (труды конференции. Вена 2-6 сентября 1991г.) МАГАТЭ, Вена (1992).*

49. Определенное беспокойство можно также проявить о безопасности других реакторов, спроектированных по ранним стандартам, если не произвести необходимые улучшения. В этом отношении широко признаваемыми являются обзоры безопасности.

50. Для всех станций с РБМК имеются планы дальнейшего улучшения безопасности для исправления тех недостатков конструкции реакторов РБМК, которые не имели прямого отношения к чернобыльской аварии. Реализация этих планов идет медленнее, чем необходимо, из-за отсутствия в странах требующихся ресурсов.

51. Из того, что было согласовано как необходимое и уже было запланировано в качестве высшего приоритета как в национальных ядерных программах, так и международной кооперации, ускоренному выполнению подлежит следующее:

- необходимые улучшения безопасности должны проводиться независимо от рассмотрения досрочного снятия станций с эксплуатации;
- должно быть выделено больше средств для повышения безопасности станций с РБМК, работающих в настоящее время;
- статус национальных органов регулирования безопасности и их поддерживающих организаций должен быть усилен.

52. На Чернобыльской АЭС должны быть проведена аналогичная реконструкция других блоков РБМК. Однако проблемы безопасности блоков РБМК относятся не только к остающимся общим недостаткам в конструкции, но и к качеству оборудования.

53. Решение украинских властей закрыть остающиеся блоки в Чернобыле не являются причиной для пренебрежения необходимостью осуществления мероприятий по безопасности и модернизации в течение остающегося времени эксплуатации.

### **Саркофаг.**

54. Саркофаг, который был сооружен вокруг разрушенного реактора, содержит около 200 тон облученного и свежего ядерного топлива, смешанного с другими материалами в различных формах, главным образом в виде пыли. Полная активность этих материалов оценивается в  $700 \cdot 10^{15}$  Вq долгоживущих радионуклидов. Саркофаг решал в течение прошедших десяти лет цели защиты. В долгосрочном плане, однако, его стабильность и изоляционные свойства подвергаются сомнению. Разрушение конструкции может привести к выбросу радиоактивной пыли и подвергнуть облучению персонал, расположенный на площадке. Однако даже в тяжелом случае далекого воздействия (за пределами 30 км) ожидать нельзя.



55. Было определено, что саркофаг в сегодняшнем состоянии безопасен с точки зрения возникновения критичности. Нельзя полностью исключить, что внутри саркофага имеются конфигурации топливных масс, которые могут достичь критического состояния в контакте с водой. Однако, даже если условия привели бы к повышению уровней радиации внутри саркофага, нельзя ожидать больших выбросов за пределы площадки. Возможное влияние такого состояния на персонал, находящийся на площадке, должно быть уточнено.

56. Существует широкий диапазон мнений по поводу наличия существенного риска аварий на блоке 4 Чернобыльской АЭС в случае обрушения саркофага. Требуются более детальные исследования этой проблемы.

57. Безопасность оставшихся блоков и стабильность саркофага не являются единственными главными проблемами, которые все еще остаются нерешенными на чернобыльской площадке. Другие заботы касаются потенциальной опасности загрязнений, в частности радиоактивности материалов, захороненных на площадке. Эта проблема взаимосвязанная, и для ее решения необходим интегрированный подход. Предлагаемая конструкция вторичного укрытия над саркофагом может составлять лишь часть такого подхода. Вклад в достижение интегрированного подхода дают действия Европейской комиссии по финансированию работ в этой области. Этот подход сейчас требует обобщения, и необходимо более эффективно привлекать ноу-хау компетентных организаций бывшего Советского Союза. Для гарантии экологической безопасности саркофага необходимы исследования и разработки, направленные на сооружение конструкции, отвечающей всем проблемам.

58. Для предприятия нужных шагов следует реализовать процедуру поиска оптимальной стоимости в соответствии с имеющимся прогрессом соответствующих исследований и финансовыми обстоятельствами. Первой мерой должна быть стабилизация существующего саркофага. Это существенно уменьшило бы риск его обрушения и обеспечило время необходимое для тщательного планирования дальнейших мер (таких как вторичное укрытие).

### **Перспективы и прогнозы.**

59. Полная реабилитация закрытой зоны в настоящее время невозможна по причинам: существование "горячих пятен" загрязнения вблизи площадей проживания; возможность локального радиоактивного загрязнения грунтовой воды; опасность, связанная с возможным обрушением саркофага; серьезные ограничения, накладываемые на диету и образ жизни.

60. Любые оценки общего числа смертельных и несмертельных раков, вызванных аварией, необходимо интерпретировать с осторожностью в виду неопределенностей, связанных с предположениями, на которых они вынуждены основываться. Однако такие прогнозы дают перспективу в величине долговременных последствий и позволяют определить области, требующие особого внимания (такие как распространенность лейкемии среди ликвидаторов и рака щитовидной железы среди детей, живущих в "загрязненных" районах) как в настоящее время, так и в будущем.

61. Имеется большое несоответствие между количеством раков щитовидной железы, образовавшихся у тех, кто были детьми во время аварии, и предсказываемым количеством таких раков на основании стандартной дозиметрии щитовидной железы и существующей модели определения риска. Это различие может быть результатом нескольких факторов, специфических для аварии, которые не включаются как типичные в стандартные модели. Важно разобраться в этих проблемах так же, как и продолжить программы по выявлению опухолей щитовидной железы.

62. Увеличение распространенности рака щитовидной железы будет наиболее вероятно длиться несколько десятилетий. Хотя на основе текущих данных невозможно делать определенные предсказания, оцениваемое число раков щитовидной железы, ожидаемое среди тех, кто были детьми в 1986 году, составляет по порядку величины несколько тысяч. Число фатальных исходов должно быть много меньше этого количества, если рак диагностируется на ранней стадии и если предпринимается необходимое лечение. Эти люди в течение жизни должны подвергаться интенсивному мониторингу.

63. Несмотря на интенсивное развитие научных и медицинских знаний о влиянии радиации, остаются открытыми важные вопросы, связанные с воздействием радиации на здоровье человека. Необходимо продолжать поддержку исследований в области биологических эффектов излучения.

64. Заметное влияние на здоровье населения в целом, включая группы, подвергнувшиеся облучению в результате аварии, играют различные факторы, такие, как экономические трудности. Статистические данные по облученному населению анализировались в свете четкого общего увеличения заболеваний и смертности в странах бывшего Советского Союза, чтобы предотвратить ошибочную интерпретацию этих тенденций, обусловленных аварией.

65. Восприятие населением настоящего и будущего влияния аварии могло быть обострено трудными общественно-экономическими обстоятельствами в СССР в то время, контрмерами, которые

власти предпринимали для минимизации последствий аварии, и общественным представлением о рисках, связанных с продолжительным радиоактивным загрязнением.

66. Прошлый опыт аварий, не связанных с радиацией, показывает, что психологические последствия могут продолжаться длительное время. Фактически за десять лет после чернобыльской аварии эволюция симптомов не закончилась. Можно ожидать, что важность этих эффектов будет нарастать со временем. Однако продолжение дебатов о радиационном риске и контрмерах, в сочетании с фактами, что влияние первичного облучения теперь видно (т.е. существенный рост рака щитовидной железы у детей) может продлить эти симптомы. В развитии психологических последствий необходимо принимать во внимание психологические эффекты развала СССР, и любые предсказания должны учитывать экономические, политические и социологические обстоятельства в трех странах. Такие симптомы как беспокойство, связанное с психическим стрессом, может быть названо среди основных последствий аварии.

67. В виду малого значения риска, связанного с существующими уровнями радиации в большинстве "загрязненных" областей, польза от будущих усилий по уменьшению дозы для населения еще более перевешивается отрицательными экономическими, социальными и психологическими последствиями. Важно развить стратегию, принимающую во внимание как реальный радиологический риск, так и экономические, социальные и психологические ущербы, чтобы получить наибольшую результирующую выгоду для людей. Должны быть рассмотрены дополнительные меры по ослаблению психологических последствий.

**МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДЕЛАМ  
ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ  
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ  
МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

## **ЧЕРНОБЫЛЬСКАЯ КАТАСТРОФА**

**Итоги и проблемы преодоления  
ее последствий в России  
1986-2001**

**Российский национальный доклад**

**Москва, 2001**

## ВВЕДЕНИЕ

Преодоление последствий аварии на ЧАЭС потребовало значительных усилий как со стороны научных и практических организаций, так и страны в целом. За прошедшие годы выполнен беспрецедентно большой объем работ по минимизации последствий аварии. Они проводились в рамках государственных целевых программ и включали такие важные направления, как охрана здоровья, контроль за радиационной обстановкой, снижение доз облучения населения и реабилитация территорий, социальная и социально-психологическая реабилитация населения. В целях повышения эффективности мероприятий осуществляется их научное и информационно-аналитическое сопровождение.

К сожалению, несмотря на многолетние усилия, полностью преодолеть негативные последствия аварии не удалось. Тем не менее, огромный массив данных, накопленных с момента аварии, позволяет объективно оценить не только просчеты, но и несомненные успехи огромной работы по минимизации последствий этой аварии и сделать важные для будущего выводы.

В первом разделе доклада представлены объективные данные, позволяющие сформулировать следующие положения:

- Благодаря комплексу защитных мер, включавших такие экстраординарные мероприятия, как эвакуация и многочисленные санитарные ограничения и регламентации, удалось ограничить полученные населением дополнительные дозы облучения. В результате этого, дозы облучения людей не привели к выявляемому росту частоты онкологических заболеваний. Исключение составляет лишь рост раков щитовидной железы среди лиц, которые были детьми на момент аварии. Около трети из 170 случаев раков щитовидной железы в Брянской области признаны радиационно-индуцированными. По другим областям радиационно-индуцированных раков не выявлено. В результате раннего обнаружения и своевременного медицинского вмешательства возможные летальные исходы в связи со всеми случаями рака щитовидной железы удалось свести к минимуму.
- Среди когорты участников работ в зоне ЧАЭС — граждан России (всего 200 тыс. человек) выявлены отдаленные эффекты действия радиации. Ими признаны около 50 случаев лейкозов и более 10 случаев рака щитовидной железы. Однако в целом, показатели смертности в когорте ликвидаторов ниже, чем среди мужского населения России аналогичных возрастов.

- Помимо собственно радиационного воздействия, на здоровье населения и ликвидаторов оказывают влияние и многие другие факторы, в том числе и обусловленные последствиями аварии. По ряду показателей заболеваемости ситуация в наблюдаемых когортах населения и ликвидаторов хуже, чем в среднем по России.

Во втором разделе доклада представлены данные по экологическим последствиям аварии. Главным и очень важным выводом, который может быть сделан из представленных в этом разделе данных, является то, что авария, несмотря на необходимость отчуждения значительных территорий, не привела к глубоким и необратимым изменениям объектов животного и растительного мира. Дана краткая характеристика радиационной обстановки в Российской Федерации. В целом радиационная обстановка на территории России в последние годы остается стабильно нормальной, за исключением некоторых загрязненных районов.

В третьем разделе представлена ретроспектива защитных и реабилитационных мер, реализованных за весь послеаварийный период. В этом разделе показано, что ряд защитных мер, в том числе переселение жителей загрязненных районов в 1989 и последующие годы, себя не оправдал. Не дав существенного снижения предотвращенной дозы, они негативно отразились на социально-экономической жизни загрязненных районов и на состоянии здоровья населения. В первые послеаварийные годы проведение защитных мероприятий требовалось на значительных территориях. В настоящее время радиационная обстановка на подавляющем большинстве территорий, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения, нормализовалась и не представляет опасности для здоровья. В тоже время, в наиболее загрязненных районах Брянской и Калужской областей жители по прежнему сталкиваются с реальными проблемами, связанными с превышением санитарных норм содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции и дикорастущих грибах и ягодах. В этих районах сохраняется необходимость ведения реабилитационных мер главным образом при ведении сельского и лесного хозяйства.

Принципиально иначе обстоит дело с социально-психологической и социально-экономической реабилитацией. Не удалось предотвратить формирования серьезного социально-психологического стресса среди населения территорий, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения. Значительный ущерб нанесен экономике наиболее загрязненных районов, прекращено производство ряда важных видов продукции, затруднена реализация продукции сельского и лесного хозяйства в других регионах страны. Восприятие последствий аварии обществом не адекватно масштабу ее

реальных радиологических последствий. Ликвидация последствий аварии породила немало других проблем, затронувших миллионы людей. Некоторые решения в области социальной защиты, принятые на законодательном уровне, не были обоснованы и привели к быстрому нарастанию негативных социальных процессов. Это, прежде всего, относится к участникам работ по ликвидации последствий аварии, значительная часть которых признана инвалидами в связи с радиационным воздействием. Потребность в активной реализации комплекса мер социально-психологической и социально-экономической реабилитации по-прежнему очень высока.

В последнем разделе кратко описаны основные практические итоги и направления перспективных научных исследований по проблеме объективной оценки последствий аварии. Показано, что в настоящее время имеются надежные научные и практические методы и инструменты, позволяющие прогнозировать радиационную обстановку и оценивать радиологические последствия для здоровья населения. Созданы и функционируют Российский государственный медико-дозиметрический регистр, в котором наблюдается более 550 тысяч человек, а также специализированные медицинские центры. Создана и существует система радиационного мониторинга, которая фиксирует стабильность радиационной обстановки в целом по стране и её улучшение на загрязненных территориях.

Тем не менее, объективные данные и оценки последствий аварии еще не нашли понимания у общества в целом. В средствах массовой информации зачастую превалирует недостоверная информация о тысячах и сотнях тысяч пострадавших от радиационного воздействия. В этой связи чрезвычайно важной оказывается задача популяризации результатов научных исследований.

Накопленный опыт показывает, что требуется оптимизация государственной стратегии преодоления последствий аварии с учетом накопленного опыта и положения дел на сегодняшний день. В завершении доклада приводятся важнейшие направления дальнейших работ по минимизации последствий аварии.

Авария на ЧАЭС, при всей разноплановости своих последствий, сыграла, как это нередко бывает в истории развития науки и техники, большую позитивную роль в осознании необходимости повышения надежности функционирования всех радиационно опасных технологий, разработки дополнительных законодательных документов по защите и реабилитации лиц, подвергшихся радиационному воздействию не только после аварии на ЧАЭС, но и при других радиационных инцидентах.

## 1. МЕДИЦИНСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ АВАРИИ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ

Здоровье ликвидаторов и населения, проживающего на загрязненных территориях, является наиболее социально-значимой проблемой, решаемой в ходе преодоления последствий аварии на ЧАЭС. В этой связи уместно напомнить, что в анализе медицинских последствий чернобыльской катастрофы, равно как и других техногенных аварий и катастроф, принято выделять две компоненты. Первая — прямое воздействие на здоровье поражающего фактора. В нашем случае это радиационное воздействие. Вторая компонента обусловлена иными факторами, сопровождающими крупные катастрофы, такими, например, как неизбежный стресс.

На протяжении всех пятнадцати лет основное внимание уделялось собственно радиологическим последствиям. Система радиационной защиты основывалась на выполнении двух условий: безусловном предотвращении острых (детерминированных) эффектов и снижении уровня риска отдаленных (стохастических) эффектов до приемлемого (оправданного) уровня.

Детерминированные эффекты возникают при относительно больших дозах (более 0,5 Гр) за короткий промежуток времени и характеризуются наличием порога радиационного воздействия, ниже которого эффект не наблюдается. Например, легкая форма лучевой болезни наступает при дозе более 1,0 Гр, а тяжелая — 4,5 Гр.

Стохастические эффекты — это раковые заболевания различной этиологии и генетические нарушения у потомства. Они проявляются спустя годы после облучения с различной степенью вероятности в зависимости от полученной дозы. Официально принято, что стохастические эффекты не имеют дозового порога и возможная частота эффектов прямо пропорциональна дозе. Данная беспороговая концепция не имеет прямых доказательств, поскольку основывается на результатах экстраполяции из области относительно высоких доз. Тем не менее, она является основой всех нормативных документов, обеспечивая дополнительный запас "прочности" в области радиационной защиты.

В нормативных документах доаварийного периода в качестве предельно-допустимых доз облучения определялись следующие базовые величины:

- доза однократного планируемого аварийного облучения персонала — 250 мЗв (1983 г.);
- доза облучения населения требующая эвакуации — 250 мЗв (эвакуация целесообразна) и 750 мЗв (эвакуация обязательна);



- доза облучения щитовидной железы детей — 30 рад (0,3 Гр).

Указанные нормативные величины были взяты за основу при организации работ по обеспечению защиты населения и участников работ по ликвидации последствий аварии: для ликвидаторов был установлен предел дозы за все время работ в 250 мЗв. Для населения были приняты следующие пределы доз облучения: 100 мЗв за первый год после аварии, 30 мЗв — во второй и 25 мЗв — в третий.

Дозы облучения населения и ликвидаторов не превышали предельно допустимых в подавляющем большинстве случаев. К сожалению, этого не произошло в отношении предупреждения облучения щитовидной железы. Этих последствий тоже можно было бы избежать или, по крайней мере, существенно уменьшить, однако наиболее эффективное мероприятие — йодная профилактика — либо не проводилось совсем, либо было начато с большим запозданием. Не удалось также в полной мере обеспечить выполнение рекомендаций по исключению потребления молока в первые недели после аварии в наиболее неблагополучных по йоду-131 районах. Защитные меры были предприняты с опозданием — только 6 мая 1986 года были приняты временные допустимые уровни (ВДУ) содержания радионуклидов в пищевых продуктах.

В дальнейшем нормативы пересматривались несколько раз в сторону ужесточения, а принятые в 1991 году ВДУ по долгоживущим радионуклидам были в 3-5 раз более жесткими, чем Международные рекомендации по аварийным уровням и нормативы ЕС. В начале 1991 года была принята "Концепция проживания населения в районах, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС", которая установила новый уровень вмешательства — дополнительное облучение в дозе 1 мЗв/год.

Перечисленные меры позволили заметно снизить уровни облучения населения и, по сути, исключить радиационные последствия, кроме случаев рака щитовидной железы у детей, обусловленных радиационным воздействием в первые месяцы после аварии.

Уже в 1986 году было принято решение о создании единой системы медицинского наблюдения за лицами, подвергшимися облучению в результате аварии на ЧАЭС. Прогнозы радиологических последствий аварии, выполненные в 1988 году, показывали, что выявить большую часть отдаленных эффектов действия радиации, таких как лейкозы и солидные раки, среди населения будет довольно сложно. Количество ожидаемых эффектов было слишком мало в сравнении с региональными отличиями и временными изменениями фоновых показателей. Исключение составляли злокачественные новообразования щитовидной железы. Прогноз был достаточно неблагоприятным — частота новообразований щитовидной железы могла

увеличиться среди критической группы в несколько раз, а критической группой явились дети самых младших (по состоянию на 1986 год) возрастов. Прогнозы по ликвидаторам также позволяли предположить, что отдаленные эффекты действия радиации могут проявиться. По этим причинам работы по созданию всеобъемлющего регистра, охватывавшего участников работ в зоне ЧАЭС, эвакуированных, переселенных и населения, проживающего на загрязненных территориях, были продолжены.

В Российской Федерации специализированное медицинское наблюдение осуществляется в рамках Российского медико-дозиметрического регистра (РГМДР). В банке данных Регистра в настоящее время находится информация на 550 076 человек, в том числе 179 923 — участники ликвидации чернобыльской катастрофы, проживающие во всех регионах Российской Федерации, 313 816 — граждане, проживающие (проживавшие) на наиболее загрязненных радионуклидами (более 5 Ки/км<sup>2</sup>) территориях Брянской, Калужской, Тульской и Орловской областей. Ежегодный сбор индивидуальных медицинских и дозиметрических данных осуществляется через 15 региональных центров и 5 ведомственных регистров: Минатома России, Минобороны России, МВД России, МПС России и ФСБ России.

Накопленные в Регистре данные позволяют решать две важные задачи. Первая, практическая, заключается в отслеживании динамики состояния здоровья ликвидаторов и населения для своевременного принятия лечебно-оздоровительных мер и разработки долгосрочных программ медицинской реабилитации. Эти же материалы являются основой для разработки нормативных правовых актов по социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации после аварии на ЧАЭС.

Вторая задача заключается в изучении зависимости частоты отдаленных стохастических последствий — лейкозов, солидных раков и раков щитовидной железы — от уровней воздействия радиации. Стохастические эффекты носят неспецифический характер, то есть они практически неотличимы от аналогичных эффектов, обусловленных факторами нерадиационной природы. В связи с этим в эпидемиологических исследованиях радиационных эффектов в области малых доз принципиально важно выявить статистически достоверное отличие радиологических последствий от спонтанных, аналогичных по своему характеру. Статистически достоверные риски для лейкемии и солидных опухолей, установленные у людей, переживших атомные бомбардировки Хиросимы и Нагасаки, обнаружены только с уровня доз выше 60 мЗв. Эти исследования являются основной базой современных оценок

коэффициентов радиационного риска и прогнозных оценок ожидаемого риска. По этой причине результаты, полученные в рамках РГМДР, имеют принципиальное значение для науки. Они подтвердили тот факт, что использование коэффициентов риска, полученных на японской когорте, позволяет надежно и с запасом прогнозировать радиологические эффекты.

### 1.1. Участники работ в зоне ЧАЭС

Непосредственно сразу после аварии острому радиационному воздействию подверглось свыше 300 человек из персонала станции и пожарных. Из них 237 пострадавшим на основе первоначальных клинических показаний был поставлен диагноз острой лучевой болезни, а окончательный диагноз лучевой болезни был подтвержден у 134 человек. Несмотря на то, что большинство пострадавших было экстренно перевезено в 6-ю клиническую больницу в Москве, имевшую специализированный отдел института биофизики, наиболее тяжело пострадавших, а это 28 человек, спасти не удалось. В последующие годы от лучевой болезни умерли еще 13 человек. Три человека погибли во время аварии от иных причин. Большинство лиц, перенесших острую лучевую болезнь, наблюдаются врачами до настоящего времени.

Буквально сразу после аварии к работам в зоне ЧАЭС были привлечены большие контингенты людей. Всего в 1986 году в работах в зоне ЧАЭС приняло участие около 120 тыс. человек. На некоторых объектах, таких как "Укрытие", в отдельные периоды работа велась в три смены с количеством работающих в смене до 10 тыс. человек. Полноценный дозиметрический контроль участников работ в зоне ЧАЭС удалось наладить только через несколько месяцев после аварии. Однако, в последующем был проведен большой объем работ по реконструкции полученных доз, результаты которой приведены в табл. 1.

К сожалению, значительная часть дозовых нагрузок формировалась не только при выполнении безусловно необходимых с точки зрения минимизации последствий аварии работ, но и при проведении неоправданных операций, таких как, например, полная дезактивация г. Припять. Несмотря на принимаемые меры по ограничению облучения участников работ, часть из них подверглась облучению в дозах порядка предельно допустимой - 250 мЗв, хотя средние дозы по всему контингенту ликвидаторов 1986 года оцениваются значительно ниже.

К настоящему времени, в результате почти пятнадцатилетнего наблюдения за когортой ликвидаторов можно констатировать следующее:

Таблица 1.

**Средние индивидуальные и коллективные дозы по различным контингентам свидетелей и участников ЛПА на ЧАЭС в 1986 г.**

Контингент	Общая численность, чел.	Объем выборки, чел.	Количество лиц с определенной дозой, %	Средняя доза, Гр	Коллективная доза, чел.-Гр
Пациенты 6-й клинической больницы	133	133	100	3,4	450
Остальные свидетели аварии (ОРВД ЧАЭС)	658	658	100	0,56	370
Персонал ЧАЭС	2 358	2 358	100	0,087	210
УС-605*	21 500	8 750	41	0,082	1 760
ПО "Комбинат"***	31 021	26 296	-	0,0065	200
Военные	61 762	61 762	-	0,11	6 800
<b>Все контингенты</b>	<b>117 432</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0,083</b>	<b>9 800</b>

\* УС-605 - специализированное строительное предприятие Минсредмаша СССР, осуществлявшее сооружение саркофага,

\*\* ПО "Комбинат" - предприятие Минсредмаша СССР, осуществлявшего координацию и проведение работ по обеспечению радиационной безопасности в 30-километровой зоне.

**Онкологические заболевания ликвидаторов.** Установлена повышенная заболеваемость лейкозами среди ликвидаторов. Среди ликвидаторов выявлено 145 лейкозов, из которых 50 обусловлены радиационным фактором.

Анализ заболеваемости лейкозами среди ликвидаторов за прошедшие годы позволил сделать ряд очень важных выводов.

- Во-первых, в течение 2,5-3 лет после Чернобыля не наблюдалось увеличения заболеваемости ликвидаторов лейкозами. Регистрировалось около 5-7 заболевших на 100 тыс. человек в год, что соответствует данным статистической отчетности по онкозаболеваемости стандартизованного по возрасту мужского населения страны.
- Во-вторых, в течение 1992-1995 годов, т. е. после окончания латентного (скрытого) периода в индукции радиогенных лейкозов, было зарегистрировано примерно двойное увеличение частоты заболеваемости ликвидаторов лейкозами над ожидаемым (спонтанным) уровнем. Важно отметить, что пик заболеваемости

лейкозами среди ликвидаторов в 1992-1995 годах был зафиксирован также национальными чернобыльскими регистрами Белоруссии и Украины.

- В-третьих, в последние годы наблюдения (1996-2000 годы) частота вновь выявленной заболеваемости лейкозами среди ликвидаторов постоянно уменьшается и приближается к ожидаемому (спонтанному) уровню.

Таким образом, можно сделать основной вывод — прогноз радиационно обусловленной заболеваемости лейкозами среди ликвидаторов в достаточной степени подтверждается фактическими данными Регистра, впервые выявлена дозовая зависимость радиационной индукции лейкозов для диапазона так называемых малых (порядка 100 мЗв) доз облучения.

Кроме того, у ликвидаторов выявлено незначительное повышение заболеваемости раком щитовидной железы. Из 55 выявленных случаев 12 отнесены к воздействию радиационного фактора.

На основе прямых эпидемиологических методов не удалось однозначно доказать превышение частоты заболеваемости ликвидаторов другими видами онкологических заболеваний, так называемыми солидными раками, над спонтанным уровнем. Эта ситуация была ожидаемой. Во-первых, согласно прогнозу, рост заболеваемости ожидался только в пределах 3-4% (эта величина близка к обычному статистическому разбросу в эпидемиологических исследованиях); во-вторых, латентный (скрытый) период в индукции солидных раков составляет около 10 лет с момента радиационного воздействия.

**Инвалидизация ликвидаторов.** За последние годы в системе Регистра зафиксирован серьезный рост инвалидизации среди ликвидаторов: за период с 1991 по 1994 годы в 6,6 раза, с 1994 по 1997 годы — в 1,6 раза. Основной причиной инвалидности являются болезни нервной системы, системы кровообращения и психические расстройства. В настоящее время 27% ликвидаторов имеют инвалидность. Это очень высокий процент, если учесть, что средний возраст ликвидаторов составляет 48-49 лет. Вместе с тем, выявлено отсутствие дозовой зависимости инвалидизации ликвидаторов, что по существу означает первостепенную роль социального фактора в динамике их инвалидизации (рис. 1).

**Смертность среди ликвидаторов.** За эти годы ушли из жизни более десяти тысяч ликвидаторов, проживающих в России. В то же время демографическая ситуация в России стала весьма тревожной, смертность мужского населения в возрастной группе 40-50 лет (к этой возрастной группе относится большинство ликвидаторов) выросла почти на 70%. В этих условиях показатель

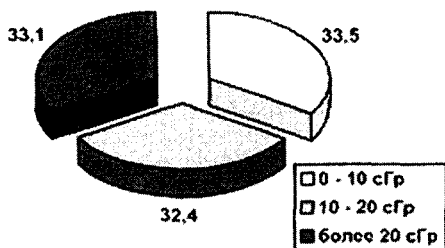


Рис. 1. Инвалидизация ликвидаторов

смертности ликвидаторов от всех причин, включая онкологические заболевания, не превышает аналогичного показателя для мужского населения страны.

## 1.2. Радиологические последствия для населения

Для анализа радиологических последствий аварии принципиально важны два момента:

1. В первые месяцы после аварии значительные территории оказались загрязнены радионуклидами йода, которые эффективно поглощаются щитовидной железой, создавая тем самым повышенные дозы. Как уже отмечалось, йодная профилактика была проведена с запозданием, а в ряде районов не проводилась вообще. В связи с этим последствия облучения щитовидной железы, особенно у детей, явились предметом наиболее тщательных и масштабных исследований.

2. В результате аварии достаточно обширные территории оказались загрязненными радиоактивными веществами, в том числе долгоживущими радионуклидами цезия. Сложились условия для так называемого хронического облучения. И хотя в целом дозы дополнительного облучения невелики по сравнению с вариабельностью естественного фона (в отдельных регионах он значительно превышает максимальную чернобыльскую добавку) задача регулярного наблюдения за состоянием здоровья была признана актуальной.

В целом подтвердился неблагоприятный прогноз по раку щитовидной железы. Среди детей (на момент аварии на ЧАЭС) Брянской области выявлено 170 раков щитовидной железы, из которых около 55 с высокой вероятностью обусловлено радиационным воздействием от инкорпорированного  $^{131}\text{I}$ . В ряде других регионов, где также было отмечено повышение заболеваемости раками щитовидной железы, зависимость частоты заболеваемости от дозы не

установлена. То есть основания для отнесения выявленных эффектов к радиационно-индуцированным отсутствуют. В этом случае могли проявиться эффекты скрининга, то есть резкое повышение показателя заболеваемости за счет улучшения диагностики и, как следствие, повышенной выявляемости спонтанных эффектов. Возможно также проявление зубной эндемии и т.д. Но, в любом случае, выявленные факты повышения заболеваемости являются прямым ориентиром для действий практического здравоохранения.

Заболеваемость лейкозами следует рассматривать как "индикатор" роли радиационного фактора. Сравнение показателя заболеваемости лейкозами среди жителей 7 наиболее загрязненных районов Брянской области и населения страны в целом не выявило их значимого отличия, т.е. о радиационном риске в индукции гематологических заболеваний говорить нельзя.

Рост заболеваемости населения солидными раками, обусловленный радиационным воздействием, к настоящему времени также не установлен.

### 1.3. Общая оценка состояния здоровья населения, затронутого аварией

Как уже отмечалось, медицинские последствия аварии не исчерпываются чисто радиологическими. Они намного разнообразнее и сложнее. Многолетний стресс, которому оказались подвержены и население, и ликвидаторы, частые самоограничения в потреблении ценных продуктов питания, обусловленные боязнью употребления радионуклидов, заметно более низкий, чем на незагрязненных территориях, уровень жизни вместе с повышенным вниманием медиков привели к тому, что многие показатели заболеваемости и здоровья населения и ликвидаторов ухудшились.

Например, общая заболеваемость взрослого населения, проживающего на загрязненных территориях, достоверно превышает средние по стране показатели, при том что структура заболеваемости и темпы ее роста аналогичны. Преобладают болезни органов дыхания — 20,1%, системы кровообращения — 12,1%, органов чувств — 11,0%.

Весьма тревожна и статистика самоубийств среди ликвидаторов, которая заметно выше, чем в среднем по стране.

В связи с этим приоритетное развитие системы практического здравоохранения на затронутых аварией территориях и медицинское обеспечение ликвидаторов остаются долгосрочной задачей государства. Еще более актуальной задачей является оказание

высококвалифицированной медицинской помощи критическим группам — детям (на момент аварии) с выявленными патологиями щитовидной железы и ликвидаторам с выявленными онкологическими заболеваниями.

## 2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ АВАРИИ

В экологических последствиях аварии следует выделить три ключевых аспекта:

- собственно поступление в окружающую среду большого количества радиоактивных веществ, их рассеяние в атмосфере, формирование загрязнения территорий и последующая миграция в экосистемах;
- радиационное воздействие на объекты живой природы и отдельные компоненты экосистем;
- изменение антропогенных нагрузок на объекты живой природы вследствие прекращения хозяйственной деятельности или реализации защитных мер.

### 2.1. Радиоактивное загрязнение окружающей природной среды

Первоначальный выброс в виде сильно перегретого облака, насыщенного радиоактивными веществами, поднялся на высоту в несколько километров и, захваченный атмосферными потоками в этих слоях, распространялся с выпадением радиоактивных веществ, ассоциированных в значительной степени в топливной матрице — "горячие частицы" — в западном направлении, формируя "западный след". В последующие 10 суток радиоактивные вещества выбрасывались в основном в виде паров на высоту до 1 200 м и под воздействием воздушных течений распространялись в атмосфере. Их конденсация стала причиной радиоактивного загрязнения обширных территорий северного полушария. Следует отметить, что в результате испытаний ядерного оружия в 60-х годах в атмосфере северного полушария и на поверхности земли уже присутствовали значительно большие количества радиоактивных веществ, приведших к так называемому глобальному фоновому загрязнению. К 1986 году общая активность цезия-137 и стронция-90, находившаяся на территории Северного полушария, составила десятки МКи. К моменту аварии на ЧАЭС поведение этих радионуклидов в окружающей природной среде было достаточно хорошо изучено.

Около половины инжестрированной в окружающую среду активности приходилось на долю инертных радиоактивных благородных



газов, которые не представляли радиоэкологической опасности в сравнении с другими радионуклидами. В отличие от глобальных выпадений, чернобыльские выпадения характеризовались чрезвычайно высокими локальными уровнями. Неравномерный характер выбросов радионуклидов из разрушенного реактора, сложная траектория движения воздушных масс, различия в выпадении атмосферных осадков, ландшафтных и микроклиматических условий привели к формированию чрезвычайно пятнистого загрязнения территорий. Наиболее загрязненными, как по масштабу, так и по уровням загрязнения оказались, естественно, ближайшие к ЧАЭС регионы Украины, Белоруссии и России.

В условиях продолжавшегося выброса радиоактивных веществ долгосрочное прогнозирование радиационной обстановки было затруднено. Многие решения принимались на основе оперативных данных. К 10 мая 1986 года, через несколько дней после прекращения интенсивных выбросов, были подготовлены карты радиоактивного загрязнения, позволившие планировать защитные меры на наиболее загрязненных территориях. В последующем работы по радиационному мониторингу были значительно расширены как по географии, так и по глубине исследований (содержание отдельных радионуклидов в почве, поверхностных водах и объектах живой природы, миграционные характеристики и т. д.). Всего в России обследовано более 6 млн км<sup>2</sup> территории. На основе аэрогамма съемки и наземных обследований были созданы и изданы карты загрязнения Европейской части России <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr и <sup>239</sup>Pu. Радиоактивные загрязнения чернобыльского происхождения с уровнями загрязнения более 37 кБк/м<sup>2</sup> (1 Ки/км<sup>2</sup> по <sup>137</sup>Cs) были обнаружены на территории 19 областей России, а общая их площадь по <sup>137</sup>Cs составила 59,3 тыс. км<sup>2</sup>. Наиболее загрязненными в России являются Брянская (11 800 км<sup>2</sup> загрязненных территорий), Калужская (4 900 км<sup>2</sup>), Тульская (11 600 км<sup>2</sup>) и Орловская (8 900 км<sup>2</sup>) области. Территории с плотностью загрязнения более 555 кБк/м<sup>2</sup> (15 Ки/км<sup>2</sup>) по <sup>137</sup>Cs имеются только в Брянской области.

В 1997 году завершился многолетний проект Европейского сообщества по созданию атласа загрязнения территории Европы радиоактивным цезием. Более 200 тыс. км<sup>2</sup> территории 17 стран Европы оказались загрязненными цезием с плотностью загрязнения свыше 37 кБк/м<sup>2</sup> (табл. 2).

На ранних стадиях аварии наибольшей радиобиологической значимостью обладали короткоживущие радионуклиды, в первую очередь радионуклиды йода. Спустя 3-4 месяца радиационная обстановка (мощность дозы на местности) уже практически полностью определяется радионуклидами цезия. Вклад <sup>90</sup>Sr, <sup>239,240</sup>Pu и

Таблица 2

**Суммарное загрязнение европейских стран  $^{137}\text{Cs}$   
от чернобыльской аварии**

Страна	Площадь, $10^3 \text{ км}^2$		чернобыльские выпадения		
	страны	территории с загрязнением свыше $1 \text{ Ки/км}^2$	ПБк	кКи	% от суммарных выпадений в Европе
Австрия	84	11,08	1,6	42,0	2,4
Бельгия	210	43,50	15,0	400,0	23,4
Великобритания	240	0,16	0,53	14,0	0,83
Германия	350	0,32	1,2	32,0	1,8
Греция	130	1,24	0,69	19,0	1,1
Италия	280	1,35	0,57	15,0	0,9
Норвегия	320	7,18	2,0	53,0	3,1
Польша	310	0,52	0,4	11,0	0,63
Румыния	240	1,20	1,5	41,0	2,4
Словакия	49	0,02	0,18	4,7	0,28
Словения	20	0,61	0,33	8,9	0,52
Финляндия	340	19,00	3,1	83,0	4,8
Чехия	79	0,21	0,34	9,3	0,54
Швейцария	41	0,73	0,27	7,3	0,43
Швеция	450	23,44	2,9	79,0	4,6
<b>Европа в целом</b>	<b>9 700</b>	<b>207,5</b>	<b>64,0</b>	<b>1700,0</b>	<b>100,0</b>
<b>Весь мир</b>			<b>77,0</b>	<b>2100,0</b>	

$^{241}\text{Am}$  в дозу облучения населения (за исключением территорий зон отчуждения) весьма мал, и они могут представлять интерес только как объекты радиоэкологических исследований.

Проводимый радиоэкологический мониторинг четко показывает, что изменение радиационной обстановки на загрязненных территориях происходит под влиянием следующих основных факторов:

- естественного распада радионуклидов;
- заглупления радионуклидов под действием природно-климатических процессов;
- фиксации радионуклидов в геохимических и почвенных структурах;
- перераспределения радионуклидов в почвенном слое за счет антропогенного воздействия.

В первые годы чрезвычайно важное значение придавалось опасности смыва радиоактивных веществ с загрязненных территорий в водоемы. Действительно, во время паводков наблюдается повышение содержание радионуклидов в воде, хотя смыв с территории

водосборов даже в 1987 году не превысил 1% от общего запаса активности. Горизонтальная миграция радионуклидов также весьма мала — в большинстве случаев она не приводит к измеряемому переносу радионуклидов между ландшафтными комплексами. Темпы снижения уровней радиоактивного загрязнения почв в настоящее время стабилизировались и составляют около 3% в год.

Масштабными радиоэкологическими исследованиями установлены основные закономерности поведения радионуклидов в наземных и водных экосистемах. В связи с огромной практической значимостью особое внимание уделялось поведению радионуклидов в агроэкосистемах. Биологическая доступность радиоцезия сильно зависит от свойств почв. В загрязненных районах Брянской области она уменьшилась за первые 5 лет после аварии на 87-97% (30-36% за счет естественных биогеохимических процессов и на 57-61% за счет проведенных защитных мер). В последующий период темпы снижения доступности цезия уменьшились и в настоящее время не превышают 4-6% в год.

Второй крупной проблемой, также имевшей важное практическое значение, стало радиоактивное загрязнение лесных экосистем. Лесные экосистемы являются биогеохимическими барьерами на путях ветровой и водной миграции радионуклидов. Изменение радиационной обстановки в лесах определяется природными биогеохимическими процессами, оказывающими влияние на распределение и миграцию долгоживущих радионуклидов среди компонентов лесных экосистем. Их направленность и интенсивность зависят от типа экосистем, типа почвы, физико-химической формы выпавших радионуклидов и времени их нахождения в почве. Незначительные темпы выноса радионуклидов из лесных насаждений на прилегающие территории приводят к выводу о том, что ведущим фактором снижения уровня радиоактивного загрязнения лесов в целом является радиоактивный распад.

Загрязнение воды и донных отложений практически во всех реках и водоемах России не представляет опасности для водопользования. Исключение составляет несколько озер на юго-западе Брянской области, в том числе озеро Кожановское (запасы цезия около 200 Ки при площади зеркала 6,5 км<sup>2</sup>). В целом происходит интенсивный процесс самоочищения поверхностных вод и донных отложений. Темпы снижения загрязнения гидробионтов варьируются в широком диапазоне (для замкнутых водоемов они намного ниже, чем в реках). В этой связи в ряде озер Брянской области содержание цезия-137 в образцах рыбы многократно превосходит допустимые уровни.

До настоящего времени в отдельных объектах флоры и фауны (дикие животные, хищные рыбы и т.д.) происходит значимое с

точки зрения гигиенических нормативов накопление радионуклидов, которое, тем не менее, не несет серьезной угрозы для их существования.

## 2.2. Радиоэкологические последствия аварии

При оценке радиоэкологических последствий важно учитывать, что концепция обеспечения радиоэкологической безопасности биоты предусматривает (Публикация 60 МКРЗ, пункт 16) положение, согласно которому, если радиологическими стандартами защищен человек, то защищена и биота в целом. Поэтому на всех территориях, где проживает население, нет оснований для серьезного беспокойства о будущем объектов живой природы. Иной была ситуация в районе аварийной АЭС.

Острое радиационное воздействие на объекты флоры и фауны произошло, главным образом, в первый год после аварии. На некоторых участках ближней зоны ЧАЭС, где дозы за первый месяц могли достигать десятков Гр для гамма- и сотен Гр для бета-облучения, наблюдалась гибель объектов живой природы. Произошло резкое обеднение видового состава сообществ и существенное снижение численности некоторых популяций на участках вблизи аварийного блока. Это в первую очередь относилось к наиболее распространенным представителям животного мира — мышевидным грызунам и почвенной фауне. Через два года после аварии численность популяций грызунов и почвенной фауны восстановилась, но нарушения видового состава сообществ прослеживались еще несколько лет. Вместе с тем, признаки радиационного повреждения (цитогенетические нарушения) у животных наблюдались на больших территориях. При анализе радиоэкологических последствий следует учитывать, что при переходе от молекулярного и клеточного уровня оценки воздействия радиации к популяционному и биогеоценотическому усиливается роль механизмов восстановления. И на организменном, и на экосистемном уровнях рассмотрения радиационные эффекты наблюдались лишь в ближней зоне аварии при больших мощностях и кумулятивных дозах.

Наиболее высокие уровни облучения — свыше 100 Гр — имели место на лесном участке соснового древостоя, расположенном в 2 км к западу от ЧАЭС. Хвойный лес — одна из наиболее чувствительных природных экологических систем. Это обстоятельство в сочетании с высокими дозами привело к полной гибели леса на этом участке площадью около 4 км<sup>2</sup> ("рыжий лес"). На других участках 30-км зоны, на расстояниях 3-10 км от 4-го блока, наблюдались зоны:

- **сильного (сублетального) поражения** (до 100 Гр), с частичной гибелью хвойных деревьев, повреждением хвои и почек, морфологическими изменениями лиственных пород на площади около 40 км<sup>2</sup>;
- **среднего поражения** хвойных лесов (до 50 Гр), характеризующаяся подавлением процессов роста, частичным опадом хвои, подавлением репродуктивной способности, генетическими нарушениями на площади 120 км<sup>2</sup>;
- **слабого воздействия** (до 10 Гр) с отдельными аномалиями в ростовых и репродуктивных процессах, морфологическими нарушениями.

Лиственные леса оказались более устойчивыми к радиационному воздействию. Радиационные повреждения лиственных пород деревьев проявились лишь в непосредственной близости от реактора и при дозах на порядок выше доз, поражающих хвойные деревья. Массового поражения лесов не произошло. За исключением "рыжего леса" лесные экосистемы вблизи ЧАЭС сохранили свою жизнеспособность. Уже через год после аварии в поврежденных лесах начались активные восстановительные процессы. Для лесных экосистем последствия аварии были в целом менее значительны в сравнении с негативными последствиями, которые приносят лесные пожары и вредители леса.

### 2.3. Экологические последствия аварии и защитных мер

На территории 30-км зоны в послеаварийный период наблюдался всплеск видового разнообразия и численности популяций высших животных и птиц, который однозначно увязывается со снижением антропогенного пресса. Эвакуация населения и домашних животных, прекращение обработки почвы, оставленный на корню урожай сельскохозяйственных культур в 1986 году значительно улучшили защитные и кормовые условия для растительноядных млекопитающих и птиц. К весне 1988 года численность кабана выросла в 8 раз по сравнению с 1986 годом. Это в свою очередь способствовало росту численности хищников. Выросла численность и других диких животных. Для основной массы диких животных угнетающего действия ионизирующего излучения на популяционном уровне не отмечено.

## 2.4. Современная радиационно-гигиеническая обстановка в Российской Федерации

В целом радиационная обстановка на территории Российской Федерации в последние годы остается стабильно нормальной, за исключением некоторых загрязненных районов. Мощность экспозиционной дозы (МЭД) гамма-излучения на местности колеблется в пределах 10-20 мкР/ч. Случаи превышения 20 мкР/ч носят единичный характер и относятся к 100-км зонам вокруг радиационно-опасных объектов (РОО). Территориальное распределение техногенного радиоактивного загрязнения почвы равномерно и стабильно: по цезию-137 примерно 2,2 кБк/м<sup>2</sup> и по стронцию-90 - 1,5 кБк/м<sup>2</sup>.

Среднегодовые концентрации в воздухе долгоживущих радионуклидов в последние 10 лет практически оставались на одном уровне -  $4,0 \cdot 10^{-7}$  Бк/м<sup>3</sup> цезия-137 и  $1,2 \cdot 10^{-7}$  Бк/м<sup>3</sup> стронция-90, что на несколько порядков ниже допустимых объемов активности для населения по НРБ-99. Выпадения цезия-137 из атмосферы за последние 10 лет уменьшились почти в 3 раза и составляли в 1999 г. 0,46 Бк/м<sup>2</sup> год, а стронция-90 — ниже предела обнаружения.

Радиоактивное загрязнение рек и озер обусловлено, главным образом, смывом радионуклидов с поверхности почвы территории водосбора, причем влияние смыва особо ощутимо в зонах, загрязненных после аварий на ЧАЭС и ПО "Маяк". Загрязненность речных вод России имеет тенденцию к снижению, в частности, за последние 10 лет на европейской территории России снижение составляет 30%, а на азиатской территории России — около 20%. В среднем для рек России концентрация стронция-90 составляет 6,2 мБк/л, что в 1000 раз ниже допустимой величины для питьевой воды (СанПиН). Концентрация цезия-137 даже в реках, протекающих по загрязненным после аварии на ЧАЭС районам, также почти в 1000 ниже допустимых для питьевой воды величин.

Содержание долгоживущих радионуклидов в морской воде за последнее десятилетие мало изменилось. Средние концентрации стронция-90 в поверхностных водах морей лежат в диапазоне от 1,6 мБк/л (Японское море) до 18,7 мБк/л (Азовское море).

Контроль содержания долгоживущих радионуклидов в пищевых продуктах свидетельствует о том, что превышение допустимых величин отмечается лишь в некоторых районах двух областей - Брянской и Калужской, загрязненных в результате Чернобыльской аварии. Из общего числа проб пищевых продуктов — 215 000, исследованных в России в 1999 году, гигиеническим нормативам не соответствовали 1,98% по цезию-137 и 0,05% по стронцию-90.

В завозных продуктах на территории других субъектов Российской Федерации случаи превышения гигиенических нормативов отмечались в чае, лекарственных травах, лесных ягодах и грибах.

Во исполнение Федерального закона "О радиационной безопасности населения" для оценки воздействия радиационного фактора на население России проводится работа по радиационно-гигиенической паспортизации организаций и территорий страны. По состоянию на 1 июня 2000 года радиационно-гигиенические паспорта территорий представили 79 субъектов Российской Федерации из 89. Анализ радиационно-гигиенических паспортов территорий свидетельствует, что наибольший вклад в облучение населения вносят природные источники излучения — в среднем до 69% суммарной дозы и медицинские источники — 30%. Вклад техногенных источников — глобальные выпадения, аварийные ситуации и др. составляет лишь 1%. Однако в ряде субъектов Российской Федерации, затронутых аварией на ЧАЭС, доля техногенных источников заметно выше, например, в Брянской области до 12%, а в Калужской — до 10%.

### **3. РЕТРОСПЕКТИВА ЗАЩИТНЫХ И РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ МЕР**

#### **3.1. Стратегия реализации защитных мер**

**1986-1988 гг.** Стратегическая цель защитных мероприятий на первом этапе заключалась в предотвращении негативных эффектов прямого воздействия радиации на здоровье человека. Основные мероприятия на начальном этапе проводились в так называемой зоне жесткого контроля, ограниченной изолинией в 15 Ки/км<sup>2</sup> (около 270 тыс. жителей во всех трех странах). Граничные значения были обоснованы принятыми аварийными значениями пределов доз облучения населения: 100 мЗв в первый год, 30 мЗв — во второй и 25 мЗв — в третий. Введение аварийных пределов доз и применение различных ограничительных мер диктовались необходимостью предотвращения относительно высоких доз облучения населения. Противоаварийные мероприятия в эти годы заключались в проведении дезактивационных работ, введении различного рода ограничений, переселении жителей из наиболее загрязненных районов, осуществлении защитных агротехнических мероприятий. По мере уточнения радиационной обстановки расширялась зона проведения работ, уточнялся и совершенствовался характер мероприятий. Проведенные защитные мероприятия позволили существенно

снизить дозы облучения населения, однако нарушили его привычный жизненный уклад.

**1989-1990 гг.** При переходе к восстановительной фазе ликвидации последствий аварии была предпринята попытка принципиального пересмотра подходов к ограничению облучения населения с целью снижения негативных последствий ограничительных мер, которые, порой, превышали эффекты прямого радиационного воздействия. С этой целью была обоснована концепция предела дозы за жизнь (70 лет) в 350 мЗв вместо традиционных пределов годовой дозы. Смысл концепции заключался в том, что поскольку при существующих уровнях облучения населения возможными последствиями являются лишь стохастические эффекты, пропорциональные суммарной дозе, то допускаемое по концепции, несколько повышенное (в пределах разумно приемлемого) облучение в первые годы не скажется на общем радиационном риске при условии соблюдения предела дозы за жизнь. Однако концепция не нашла поддержки в обществе в условиях общей накаленной социально-политической обстановки в стране. Верховный Совет СССР не убедило и заключение независимых зарубежных экспертов, подтвердивших перспективность такого подхода и даже некоторую избыточность дозового предела, и концепция была им отвергнута. Дальнейшее развитие событий, особенно в социально-экономической сфере, подтвердило все худшие опасения специалистов, связанные с отказом от предлагавшейся концепции.

**1991-2000 гг.** В начале 1991 года была принята концепция проживания на загрязненных территориях, которая установила новый уровень вмешательства — дополнительное облучение в дозе свыше 1 мЗв/год. Дозовый критерий предлагался в качестве единственного обобщающего показателя, определяющего уровень радиационного риска и, соответственно, необходимость проведения тех или иных мероприятий, характер и объем социально-экономической помощи. Он же предполагался в качестве основы для зонирования загрязненных территорий. Однако под сильным политическим давлением в основу зонирования был внесен еще один показатель — плотность загрязнения почвы цезием-137, причем нижняя граница зон радиоактивного загрязнения была установлена на уровне 1 Ки/км<sup>2</sup>. Нестыковка двух критериев была очевидной. Во многих случаях дополнительные уровни облучения населения в зоне с плотностью загрязнения выше 1 Ки/км<sup>2</sup> составляли всего лишь доли мЗв/год. Тем не менее, в принятом в 1991 году Законе Российской Федерации "О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС" зонирование территорий было осуществлено



по степени их радиоактивного загрязнения. Защита населения и реабилитация территорий реализуется дифференцировано по зонам радиоактивного загрязнения. Несмотря на то, что Российской научной комиссией по радиационной защите в 1995 году принята "Концепция радиационной, медицинской, социальной защиты и реабилитации населения Российской Федерации, подвергшегося аварийному облучению" (так называемая "дозовая концепция"), пересмотра критериев отнесения территорий к зонам радиоактивного загрязнения не произошло до настоящего времени.

Современное состояние зонирования определяется постановлением Правительства Российской Федерации от 18 декабря 1997 года № 1582 "Об утверждении перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на ЧАЭС", которое вступило в силу 1 февраля 1998 года. Согласно данному постановлению по сравнению с предыдущим, более обширным перечнем населенных пунктов, подвергшихся радиоактивному загрязнению, по формальному критерию плотности загрязнения почвы цезием было исключено несколько сотен населенных пунктов (табл. 3).

Опыт первых лет показал, что эффективные меры по смягчению последствий аварии могут быть реализованы только при взаимодействии на государственном уровне всего комплекса инвестиционных, экологических, медицинских, экономических и других проблем регионов. Первым шагом в этом направлении была принята в 1988 году программа работ по Брянской области. В связи с комплексным характером проблем, стоящих перед радиоактивно загрязненными территориями, в апреле 1990 года Верховный Совет СССР утвердил Государственную союзно-республиканскую программу неотложных мер на 1990-1992 годы. Закон о социальной защите граждан, принятый в 1991 году, потребовал переработки Государственной программы 1990 года, и с 1992 по 1995 годы работы проводились в соответствии с "Единой государственной программой по защите населения Российской Федерации от воздействия последствий Чернобыльской катастрофы на 1992-1995 годы и на период до 2000 года".

В 1996-1997 годах работы проводились в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 06.03.96 № 257 "О неотложных мероприятиях по защите населения Российской Федерации от воздействия последствий чернобыльской катастрофы на 1996-1997 годы".

В настоящее время комплекс защитных мероприятий реализуется в соответствии с Федеральной целевой программой по защите населения Российской Федерации от воздействия последствий чер-

Таблица 3.

**Зонирование территории России, подвергшейся загрязнению  
вследствие аварии на Чернобыльской АЭС (по состоянию на  
01.01.1999 г.)**

Область	Зона проживания с льготным социально-экономическим статусом		Зона проживания с правом на отселение		Зона отселения	
	Насел. пунктов	Кол-во жителей, тыс. чел.	Насел. Пунктов	Кол-во жителей, тыс. чел.	Насел. Пунктов	Кол-во жителей, тыс. чел.
Брянская	539	172	237	133	194	78,6
Калужская	284	88	68	4,4		
Орловская	885	142	15	0,5		
Тульская	1184	719	121	31,9		
Белгородская	79	74				
Воронежская	79	33				
Курская	168	119				
Ленинградская	29	8,4				
Липецкая	75	36				
Республика Мордовия	16	11				
Пензенская	33	10				
Рязанская	320	123				
Тамбовская	7	2				
Ульяновская	5	2,8				

нобыльской катастрофы на период до 2000 года (утверждена постановлением Правительства РФ от 28.08.97 № 1112; постановлением Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2000 года №1034 срок действия программы продлен на 2001 год).

### 3.2. Санитарно-гигиенические мероприятия

Комплекс санитарно-гигиенических мероприятий включал в себя, прежде всего, рекомендации по ограничению внутреннего облучения, формирующегося за счет поступления радионуклидов с пищевыми продуктами, водой и воздухом, что потребовало разработки временных допустимых уровней содержания радионуклидов —  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}, ^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  — в продуктах питания, а в ряде случаев и ограничений структуры рациона. Кроме того, необходимы были обоснованные решения по снижению внешнего облучения вплоть до столь кардинальных, как отселение и прекращение хозяйственной деятельности.

На начальном этапе работ важным было избежать острых радиационных поражений у населения. В соответствии с этим критерием было рекомендовано переселение населения с наиболее загрязненных территорий, но на территории России по этому критерию переселение не проводилось. Лишь осенью 1986 года были переселены жители четырех населенных пунктов. Масштабное переселение жителей Брянской области стало осуществляться с 1990 года согласно прогнозу превышения пожизненной дозы, а в последующем эта мера проводилась по отношению к жителям зоны отселения. Для ее части было введено понятие зоны обязательного отселения. Кроме того было предоставлено право добровольного выезда жителям зоны проживания с правом на отселение (загрязнение  $^{137}\text{Cs}$  выше  $5 \text{ Ки/км}^2$ ). В результате реализации этих мер за годы после аварии из загрязненных территорий было переселено или выехало добровольно около 50 тысяч человек (рис. 2). Часть жителей отказалась от переселения.

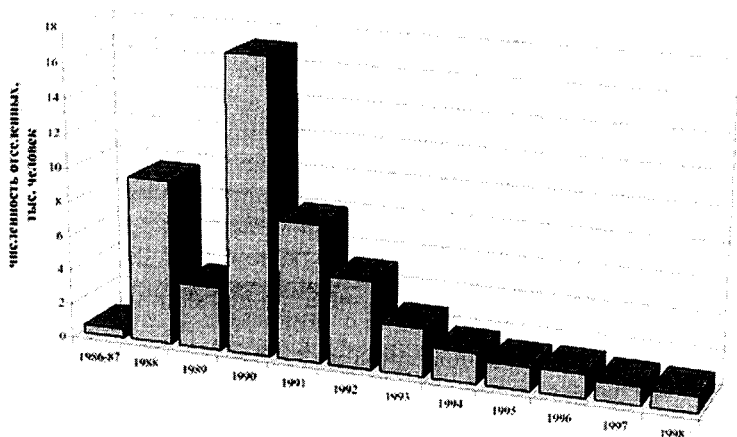


Рис.2. Динамика отселения жителей из населенных пунктов Брянской области, подвергшихся радиоактивному загрязнению, тыс. человек.

Решения, касающиеся переселения, во многом оказались вынужденными. Они были приняты под мощным давлением общественного мнения и органов власти. С позиций сегодняшнего дня можно утверждать, что в условиях, когда избежать переселения было невозможно по социальным и психологическим причинам, имело смысл, вероятно, ограничиться предоставлением возможности добровольного выезда.

К мероприятиям, призванным снизить уровни внешнего облучения, относились и дезактивационные работы. Эти работы

начались в конце мая 1986 года. Они проводились силами подразделений химических войск МО СССР и подразделений гражданской обороны в основном в зоне жесткого контроля (загрязнение  $^{137}\text{Cs}$  выше 15 Ки/км<sup>2</sup>). Всего после аварии была выполнена дезактивация 472 населенных пунктов в западных районах Брянской области. В 50 населенных пунктах дезактивация проводилась дважды, а в 6 - трижды. Были захоронены десятки тысяч кубометров грунта и других отходов. Захоронения, как правило, производились в специальные траншеи с глиняными замками и глиняной подушкой вне естественных понижений рельефа и с низким уровнем грунтовых вод. В 1986-1987 годах дезактивацией удавалось добиться улучшения радиационной обстановки за счет многократного снижения мощности доз излучения в отдельных, но часто посещаемых местах населенных пунктов. К 1989 году сплошная дезактивация практически исчерпала свои возможности. В период 1990-1995 годов характер работ изменился — проводилась дезактивация лишь локальных участков в населенных пунктах, очистка ферм, отдельных производственных объектов, работы по строительству новых и переоборудованию ранее созданных пунктов временного захоронения, ликвидации (захоронению) малоценных народнохозяйственных объектов, имеющих повышенные уровни радиоактивного загрязнения, пожароопасных или опасных в другом отношении.

Для предотвращения повышенного поступления радионуклидов в организм человека с рационом уже 6 мая 1986 года были установлены временные допустимые уровни (ВДУ) содержания радионуклидов в пищевых продуктах, в первую очередь  $^{131}\text{I}$  как наиболее радиобиологически опасного в тот период. В частности, в молоке и питьевой воде допускалось не более 3 700 Бк/л (для детей — в 10 раз ниже). Введение нормативов сопровождалось жестким контролем пищевых продуктов. В дальнейшем нормативы пересматривались несколько раз в сторону ужесточения. Принятые в 1991 г. ВДУ по долгоживущим радионуклидам были в 3-5 раз более жесткими, чем Международные рекомендации по аварийным уровням, соответствующие требованиям Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) и международной торговли. Такое существенное ужесточение было обусловлено не столько радиационно-гигиеническими соображениями, сколько социально психологическими обстоятельствами. Хронология принятия радиационно-гигиенических нормативов и рекомендаций представлена в табл. 4.

Практическая реализация ограничений связана с обязательным контролем пищевой продукции, осуществляемым как самими

Таблица 4.

## Даты принятия решений по защитным мерам и типы критериев

Даты принятия решений по защитным мерам и типы критериев			
№ п/п	Дата	Критерий	Затронутое население или территории
1.	06.05.86	Содержание $^{131}\text{I}$ в продуктах питания	~150 тыс. чел
2.	12.05.86	Эффективная доза облучения $100 \text{ м}^3/\text{год}$	~100 тыс. чел
3.	15.05.86	Мощность дозы ( $1,3,5,20 \text{ мР/час}$ )	<100 тыс. чел
4.	16.05.86	Суммарная активность в продуктах питания	<100 тыс. чел
5.	30.05.86	Суммарная активность в продуктах питания	2 млн. чел
6.	30.05.86	Мощность дозы и содержание радионуклидов в продуктах	<700 тыс. га
7.	12.06.86	Мощность дозы	<50 тыс. чел
8.	22.08.86	Содержание $^{137}\text{Cs}$ в почве	0,2 тыс. чел
9.	22.08.86	Содержание $^{137}\text{Cs}$ в почве ( $15 \text{ Ки/км}^2$ )	78,7 тыс. чел
10.	24.10.86	Мощность дозы и загрязнение поверхностей	<50 тыс. чел
11.	23.04.87	Эффективная доза облучения $30 \text{ м}^3/\text{год}$	78,7 тыс. чел
12.	29.07.87	Мощность дозы и загрязнение поверхностей	<50 тыс. чел
13.	12.08.87	Содержание $^{137}\text{Cs}$ в почве и соц. Факторы ( $15 \text{ Ки/км}^2$ )	+17,9 тыс. чел
14.	15.12.87	Содержание $^{134}\text{Cs}$ и $^{137}\text{Cs}$ в продуктах	1,5 млн. чел
15.	23.05.88	Содержание $^{134}\text{Cs}$ и $^{137}\text{Cs}$ в почве и продукции	1 млн. га
16.	18.07.88	Эффективная доза облучения $25 \text{ м}^3/\text{год}$	96 тыс. чел
17.	19.07.88	Мощность дозы и загрязнение поверхностей	<50 тыс. чел
18.	13.09.88	Содержание $^{137}\text{Cs}$ в почве и соц. факторы ( $15 \text{ Ки/км}^2$ )	+6,0 тыс. чел
19.	06.10.88	Содержание $^{134}\text{Cs}$ и $^{137}\text{Cs}$ в продуктах	2 млн. чел
20.	22.11.88	Накопленная доза облучения за жизнь $350 \text{ м}^3$	
21.	24.05.89 и 05.10.89	Накопленная доза облучения за жизнь $350 \text{ м}^3$	4,7 тыс. чел
22.	20.10.89	Постановление Правительства о социальной защите	100 тыс. чел
23.	30.12.89	Содержание $^{137}\text{Cs}$ в почве ( $15 \text{ Ки/км}^2$ ) и соц. факторы	+0,7 тыс. чел
24.	26.01.90	Содержание $^{134}\text{Cs}$ и $^{137}\text{Cs}$ в молоке	200 тыс. чел
25.	16.03.90	Накопленная доза облучения за жизнь $350 \text{ м}^3$	+2,3 тыс. чел
26.	11.05.90	Временные нормативы радиоактивного загрязнения поверхностей ( $\text{част/мин см}^2$ )	>10 тыс. чел
27.	28.09.90	Содержание $^{134}\text{Cs}$ и $^{137}\text{Cs}$ в почве $1,5,15,30 \text{ Ки/км}^2$	259,6 тыс. чел
28.	22.01.91	Содержание $^{137}\text{Cs}$ в продуктах	3 млн. чел

29.	11.03.91	Содержание $^{134}\text{Cs}$ и $^{137}\text{Cs}$ в молоке	+75 тыс. чел
30.	19.02.91	Содержание $^{134}\text{Cs}$ и $>^{137}\text{Cs}$ в почве и продукции	3,5 млн. га
31.	08.04.91	Эффективная доза облучения 1 и 5 м <sup>3</sup> /год	
32.	15.08.91	Содержание $^{134}\text{Cs}$ и $^{137}\text{Cs}$ в почве 1,5,15,40 Ки/км <sup>2</sup> , ПГД	
33.	28.12.91	Содержание $^{134}\text{Cs}$ и $^{137}\text{Cs}$ в почве, соц. факторы	2,3 млн. чел
34.	25.02.92	Содержание $^{134}\text{Cs}$ и $^{137}\text{Cs}$ в почве, соц. факторы	+0,2 млн. чел
35.	18.06.92	Содержание $^{134}\text{Cs}$ и $^{137}\text{Cs}$ в почве, ПГД	
36.	01.10.92	Единая Государственная программа	3 млн. чел
37.	25.12.92	Режим территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению	8 000 км <sup>2</sup>
38.	05.04.92	Содержание $^{134}\text{Cs}$ и $^{137}\text{Cs}$ в почве, соц. факторы	+0,1 млн. чел
39.	21.07.93	Содержание $^{137}\text{Cs}$ в продуктах	3 млн. чел
40.	25.04.95	Содержание $^{134}\text{Cs}$ и $^{137}\text{Cs}$ в почве, соц. факторы	+70 тыс. чел
41.	17.07.95	Эффективная доза облучения 1, 5, 20 м <sup>3</sup> /год	~50-100 тыс. чел
42.	18.12.97	Перечень населенных пунктов	1,5 млн. чел

Санитарные ограничения на дозы (годовые или за жизнь), содержание радиоактивных веществ в продуктах питания, загрязнение поверхностей и территории

Ведомственные рекомендации или инструкции по ведению сельского и лесного хозяйства

Административные решения (Правительства) по перечням населенных пунктов, в которых осуществлялись мероприятия, включая госпрограммы

Решения законодательных органов по защите населения

Научные концепции защиты населения

производителями, так и службой санитарного контроля. Ежегодные объемы контроля только в Брянской области достигают десятков тысяч измерений. Продукция, не соответствующая нормативам, перерабатывается или утилизируется. В настоящее время по данным Госсанэпиднадзора превышение ВДУ-93 наблюдается только в юго-западных районах Брянской области и в трех районах Калужской области. С 01.03.98 г. на всей территории России, кроме указанных выше районов, действуют "Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов" (СанПиН 2.3.2.560-96). Новые нормативы еще более ужесточили требования к радиационной чистоте продуктов питания. Так, содержание  $^{137}\text{Cs}$  в молоке по новым нормативам должно быть примерно в 7 раз ниже, чем по ВДУ-93. Введение новых нормативов привело к увеличению случаев регистрации сверхнормативного содержания цезия в продуктах и в других областях России, но, в основном, в лесных ягодах и грибах (табл. 5).

Таблица 5.

# Мониторинг радиоактивного загрязнения продуктов питания и питьевой воды в 1992–2000 годах

ОБЛАСТЬ	Количество проб															
	1992		1993		1994		1995		1996		1997		1998		1999	
	всего проб	выше ВДУ	всего проб	выше ВДУ	всего проб	выше ВДУ	всего проб	выше ВДУ	всего проб	выше ВДУ	всего проб	выше ВДУ	всего проб	выше ВДУ	всего проб	выше ВДУ
Брянская	49 120	1 251 2,50%	48 780	1 477 3,00%	48 219	748 1,60%	52 247	764 1,50%	44 880	745 1,66%	36 137	1 313 3,6%	35 067	1 215 3,5%	35 231	561 1,6%
Калужская	10 476	168 1,60%	13 658	77 0,60%	11 337	144 1,30%	11 940	195 1,60%	15 745	114 0,72%	9 975	61 0,60%	8 552	64 0,75%	9 931	104 1,1%
Ленинградская	5 188	нет	117	нет	153	16* 10%	1 038	4* 0,40%	838	1 0,1%	974	5 0,5%	1 189	нет	1 346	нет
Орловская	12 677	1 0,01%	12 052	нет	9 051	нет	8 436	нет	9 248	нет	13 950	нет	11 843	нет	12 314	нет
Тамбовская	654	нет	776	нет	805	нет	1 793	1* 0,06%	714	нет	1 245	2 0,2%	2 304	нет	2 018	нет
Тульская	11 135	нет	8 200	нет	9 287	нет	10 331	4* 0,04%	9 644	нет	8 328	нет	9 075	нет	9 627	нет
Остальные	27 192	нет	28 129	нет	31 018	нет	25 338	нет	12 939	нет	19 484	нет	20 151	нет	18 588	нет
ИТОГО	116 442	1 420	111 712	1 554	109 870	908	111 123	968	94 008	860	91 859	1 381	88 181	1 279	89 055	685

\* грибы

Эффективность системы ограничений оказалась достаточно высокой. Средняя доза внутреннего облучения жителей зоны жесткого контроля (свыше 15 Ки/км<sup>2</sup>) в 1986 году составляла около 20 мЗв/год, в 1989 году она снизилась до 6 мЗв/год, а в 1994 году — уже не превышала 1 мЗв/год (рис. 3). На основе санитарно-гигиенических рекомендаций осуществлялись меры по благоустройству населенных пунктов на загрязненных территориях, что также способствовало снижению доз. Это — газификация, строительство и обустройство дорог, строительство объектов жилищно-коммунального хозяйства, обустройство улиц и зон рекреации, строительство и ремонт водоснабжения и канализации. Кроме того, разрабатывались инструкции, содержащие общие санитарно-гигиенические рекомендации для сельских жителей, ведущих индивидуальное приусадебное хозяйство.

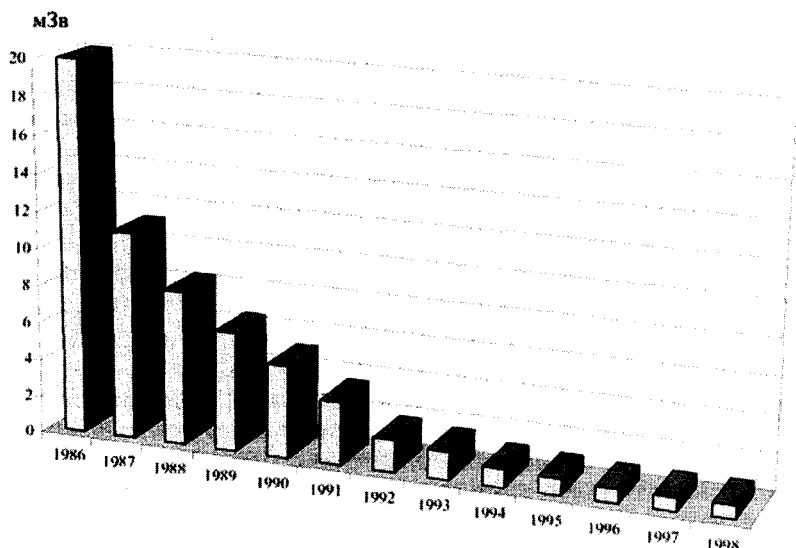


Рис.3. Динамика средних годовых доз облучения населения, проживающего в зоне загрязнения 15-40 Ки/км<sup>2</sup>.

### 3.3. Защитные меры в сельском хозяйстве

Радиоактивное загрязнение сельскохозяйственных угодий в зоне аварии Чернобыльской АЭС явилось одним из важных последствий этой аварии. Реализация комплекса защитных мероприятий в агропромышленном секторе на загрязненной территории с первых дней аварии стала одним из главных элементов



обеспечения радиационной безопасности. С одной стороны, это было связано со значительным вкладом внутреннего облучения, обусловленного потреблением содержащих радионуклиды пищевых продуктов, в структуре дозовых нагрузок на население. С другой стороны, исключение производства на загрязненных территориях сельскохозяйственной продукции, не отвечающей радиологическим стандартам, способствовало стабилизации социально-психологической ситуации на селе.

Тяжелые последствия радиационной аварии на ЧАЭС для агропромышленного производства связаны с рядом факторов, основными из которых являются следующие. Во-первых, радиоактивные выпадения имели место в конце весны — начале лета, что предопределило высокие уровни исходного радиоактивного загрязнения продукции (начало пострадиационного периода, отсутствие запасов "чистых" кормов, завершение весенних посевных и посадочных работ). Во-вторых, в составе выпавшей смеси радионуклидов присутствовали  $^{131}\text{I}$  и долгоживущие биологически подвижные —  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ . В-третьих, в регионе аварии на большой площади распространены дерново-подзолистые почвы легкого механического состава и почвы торфяного ряда, для которых характерен очень высокий переход радионуклидов в растения и далее в организм сельскохозяйственных животных. В-четвертых, регион аварии — область интенсивного земледелия. В-пятых, зона, подверженная аварии, была очень большой, что исходно предопределило большие масштабы работ по радиационному мониторингу и объему защитных мер в агропромышленном комплексе (АПК).

В процессе научного сопровождения работ по ликвидации последствий аварии в сфере сельскохозяйственного производства был выполнен большой объем радиоэкологических исследований по оценке миграции радионуклидов по сельскохозяйственным цепочкам. Это послужило базой для выработки, проверки и внедрения комплекса защитных мероприятий в различных отраслях АПК.

К числу наиболее эффективных из них надо отнести: внедрение специальной системы внесения удобрений и известкования, специальной обработки почвы, коренную мелиорацию лугово-пастбищных угодий, использование рациональной системы кормления животных (в том числе с применением ферроцинсодержащих препаратов), использование методов технологической переработки первичных сельскохозяйственных продуктов с целью уменьшения концентрации радионуклидов в конечных пищевых продуктах и некоторые другие. Многие из указанных приемов обеспечивали снижение концентрации радионуклидов в сельскохозяйственной продукции в 2-3 раза (максимально до 5-10 раз). Успешно зарекомендовал

себя принцип зонального размещения сельскохозяйственного производства (в соответствии с плотностью загрязнения угодий).

В результате проведения значительного объема контрмер практически во всех отраслях агропромышленного сектора загрязненного региона уже по истечении 3–4 лет после аварии удалось добиться прекращения производства сельскохозяйственной продукции с превышением временных допустимых уровней содержания радионуклидов (в первые послеаварийные годы количество такой продукции, главным образом молока и мяса, достигало в наиболее загрязненных районах до 30% и более).

Спустя 10–12 лет после аварии на Чернобыльской АЭС в зоне, подвергшейся радиоактивному загрязнению, наступил отдаленный период ликвидации последствий. Для указанного периода свойственны следующие признаки:

- миграция радионуклидов по основным трофическим цепочкам в системе почва—растения—животные—сельскохозяйственная продукция приобретает черты относительно равновесного состояния — начинают доминировать медленно действующие процессы трансформации форм радионуклидов в объектах окружающей среды и вовлечения радиоактивных веществ в сферу биологического круговорота;
- снижаются мощности дозы облучения живых организмов в среде их обитания (в том числе сельскохозяйственных животных и растений);
- уменьшается зона эффективного применения контрмер, выполняемых в сфере сельскохозяйственного производства с целью снижения концентрации радионуклидов в агропромышленной продукции и минимизации доз внутреннего облучения;
- меняется система приоритетов в оценке эффективности контрмер, направленных на снижение доз облучения населения (в том числе защитных мероприятий, выполняемых в АПК). На первый план выходят радиологические (предотвращенные за счет выполнения контрмер дозы) и экономико-радиологические показатели (расчет стоимости снижения единицы предотвращенной коллективной дозы, выраженной в человеко-Зивертах на рубль);
- происходят изменения в дозообразующей роли отдельных пищевых продуктов, меняющие приоритеты в системе защитных мероприятий по снижению доз внутреннего облучения.

На последних этапах ликвидации последствий аварии крайне важен ускоренный переход в нормам допустимого облучения населения и допустимых концентраций радионуклидов в пищевой продукции от временных (аварийных) уровней к "мирным" стандартам (существенно более жестким, чем аварийные критерии) — СанПиН-96.

К 2000 году содержание  $^{137}\text{Cs}$  во всех видах сельскохозяйственной продукции, произведенной на большей части территории Российской Федерации, подверженной воздействию аварии на ЧАЭС, отвечает нормативам СанПиН-96, и сельскохозяйственное производство может вестись без каких-либо ограничений. Исключение представляет часть территории четырех областей – Брянской, Калужской, Тульской и Орловской, где выполняются реабилитационные сельскохозяйственные работы. Согласно радиологическим расчетам проведение контрмер в сельском хозяйстве необходимо на территории с уровнем загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  выше  $5 \text{ Ки/км}^2$  ( $185 \text{ кБк/м}^2$ ). Общая площадь земель с такой плотностью загрязнения в четырех указанных областях составляет 325 тыс. га, из них 220 тыс. га на пашне.

Положительные тенденции в снижении уровней загрязнения сельскохозяйственной продукции, достигнутые в первые 10 лет после аварии (рис. 4), были результатом выполнения агромелиоративных и агротехнических работ. Сокращение объемов защитных мероприятий, допущенное в 1996-1997 гг., (рис. 5) замедлило темпы снижения концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в сельскохозяйственной продукции. Было отмечено даже некоторое повышение содержания  $^{137}\text{Cs}$  в молоке в Брянской области (рис. 6), хотя концентрации  $^{137}\text{Cs}$  не выходили за пределы временных допустимых уровней (ВДУ-93).

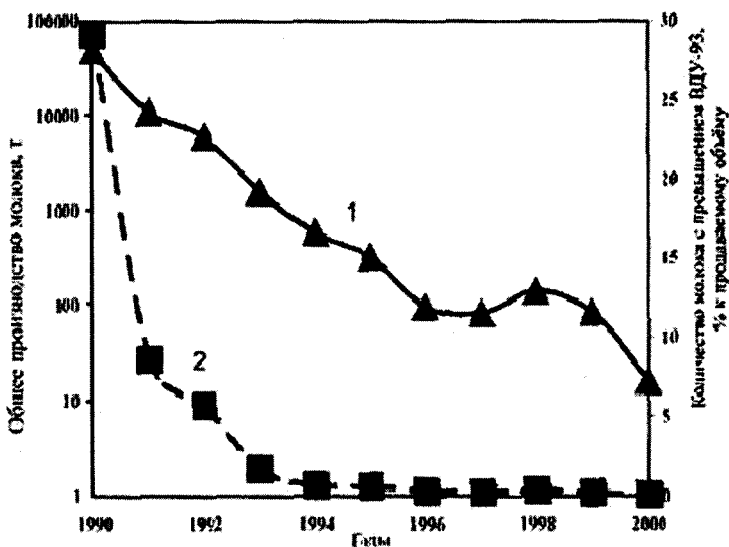


Рис. 4. Производство молока (1) и количество молока с превышением ВДУ-93 по  $^{137}\text{Cs}$  ( $370 \text{ Бк/л}$ ), % к продаваемому объему (2).

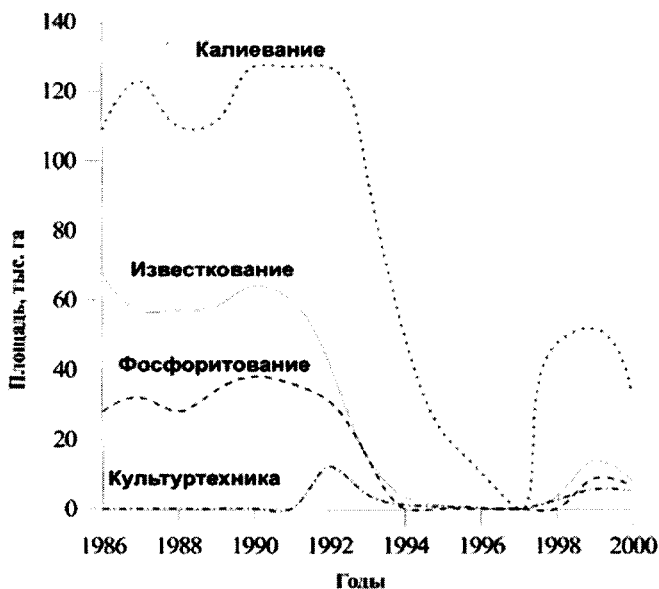


Рис. 5. Динамика выполнения агрохимических и агротехнических защитных мероприятий на загрязненных сельскохозяйственных угодьях Брянской области в 1986-1999 гг. по Чернобыльской программе (до 1996 г.) и (с 1998 г.) в том числе за счет средств Министерства сельского хозяйства России.

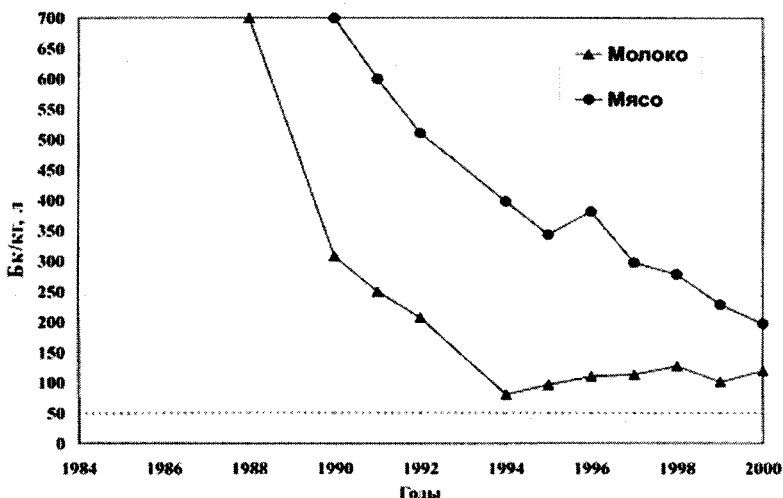


Рис. 6. Динамика среднего содержания  $^{137}\text{Cs}$  в молоке и мясе в шести юго-западных районах Брянской области. СанПиН 2.3.2.560-96 в мясе (160 Бк/кг). СанПиН 2.3.2.560-96 в молоке (50Бк/кг).

Переход на более жесткие нормативы содержания  $^{137}\text{Cs}$  в молоке и мясе поставил задачу усиления применения контрмер на загрязненных территориях. В Минсельхозе России была определена стратегия выполнения реабилитационных мероприятий в загрязненных хозяйствах Брянской области, направленная на достижение уровня допустимого облучения 1 мЗв/год в зависимости от плотности загрязнения местности и суммарной дозы облучения, а также с учетом рациона населения (характерной особенностью последних лет явился рост относительного вклада лесных ягод и грибов в поступлении  $^{137}\text{Cs}$  в организм человека).

Переход от аварийных нормативов содержания радионуклидов в пищевых продуктах ВДУ-93 к СанПиН-96 привел к тому, что в загрязненных районах Брянской области концентрация  $^{137}\text{Cs}$  превысила в 2000 году последний норматив по молоку более, чем в 2 раза, а по мясу в 1,5 раза (рис. 6). В Брянской области в 2000 году было произведено в общественном секторе с превышением СанПиН-96 52% молока и 19% мяса. Трудности в достижении соответствия содержания  $^{137}\text{Cs}$  в молоке и мясе уровней СанПиН-96 послужили основанием для продления действия аварийных нормативов ВДУ-93 в загрязненных районах Брянской области до 2003 года.

В настоящее время одной из первоочередных задач по реабилитации территории, подверженной радиоактивному загрязнению, является выполнение комплекса сельскохозяйственных защитных мероприятий в так называемых критических хозяйствах Брянской области, что должно обеспечить производство агропромышленной продукции, отвечающей СанПиН-96.

### 3.4. Защитные меры в лесном хозяйстве

В результате чернобыльской аварии в России подверглись радиоактивному загрязнению более 980 тыс. га лесных угодий, в том числе более 126 тыс. га — свыше 5 Ки/км<sup>2</sup>.

Долгосрочные и значимые проблемы при крупномасштабных радиационных авариях возникают в лесохозяйственной сфере, если она имеет существенное значение в экономике и формировании доз облучения населения. Загрязненные леса в этих условиях становятся источником облучения персонала, занятого на лесохозяйственных работах, и местного населения, потребляющего в пищу дичь, лесные грибы и ягоды, выпасающего скот на лесных пастбищах, использующего древесину в строительстве, для отопления и т.п. Установлено, что вклад грибов в дозу внутреннего облучения у жителей лесных регионов после

Чернобыльской аварии мог достигать 50-60%. По этим причинам была необходима реализация соответствующих контрмер. Мероприятия, касающиеся использования продукции лесов и их реабилитации носят, в основном, запретительный характер. Степень жесткости этих ограничений определяется плотностью радиоактивного загрязнения территории. Оценка эффективности ограничительных и запретных контрмер показывает, что предотвращенная коллективная доза в результате введения таких мер сравнительно невелика.

Значения параметров перехода радионуклидов в лесохозяйственную продукцию могут различаться (в зависимости от типа экосистемы) до двух порядков величин. Поэтому при разработке рекомендаций по радиоэкологической и хозяйственной реабилитации загрязненных лесов разработаны дифференцированные подходы на основе радиоэкологической классификации лесов.

Всемерное сохранение лесов и содействие их восстановлению в загрязненных регионах является обязательным требованием в системе мер по реабилитации загрязненных лесных территорий.

### **3.5. Социально-экономическая защита и реабилитация населения и территорий**

С 1991 года в России все вопросы, связанные с социальной защитой граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие аварии на ЧАЭС, и экономической реабилитацией территорий, затронутых аварией, решаются на общегосударственном уровне в рамках чернобыльского Закона, а также программно-целевыми методами. Меры защиты определены Законом Российской Федерации "О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС" с дополнениями и изменениями.

Участникам работ по ликвидации последствий аварии и проживающему населению (дифференцировано по зонам) предоставлены многочисленные льготы и компенсации (бесплатное приобретение лекарств, бесплатное оказание медицинской помощи, уменьшение возраста выхода на пенсию, ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск, налоговые льготы и т. д.).

Анализ показывает, что затраты, связанные с выплатой компенсаций и предоставлением льгот в целях возмещения полученного ущерба, были в действительности слабо дифференцированы по уровням ущерба и распределялись неравномерно по областям. Во-первых, размеры выплат по зоне льготного социально-экономического

статуса были несоразмерны ущербу, который был связан с проживанием на данной территории, так как уже в начале 90-х годов дополнительное облучение составляло менее 1 мЗв. Во-вторых, перенесение центра тяжести на индивидуальные меры защиты обусловило более низкую эффективность расходов средств на цели радиационной защиты, чем это было бы в случае реализации коллективных мер. В-третьих, удельные затраты на 1 человеко-Зиверт существенно отличались по областям, причем отличие было не в пользу наиболее пострадавших: например, удельные затраты на 1 человеко-Зиверт в Тамбовской области, получившей наименьшую коллективную дозу облучения, были в 6 раз выше, чем в наиболее пострадавшей Брянской области. Выплата льгот и компенсаций, слабо обоснованных с точки зрения целей радиационной безопасности, на деле компенсировала необоснованное ограничение привычной жизнедеятельности на слабозагрязненных территориях. Иными словами, выплата льгот и компенсаций способствовала закреплению иждивенческих настроений и сдерживала инициативность населения в поиске средств адаптации к экономическому кризису.

С другой стороны, масштабные выплаты населению нескольких областей за счет средств федерального бюджета вне зависимости от их обоснованности, сыграли важную роль в поддержании уровня жизни населения в условиях экономического кризиса.

Федеральный закон "О внесении изменений и дополнений в Закон Российской Федерации "О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС", принят 21 декабря 2000 года Государственной Думой (№ 5-ФЗ от 12.02.2001 г.). Он в полном объеме выполняет требования постановления Конституционного суда Российской Федерации от 21.12.1997 г. №18-П и вводит новые положения, направленные на повышение адресности и совершенствования механизма реализации социальных льгот и компенсаций. В частности, закон предусматривает ежегодное повышение размеров выплат по возмещению вреда пропорционально росту величины прожиточного минимума в целом по России. Вступление Федерального закона в силу позволит улучшить материальное положение почти 80% инвалидов-чернобыльцев. В общем итоге расходы на социальную защиту граждан в 2001 году увеличены на 1,1 млрд рублей.

Реализация коллективных мер защиты и реабилитации населения и радиоактивно загрязненных территорий в течение 1992-2000 годов осуществлялась в соответствии со следующими программами:

- Единая государственная программа по защите населения РФ от воздействия последствий чернобыльской катастрофы на 1992-1995 годы и на период до 2000 года;
- Неотложные мероприятия по защите населения РФ от воздействия последствий чернобыльской катастрофы на 1996-1997 годы;
- Федеральная целевая программа по защите населения Российской Федерации от воздействия последствий чернобыльской катастрофы на период до 2000 года;
- Федеральная целевая программа "Дети Чернобыля";
- Федеральная целевая программа "Жилье ликвидаторам".

Около 90% всех средств, выделяемых для реализации мероприятий чернобыльских программ, расходуются по следующим двум основным разделам: "Охрана здоровья и медицинская реабилитация граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие чернобыльской катастрофы" (более 52% от всего объема финансирования) и "Социально-экономическая реабилитация населения и территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению" (около 38% от всего объема финансирования). В период 1992-2000 годов программами предусматривалось финансирование мероприятий (включая капитальное строительство) в объеме 247,7 млрд рублей (цены 2000 года). Фактически профинансированы работы общим объемом 41,7 млрд рублей (15,2%). За 1996-2000 годы фактическое финансирование программ составило 2,4 млрд рублей.

Несмотря на вызванные объективными причинами трудности с финансированием, на загрязненных территориях выполнен большой объем работ по строительству жилья, объектов здравоохранения, социальной и производственной сферы. За указанный период было введено более 1,4 млн м<sup>2</sup> жилья (без учета программы "Жилье ликвидаторам"); дошкольных учреждений на 3 850 мест; общеобразовательных школ на 18 373 места; больниц более, чем на 1 000 коек; поликлиник на 5 325 посещений в смену; клубов, домов культуры — 3 880 мест; сдано в эксплуатацию 866 км газовых сетей.

Для предприятий, расположенных на радиоактивно загрязненных территориях, предоставляются экономические льготы, включая налоговые. Ряду регионов предоставлена возможность получения льготных кредитов.

По данным Госкомстата России на учете для получения жилой площади в органах исполнительной власти 85 субъектов Российской Федерации на начало 1995 года состояло 27,8 тысяч семей участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, в том числе 3,4 тысячи семей умерших инвалидов.



Для обеспечения благоустроенной жилой площадью перечисленных категорий граждан, состоящих на учете, программой предусматривается построить 27 820 квартир общей площадью 1 702,6 тысячи квадратных метров, в том числе для семей инвалидов вследствие чернобыльской катастрофы — 3 423 квартиры общей площадью 209,6 тысячи квадратных метров.

По состоянию на 1 января 2001 года задания Программы выполнены в целом на 32% - участникам ликвидации последствий аварии на ЧАЭС предоставлено жилье общей площадью 547,3 тысячи квадратных метров (10 337 квартир).

За период реализации программы "Дети Чернобыля" были введены в эксплуатацию: больницы на 1 669 коек, санатории на 305 мест, поликлиники на 2 970 посещений, реабилитационные центры на 1 220 посещений, дома ребенка на 300 мест.

Инвестиционные чернобыльские проекты оказали ощутимое позитивное влияние на социально-экономическое развитие радиоактивно загрязненных регионов.

В частности, внесение дополнительных доз минеральных удобрений, известкование пахотных земель, коренное улучшение лугов и пастбищ на радиоактивно загрязненных территориях обеспечивает не только уменьшение перехода радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию, но и способствует росту продуктивности сельского хозяйства, повышению культуры земледелия и животноводства.

Например, валовой сбор зерна в Брянской области в 1992 году по сравнению со среднегодовым сбором за 1981-1985 годы возрос почти в 1,7 раза. Для других областей, не входящих в чернобыльскую зону, за тот же период наблюдается не рост, а падение валового сбора зерна (Ивановская область — на 4%, Московская область — на 9% и т. п.).

Значительный рост урожайности в наиболее пострадавших областях чернобыльской зоны по сравнению с другими регионами характеризует экономическую эффективность проведенных реабилитационных мероприятий. Сами произведенные затраты в данном случае следует считать не компенсаций ущерба, нанесенного аварией, а окупаемыми и приносящими доход вложениями в сельскохозяйственное производство.

Однако задачи, намеченные программами, решены далеко не полностью. Главной причиной этого является неудовлетворительное финансирование. К 1995 году финансирование капитальных вложений составило 3,3%, а текущих расходов 7,7% от намеченного программами на этот год. В 1996 году финансирование осталось на уровне 1995 года, а в 1997 году снизилось еще в 4 раза.

Резкое сокращение финансирования в 1995-1997 годах нашло отражение и в объемах проводимых мероприятий. Годовой ввод объектов соцкультбыта по сравнению с 1992-1993 годами существенно сократился: по дошкольным учреждениям (количество мест) — с 1 330 до 195; по больницам (коек) — с 310 до 50; клубам (мест) — с 1 200 до 80; поликлиникам (посещений в смену) — с 2595 до 40; жилым домам (тысяч м<sup>2</sup> общей площади) — с 648,9 до 22.

В условиях спада промышленного производства, начавшегося с 90-х годов, в самых неблагоприятных условиях оказались области, территории которых находятся в зонах радиоактивного загрязнения. В целом для загрязненных областей характерно нарушение потребительского рынка, разрыв традиционных экономических связей с другими регионами, особенно в сфере реализации агропромышленной продукции, а также отток специалистов и квалифицированных рабочих. В Брянской области темпы снижения объема рыночного товарооборота в 2-3 раза выше, чем по России в целом.

Тяжелая экономическая ситуация на загрязненных территориях усугубляется сложной психологической обстановкой, обусловленной неадекватным восприятием населением факторов радиационного воздействия и степени их влияния на здоровье. Осложнению обстановки способствовало резкое расширение круга территорий и лиц, в отношении которых осуществлялись меры социальной защиты. В 1991 году были приняты законодательные акты, по которым требовалось уменьшить облучение населения в зоне влияния аварии до 1 мЗв/год. Число областей, считавшихся загрязненными, возросло с 4 до 17, а пострадавшее население с 0,15-0,20 до 2,6 млн человек. Распространение искаженной информации о последствиях чернобыльской аварии вызвало во всех этих регионах и в стране в целом волну радиофобии, которая причинила населению больший ущерб, чем повышенное облучение.

Работы, направленные на социально-психологическую реабилитацию населения, подвергшегося воздействию радиации, осуществлялись в рамках программных мероприятий. В Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областях созданы центры социально-психологической реабилитации, ориентированные на помощь всем возрастным группам населения.

### 3.6. Научное обеспечение работ и международное сотрудничество

Начиная с 1986 года к научно-исследовательским работам, призванным смягчить последствия аварии, были привлечены сотни научно-исследовательских организаций. Научные исследования координировали и проводили такие крупные научные центры, как:

НПО "Тайфун", Институт прикладной геофизики и Институт глобального климата и экологии — в части мониторинга окружающей среды; НИИ радиационной гигиены (г. Санкт-Петербург) и ГНЦ "Институт биофизики" — в части оценки радиационно-гигиенической ситуации и доз облучения населения; Медицинский радиологический научный центр РАМН — в части наблюдения за состоянием здоровья сотен тысяч лиц, включенных в регистр, ВНИИ сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии — в части разработки научных основ ведения агропромышленного производства на загрязненных территориях; Институт эволюционной экологии и морфологии животных - в части проблем радиоэкологии; РНЦ "Курчатовский институт" - в части физико-химических и технических последствий аварии и разработки новых средств мониторинга; Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН - по проблемам информационно-аналитической поддержки работ; Институт экономики РАН и ВНИИ ГОЧС — по проблемам экономической реабилитации. В результате выполненных научно-исследовательских работ разработаны многочисленные рекомендации, методики, технологии, приборы и оборудование, которые использовались в работах по преодолению последствий аварии. Многие исследования будут продолжены. Общую координацию работ осуществляет научный совет Российской академии наук и МЧС России по проблемам последствий аварии (председатель — академик РАН С. Т. Беляев) и Российская научная комиссия радиационной защиты (председатель — академик РАМН А. Ф. Цыб).

В первые годы ликвидация последствий катастрофы осуществлялась Советским Союзом самостоятельно, практически без участия других стран. Исключение составляли помощь в лечении больных ОЛБ и некоторые гуманитарные программы. После реализации под эгидой МАГАТЭ Международного чернобыльского проекта с участием около 200 независимых ученых из 23 стран и международных организаций (1990 г.) и специальной резолюции Генеральной Ассамблеи ООН по чернобыльской проблеме (45/190 от 21 декабря 1990 г.) получили значительное развитие международные контакты.

В период с 1992 по 1995 годы Всемирная организация здравоохранения осуществила Международную программу по медицинским последствиям аварии (IPHECA - АЙФЕКА). Был реализован ряд проектов по анализу методов регистрации заболеваемости и ретроспективной оценки доз облучения.

В 1991-1996 годах Мемориальный японский фонд здравоохранения Сасакавы профинансировал самую большую программу медицинского обследования детей. В ходе этой программы были

созданы пять областных диагностических центров в Белоруссии, России и на Украине, оснащенных современным мобильным оборудованием.

Интересным и эффективным оказалось международное сотрудничество между КЕС и странами СНГ, в рамках которого реализовано 16 научно-исследовательских проектов. Научная кооперация подобного масштаба, когда в исследовательских проектах участвует около 200 лабораторий и институтов, принципиально изменяет уровень исследований в таких областях, как поведение радиоактивных веществ в окружающей среде; анализ риска и управление им; дозы и эффекты облучения. Положительный резонанс среди населения получила практическая Российско-Германская измерительная программа. Много полезных результатов получено в работах по двусторонним соглашениям с США и Францией. Получили развитие работы по использованию чернобыльского опыта при подготовке к чрезвычайным ситуациям на ядерных объектах. В последние годы реализуется несколько проектов TACIS и франко-германская инициатива по Чернобылю.

#### 4. ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Итоги проделанных работ могут быть кратко сформулированы следующим образом:

- Выполнен большой объем работ по уточнению радиационной обстановки, экологическим, медико-демографическим, экономическим и социальным характеристикам затронутых аварией территорий и контингентов. В настоящее время возможно надежное прогнозирование радиационно-гигиенической обстановки на загрязненных территориях.
- Выполнены работы по защите населения, включая меры в области сельского и лесного хозяйств, санитарной защиты, дезактивации и благоустройства населенных пунктов. Одновременно реализовывались программы по улучшению медицинского обслуживания населения, оказания специализированной медицинской помощи, социальной защиты затронутых аварией граждан.
- Благодаря естественным процессам и выполненным работам произошло объективное улучшение радиационной обстановки на всех территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению. На территориях Белгородской, Воронежской, Курской, Липецкой, Ленинградской, Пензенской, Рязанской, Тамбовской, Ульяновской областей и Мордовии она нормализовалась.

- Российской научной комиссией по радиационной защите принята "Концепция радиационной, медицинской, социальной защиты и реабилитации населения Российской Федерации, подвергшегося аварийному облучению", которая создает научную основу для работ по реабилитации на восстановительной фазе.
- Выявлены группы повышенного риска - ликвидаторы 1986-1987 годов и детское население наиболее загрязненных районов Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей. Для этих категорий населения необходимо длительное медицинское наблюдение.
- Выявлены территории, на которых необходимо продолжение проведения защитных и реабилитационных мероприятий.

Итоги реализации федеральных программ показывают, что проблема преодоления последствий чернобыльской аварии объективно имеет долговременный характер, а выделяемых из федерального бюджета средств недостаточно для ее решения. Срок реализации действующих программ истекает в 2001 году (постановление Правительства Российской Федерации от 31.12.2000 № 1034). В настоящее время подготовлен и проходит необходимое согласование проект федеральной целевой программы "Преодоление последствий аварий и катастроф" на период до 2010 года. Главной целью комплекса программных мероприятий является обеспечение радиационной, медицинской защиты и реабилитации граждан Российской Федерации, подвергшихся радиационному воздействию вследствие аварий на производственном объединении "Маяк", Чернобыльской АЭС, испытаний ядерного оружия на Семипалатинском полигоне, возвращение радиоактивно загрязненных территорий к нормальным (без ограничений по радиационному фактору) условиям проживания и хозяйственной деятельности, снижение риска возникновения новых радиационных аварий.

В целях повышения эффективности этих мероприятий необходимо продолжить научно-практические работы по вопросам преодоления последствий катастрофы, сотрудничество с зарубежными, международными, общественными и другими организациями, работы по оперативному контролю за ходом реализации мероприятий, информационному и аналитическому обеспечению программ.

В течение последних лет МЧС России были организованы работы по системно-аналитическому и информационному обеспечению мероприятий государственных программ по защите населения Российской Федерации от воздействия последствий чернобыльской катастрофы. В результате этих работ создан центральный банк обобщенных данных (радиационно-гигиеническая обстановка,

демография, здравоохранение, социальная защита и т. д.; банк электронных карт по всем загрязненным территориям; банк моделей), интегрированные системы поддержки принятия решений, информационно-поисковые и справочные системы. Все указанные данные объединены в информационную систему "Чернобыль". В нее входят центральный банк обобщенных данных, локальная вычислительная система в Департаменте инвестиций и эксплуатации основных фондов МЧС России, абонентские пункты в различных организациях. Накопленные данные и разработки могут быть использованы в повседневной деятельности органов управления, при обосновании управленческих решений и в научных исследованиях. Отдельные разработки, в том числе базы данных, информационно-справочные и геоинформационные системы переданы в десятки организаций. К ряду разделов Центрального банка обобщенных данных реализован доступ через систему Internet по адресу <http://www.ibrae.ac.ru>.

Перспективы преодоления последствий аварии на Чернобыльской АЭС неразрывно связаны не только с результатами объективной научной оценки последствий, но и с их восприятием обществом. Именно на уровне всего общества в целом должно формироваться отношение к техногенным и природным рискам, сопровождающим жизнь современного общества, поскольку радиационный риск лишь один из многих факторов, определяющих здоровье человека. Восприятие риска основывается на комплексе личностных и общественных факторов, в частности:

- людей больше беспокоит деятельность, характеризующаяся плохо понимаемым механизмом воздействия, т. е. фактор понимания (это особенно относится к радиационному воздействию, не воспринимаемому органами чувств);
- людей больше беспокоят те виды риска, которые привлекают к себе повышенное внимание средств массовой информации. Информация о рисках должна быть взвешенной, сбалансированной и не чрезмерной, поскольку от позиции СМИ в этих вопросах во многом зависит психо-социальный климат в обществе и, в частности, адекватное восприятие реальных рисков в повседневной жизни.

Чернобыльская авария поставила перед обществом исключительно сложные задачи, затрагивающие практически все стороны его жизни и не в последнюю очередь вопросы морали и нравственности. К сожалению, на реалистичном восприятии обществом последствий чернобыльской аварии сильно сказываются оценки, звучащие в большом количестве выступлений средств массовой информации. В последние годы СМИ стали реальной независимой

силой, формирующей общественное сознание, и от принципиальной позиции СМИ во многом зависит эффективность реализуемых мероприятий. Постчернобыльская ситуация богата примерами серьезных ошибок, связанных с недооценкой значения обеспечения общественности оперативной, непротиворечивой и достоверной информацией, резкими изменениями государственной информационной политики, отсутствием многолетних традиций демократической прессы в целом и социальной ответственности СМИ, в особенности. Недостаток объективности в освещении последствий чернобыльской аварии, искажение фактов и драматизация событий способствовали возникновению в обществе стойкого недоверия к официальным решениям и информации, а также формированию у жителей загрязненных районов комплекса чернобыльской жертвы.

Масштаб этого искажения действительности требует комментариев и действий. В качестве примера ниже представлены мнения известного польского ученого в области радиационной безопасности, телевизионного журналиста и известного российского эколога. Диапазон оценок числа жертв чернобыльской аварии поражает воображение:

*"...от лучевой болезни в ранние сроки погиб 31 человек и за 10 лет умерло еще 14. Риск фатальных онкозаболеваний среди населения не более 670 человек".* (З. Яворовски, член Научного комитета по действию атомной радиации ООН. Медицинская радиология, 1999, №1).

*"...за 13 лет от лучевой болезни погибло 100 000 человек, а от последствий чернобыльской аварии - еще 200 000 человек".* (Е. Масюк. "Чернобыль. Трагедия и бизнес". НТВ, 1999).

*"...общее число жертв атомного века от раков, генетических поражений и врожденных уродств — 2 млрд 337 млн человек. К этим цифрам надо добавить: около 500 млн выкидышей (спонтанных абортов) и мертворожденных; 8-14 млн смертей новорожденных; 5 млн с замедленным умственным развитием".* (А. Яблоков. "Здоровье человека и природы как жертвы атомного века". Социально-экологический союз. Бюллетень программы ядерная и радиационная безопасность, 2000, №5-6).

Безответственные высказывания о сотнях тысяч и миллионах жертв чернобыльской аварии можно было бы проигнорировать, если бы они объективно не дезориентировали общество, не являлись бы реальной преградой на пути преодоления последствий аварии.

Противоречат объективным данным и некоторые звучащие в СМИ оценки здоровья детей лиц, подвергшихся радиационному воздействию, то есть так называемый наследственный эффект. Широкомасштабные исследования, выполненные на когорте

потомков лиц, подвергшихся острому радиационному воздействию при взрывах атомных бомб в Хиросиме и Нагасаки, к настоящему времени не выявили нарушения репродуктивной функции, учащения врожденных пороков, отклонений в физическом развитии, изменения частоты синдрома Дауна и других показателей.

В 1998 году в России была опубликована монография, посвященная оценке здоровья и поиску генетических эффектов облучения лиц репродуктивного возраста. Исследовалось здоровье детей и внуков работников ПО "Маяк" — предприятия, где дозы облучения персонала в первые годы работы были очень высоки. На радиохимическом заводе комбината средние дозы персонала в 1951 году составляли около 1 100 мЗв/год. Упомянутым исследованием, проводившимся с 50-х до середины 90-х годов, показано, что распространенность и структура отклонений у детей и внуков лиц, подвергавшихся хроническому, профессиональному облучению до зачатия, в основном, совпадали с таковыми в контроле и соответствовали данным национальной статистики. Потомки профессиональных работников ПО "Маяк" болели обычными болезнями и не имели какой-либо специфической патологии.

Важно отметить, что объективные данные российских ученых разделяют все международные организации, объединяющие специалистов в области воздействия радиации на здоровье. Это такие организации, как Международная комиссия по радиологической защите, МАГАТЭ, Всемирная организация здравоохранения, Научный комитет по действию атомной радиации ООН. В итоговых документах международной конференции под эгидой ВОЗ, КЕС и МАГАТЭ отмечается, что к радиологическим последствиям чернобыльской аварии может быть отнесено только увеличение злокачественных новообразований щитовидной железы наблюдаемое в загрязненных районах Белоруссии, России и Украины, и лейкозы у ликвидаторов.

Таким образом, задача доведения до общества объективных данных по последствиям аварии является принципиально важной для успешного преодоления последствий аварии. В особенности это касается населения, проживающего на загрязненных территориях, и ликвидаторов. Уже сейчас приходится бороться не столько с реальными радиационными последствиями, сколько с далекими от истины представлениями, наносящими реальный ущерб здоровью людей. Гипертрофированное внимание к радиационному фактору приводит к недооценке реальной опасности от других причин, в частности, химических веществ. Контроль за содержанием радиоактивных веществ в атмосферном воздухе осуществляется



регулярно, и случаев превышения предельно допустимых концентраций в последние годы в России не наблюдалось. В то же самое время почти в 200 городах России с числом жителей 64,5 млн человек средние за год концентрации одного или нескольких вредных химических соединений превышают предельно допустимые концентрации (ПДК), а в некоторых из них максимальные концентрации достигают десятков ПДК. Почему-то внимание к этим обстоятельствам не столь обостренное, как в случае с радиацией. Подобная неравнозначность отношения к присутствию вредных радиоактивных и химических загрязнителей в окружающей среде во многом связана с неадекватным общественным восприятием связанных с ними рисков, хотя среди последствий воздействия химических загрязняющих веществ присутствуют и канцерогенез, и мутагенные и токсические эффекты.

Сравнение фактического значения радиационного риска с рисками, связанными с загрязнением атмосферного воздуха вредными примесями показывают, что величина индивидуального годового радиационного риска смерти в наиболее загрязненных районах Белоруссии, России и Украины примерно равна  $8 \cdot 10^{-5}$ . Для сравнения, аналогичные риски смерти, связанные с присутствием в атмосферном воздухе химических примесей в некоторых городах России превышают величину  $1 \cdot 10^{-3}$ , то есть в 10 раз выше. Подобным рискам подвержено более 20 млн жителей России, в том числе и жители Москвы.

Принципиально важно, чтобы нормативно-правовая база способствовала реализации наиболее перспективных мер по снижению рисков для здоровья населения (как сегодняшнего, так и будущих поколений). В этом случае удастся создать эффективный механизм многократной компенсации малых рисков за счет снижения или предупреждения более значимых.

Медицинские последствия аварии не исчерпываются чисто радиологическими эффектами. Они намного разнообразнее и сложнее. Примером может служить многолетний стресс, которому оказались подвержены и население, и ликвидаторы. Среди жителей наиболее загрязненных районов характерны частые самоограничения в потреблении ценных продуктов питания, обусловленные боязнью употребления радионуклидов. Более низкий, чем на незагрязненных территориях, уровень жизни, вместе с повышенным вниманием медиков привели к тому, что многие показатели заболеваемости и состояния здоровья населения ухудшились. Важно также и понимание того, что социальной и экономической сферам затронутых аварией районов нанесен существенный ущерб. Практически насильственное переселение привело к разрушению

хозяйственной и социальной инфраструктуры региона. Многочисленные санитарные ограничения создали серьезные барьеры на пути экономического развития. Система льгот и компенсаций, ориентированная на прошлый образ жизни и функционирования экономики не дают должного эффекта.

Как изменить ситуацию? Во-первых, необходимо добиться гармонизации нормативно-правовой базы. Принципиально важно, чтобы регулирующая база позволяла с наименьшими затратами снижать реальные риски для здоровья населения (как сегодняшнего, так и будущих поколений), то есть выделять среди них наиболее значимые и легко устранимые, руководствуясь при этом одним из основных принципов оптимизации защиты - польза от любого защитного мероприятия должна превышать возможный вред, связанный с его реализацией. К сожалению столь простой постулат еще не нашел отражения в нормативно-правовом регулировании.

В целом гармонизация нормативно-правовой базы в области радиационных и химических рисков отвечает долгосрочным интересам районов, подвергшихся радиоактивному загрязнению. Но это будет лишь одним направлением работы. Нужны более радикальные меры со стороны государства, несущего основную ответственность за сложившуюся ситуацию. Такой мерой могла бы стать гарантированная авансовая закупка сельскохозяйственной продукции. Однако не только в Брянской области сельское хозяйство нуждается в поддержке, а инвестиции могут быть выгоднее на более богатых черноземных почвах. В этой ситуации остается один выход — создание благоприятного инвестиционного климата и реальных налоговых послаблений для наиболее загрязненных районов.

Как это сделать наилучшим образом, еще предстоит решить, но перед этим необходимо четко зафиксировать следующие позиции:

- Радиологические последствия аварии имеют место. В этой связи работы по раннему выявлению и оказанию квалифицированной и адресной медицинской помощи должны быть продолжены и законодательно закреплены.
- Реальные проблемы районов, заключающиеся в низком уровне жизни, связаны не с состоянием окружающей природной среды (оно значительно лучше, чем в подавляющем большинстве промышленно развитых регионов страны), а с реальным экономическим, социальным и моральным ущербом, принесенным аварией.

- Вопрос о снятии льгот и компенсаций может быть рассмотрен только после того, как будут найдены и на практике начнут эффективно действовать программы социально экономической реабилитации.

Тем не менее, на загрязненных территориях фиксируются многочисленные отклонения в состоянии здоровья населения. Эти отклонения обусловлены как радиацией, так и другими причинами, в первую очередь — низким уровнем жизни. Налицо и так называемые медицинские проявления серьезного стресса населения. Уже сейчас ясно, что воздействие неадекватной информации СМИ наносит ущерб не меньший, чем собственно воздействие радиации. Поэтому важно устранить главную причину стресса — серьезные ошибки в информировании населения.

Подходы России к решению проблемы социальной защиты граждан, пострадавших в результате воздействия радиации (чернобыльская катастрофа, деятельность ПО "Маяк" и др.) существенно отличаются от законодательной практики индустриальных стран, столкнувшихся с аналогичными проблемами. Это обусловлено как историческими причинами, так и неразвитостью рыночных отношений на этапе принятия законодательных решений, позволивших осуществить столь значительное перераспределение общественных ресурсов в масштабе страны.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Радиационные аварии и инциденты на производственном объединении "Маяк", испытания ядерного оружия на Семипалатинском полигоне и авария на Чернобыльской АЭС обусловили целый комплекс проблем государственного уровня, которые до настоящего времени не решены в полной мере.

В Российской Федерации проблема преодоления последствий радиационных аварий и катастроф решается на государственном уровне путем принятия соответствующих нормативных правовых актов по возмещению ущерба здоровью и имуществу граждан, подвергшихся радиационному воздействию, и реабилитации радиоактивно загрязненных территорий, а с 1991 года, в том числе программно-целевыми методами путем принятия государственных целевых программ по защите населения и реабилитации территорий, подвергшихся радиационному воздействию.

Целью государственной политики Российской Федерации в области преодоления последствий радиационных катастроф на период до 2010 года является обеспечение радиационной, медицинской, социальной защиты и реабилитации граждан Российской Федерации, подвергшихся аварийному облучению, разработка и реализация мер, направленных на эффективное решение вопросов реабилитации пострадавших территорий, возвращения радиоактивно загрязненных территорий к нормальным условиям проживания и хозяйственной деятельности, уменьшения риска возникновения новых радиационных аварий.

Основным направлением государственной политики в законодательной сфере является совершенствование нормативной правовой базы, регулирующей отношения в области преодоления последствий радиационных катастроф.

Необходима разработка и принятие Федерального закона "О социальной защите граждан Российской Федерации, подвергшихся радиационному воздействию вследствие радиационных аварий и катастроф", предусматривающего использование дозовых критериев при установлении объема возмещения ущерба населению, проживающему (проживавшему) на территориях, подвергшихся радиационному воздействию.

Соответствие объемов компенсаций нанесенному ущербу должно обеспечиваться на основе единой методологии.

Разработка указанного закона должна осуществляться с учетом международного опыта применения принципов страхования здоровья граждан, подвергшихся радиационному воздействию.

Основным направлением государственной политики в области реабилитационных и других мероприятий является разработка и реализация федеральной целевой программы, предусматривающей:

- завершение строительства намеченных в ранее принятых программах объектов здравоохранения, образования и коммунального хозяйства на пострадавших территориях;
- обеспечение жильем граждан, переселенных из зон с высоким уровнем радиоактивного загрязнения, и участников ликвидации последствий радиационных катастроф, нуждающихся в улучшении жилищных условий;
- выполнение комплекса мероприятий по снижению степени риска возникновения новых радиационных аварий на ПО "Маяк";
- обеспечение оказания адресной медицинской помощи лицам, подвергшимся радиационному воздействию, и их потомкам дополнительной к государственным гарантиям обеспечения граждан Российской Федерации бесплатной медицинской помощью;
- обеспечение поэтапного перевода сельскохозяйственного производства на радиоактивно загрязненных территориях в условия, гарантирующие выполнение санитарных норм и правил;
- обеспечение функционирования системы радиационного контроля загрязнения продовольственного сырья, пищевых продуктов, питьевой воды, сельскохозяйственной и лесной продукции, лесных ресурсов;
- совершенствование информационно-разъяснительной работы среди населения по вопросам радиоактивного загрязнения окружающей среды, последствиях радиационного воздействия на здоровье людей и мерах по его улучшению, другим вопросам, связанным с преодолением последствий радиационных аварий и катастроф.



## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА К 4-МУ ВЫПУСКУ .....	3
ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ К УРОКАМ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ .....	4
<i>Сидоренко В.А.</i>	
ДОКЛАД ПРАВИТЕЛЬСТВЕННОЙ КОМИССИИ ПО РАССЛЕДОВАНИЮ ПРИЧИН АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС 26 АПРЕЛЯ 1986 года (июнь 1986 г.) .....	17
ОБЪЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА СИДОРЕНКО В.А. В КОМИТЕТ ПАРТИЙНОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ЦК КПСС (июль 1986 года) .....	43
АВАРИЯ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС И ЕЕ ПОСЛЕДСТВИЯ Информация, подготовленная для совещания Экспертов МАГАТЭ (25-29 августа 1986 г. ВЕНА) .....	49
МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ И БЕЗОПАСНОСТИ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ Вена, Австрия, 28 сентября - 2 октября 1987 года АВАРИЯ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС: ГОД СПУСТЯ .....	85
ИТОГОВЫЙ ДОКЛАД О СОВЕЩАНИИ ПО РАССМОТРЕНИЮ ПРИЧИН И ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ В ЧЕРНОБЫЛЕ Доклад Международной Консультативной группы по ядерной безопасности МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ ВЕНА, 1988 г. ....	139
ОЦЕНКА РАДИОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ И ЗАЩИТНЫХ МЕР Доклад Международного консультативного комитета, 1991 г. ....	203
ПРИЧИНЫ И ОБСТОЯТЕЛЬСТВА АВАРИИ НА 4 БЛОКЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС. МЕРЫ ПО ПОВЫШЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС С РЕАКТОРАМИ РБМК. Заключение экспертов Минатомэнергопрома СССР, 1991 г. ....	297
О ПРИЧИНАХ И ОБСТОЯТЕЛЬСТВАХ АВАРИИ НА 4 БЛОКЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС 26 АПРЕЛЯ 1986 г. Доклад Комиссии Госпроматомнадзора СССР, 1991 г. ....	333

## **ЧЕРНОБЫЛЬСКАЯ АВАРИЯ:**

Обновление INSAG-1 INSAG-7

Доклад Международной консультативной группы по ядерной безопасности

Международное Агентство по атомной энергии. Вена 1992 ..... 411

## **10 ЛЕТ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ**

Итоги и проблемы преодоления ее последствий в России

Российский национальный доклад, 1996 г. .... 443

## **ЧЕРНОБЫЛЬСКАЯ КАТАСТРОФА**

Итоги и проблемы преодоления ее последствий в России 1986-2001

Российский национальный доклад. Москва, 2001 ..... 487





РОССИЙСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР  
"КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ"

ИСТОРИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ  
СОВЕТСКОГО СОЮЗА И РОССИИ

ВЫПУСК 4

Уроки аварии на Чернобыльской АЭС

Под редакцией В.А. Сидоренко

*Компьютерная вёрстка: Б.И. Оводов*

Подписано в печать 25.05.2002. Формат 60х90/16  
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 34. Тираж 1000 экз.  
Заказ № 6111

---

Издательство по Атомной науке и технике ИздАТ  
Международной Ассоциации Союзов "Чернобыль-Атом"  
123182, Москва, ул. Живописная, д. 46: тел. 19090 97

---

Отпечатано в ППП "Типография "Наука"  
121099, Москва, Г-49, Шубинский пер. 6