

ЯДЕРНАЯ ИНДУСТРИЯ

Курс лекций

Лекция 31. АВАРИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----------|
| 1. МЕЖДУНАРОДНАЯ ШКАЛА ЯДЕРНЫХ СОБЫТИЙ. | 1 |
| 2. ОПАСНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЙ ЯТЦ | 6 |
| 3. ИНЦИДЕНТЫ НА РОССИЙСКИХ АЭС | 12 |
| 4. ИНЦИДЕНТЫ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЯДЕРНОЙ ИНДУСТРИИ | 14 |
| 4.1 Сибирский химический комбинат (г. Северск, Томская обл.) | 14 |
| 4.2 Красноярский горно-химический комбинат ГХК (г. Железногорск, Красноярск-26) | 18 |
| 4.3 Электрохимический завод (Красноярск-45) | 19 |
| 4.4 Производственное объединение «Маяк», (г.Озерск, Челябинская обл.) | 19 |
| 4.5 Уральский электрохимический комбинат, УЭХК (г.Новоуральск Свердловская обл.) | 21 |
| 4.6 Аварии на промышленных реакторах России | 22 |
| 4.7 Основные причины возникновения аварийных ситуаций на предприятиях ЯТЦ России | 23 |
| 5. КРУПНЫЕ АВАРИИ | 24 |
| 5.1 Аварии ядерных реакторов | 24 |
| 5.2 Россия | 25 |
| 5.2.1. Южный Урал | 25 |
| 5.2.2 Чернобыль | 27 |
| 5.3 США | 29 |
| 5.4 ВЕЛИКОБРИТАНИЯ | 29 |
| 6. ПРИЛОЖЕНИЕ. ПАРАМЕТРЫ ПРЕДПРИЯТИЙ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА РОССИИ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ИХ ПОТЕНЦИАЛЬНУЮ ОПАСНОСТЬ. | 29 |

1. МЕЖДУНАРОДНАЯ ШКАЛА ЯДЕРНЫХ СОБЫТИЙ.

Целью реконструкции предприятий ядерной индустрии является снижение вероятности инцидентов, особенно крупных. При этом используется специальная международная шкала ядерных событий.

Международная шкала ядерных событий (INES) разработана МАГАТЭ в 1988 г., в России введена с 1990 г. Она была создана в качестве средства оперативного информирования общественности о значимости с точки зрения безопасности событий происходящих на ядерных установках.

ИНЕС - международная шкала ядерных событий (INES). Была введена с целью облегчить передачу сообщений о ядерных событиях специалистам атомной промышленности, средствам массовой информации в общественности. Шкала охватывает уровни от нулевого - события, не существенные для безопасности, до седьмого - крупная авария. Сеть связи "Информационная система ИНЕС получает от национальных координаторов ИНЕС и распространяет между ними в течение 24 часов "Формуляры классификации события", содержащие компетентную информацию о ядерных событиях, когда: значимость с точки зрения безопасности находится на уровне 2 и выше; - общественный интерес за пределами страны, где они произошли, требует сообщений в прессе (уровни 1 и 0). Формуляр классификации события предназначен для того, чтобы помочь каждому национальному координатору ИНЕС представить общественности и средствам массовой информации своей страны необходимую информацию о ядерных событиях в других странах. МАГАТЭ предоставляет Формуляр классификации события в качестве отдельного документа вместе с руководством по его заполнению, учитывающим точки зрения национальных координаторов ИНЕС.

Шкала разрабатывалась на основе изучения опыта прошлых событий, их классификации и оценок, а также в соответствии с параметрами ядерной и радиационной безопасности (Табл.1).

Табл. 1. Международная шкала ядерных событий

| | |
|------------|---|
| АВАРИЯ | 7. Крупная авария |
| | 6. Серьезная авария |
| | 5. Авария с риском за пределами площадки |
| | 4. Авария без значительного риска за пределами площадки |
| | 3. Серьезный инцидент |
| ИНЦИДЕНТ | 2. Инцидент |
| | 1. Аномалия |
| ----- | |
| ОТКЛОНЕНИЕ | 0 |
| | Ниже шкалы |
| | Не существенно для безопасности |

Шкала не лишена недостатков, в частности, оценки событий по уровням страдают некоторой расплывчатостью и субъективизмом, что иногда приводит к расхождению мнений экспертов. Так, аварийная ситуация на Ленинградской АЭС в 1992 г. оценивалась специалистами по разному – от второго до четвертого уровня (в итоге был принят третий). До сих пор некоторые эксперты оценивают случившееся на Чернобыльской АЭС (1986 г.) как событие четвертого уровня, хотя по всем критериям оно должно было быть отнесено к седьмому. В прямой зависимости от уровня событий находится комплекс вызванных ими последствий (**Табл.2**)

Важным элементом в структуре международной шкалы является соотношение семи уровней и трех критериев (**Табл.3**). Первый критерий связан с количеством выброса радиоактивных веществ во внешнюю среду, т.е. фиксирует наиболее опасную сторону аварийной ситуации, затрагивающую непрямых к объекту людей; второй критерий характеризует обстановку на самом объекте, имеющую отношение прежде всего к персоналу; третий критерий является показателем состояния технических систем объекта.

Международная шкала ядерных событий (ИНЕС) позволяет оперативно и согласованно оповещать общественность о значимости с точки зрения безопасности событий на ядерных установках, о которых поступают сообщения. Реально характеризуя события, шкала может облегчить достижение единообразного понимания событий ядерным сообществом, средствами массовой информации и общественностью. Она разработана международной группой экспертов, созданной совместно Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ) и Агентством по ядерной энергии (АЯЭ) Организации экономического сотрудничества и развития.

События классифицируются в шкале на семи уровнях. Нижние уровни (1-3) называют инцидентами, а верхние (4-7) – авариями. События, которые не имеют значимости с точки зрения безопасности, классифицируются как относящиеся к уровню 0, находятся ниже шкалы и называются отклонениями. События, не относящиеся к безопасности, определяются как выходящие за рамки шкалы.

Структура шкалы представляет собой матрицу с ключевыми словами. События рассматриваются с точки зрения трех характеристик или критериев безопасности, представленных в каждом из трех столбцов: воздействие за пределами площадки, воздействие на площадке и деградация глубокоозелонированной защиты.

Второй столбец матрицы связан с событиями, приводящими к выбросам радиоактивности за пределами площадки. Поскольку только это последствие оказывает непосредственное воздействие на население, естественно, что такие выбросы являются предметом особой озабоченности. Поэтому нижний уровень в этом столбце соответствует выбросу, в результате которого лица, находящиеся вне площадки и подвергшиеся наибольшему облучению, получают дозу облучения, эквивалентную одной десятой годового дозового предела для населения; это событие классифицируется на уровне 3. Как правило, такая доза составляет также около одной десятой средней годовой дозы естественного фонового излучения. Наивысший уровень представляет собой крупную ядерную аварию с широкомасштабными последствиями для здоровья людей и окружающей среды.

В третьем столбце рассматривается воздействие события на площадке. Эта категория охватывает диапазон уровней от 2-го (загрязнение и/или переоблучение персонала) до 5-го (серьезная авария на станции, такая, как расплавление активной зоны ядерного реактора).

Все ядерные установки проектируются таким образом, что существует ряд слоев безопасности, предотвращающих возникновение значительного воздействия на площадке или за пределами площадки, а размеры предусматриваемых слоев безопасности в целом соответствуют возможности воздействия на площадке и за ее пределами. Действие всех этих слоев безопасности должно быть исчерпано прежде, чем возникнут существенные последствия на площадке или за пределами площадки. Совокупность этих слоев безопасности называют «глубокоэшелонированной защитой». Четвертый столбец матрицы связан с инцидентами на ядерных установках или во время перевозки радиоактивных материалов, в ходе которых деградировали свойства глубокоэшелонированной защиты. Инциденты в этом столбце классифицируются на уровнях 1 - 3.

Событие, которое включает характеристики, представленные более чем одним критерием, всегда классифицируются на самом высоком уровне, соответствующем любому отдельно взятому критерию.

Авария (арабск. авар – повреждение, ущерб), выход из строя, повреждение какого-либо механизма, устройства, машины и т.п. во время работы, движения. Перен. – несчастный случай, неудача.

Авария на ЯУ - нарушение эксплуатации ядерной установки (например, атомной станции), при котором произошел выход радиоактивных материалов и/или ионизирующих излучений в количествах, приводящих к значительному облучению персонала, населения и окружающей среды.

Аварийная ситуация - состояние ядерной установки (например, атомной станции), характеризующееся нарушением пределов безопасной эксплуатации, но не перешедшее в аварию.

Радиационная авария - нарушение пределов безопасной эксплуатации, при котором произошел выход радиоактивных материалов или ионизирующего излучения за предусмотренные границы в количествах, превышающих установленные для нормальной эксплуатации значения.

Запроектная авария - авария, вызванная не учитываемыми для проектных аварий исходными событиями или сопровождающаяся дополнительными по сравнению с проектными авариями отказами систем безопасности, реализацией ошибочных решений персонала, которые могут привести к тяжелым повреждениям или к расплавлению активной зоны. Уменьшение последствий достигается управлением запроектной аварией и/или реализацией планов мероприятий по защите персонала и населения. Примером запроектной аварии может служить разрыв корпуса ядерного реактора.

Ядерная авария – потеря управления цепной реакцией в реакторе, либо образование критической массы при перегрузке, транспортировке и хранении тепловыделяющих сборок, приведшее к потенциально опасному облучению людей или к повреждению тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) сверх допустимых пределов.

Инцидент (incidens – случающийся), случай, происшествие (обычно неприятное); столкновение, недоразумение.

Радиационный инцидент - событие, при котором происходит облучение в дозах, превышающих установленные пределы для соответствующих категорий лиц.

Ядерноопасный режим – отклонения от пределов условий безопасной эксплуатации реакторной установки АЭС, не приведшие к ядерной аварии

Режим аварийный - ненормальный режим работы реактора. Существенную часть аварийных режимов можно рассматривать как переходные процессы, протекающие с недопустимыми отклонениями основных параметров, нарушающими условия безопасности ЯЭУ и приводящими к срабатыванию аварийной защиты, т. е. к выключению реактора или существенному ограничению мощности. К аварийным режимам относятся: режимы, связанные с незапланированным изменением реактивности вследствие неконтролируемого извлеченияборок СУЗ реактора или стержней-поглотителей, изменения концентрации жидкого поглотителя в теплоносителе и т. п.; режимы с аварийным сокращением расхода теплоносителя через активную зону или отдельные технологические каналы реактора; режимы работы, обусловленные появлением неплотностей (течей) на оборудовании и трубопроводах главных контуров циркуляции теплоносителя; режимы работы при потере электрического питания (обесточивании) собственных нужд АЭС; режимы работы при нарушении герметичности оболочек ТВЭЛ и увеличении

активности теплоносителя; режимы работы, связанные с повреждением главных паровых трубопроводов; работа ЯЭУ при непредвиденных сбросах и набросах электрической нагрузки.

Аварийная остановка реактора - быстрое прекращение цепной ядерной реакции при возникновении аварийной ситуации. Осуществляется быстрым вводом в активную зону регулирующих стержней или жидкого поглотителя нейтронов.

Внутренняя самозащитенность реактора - свойства ядерного реактора, которые обеспечивают его самоглушение и охлаждение при любых аварийных ситуациях.

Радиационная безопасность - комплекс мероприятий, направленных на ограничение облучения персонала и населения до наиболее низких значений дозы излучения, достигаемой средствами, приемлемыми для общества, и на предупреждение возникновения ранних последствий облучения и ограничение до приемлемого уровня проявлений отдаленных последствий облучения.

Радиационный контроль - контроль за соблюдением «Норм радиационной безопасности» и «Основных санитарных правил работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений», а также получение информации об уровнях облучения людей и о радиационной обстановке на предприятии (например, атомной станции) и в окружающей среде.

Инспекция - действия, в ходе которых с помощью проверки, наблюдения или измерения определяется соответствие материалов, частей, узлов, систем, конструкций, а также процессов и методик определенным требованиям.

Системы безопасности - системы, предназначенные для выполнения действий по предотвращению аварий или ограничению их последствий.

Система локализации аварии - в случае возникновения аварийной ситуации, при которой разгерметизируется первый контур ЯЭУ системы локализации должны полностью исключить возможность попадания радиоактивных веществ в окружающую среду. В состав системы локализации входят две группы устройств герметичные помещения и боксы в здании АЭС, а также герметичная защитная оболочка для всего оборудования первого контура и системы, обеспечивающие внутри герметичных помещений и оболочки определенное расчетное давление, т. е. предохраняющие их от разрушения при аварии, связанной с потерей теплоносителя. Последние системы обязательны для установок с водным теплоносителем. На первых ВВЭР-440 и всех РБМК герметичная защитная оболочка не обязательна. Все оборудование первого контура расположено в связанной системе боксов за биологической защитой реактора. При появлении течи теплоносителя в одном из боксов давление в нем возрастает. Когда давление достигает определенного значения, обычно не более 0,5 МПа, срабатывают предохранительные клапаны и подключается следующий бокс.

Система обеспечения безопасности (СОБ) - предусматривает три категории устройств: устройства нормальной эксплуатации, локализирующие и защитные устройства.

Промышленные аварии или другие события, не связанные с ядерными или радиационными операциями, не классифицируются и определяются как «выходящие за рамки шкалы». Например, хотя события, связанные с турбиной или генератором, могут оказать воздействие на системы безопасности, отказы, воздействующие лишь на эксплуатационную готовность турбины или генератора, будут классифицироваться как выходящие за рамки шкалы. Пожары, следует считать выходящими за рамки шкалы, когда они не связаны с какой-либо возможной радиационной опасностью и не воздействуют на слои безопасности.

Табл.2. Международная шкала ядерных событий для оперативной передачи сообщений о значимости событий с точки зрения безопасности

| Степень и описание | Последствия вне площадки АЭС | Последствия на площадке АЭС | Примеры |
|----------------------|---|--|-----------------------|
| 7. Тяжелая авария | Внешний выброс значительной части радиоактивного материала из активной зоны энергетического реактора, содержащий смесь коротко- и долгоживущих радиоактивных продуктов деления (в количестве, радиологически эквивалентном десяткам тысяч терабеккерелей иода-131), в результате которого будут превышены дозовые | Максимальны; тяжелые повреждения активной зоны и физических барьеров; возможность острых лучевых поражений; острые и отдаленные последствия для здоровья населения (на обширной территории, возможно не в одной стране); долговременные последствия для окружающей среды | Чернобыль, СССР, 1986 |

| | | | |
|--|---|--|---|
| | пределы для запроектных аварий. | | |
| 6. Серьезная авария | Внешний выброс радиоактивных материалов (в количестве, радиологически эквивалентном тысячам – десяткам тысяч терабеккерелей иода-131); в результате которого дозовые пределы для проектных аварий будут превышены, а для запроектных - нет. Требуется полномасштабное выполнение плановых мероприятий по защите персонала и населения в случае аварий в радиусе 25 км, включающих эвакуацию населения | Тяжелые повреждения активной зоны и физических барьеров; серьезные последствия для здоровья людей. | ПО «Маяк», СССР, 1957 г. |
| 5. Авария с рисками для окружающей среды | Ограниченный внешний выброс (в количестве, радиологически эквивалентном сотням – тысячам терабеккерелей иода-131), приводящее к незначительному превышению дозовых пределов для проектных аварий; в некоторых случаях требуется частичное введение планов мероприятий по защите персонала и населения на случай аварии | Тяжелые повреждения активной зоны и физических барьеров, вызванная механическим воздействием и плавлением; крупная авария с превышением критичности, крупный пожар или взрыв с выбросом большого количества радиоактивности в пределах установки | Windscale, Великобритания, 1957 (военный реактор); Три Майл Айленд, США, 1979 |
| 4. Авария без значительных рисков для окружающей среды | Незначительный внешний выброс радиоактивности в окружающую среду в количествах, не превышающих дозовые пределы для населения при проектных авариях. При таком выбросе необходимость в защитных мероприятиях за пределами площадки маловероятна, за исключением, возможно, местного контроля пищевых продуктов. | Серьезные повреждения активной зоны и радиологических барьеров; облучение персонала с летальным исходом (облучение работающих порядка 1 Зв, вызывающего лучевые эффекты); возможна необходимость проведения крупных восстановительных работ на площадке, напр. частичное расплавление активной зоны реактора и сравнимые события на нереакторных установках. | Saint-Laurent, Франция, 1980; Tokaimura, Япония, 1999 |
| 3. Серьезный инцидент | Очень малый выброс радиоактивных веществ, в количестве, не превышающем 5-кратного допустимого суточного выброса; облучение населения на уровне доли установленных пределов. За пределами площадки не требуется принятия защитных мер. | Серьезное распространение радиоактивности; облучение персонала с серьезными последствиями; значительное переоблучение работающих (порядка 50 мЗв). | Vandellos, Испания, 1989 (пожар); Сибирский химический комбинат, СССР, 1993 г.) |
| 2. Инцидент | Инциденты со значительным нарушением мер безопасности (отказы оборудования или отклонения от нормальной эксплуатации), которые хотя и не вызывают непосредственного влияния на безопасность станции, но способны привести к значительной переоценке мер по безопасности. Сохранение достаточной глубокоошелонированной защиты, позволяющей справиться с последующими отказами. | Значительное распространение загрязнения; облучение персонала, превышающее годовую предельную дозу. | Частые события |
| 1. Аномальная ситуация | Отклонения от разрешенного режима эксплуатации, вызванное отказом оборудования, ошибкой человека или процедурными несоответствиями. Не представляют какого-либо риска, но указывают на недостатки в обеспечении безопасности (отказ оборудования, ошибки | Не существенно для безопасности | Частые события |

| | | | |
|--|---|-----------------------------------|----------------|
| | персонала. недостатки руководства) | | |
| 0. Отклонение ниже уровня шкалы | Отклонения от эксплуатационных пределов и условий, устранимые в соответствии с предусмотренным регламентом. | Не имеет отношения к безопасности | Частые события |

В настоящее время радиоэкологи разрабатывают на основе международной шкалы ядерных событий оценочные системы, в которых учитывался бы не только уровень события, но и нанесенный этим событием экономический и экологический ущерб, упущенная выгода, долгосрочные социально-экономические и санитарно-гигиенические последствия.

Примеры классификации ядерных событий

Авария 26 апреля 1986 года на Чернобыльской АЭС привела к крупномасштабным воздействиям на окружающую среду и здоровье людей (уровень 7). Согласно официальным данным суммарный выброс радиации на 6 мая 1986 года – ко времени, когда распалась большая часть короткоживущих нуклидов – составлял 50 млн Ки, при этом из взорвавшегося реактора было выброшено 3 - 4% топлива. Радиоактивный выброс был не только 26 апреля, но продолжался с разной интенсивностью еще несколько дней. 2 и 5 мая в результате вторичного разогрева топлива в разрушенном реакторе произошло еще два интенсивных выброса.

Авария в 1957 году на кыштымском заводе (Россия) привела к мощному выбросу за пределами площадки. В целях ограничения серьезных воздействий на здоровье людей были предприняты аварийные меры, включая эвакуацию населения (уровень 6).

Авария в 1957 году на графитовом реакторе с воздушным охлаждением в лаборатории в Уиндскейле (Селлафилд) Англия привела к выбросу в окружающую среду радиоактивных продуктов деления (уровень 5).

В результате аварии в 1979 году на АЭС «Три-Майл Айленд» в США произошло серьезное повреждение активной зоны реактора. Выброс радиоактивности за пределы площадки был весьма ограниченным (уровень 5).

Авария в 1973 году на заводе по переработке топлива в Уиндскейле (Селлафилд) Англия привела к выбросу радиоактивного материала в рабочую зону завода в результате экзотермической реакции в технологической емкости (уровень 4).

В 1980 году авария на АЭС в Сен-Лоране, Франция, привела к частичному повреждению активной зоны реактора, но внешнего выброса радиоактивности не было (уровень 4).

В ходе произошедшей в 1983 году аварии на критической сборке РА-2 в Буэнос-Айресе (Аргентина) аварийный разгон мощности, обусловленный несоблюдением правил безопасности во время выполнения последовательности операций по модификации активной зоны, привел к смерти оператора, который находился в 3-4 метрах от активной зоны. Оценки доз, поглощенных пострадавшим, дали цифры: 21 грэй для гамма-дозы плюс 22 грэя для дозы нейтронного облучения (уровень 4).

В результате инцидента в 1989 году на АЭС в Вандельосе, Испания, не произошло внешнего выброса радиоактивности, не было также и повреждения активной зоны реактора или загрязнения на площадке. Однако повреждение систем безопасности станции привело к значительной деградации глубокошелонированной защиты (уровень 3).

подавляющее число событий, о которых поступили сообщения, классифицированы ниже уровня 3.

2. ОПАСНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЙ ЯТЦ

Попытаемся сравнить потенциальную опасность некоторых предприятий ядерного топливного цикла России.

На 01.01.2000 г. загрязненные радионуклидами территории имелись на 22 предприятиях Минатома, которые находятся в 16 субъектах российской Федерации. Общая загрязненность территорий составляет 480 км², в том числе земли — 376 км², водоемы — 104 км². Из них

промплощадки — 63 км², в санитарно-защитных зонах — 220 км², в зонах наблюдения — 197 км². Территории с уровнем загрязнения, соответствующие мощности доз более 2 мкЗв/час занимают около 6 км². наибольшее количество загрязненных территорий имеют пять предприятий, в том числе: «Сибирский химический комбинат» — 10,4 км², Приаргунское производственное горно-химическое объединение — 8,5 км², Горно-химический комбинат — 4,7 км², Чепецкий механический завод — 1,35 км², Гидро-металлургический завод — 1,34 км².

В 1999 г. предприятиями ЯТЦ в атмосферу было выброшено 92 тыс. тонн вредных химических веществ (ВХВ), в том числе: первого класса опасности 0,0001 %, второго — 21,1 %, третьего — 44,7 %. Превышение предельно допустимых нормативов имело место на 25 предприятиях по 47 наименованиям загрязняющих веществ. Сверхнормативные выбросы составили около 600 т. Наибольшую долю в них составляют вещества третьего класса опасности. Практически без улавливания выбрасываются в атмосферу сернистый ангидрит, оксид углерода, углеводороды.

В 1999 г. 46 предприятий Минатома сбросили в поверхностные водоемы 298 млн.м³ загрязненных ВХВ сточных вод, в том числе в бассейны Азовского и Черного морей — 9,5 (3 предприятия), Арктических морей — 124,8 (20 предприятий), Балтийского моря — 91,4 (5 предприятий), Каспийского моря — 59,0 (16 предприятий), Тихого океана — 13,1 (2 предприятия). Основными веществами, отводимыми со сточными водами с превышением ПДК и ПДС являются: нефтепродукты, азот аммонийный, фтор, тяжелые и цветные металлы, (отходы гальванического производства).

В 1999 нормативы ПДК на ряде предприятий превышены в 50-100 раз (ГХК, НЗХК, КЧХК, машиностроительный завод, Электромеханический завод «Авангард»). На предприятиях Минатома по состоянию на 1 января 2000 г. было 20 млн. тонн токсичных отходов, в том числе: первого класса опасности — 218 т, из которых ртутьсодержащих — 184 т, второго класса опасности — 94 тыс. тонн, четвертого класса опасности — 19.8 млн. тонн.

Тяжелая радиозоологическая ситуация в России, сложившаяся в зоне воздействия ЯТЦ, связана, прежде всего, с используемой на предприятиях жидкостных технологий в уран-плутониевом цикле и в экстрагировании трансурановых элементов, представляющих постоянный источник радиоактивных и других отходов, порождая вечную проблему водоемов-накопителей, емкостей-хранилищ. Переход на принципиально иные виды технологий не планируется. Следовательно, будет продолжаться интенсивное загрязнение окружающей среды.

Суммарное количество РАО, находящихся на предприятиях Минатома на 01.01.2000 с учетом предшествующей деятельности, составили — $8,2 \cdot 10^{19}$ Бк (2,2 млрд. Ки), из них ЖРАО — $7,1 \cdot 10^{19}$ Бк, в том числе высокоактивных — $4,0 \cdot 10^{19}$; твердых — $1,1 \cdot 10^{19}$ Бк. Основное количество РАО сосредоточено на трех предприятиях ЯТЦ России: ПО «Маяк», СХК и ГХК. Большое количество накопленных некондиционированных радиоактивных отходов, недостаточность технических средств для обеспечения безопасного обращения с ними, отсутствие надежных хранилищ для их длительного хранения (захоронения) повышают риск возникновения радиационных аварий и создают реальную угрозу радиоактивного загрязнения окружающей природной среды.

Экологические проблемы при захоронении и переработке РАО обусловлены, в первую очередь, наличием высокой степени потенциальной опасности нанесения ущерба окружающей природной среде в связи с возможностью радиационного заражения гидросферы, атмосферы, почв и причинения вреда биологическим ресурсам в процессе производства этих работ. Эта опасность связана с возможным выходом радиоактивных веществ, которые в аварийной ситуации или, к примеру, при неисправности упаковочного контейнера могут попасть в окружающую среду и создать уровни загрязнения и концентрации радионуклидов в воде, на почве или в окружающем воздухе сверх допустимых значений. Кроме этого, потенциальная опасность предприятий атомной энергетики обусловлена еще и тем, что в 30-километровых зонах АЭС и в непосредственной

близости к объектами ЯТЦ расположено 1300 населенных пунктов, в которых проживает около 4 млн. человек.

Сравнение потенциальной опасности предприятий ЯТЦ можно провести на основе параметров, приведенных в **Прил. 1**.

Табл. 3. Сравнение риска здоровья людей от эксплуатации ядерных установок и радиационных источников. *Источник: В.Кревитт, Р.Фридрих «Сравнение риска от различных источников электроэнергии», «Атомная техника за рубежом», 1998 г, № 5, с.15-21*

| Этап ЯТЦ | Онкологические заболевания | | Генетические эффекты |
|-----------------------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------|
| | с летальным исходом | без летального исхода | |
| Добыча урана | $1,4 \cdot 10^{-2}$ | $3,4 \cdot 10^{-2}$ | $2,8 \cdot 10^{-3}$ |
| Производство концентратов | $8,6 \cdot 10^{-3}$ | $2,1 \cdot 10^{-4}$ | $1,7 \cdot 10^{-5}$ |
| Отвалы в процессе эксплуатации | $8,1 \cdot 10^{-4}$ | $1,9 \cdot 10^{-3}$ | $1,6 \cdot 10^{-4}$ |
| Отвалы после эксплуатации | $8,1 \cdot 10^{-1}$ | 1,9 | $1,6 \cdot 10^{-1}$ |
| Конверсия | $1,6 \cdot 10^{-6}$ | $3,5 \cdot 10^{-6}$ | $2,9 \cdot 10^{-7}$ |
| Изотопное обогащение | $1,2 \cdot 10^{-6}$ | $2,9 \cdot 10^{-6}$ | $2,4 \cdot 10^{-7}$ |
| Изготовление ТВС | $2,9 \cdot 10^{-7}$ | $6,8 \cdot 10^{-7}$ | $5,7 \cdot 10^{-8}$ |
| Переработка топлива | $1,6 \cdot 10^{-1}$ | $4 \cdot 10^{-1}$ | $3,3 \cdot 10^{-2}$ |
| Окончательное захоронение отходов | Количественно | не определено | |
| Транспорт | $6,5 \cdot 10^{-5}$ | $1,6 \cdot 10^{-4}$ | $1,3 \cdot 10^{-5}$ |
| Итого | 1 | 2,3 | 0,19 |

Поясним причину выбора этих параметров и прокомментируем их различие для выбранных элементов ЯТЦ.

Число объектов в России. Этот показатель определяет степень потенциальной опасности для страны от предприятий данного вида. При малом числе (единицы) опасности подвергаются отдельные регионы, и поэтому важным является их географическое расположение, при большом (десятки) — влияние распространяется на многие регионы страны.

Количество радионуклидов, находящихся на объектах. Данный показатель характеризует потенциальную опасность конкретного предприятия ЯТЦ. Из **Прил. 1** видно, что этот диапазон составляет несколько порядков. Реальную опасность представляют максимально возможные выбросы радиоактивности при тяжелых авариях. А также их качественный состав.

Возможность развития самоподдерживающейся цепной ядерной реакции (СЦЯР). Предотвращение такой реакции было и остается предметом первоначальных забот обеспечения безопасности предприятия ЯТЦ. В большинстве из рассмотренных элементов ЯТЦ возникновение неуправляемой цепной ядерной реакции потенциально возможно. С 1953 по 2000 год произошло 13 ядерных аварий на различных предприятиях Минатома. Одиннадцать из них произошли до 1979 года. В 1997 г. произошла одна авария: на НЗХК без переоблучения персонала и выброса радиоактивности в окружающую среду. Наибольшее количество аварий — 10 произошло на установках химико-металлургических заводов, производящих и перерабатывающих металлические изделия и отходы из плутония и высокообогащенного урана. Подавляющее число аварий — 12 произошло при обращении с растворами, пульпами ядерных материалов.

Главными причинами являлись использование ядерно-опасного оборудования, ошибки, нарушения персонала, недостатки в учете и контроле ядерных материалов при их передачах и

подготовке к загрузке в аппараты. К настоящему времени накоплен достаточный опыт для того, для того чтобы сформулировать принципы, требования и нормы ядерной безопасности, позволяющие избежать образования критических систем при обращении с делящимися материалами в условиях промышленного производства. К провоцирующим моментам можно отнести использование разных единиц измерения массы, содержания или концентрации делящихся материалов в пределах одной установки. Провоцирующим моментом является также ошибочное отнесение оборудования к безопасному. Авария в г.Томске-7 в 1993 г. году и авария в 1997 г. в г.Новосибирске произошли на оборудовании, которое называлось безопасным, но не являлось таковым на самом деле, хотя в аварию в г.Новосибирске внесли свою лепту и деформация аппаратов и плохие, с точки зрения ядерной безопасности, технологические решения. К провоцирующим моментам можно отнести и выполнение технологической операции на одном рабочем месте одновременно несколькими операторами.

Аварии подтверждают, во-первых, очевидное положение о том, что ядерная безопасность, учет и контроль ядерных материалов — два важнейших, взаимодополняющих вида деятельности, направленных на предотвращение аварий на ядерных установках, т.е. необходимость интегрированного равнозначного подхода к обеспечению безопасности. Анализ имевших место аварий позволяет провести классификацию делящихся материалов по их опасности: наибольшую опасность представляют обогатенный уран и плутоний, а по агрегатному состоянию - их водные растворы или водородсодержащие смеси (из 13 аварий 12 произошло в водородсодержащих системах). Осциллирующий характер СЦР в растворах приводит еще к одному важному моменту - необходимости внешнего вмешательства для прекращения СЦР и для перевода системы в подкритическое состояние. Персонал, находящийся в зоне аварии, испытывает стрессовое состояние и, как показывают результаты аварий, может выполнять действия, неадекватные ситуации. Поэтому единственной реакцией на сигнал аварийной системы должна быть немедленная эвакуация из ядерно-опасной зоны.

Напряженность технологических параметров. Потенциальная опасность от наличия радиоактивных продуктов на объекте существенно зависит от напряженности параметров нормального технологического процесса и сопутствующих им физико-химических явлений. К таким параметрам, прежде всего, относятся давление (Р) и температура (Т), при которых работают барьеры, удерживающие радиоактивные материалы в заданных границах. Оборудование, работающее под давлением, само по себе требует специального внимания и нормирования, а в сочетании с радиоактивными веществами — особенно. Технологические процессы, проходящие на грани неуправляемого выделения энергии и повышения давления в виде взрывов, создают дополнительный источник опасности и требуют, с одной стороны, достаточного изучения этих пограничных процессов и условий попадания в эту область, с другой, мер по предотвращению реализации самих явлений и минимизации их последствий. В таблице этот фактор отмечен символом — В (взрыв). Следующим показателем является пожаровзрывоопасность. Рассматривая этот фактор, как и предыдущие, имеем в виду не вообще возможность пожаров на данном объекте, а те пожары, которые могут привести к разрушению барьеров на пути распространения радиоактивных веществ. В **Прил. 1** этот фактор отмечен символом — П.

Уязвимость к внешним воздействиям. К внешним воздействиям, способным привести к разрушению барьеров на пути выхода радиоактивных веществ, будем относить сейсмическую активность и особенности геологической площадки (С и Г), метеорологические условия (М), включающие ураган, обильные осадки и т.п., и вызванные человеческой деятельностью воздействия (ДЧ), в том числе падение самолета, взрывы на соседних предприятиях, диверсии и т.п. Как показывают события произошедшие 11.09.2001 г. в США, этот фактор является наиболее значимым для обеспечения безопасности предприятий ЯТЦ.

Уязвимость к ошибкам персонала. Ограничимся только качественной экспертной оценкой этого сложного показателя, введя категории «слабая», «средняя», «сильная», опять же имея в виду ошибки в действиях персонала, способные привести к авариям с тяжелыми последствиями.

Необходимо отметить, что на предприятиях ЯТЦ отсутствуют полномасштабные тренажеры, на которых персонал мог бы проходить подготовку и переподготовку.

Возможная площадь загрязнения при авариях. Этот показатель характеризует масштабы возможных последствий аварий для окружающей среды и определяет необходимость реализации планов по защите населения.

Для иллюстрации опасностей, которые могут возникнуть при нарушениях работы оборудования, ошибках персонала и внешних воздействиях, рассмотрим основные процессы, способные привести к выбросу радионуклидов за контролируемые границы.

Для горно-химического комбината - ветровой износ пыли на отвалах «пустой» породы; попадание неочищенных шахтных вод, содержащих ^{226}Ra , в грунтовые и поверхностные воды.

В г. Лермонтов (Ставропольский край), где с 1954 по 1991 производилась добыча и переработка урановых руд, отходы производства сбрасывались в хвостохранилище, площадь которого в настоящее время составляет 81,2 га. На нем складировано 12,3 млн м³ отходов уранового производства суммарной активностью 45,6 тыс. Ки. Минатомом разработан и утвержден проект рекультивации хвостохранилища, который будет реализован в течение 8 лет. Необходимо отметить, что выделение радона и образование дочерних продуктов его распада являются глобальными природными явлениями, происходящими, в особенности, в горных и ураноносных районах. Поэтому повышенный природный радоновый фон имеет место не только в г.Лермонтове, но и во всем регионе Кавказских Минеральных Вод.

Предприятия ЯТЦ России имеют 184,42 га загрязненных территорий. Загрязнения связаны главным образом с хвостохранилищами, которые сооружались на начальном этапе деятельности предприятий без устройства противодиффузионных защитных мер. Негативное влияние хвостохранилищ на окружающую среду сохраняется и в настоящее время из-за продолжения их эксплуатации на МСЗ, ЧМЗ и НЗХК. За последние годы обострилась обстановка на НЗХК, связанная с эксплуатацией хвостохранилища, дамба которого не отвечает гидротехническим и строительным требованиям. На МЗП требуется реабилитация склона берега Москвы-реки из-за его оползневой характер. В п.Балей Читинской области имеются загрязнения жилого фонда и зданий соцкультбыта.

Для обогатительного завода - выброс гексафторида урана и радиоактивной и ядовитой пыли при получении диоксида урана.

Для транспортировки ядерного топлива: Водозаполненные контейнеры - развитие неконтролируемой СЦЯР при нарушении геометрии расположения ТВС в контейнере, разгерметизация контейнера в результате взрыва радиолитического водорода, замерзание или утечка в нем теплоносителя — воды, повышение нейтронного поля вне контейнера при утечке воды, выдавливание загрязненной радионуклидами воды через поврежденные уплотнения, выброс радиоактивных аэрозолей через поврежденные уплотнения; Сухие контейнеры — выброс радиоактивных аэрозолей через поврежденные уплотнения, повышение нейтронного поля вне контейнера при повреждении нейтронной защиты, развитие СЦЯР при нарушении геометрии расположения ТВС в контейнере, его перегрев, разгерметизация в результате механических повреждений при транспортных авариях.

Для радиохимического завода:

Отделение резки — возгорание пирофорных опилок при обрезке хвостовиков ТВС, выделение окклюдированных и адсорбированных радиоактивных благородных газов и летучих соединений радионуклидов.

Отделение растворения — взрыв водорода, образующегося при растворении металла (если перерабатываются металлические твэлы), отгонка трития, радиоактивных газов и летучих соединений радионуклидов, «заикливание» трития вследствие процессов изотопного обмена, протечки высокоактивной жидкости вследствие коррозии оборудования.

Хранилища отработанного ядерного топлива — взрыв радиолитического водорода при нарушении системы вентиляции, развитие СЦЯР при нарушении геометрии расположения

отработанных ТВС, коррозионное или механическое повреждение оболочек твэлов и выход радиоактивности в воду хранилища, разлив радиоактивной воды из бассейна при повреждении системы водообмена.

Узел экстракции — развитие СЦЯР. Пожар в результате вспышки паров экстрагента и разбавителя, взрыв радиолитического водорода, протечки радиоактивной жидкости вследствие коррозионного повреждения оборудования, взрыв в результате автокаталитической реакции с газовой выделением в жидкой фазе.

Отделение упаривания — протечки высокоактивной жидкости при коррозионном повреждении оборудования, выброс радиоактивных паров и аэрозолей при нарушении системы газоочистки.

Отделение получения товарного продукта: Урановая ветвь — пожар в результате вспышки паров экстрагента и разбавителя, взрыв твердых нитратов в результате автокаталитической реакции с газовой выделением в твердой фазе, протечки в результате коррозионного повреждения оборудования; Плутониевая ветвь — узел экстракции, отделение упаривания, взрыв при термическом разложении гидразина, пыль диоксида плутония при денитрации, развитие СЦЯР.

Получение нептуния — см. узел экстракции.

Отделение хранения и переработки радиоактивных растворов и пульп — развитие локальной СЦЯР, рост давления газа в результате нагрева радиоактивного раствора теплом ядерного распада и выделение радиолитических газов, технологические причины, прорыв сжатого газа в аппараты, предназначенные для работы «под налив», «обратная» диффузия радиоактивной паро-воздушной смеси из свободных аппаратов хранилищ, взрыв газообразных продуктов радиолитического жидких радиоактивных отходов и паров компонентов отходов, автокаталитическая химическая реакция с газовой выделением в жидкой фазе, взрыв твердого остатка после выпаривания отхода, протечки высокоактивной жидкости вследствие коррозионного повреждения оборудования;

Отделения отверждения (остеклования) жидких отходов - протечки в результате прогорания свода печи, на стадии кальцинации или при розливе плава, выброс аэрозолей и летучих соединений радионуклидов при нарушении системы газоочистки, взрыв в результате автокаталитической реакции с газовой выделением в жидкой фазе, взрыв твердых нитратов.

Наличие физических барьеров безопасности. На обогатительных заводах реально существует один барьер — границы герметичного оборудования. На заводах по изготовлению ядерного топлива реально физические барьеры отсутствуют. При транспортировке как свежее, так и отработанное ядерное топливо имеет только два собственных физических барьера: матрицу делящегося материала и оболочку твэлов и герметичный контейнер, т.е. реально наличие двух независимых физических барьеров безопасности не обеспечивается. На радиохимическом заводе требование герметичности при переработке ОЯТ с высокой активностью привело к наличию не менее трех реальных физических барьеров. Полигоны захоронения высокоактивных отходов - подземные сооружения, содержащие герметичные емкости, реально имеют не менее одного барьера.

Ядерная и радиационная безопасность предприятий ЯТЦ. В настоящее время ядерная и радиационная безопасность регламентируется в соответствии с нормативными документами Минатома России, которые формируют, в основном, требования к предотвращению СЦЯР. Радиационная безопасность регламентирована в основном для нормальной эксплуатации предприятий ЯТЦ и оптимальных проектных решений с точки зрения экономических показателей. Требования и параметры безопасности для отдельных видов производств регламентированы отраслевыми стандартами, правилами и технологическими инструкциями. Порядок организации работ по обеспечению безопасности определен соответствующими отраслевыми положениями. Главный недостаток этой системы состоит в отсутствии требований к параметрам и коэффициентам запаса для взрывопожароопасных процессов, производств, установок. В настоящее время эту функцию частично выполняют технологические инструкции и заключения (рекомендации) отраслевых институтов. Слабо применяется «принцип единичного отказа», не используется принцип «внутренней самозащищенности», согласно которому потенциально

опасные установки должны обладать определенными физико-химическими свойствами, исключая возможность возникновения тяжелых аварий. Не прослеживается четкое выполнение требования обеспечения единого государственного подхода к учету ядерных материалов

3. ИНЦИДЕНТЫ НА РОССИЙСКИХ АЭС

За период с 01.01.91 г. по 31.12.2000 г. на российских АЭС произошло 1187 нарушений в их работе (см. Рис.1, 2 и 3, Табл.1 и 2). Причины инцидентов представлены на Рис.4 и 5 и в Табл.4 -7).

Табл. 4. Интенсивность инцидентов на российских АЭС в разные годы

| АЭС | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| БалАЭС | 50 | 69 | 36 | 24 | 10 | 4 | 5 | 5 | 6 | 5 |
| БелАЭС | 1 | 2 | 1 | 1 | 4 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 |
| БилАЭС | 7 | 8 | 8 | 7 | 8 | 2 | 8 | 11 | 4 | 2 |
| НВАЭС | 14 | 29 | 32 | 27 | 19 | 17 | 21 | 10 | 15 | 15 |
| КолАЭС | 25 | 35 | 44 | 38 | 20 | 19 | 7 | 10 | 11 | 1 |
| КлнАЭС | 17 | 14 | 7 | 8 | 11 | 11 | 10 | 9 | 6 | 5 |
| ЛенАЭС | 19 | 14 | 14 | 5 | 4 | 11 | 4 | 8 | 9 | 14 |
| КурАЭС | 20 | 17 | 16 | 10 | 11 | 14 | 14 | 26 | 21 | 19 |
| СмоАЭС | 11 | 12 | 13 | 8 | 12 | 8 | 10 | 23 | 16 | 7 |
| Итого: | 164 | 200 | 171 | 126 | 99 | 88 | 79 | 102 | 90 | 69 |

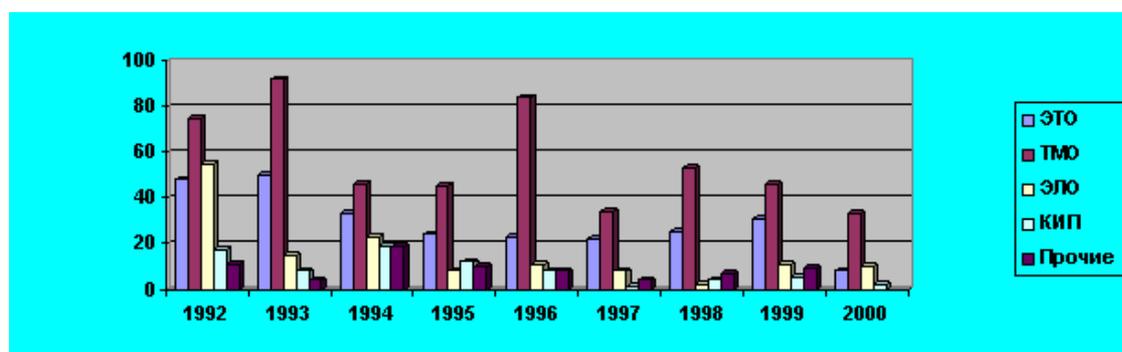


Рис.1

Распределение отказов по типу оборудования на предприятиях ЯТЦ России. Табл. 5.
Распределение отказов по типу оборудования

| ТИП ОБОРУДОВАНИЯ | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Электро-техническое (ЭТО) | 48 | 50 | 33 | 24 | 23 | 22 | 25 | 31 | 8 |
| Тепломеханическое (ТМО) | 75 | 92 | 46 | 45 | 84 | 34 | 53 | 46 | 33 |
| Электронное (ЭЛО) | 55 | 15 | 23 | 8 | 11 | 8 | 2 | 11 | 10 |
| Контрольно-измерительное (КИП) | 17 | 8 | 19 | 12 | 8 | 1 | 4 | 5 | 2 |
| Прочие | 11 | 4 | 19 | 10 | 8 | 4 | 7 | 9 | - |

Табл. 6. Основные конкретные причины нарушений в работе АЭС.

| ПРИЧИНЫ НАРУШЕНИЙ В РАБОТЕ АЭС | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Административное Управление (АУ) | 64 | 64 | 32 | 32 | 43 | 8 | 7 | 45 | 29 |
| Изготовление оборудование (ИЗ) | 23 | 20 | 21 | 8 | 9 | 5 | 7 | 6 | 10 |

| | | | | | | | | | |
|--|----|----|----|----|----|---|----|----|----|
| Проектирование и конструирование (ПиК) | 43 | 44 | 22 | 17 | 19 | 9 | 11 | 19 | 24 |
| Ремонт (Р) | 14 | 9 | 8 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Прочие | 56 | 34 | 43 | 40 | 23 | 4 | 7 | 16 | 1 |

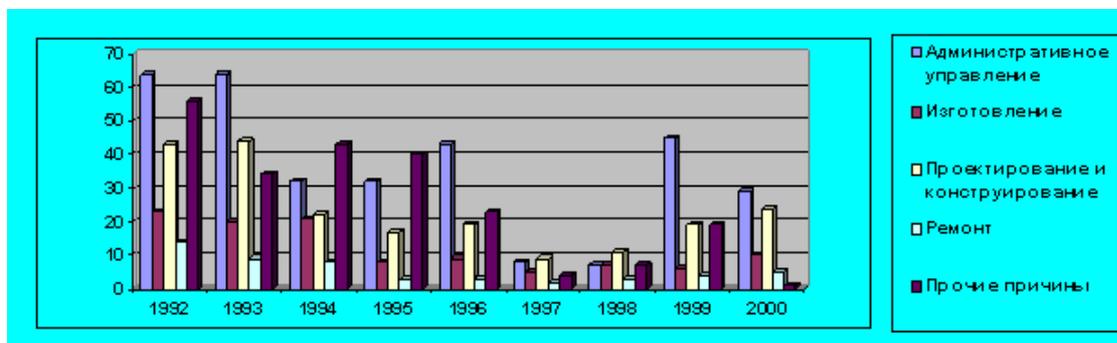


Рис.2

Основные конкретные причины нарушений в работе АЭС. Табл. 7. Распределение отказов по типу реакторной установки (в процентах от общего количества отказов).

| ТИП РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ВВЭР-440 | 27 | 32 | 39 | 26 | 33 | 18 | 16 | 18 | 16 |
| ВВЭР-1000 | 46 | 37 | 38 | 35 | 35 | 37 | 18 | 20 | 22 |
| РБМК-1000 | 22 | 25 | 17 | 27 | 32 | 35 | 55 | 46 | 58 |
| ЭГП-6 | 4 | 5 | 6 | 8 | 2 | 10 | 11 | 4 | 3 |
| БН-600 | 1 | 1 | 1 | 4 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 |

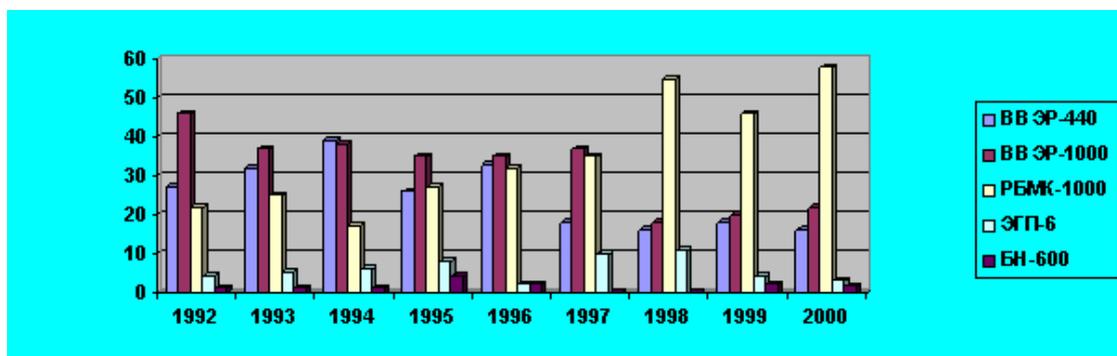


Рис.3 Распределение отказов по типу реакторной установки. Приведем некоторые конкретные примеры инцидентов на Российских АЭС.

Балаковская АЭС

В результате халатных действий персонала станции в 1985 году при испытании первого блока без загрузки топлива произошел разрыв трубопровода. Погибло 13 человек; в течение 1987-1991 гг. происходил выход из строя парогенераторов АЭС; в первом квартале 1997 г. повреждение парогенераторов блока 2 привело к радионуклидному загрязнению кровли машинного зала площадью около 30 м² выше контрольного уровня (до 180 мкР/ч); 26.06.93 г. произошло затирание одиннадцати органов регулирования системы управления и защиты во время останова второго энергоблока, 14.05.95 г. на блоке 1 выявлено превышение проектной величины времени падения органов регулирования из-за искривления каналов (конструкторские недоработки); 19.03.97 г. перед останом блока 1 на текущий ремонт время падения трех органов регулирования превысило проектное время (4 сек).

Нововоронежская АЭС

На блоке 5 01.11.96 г. на номинальном уровне мощности проверялась система безопасности. При этом были залиты водой кабельные разъемы системы управления и защиты реактора, а также системы внутриреакторного контроля, что привело к появлению ложной информации о состоянии реактора; 01.11.98 г. — при работе блока 5 обнаружен выход пара из-под теплоизоляции горячего коллектора парогенератора. Обнаружены две трещины в металле сварного шва. Причины события: совместное воздействие в зоне разрушения технологических остаточных напряжений, циклических нагрузок, возникших в процессе длительной эксплуатации с влиянием коррозионно-активной среды (отклонение от требований конструкторской документации при изготовлении).

Калининская АЭС

06.01.90 г. имело место ухудшение радиационной обстановки на блоке 1. Через быстродействующее редуцирующее устройство произошел пролив воды второго контура на крыши машинного зала и спецкорпуса в количестве около 20 м³ с удельной активностью 3 Ки/л. Основная часть воды по ливневодам поступила в общий коллектор пожарно-ливневой канализации и далее в сбросной канал оз. Песьво, а часть просочилась внутрь помещений. Значения экспозиционной мощности дозы колебались от 0,1 до 1,3 мР/час, плотность потока бета-частиц достигала до 1500 бета-частиц/(см мин). Переоблучения персонала выше предельно допустимых норм не было. Данное радиоактивное загрязнение произошло по вине руководящего и оперативного персонала АЭС; 01.07.92 г. при проведении земляных работ было обнаружено радиоактивное загрязнение участка территории, примыкающей к спецкорпусу. Основная причина этого загрязнения — низкое качество работ и приемки строительных работ; в 1994 г. при проведении ремонтных работ два человека превысили предельно допустимую дозу облучения (5 бэр), а двое других — контрольный уровень облучения (3 бэр); 14.05.95 г. на блоке 1 выявлено превышение проектной величины времени падения органов регулирования; 15.02.97 г. на блоке № 2 выявлено превышение проектной величины времени падения стержней СУЗ вызванное конструкторскими недоработками.

Белоярская АЭС

Белоярская АЭС укомплектована реакторами на быстрых нейтронах типа БН-600. В августе 1992 года в районе Белоярской АЭС обнаружены аномальные концентрации ¹³⁷Cs, ⁶⁰Co. Максимальная мощность излучения зарегистрирована на уровне около 1200 мкР/час и сформирована в основном излучением ⁶⁰Co; 22 декабря 1992 года на станции при перекачке жидких радиоактивных отходов на спецводоочистку для ее переработки из-за халатности персонала было затоплено помещение обслуживания насосов. Вода поступила в страховочный поддон - затем в грунт, после чего по специальной дренажной сети - в водоем-охладитель. Общее количество ЖРО в поддоне 15 м³ суммарная активность 6 Ки. Суммарная активность ¹³⁷Cs, попавшего в пруд-охладитель, около 6 мКи. Этому инциденту был присвоен третий уровень опасности по международной шкале INES. 7 октября 1993 года в 11 часов 19 минут третий блок Белоярской АЭС был остановлен по признакам повышения радиационного фона в вытяжной вентиляционной сети. Причины останова — утечка теплоносителя в одной из вспомогательных систем. Происшествие оценено как инцидент первого уровня по шкале INES. 6 июня 1994 года, во время капитального ремонта, произошла утечка нерадиоактивного натрия из второго контура, из-за чего начался пожар. Персонал станции своими силами справиться не смог и вызвал пожарную бригаду. У нее также не оказалось средств для тушения натрия. Утечка натрия была остановлена, вышедший натрий выгорел, пожар прекратился.

4. ИНЦИДЕНТЫ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЯДЕРНОЙ ИНДУСТРИИ

4.1 Сибирский химический комбинат (г. Северск, Томская обл.)

Более 40 лет в нескольких километрах от г. Томска функционирует крупнейшее в России и мире предприятие по производству оружейного плутония — Сибирский химический комбинат (СХК). На СХК функционируют следующие радиационно-опасные производства: реакторный

завод (два реактора АДЭ), завод по разделению изотопов, сублиматный завод, радиохимический завод, химико-металлургический завод.

На СХК случались различные инциденты, приведшие к загрязнению окружающей среды. 18.04.1961 - в результате автокаталитической реакции между органической жидкостью и концентрированной азотной кислотой произошел взрыв испарителя, предназначенного для упаривания водных растворов после экстракции. Два смертельных случая. 30.01.1963 - самоподдерживающаяся цепная реакция (СЦР) в течении 10 часов. Четыре человека из числа персонала переоблучены. 13 декабря 1963 - СЦР в течение 18 часов. В 1963 на полигоне захоронения ЖРО имело место интенсивное газовыделение из скважины, повлекшее вынос радиоактивной газированной жидкости. При этом был загрязнен участок поверхности около 0,1 га. В большинстве скважин после закачки ЖРО наблюдалось значительное повышение температуры (максимально до 156°C). Для снижения температуры в скважины закачивался кислый раствор. В середине 70-х XX века на площадке 18 была обнаружена взаимосвязь горизонтов III и IV (буферного) уровней и возникновение каналов фильтрации. Все нагнетательные скважины, пробуренные на этом участке, были законсервированы. 18.11.1967 - взрыв в сорбционной колонне. 24.04.1977 - разрушение оборудования в реакторе производства реагентов. В июне 1977 на РХЗ при переработке облученных на реакторном заводе блоков в скомплектованную партию попали блоки с малой выдержкой, что привело к повышенному выбросу в атмосферу в течение двух недель ^{131}I в объеме 22 Ки (превышение месячных предельно допустимых выбросов — ПДВ в 2,4 раза. 11.05.77 на РХЗ в результате образования свища на напорном трубопроводе у нагнетательной скважины при закачке радиоактивного сбросного раствора в скважину произошел разлив раствора в объеме 8-14 м³ на поверхностный грунт. Протяженность загрязненной зоны составила 200-220 м, ширина 10-40 м. Гамма фон в зоне загрязнения достигал 145 Р/час. На радиохимическом заводе еще было 3 инцидента (1976, 1969, 1978), на заводе разделения изотопов - 2(1961), на сублиматном заводе - 3 инцидента (два в 1963, один в 1978). С 1959 по 1970 на разных реакторах СХК произошло 24 значимых инцидента. Все они были связаны с тяжелыми зависаниями сборок тепловыделяющих элементов в технологических каналах. В 1991 произошло аэрозольное загрязнение на складе готовой продукции, 6.04.1993 - разрушение технологического оборудования, сопровождающееся взрывом газа, разрушением нескольких производственных зданий и выбросом аэрозолей в окружающую среду (Индекс по шкале INEC) - 3. 5.12.1994 на установке электронно-лучевого переплава опытного химико-металлургического завода СХК при заполнении аргоном рабочей камеры произошла разгерметизация в результате срыва камерных перчаток под воздействием аргона. В результате разгерметизации камеры произошло загрязнение помещения установки до уровня $20,7 \cdot 10^{-11}$ Ки/л по α -аэрозолям. 12.02.96 на химико-металлургическом заводе α -датчиками стационарной системы дозиметрического контроля было зафиксировано загрязнение α -активными аэрозолями операторской зоны цеха № 11, что было квалифицировано как радиационный инцидент. Причиной был факт вскрытия оператором вне защитной камеры контейнера с находящимся в нем делящимися материалами. Выброс радиоактивных веществ в окружающую среду составил $0,048 \cdot 10^{-3}$ мкКи. На радиохимическом заводе СХК в 1997 в течение двух недель имел место сверхнормативный выброс в атмосферу радиоактивного йода-131 с превышением предельно допустимого выброса в 2,4 раза. 18.01.97 произошла внеплановая остановка реактора АДЭ-5 в связи с ухудшением теплотехнических параметров одного из периферийных каналов, вызванных снижением расхода теплоносителя и зависанием топливного бочка в технологическом канале. Причиной нарушения явилось «распухание» топливного бочка. 14.06.99 в центральном зале промышленного уран-графитового реактора АДЭ-4 реакторного завода СХК при проведении регламентных работ по загрузке блоков в технологический канал реактора в результате ошибки оператора облученные блоки вышли на плитный настил. При этом два человека получили дозу облучения, равную 1,5 и 3,0 годовых ПДД.

За время существования СХК произошло 36 аварийных ситуаций и инцидентов в 5 случаях возникала самоподдерживающаяся цепная реакция, погибло 4 человека, 6 человек получили повышенные дозы облучения.

Отдельно необходимо рассмотреть аварию на СХК, произошедшую 06.04.1993 г. В результате аварии образовалась зона радиоактивного загрязнения местности, вытянутая до 25 км в северо-восточном направлении, площадью около 100 км². По данным Росгидромета, суммарное количество радиоактивных веществ, выброшенных из аварийного аппарата СХК на эту территорию, составило от 530 до 590 Ки. В отдельных точках мощность дозы гамма-излучения достигала 400 мкР/ч.

Производственная деятельность СХК сопровождается образованием большого количества жидких, твердых и газоаэрозольных отходов. Выбрасываются в атмосферу и инертные радиоактивные газы (криптон, аргон и др.), тритий, углерод-14, стронций-90, йод-131, цезий-137, α -излучающие радионуклиды (уран, плутоний, америций и др.). Кроме того, в атмосферу выбрасываются нерадиоактивные вредные химические вещества: соединения фтора, трибутилфосфат (ТБФ), оксиды азота, азотная кислота, парафины, четыреххлористый углерод, бензол и ряд других компонентов. Загрязнение территории атмосферными выбросами СХК зафиксировано на расстоянии до 30-40 км от промзоны комбината. В р.Томь из водохранилища-отстойника сбрасываются радиоактивные воды, которые содержат в своем составе натрий-24, фосфор-32, скандий-46, хром-51, железо-59, кобальт-60, цинк-65, мышьяк-76, цезий-137, европий-152, нептуний-239, плутоний-239 и ряд других радионуклидов. На территории комбината расположены 50 хранилищ жидких и твердых радиоактивных отходов, являющихся потенциально опасными. Суммарная активность отходов, хранящихся в них, оценивается в 125 млн. Ки.

Отходы могут рассеяться на большой территории в результате стихийных бедствий (ураганы, смерчи), а также в случае падения самолета или другого летательного аппарата. Радиоактивные элементы разносятся на большие расстояния водоплавающими птицами (гуси, утки) и дикими животными, в том числе крупными (лоси, медведи).

Большую опасность представляет хранение на территории комбината отвалного гексафторида урана, в том числе и тех нескольких сотен тонн, которые получены при переработке и обогащении частично очищенного отработанного топлива зарубежных АЭС по договору с французской фирмой «КОЖЕМА». Заметное загрязнение почвы долгоживущими радионуклидами в результате выбросов комбината было обнаружено до аварии 06.04.93 г. В процессе γ -съемки местности вокруг СХК обнаружены участки загрязнения почв цезием-137 с плотностью загрязнения до 1-2 Ки/км². Характер цезиевого загрязнения не позволяет связать его с аварией 1993 г., следовательно, это загрязнение — следствие многолетней деятельности комбината. В образцах почвенно-растительного покрова были обнаружены резко аномальные концентрации плутония, значительно (в 10 раз и более) превышающие уровни глобального загрязнения. Большую потенциальную опасность представляет также крупномасштабное подземное захоронение ЖРО (общая активность более миллиарда Ки), осуществляющееся более 30 лет в водоносные горизонты на глубину 280-400 м. Делящиеся материалы интенсивно сорбируются песчано-глинистыми породами и скапливаются в устье скважин. Учитывая, что вода является замедлителем нейтронов, это создает угрозу накопления критической массы, достаточной для возникновения самоподдерживающейся цепной реакции. СХК до сих пор не имеет разрешения Госатомнадзор России на захоронение ЖРО в подземные горизонты по причине отсутствия обоснования ядерной безопасности данного процесса.

Проблемы полигона подземного захоронения жидких отходов связаны с протечками в результате коррозионного или механического повреждения «больших» трубопроводов для передачи радиоактивных растворов с завода на полигоны, с развитием самоподдерживающейся цепной ядерной реакции, с авариями на нагнетательных скважинах и в пласте (разрыв труб в результате коррозии или механического повреждения и выброс жидкости из скважины), с газообразованием и повышением давления в пласте и скважине в результате жизнедеятельности

анаэробных бактерий и с выбросом жидкости из скважины в результате радиационно-химического газовыделения в пласте, с перегревом пласта вследствие чрезмерной радиационной нагрузки, а также с непредвиденным гидрогеологами движением радиоактивной жидкости в пласте по разломам с последующим выносом в горизонты, соединяющиеся с поверхностью.

Известно, что некоторые широко одобренные решения проблемы долгосрочного распоряжения плутонием из оружия и другими отходами делящихся ядерных материалов включают в себя помещение порций материала под землей при подкритических концентрациях. Однако, при этих концентрациях подкритически делящийся материал, находясь под землей, может достигнуть критичности, которая окажется самовозрастающей (автокаталитической). Такая критичность могла бы наступить при распространении материала в окружающую среду в результате естественных процессов и внешней деятельности, а также при переносе делящегося материала в другие места, где он может сформировать иные автокаталитические критические конфигурации. Под землей, где материал находится в ограниченном пространстве, и вокруг него нет среды, замедляющей нейтроны, результатами подобных отклонений к сверхкритичности могли бы стать энерговыделения от умеренных величин до нескольких сот ГДж (десятки и сотни тонн тротилового эквивалента) в одном событии. В отсутствии воды потребуются 50-100 кг делящегося материала, чтобы достигнуть автокаталитической критичности. При наличии воды автокаталитическая критичность может наступить при небольших массах порядка 2 кг.

По состоянию на 14.03.2000 со стороны СХК отсутствовало достаточно обоснованное заключение по ядерной и радиационной безопасности, учитывающее наличие возможных неоднородностей в распределении ядерно-опасных делящихся нуклидов в пластах — коллекторах. Не ясна возможность образования критических значений параметров (массы, концентрации и т.д.) указанных радионуклидов в результате физико-химических процессов, происходящих при взаимодействии закачиваемых растворов с породообразующими веществами пластов — коллекторов. В результате возможного возникновения СЦР при дальнейших закачках ЖРАО, проводимых СХК, может произойти залповый выброс радиоактивных веществ в водоносные горизонты, что может изменить гео- и гидрообстановку, а также оказать воздействие на безопасную эксплуатацию ядерных реакторов. Кроме этого, подобное явление может возникнуть и при возможном землетрясении. Несмотря на то, что сама площадка расположения СХК относится к асейсмичному району, следует иметь в виду, что землетрясения силой 3-4 балла в г.Томске фиксировались. Так, в июне 1990 г. ощущались отдельные толчки после землетрясения в районе оз.Зайсан (Казахстан). Землетрясение силой 3.5 балла с эпицентром в 180 км на восток от г.Томска зафиксировано в 1979. Сейсмические подвижки интенсивностью 6-7 баллов фиксировались в районе г.Новокузнецка в начале XX века.

Определенную опасность представляют бассейны и открытые водоемы, содержащие среднеактивные отходы поскольку дают протечки «больших» трубопроводов, используемых для передачи радиоактивных растворов с завода к водоему или бассейну. Ветровой разнос радиоактивных аэрозолей идет с водной поверхности. Определенную роль играет ветровой разнос пыли, образующейся при оголении и разогреве донных осадков. Наконец, следует учитывать разнос активности водоплавающими птицами и насекомыми. В результате этих процессов возможно проникновение радионуклидов в водоносные горизонты.

На комбинате хранится 23000 контейнеров с делящимися материалами, полученных из войсковых частей в связи с резким сокращением количества ядерных боеголовок в России. Перевозка металлических изделий осуществляется в контейнерах, не удовлетворяющих обязательным требованиям к ним и поэтому не сертифицированных, склады для хранения построены более 30 лет назад, проектная документация на эти склады и акты их приёмки отсутствуют. Все опасные грузы везут по однопутной железнодорожной ветке, которая проходит по г. Томску в непосредственной близости от густонаселённых кварталов.

4.2 Красноярский горно-химический комбинат ГХК (г. Железногорск, Красноярск-26)

На Горно-химическом комбинате действует реакторное производство, радиохимический завод по переработке реакторного топлива, не подлежащего хранению, хранилище ОЯТ АЭС с реакторами ВВЭР-1000, цех переработки отходов. Образовавшиеся ЖРО направлялись в открытые поверхностные хранилища, хранились в специальных сооружениях, захоранивались в глубокозалегающих поглощающих геологических горизонтах. Общая активность ЖРО, находящихся в поверхностных и подземных (геологических) хранилищах, оценивается в 450 млн. Ки. Имеется также хранилище твердых отходов. Донные отложения реки Енисей и пойменные участки загрязнены радиоактивными нуклидами за счет сбросов с 2-х прямоточных реакторов, остановленных в 1992 г.

За сорокалетний период эксплуатации военных производств на Горно-химическом комбинате накопились следующие проблемы, связанные с ядерной и радиационной безопасностью: 1) Проблемы, связанные с продолжением работы реактора АДЭ-2. Более десяти лет отработавшие блоки ДАВ-90 не отправляются на переработку, а хранятся в бассейне выдержки, где накоплено около 28 тысяч отработавших блоков. Длительное хранение блоков без переработки может привести к коррозионному разрушению блоков, накоплению урана-235 в илах бассейна выдержки и в охлаждающей воде. После снятия Государственного оборонного заказа в 1995 предприятие вынуждено хранить нарабатываемый диоксид плутония на своей территории, используя для этих целей временное хранилище. 2) Проблемы, связанные с работой радиохимического завода. За время работы радиохимического завода в емкостях-хранилищах накоплено 6700 м³ осадков пульп, суммарной активностью более 100 млн. Ки. 3) Проблемы, связанные с работой изотопно-химического завода. Необходимо переработать пульпы, накопленные в емкостях-хранилищах (700 м³ осадков-пульп высокоактивных отходов, суммарной активностью более одного миллиона Ки) и в открытых бассейнах (20000 м³ пульп активностью примерно 80 тыс. Ки). 4) При выводе из эксплуатации основных производств комбината образуется большое количество твердых РАО, в связи с чем необходимо строительство новых хранилищ. 5) На Горно-химическом комбинате хранится государственный запас препаратов радия (1200 г). Препараты радия хранятся в запаянных стеклянных ампулах около 45 лет. 6) Проблема хранения ОЯТ АЭС.

Строительство завода РТ-2 отложено на неопределенный срок. Между тем, для обеспечения безопасной эксплуатации АЭС России необходимо создание хранилища на 10000 т., которое позволило бы осуществлять хранение ОЯТ АЭС с реакторами не только ВВЭР-1000, но и РБМК-1000.

Упомянем некоторые инциденты, произошедшие на ГХК.

21.09.87 авария на радиохимическом заводе. Она привела к радиоактивному загрязнению дренажных каналов промышленных зданий. В 1999 превышен контрольный уровень внешнего облучения (25 МЗв) семи человек - персонала реактора АДЭ-2. 27.07.2000 г. во время перегрузки пеналов с отработавшими твэлами реактора ВВЭР-1000 произошло падение пенала на металлоконструкцию. Перегрузка производилась под водой, выхода радиоактивных веществ за пределы пенала не выявлено, радиационная обстановка в районе отсека перегрузки не изменилась. Данное событие классифицировано в как аномалия — нарушение «1» категории. В 2000 г. при транспортировании ОЯТ с АЭС России и Украины на ГХК наблюдались превышения допустимых уровней нефиксированного загрязнения внутренних поверхностей вагон - контейнеров до 1500 бета-част./см² мин. При этом параметры радиационной безопасности с внешней стороны вагон-контейнеров не превышали допустимых уровней. В 2001 на реакторном заводе из-за неполадок остановлен реактор АДЭ-2. При ликвидации неполадок 8 работников получили дозу облучения, превышающую годовую контрольную и отстранены от работы. На реакторном заводе в хранилище ОЯТ при проведении регламентных работ не сработал механизм расцепления захвата штанги.

4.3 Электрохимический завод (Красноярск-45)

В г. Зеленогорске (Красноярск-45), недалеко от г. Канска, более 20 лет действует Электрохимический завод (ЭХЗ) по обогащению урана. На ЭХЗ, как и на других аналогичных предприятиях, образуются твердые и жидкие радиоактивные отходы. Твердые радиоактивные отходы размещаются в грунтовых могильниках на промплощадке ЭХЗ. Жидкие радиоактивные отходы сливаются в специальные бассейны, вынесенные за территорию завода. Общий объем двух бассейнов составляет 29000 м³. В бассейнах находится около 2 тонн урана и его распределение неравномерно по горизонтам бассейна. В нижней придонной части содержание урана может достигать до 300-500 г/т. Возможен вынос 0,5 тонны урана в окружающую среду. Обнаружено присутствие цезия-137 в пробах с промплощадки (до 425 Бк/к).

4.4 Производственное объединение «Маяк», (г.Озерск, Челябинская обл.)

Производственное объединение «Маяк» выросло на базе Комбината № 817 — первого в СССР предприятия по промышленному получению делящихся материалов — урана-235 и плутония-239 - для ядерной бомбы. Комбинат был построен на Южном Урале, недалеко от старинных уральских городов Кыштыма и Касли. В состав предприятия первоначально вошли: уран-графитовый реактор; радиохимический завод по выделению плутония из облученного в реакторе урана; химико-металлургический завод по производству металлического плутония.

На уран-графитовый реакторе отмечены следующие инциденты. 22 июня 1948 года реактор после серии испытаний, начавшихся 7 июня, был выведен на проектную мощность. Все работы по проектированию, испытанию и эксплуатации объектов Комбината велись в условиях жесткого лимита времени. Испытания, наладка и ввод в эксплуатацию агрегатов и систем производились, что называется, «на ходу». Первая крупная авария на реакторе произошла уже в первые сутки работы реактора при выведении его на проектную мощность. 19.06.48 из в центре активной зоны возник дефицит охлаждающей воды. Реактор был остановлен, оставшиеся в графитовой кладке разрушенные урановые блоки были извлечены. Вскоре последовала еще одна авария. Руководители работ зам. Пред. Спецкомитета при Государственном Комитете обороны СССР Б. Л. Ванников (председателем Спецкомитета был Л. П. Берия) и И. В. Курчатов решили ликвидировать аварию при работающем реакторе. Выполнение этого решения привело к переоблучению сменного персонала и бригады ремонтников. Ликвидация последствий аварийных ситуаций периодически приводила и к трагическому исходу.

Работа на радиохимическом заводе была достаточно вредной. Первая партия концентрата плутония была получена в феврале 1949 года. В начальный период работы завода экспериментальные данные о минимальных критических массах плутония в водных растворах отсутствовали. Поэтому практически было невозможно обосновать предельно допустимые количества плутония в отдельных видах оборудования, чтобы обеспечить ядерную безопасность. Однако аварий, связанных с самопроизвольными цепными реакциями, на заводе не возникало до 1953. Это было вызвано тем, что первые годы не удавалось получить высокую степень обогащения плутонием, а в 1951 были определены значения минимальных критических масс в растворах плутония и ²³⁵U с 75%-ным обогащением. И все же условия работы были опасны. Плутоний из массы сопровождавших примесей выскабливали вручную. Вследствие большой площади поверхности технологических аппаратов, трубопроводов и проч. плутоний оседал на стенках арматуры и «пропадал». Агрессивные растворы вызывали коррозию оборудования, нарушая его герметичность. Ремонтники, сотрудники аналитических и эксплуатационных служб практически постоянно работали в аварийном режиме, получая недопустимо высокие дозы облучения.

Первая очередь химико-металлургического завода закладывалась в переоборудованных складских помещениях. 26.02.1949 на завод поступил первый конечный продукт с радиохимического завода, и в августе того же года были изготовлены первые детали из чистого плутония. На этом заводе завершался технологический цикл изготовления «сердцевины» ядерной бомбы. Активным материалом служил плутоний δ-фазы с удельной массой 15,8. Заряд имел вид полого шара, состоящего из двух половинок, которые, как и внешний шарик инициатора,

спрессовываются в атмосфере никель-карбонила. Внешний диаметр шара 80-90 мм. Масса активного материала вместе с инициатором 763 - 1060 г. Между полушариями имелась прокладка из рифленого золота толщиной 0,1 мм.

Ядерное производство Комбината с самого начала представляло собой крайне опасный объект для работающих на нем. Еще в 1949 году были зарегистрированы первые случаи лучевой болезни. Смертельной опасности подвергались и люди, просто жившие вблизи комбината, ничего не знавшие об опасности и долгое время ничем не защищенные от нее. И состояние природной среды, которая определяет здоровье и благополучие людей, остается тревожным и по сей день. Позднее был построен второй радиохимический завод, реконструировано и расширено металлургическое производство. В настоящее время действующее реакторное производство ПО «Маяк» включает два реактора, производящие радионуклиды различного назначения. Завод радиоактивных изотопов стал одним из крупнейших мировых поставщиков радиоактивных источников и радиоактивных препаратов.

Территория ПО «Маяк» и прилегающие к нему районы продолжают оставаться источником радиоэкологической опасности. На начальном этапе работы предприятия жидкие РАО сбрасывались в р. Теча. В последующем в верхней части реки был построен каскад водоемов. Большая часть (по активности) жидких радиоактивных отходов сбрасывалась в оз. Карачай (водоём 9) и «Старое болото». Пойма реки и донные отложения загрязнены, иловые отложения в верхней части реки рассматриваются как твёрдые РАО. Подземные воды в районе оз. Карачай и Теченского каскада водоемов загрязнены. Район ПО «Маяк» характеризуется высокой степенью загрязненности в результате аварии 1957 (взрыв емкости с жидкими РАО и образование Восточно-Уральского следа), ветрового уноса 1967 с берега оз. Карачай и предшествующей деятельности основных производств при выполнении оборонных программ.

На ПО «Маяк» отмечены следующие инциденты. 15.03.53 - возникла самоподдерживающаяся цепная реакция. Переоблучен персонал завода; 13.10.54 - разрыв технологического оборудования и разрушение частей здания. 21.04.57 — СЦР на заводе № 20 в сборнике оксалатных декантатов после фильтрации осадка оксалата обогащенного урана. Шесть человек получили дозы облучения от 300 до 1000 бэр (четыре женщины и два мужчины), одна женщина умерла. 29.07.57 - взрыв хранилища радиоактивных отходов. 02.10.58 г. — СЦР на заводе. Проводились опыты по определению критической массы обогащенного урана в цилиндрической емкости при различных концентрациях урана в растворе. Персонал нарушил правила и инструкции по работе с ЯДМ. В момент СЦР персонал получил дозы облучения от 7600 до 13000 бэр. Три человека погибли, один человек получил лучевую болезнь и ослеп. 28.07.59 - разрыв технологического оборудования. 05.12.60 - СЦР на заводе. Пять человек были переоблучены. 26.02.62 - взрыв в сорбционной колонне, разрушение оборудования. 07.09.62 - СЦР. 16.12.65 г. - СЦР на заводе № 20 продолжалась 14 часов. 10.12.68 г. - СЦР. Раствор плутония был залит в цилиндрический контейнер с опасной геометрией. Один человек погиб, другой получил высокую дозу облучения и лучевую болезнь, после которой ему были ампутированы две ноги и правая рука. 11.02.76 на радиохимическом заводе в результате некачественных действий персонала произошло развитие автокаталитической реакции концентрированной азотной кислоты с органической жидкостью сложного состава. Аппарат взорвался, произошло радиоактивное загрязнение помещений ремонтной зоны и прилегающего участка территории завода. Индекс по шкале INES—3. 02.10.84 г. - взрыв на вакуумном оборудовании реактора. 16.11.90 - взрывная реакция в емкостях с реагентом. Два человека получили химические ожоги, один погиб. Авария на радиоизотопном заводе ПО «Маяк» 17 июля 1993 г. с разрушением сорбционной колонны и выбросом в окружающую среду незначительного количества α -аэрозолей. Радиационный выброс был локализован в пределах производственных помещений цеха. Авария 2.08.1993 на линии выдачи пульпы с установки по очистке жидких РАО произошел инцидент, связанный с разгерметизацией трубопровода и попаданием 2 м³ радиоактивной пульпы на поверхность земли (загрязнено около 100 м² поверхности). Разгерметизация трубопровода привела к вытеканию на

поверхность земли радиоактивной пульпы активностью около 0,3 Ки. Радиоактивный след был локализован, загрязненный грунт вывезен. 27.12.1993 произошел инцидент на радиоизотопном заводе, где при замене фильтра произошел выброс в атмосферу радиоактивных аэрозолей. Выброс составлял по α -активности 0,033 Ки, по β -активности 0,36 мКи. 4.02.1994 зафиксирован повышенный выброс радиоактивных аэрозолей: по β -активности 2-суточных уровней, по ^{137}Cs суточных уровней, суммарная активность 15,7 мКи. 30.03.1994 при переходе зафиксировано превышение суточного выброса по ^{137}Cs в 3, β -активности - 1,7, α -активности - в 1,9 раза. В мае 1994 по системе вентиляции здания завода произошел выброс активностью 10,4 мКи β -аэрозолей. Выброс по ^{137}Cs составил 83% от контрольного уровня. 7.07.1994 на приборном заводе обнаружено радиоактивное пятно площадью несколько квадратных дециметров. Мощность экспозиционной дозы составила 500 мкР/с. Пятно образовалось в результате протечек из заглушенной канализации. 31.08.1994 зарегистрирован повышенный выброс радионуклидов в атмосферную трубу здания радиохимического завода (238,8 мКи, в том числе доля ^{137}Cs составила 4,36 % годового предельно допустимого выброса этого радионуклида). Причиной выброса радионуклидов явилась разгерметизация ТВЭЛ ВВЭР-440 при проведении операции отрезки холостых концов ОТВС в результате возникновения неконтролируемой электрической дуги. 24.03.1995 зафиксировано превышение на 19% нормы загрузки аппарата плутонием, что можно рассматривать как ядерно-опасный инцидент. 15.09.1995 на печи остекловывания высокоактивных ЖРО была обнаружена течь охлаждающей воды. Эксплуатация печи в регламентном режиме была прекращена. 21.12.1995 при разделке термометрического канала произошло облучение четырех работников (1,69, 0,59, 0,45, 0,34 бэр). Причина инцидента — нарушение работниками предприятия технологических регламентов. 24.07.1995 произошел выброс аэрозолей ^{137}Cs , величина которого составила 0,27 % годовой величины ПДВ для предприятия. Причина — возгорание фильтрующей ткани. 14.09.1995 при замене чехлов и смазке шаговых манипуляторов зарегистрировано резкое повышение загрязнения воздуха α -нуклидами. 22.10.96 произошла разгерметизация змеевика охлаждающей воды одной из емкостей-хранилищ высокоактивных отходов. В результате произошло загрязнение трубопроводов системы охлаждения хранилищ. В результате данного инцидента 10 работников отделения получили радиоактивное облучение от $2,23 \cdot 10^{-3}$ до $4,8 \cdot 10^{-2}$ Зв. 20.11.96 на химико-металлургическом заводе при проведении работ на электрооборудовании вытяжного вентилятора произошел аэрозольный выброс радионуклидов в атмосферу, который составил 10% от разрешенного годового выброса завода. 27.08.97 г. в здании завода РТ-1 в одном из помещений было обнаружено загрязнение пола площадью от 1 до 2 м², мощность дозы гамма-излучения от пятна составляла от 40 до 200 мкР/с. 06.10.97 зафиксировано повышение радиоактивного фона в монтажном здании завода РТ-1. Замер мощности экспозиционной дозы показал величину до 300 мкР/с. 23.09.98 при подъеме мощности реактора ЛФ-2 («Людмила») после срабатывания автоматической защиты допустимый уровень мощности был превышен на 10%. В результате в трех каналах произошла разгерметизация части твэлов, что привело к загрязнению оборудования и трубопроводов первого контура. Содержание ^{133}Xe в выбросе из реактора в течение 10 дней превысило годовой допустимый уровень. 09.09.2000 произошло отключение на ПО «Маяк» энергоснабжения на 1,5 часа, которое могло привести к возникновению аварии.

4.5 Уральский электрохимический комбинат, УЭХК (г.Новоуральск Свердловская обл.)

УЭХК вошел в строй в 1949 году. Расположен в 50 км от г.Екатеринбурга. УЭХК экспортирует обогащенный уран на Запад с 1973 г. На комплексе работают несколько обогатительных каскадов, составленных из центрифуг четвертого и пятого поколения. В 1989 году производство оружейного урана на комбинате было полностью прекращено. С осени 1994 г. на УЭХК было введено в эксплуатацию производство по разобогащению оружейного урана.

На УЭХК произошли следующие инциденты. 1 апреля 1995 г. на комбинате в химико-металлургическом цехе на участке фторирования закиси-окиси урана произошло газовыделение

урана из камеры керамического фильтра установки горизонтальных реакторов. Инцидент произошел из-за разгерметизации керамического фильтра и забивки технологических коммуникаций. Выброс радионуклидов из вентиляционных систем здания цеха за 10 дней составил 4,9 мКи, что равно месячному выбросу при нормальной работе. Безвозвратные потери урана за указанный период составили 80 г. 03.03.95 при перевозке емкостей, заполненными огарками после фторирования высокообогащенного урана, в кузове машины произошло выпадение из ячейки стеллажа. При открытии двери кузова автомашины емкость выпала из машины на пол участка хранения, и из нее просыпался порошок. Причина инцидента — нарушения работниками предприятия технологических регламентов. 24.10.99 г. на конденсационно-испарительной установке технологического цеха аппаратчиком произошел несчастный случай при повреждении соединительных патрубков коллектора с осадительной емкостью вместимостью 24 л, содержащей 193 г соединений урана с массовой долей урана-235 2,5 % и фтористый водород. Причиной аварии явился взрыв жидкого кислорода в сосуде охлаждения в результате его взаимодействия с органическими веществами. 27.05.99 г. при снятии с коллектора упаковки вместимостью 6 л произошло рассыпание до 10 г гексафторида урана. Поступление урана через органы дыхания в организм 2 работников составило двукратную величину от допустимого суточного поступления. 03.09.99 на территории открытой площадки хранилища ядерных материалов произошла разгерметизация емкости, в которой находился отвалный гексафторид. Часть продукта рассыпалась. Там же 15.09.99 обнаружена емкость с гексафторидом урана с поврежденным дном. 13.02.99 г. на участке «Челнок» УЭХК при разогреве емкости вместимостью 2,5 м³ с обедненным гексафторидом урана произошел выход гексафторида урана в объем установки термостатирования из-за разгерметизации соединительного патрубка.

4.6 Аварии на промышленных реакторах России

В настоящее время (2000) на различных стадиях жизненного цикла находится 18 промышленных реакторов, размещенных на трех предприятиях ЯТЦ Минатома (13 реакторов в стадии снятия с эксплуатации и пять реакторов эксплуатируется).

Среди них следующие:

- на СХК г. Северска реакторы И-1, ЭИ-2, АДЭ-3 в стадии снятия с эксплуатации. Реакторы – АДЭ-4 (1964 г.) и АДЭ-5 (1965 г.) в эксплуатации (производство электроэнергии и тепла);
- на ГХК г. Железногорска реакторы АД и АДЭ-1 в стадии снятия с эксплуатации. Реактор АДЭ-2 в эксплуатации (1964 г.) (производство электроэнергии и тепла);
- на ПО «Маяк» г. Озерска реакторы А, АВ-1, АВ-2, АВ-3, АИ, ОК-180, ОК-190 и ОК-190М в стадии снятия с эксплуатации. Реакторы Р-1 (1979 г.) и ЛФ-2 (1988 г.) в эксплуатации.

Вся история существования промышленных реакторов всегда носила засекреченный характер, т.к. основное их назначение заключалось в наработке главным образом плутония, направляемого в дальнейшем на радиохимические заводы для извлечения последнего. Количество ядерных и радиационных аварий, происходивших на них, а также количество эксплуатационного персонала, переоблученного при их эксплуатации, измеряется тысячами человек. Так, например, в 1949 г. были часты случаи облучения персонала дозами от 200 до 500 сЗв в год.

Вот только некоторые факты из прошлого и настоящего промышленных реакторов:

Первая авария произошла в первый же день работы реактора А. Случилась она 19 июня 1948 г. В одном из каналов реактора прекратился приток охлаждающей воды и произошло частичное расплавление активной зоны («козел»). Реактор был остановлен, до 30 июня проводились работы по очистке каналов от сплавленных частей графита, урана и алюминиевых оболочек. Следующая авария произошла 25 июля 1948 г. и опять с расплавлением активной зоны реактора. Для ремонта требовалось остановить наработку плутония. Однако руководители работ приняли другое решение: о проведении работ в активной зоне реактора без его остановки. Это привело к сильнейшему загрязнению помещений и переоблучению персонала. 16.07.96 произошло несанкционированное срабатывание системы СУЗ реактора ЛФ-2. В 1997 г. на реакторе ЛФ-2 из-за технических неисправностей в СУЗ произошло ложное срабатывание АЗ. 23.09.98 при подъеме

мощности реактора ЛФ-2 после срабатывания АЗ допустимый уровень мощности был превышен на 10%. В результате в нескольких технологических каналах был превышен допустимый уровень подогрева воды и в трех каналах произошла разгерметизация части ТВЭЛов, что привело к загрязнению оборудования и трубопроводов I контура. Содержание ксенона-133 в выбросе из реактора в течение 10 дней превысило годовой допустимый уровень. Реактор остановлен на планово-предупредительный ремонт. 14.06.99 в центральном зале двухцелевого промышленного урано-графитового реактора АДЭ-4 реакторного завода СХК при проведении регламентных работ облученные блоки ДАВ- вышли на плитный настил. При этом два человека получили дозу облучения в 1,5 и 3 годовые ПДД.

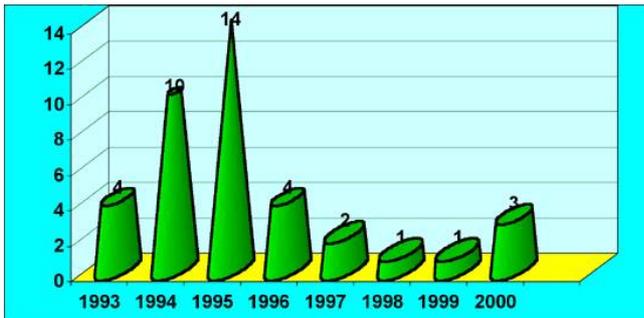


Рис.4 Количество нарушений в работе ЯТЦ России

Анализируя инциденты, происходящие на промышленных реакторах, можно прийти к выводу, что их причинами, как правило, являются нарушения регламентов и требований нормативной документации, невыполнение требований к подготовке работников и допуску к работе, к

организации работ и осуществлению ведомственного контроля.

4.7 Основные причины возникновения аварийных ситуаций на предприятиях ЯТЦ России

Начиная с 1949 г. на предприятиях ЯТЦ в целом произошло более 250 аварий, что доказывает их высокую опасность. Общее количество нарушений в работе предприятий ЯТЦ за последние 8 лет составило 39. На диаграмме 7 показано распределение инцидентов по годам.

В результате анализа причин и обстоятельств нарушений в работе предприятий ЯТЦ России выявлены следующие основные причины. Грубое нарушение технологии и технологических регламентов, недостаточная профессиональная подготовка и технологическая дисциплина отдельных специалистов и операторов; недостаточность технологических и неэффективность организационных мер по обеспечению безопасного ведения технологических процессов. Неудовлетворительное техническое состояние оборудования и систем объектов на предприятиях ЯТЦ России; невыполнение графиков замены оборудования. Ухудшение обеспечения персонала средствами индивидуальной защиты. Слабый контроль за соблюдением технологических норм и требований со стороны специалистов и руководства технологических служб комбинатов, заводов и контролирующих служб Минатома. Наличие ошибок в проектно-конструкторской документации; изменения, вносимые в технологии и аппаратурные схемы в одностороннем порядке, на большинстве предприятий Минатома России не согласовывались с разработчиками технологий и аппаратурных схем; отсутствие систематической работы по повышению технического уровня безопасности ядерно-, пожаро- и взрывоопасных производств. Отсутствие пооперационного анализа опасных производств. Такой анализ отсутствует в проектах, а за время функционирования ЯТЦ практически ни на одном из них такой анализ не был запланирован и выполнен. Системный анализ безопасности заменялся работой комиссий, работавших по факту аварий, в результате чего аварийные ситуации анализировались недостаточно, соответственно были неполными мероприятия по их устранению. Примером тому служат аварийные режимы 1982-1985 на радиохимическом заводе СХК. Мероприятия по имевшим место аварийным режимам выполнялись в течение семи лет (с 1986 по 1992), однако в 1993 на том же аппарате произошел взрыв, инициировавший радиационную аварию. Продолжающиеся инциденты на предприятиях ЯТЦ, сопровождающиеся выбросами радиоактивных веществ в окружающую среду, происходят из-за грубых нарушений технологии и технологических регламентов, недостаточной профессиональной подготовки и низкой технологической дисциплины отдельных специалистов и операторов, недостаточности технологических и неэффективности организационных мер по

обеспечению безопасного ведения технологических процессов, неудовлетворительного технического состояния оборудования и систем объектов предприятий ЯТЦ России. На предприятиях ЯТЦ отсутствуют достаточные мощности по утилизации радиоактивных отходов всех уровней активности.

5. КРУПНЫЕ АВАРИИ

5.1 Аварии ядерных реакторов

Крупные аварии возникают на атомных установках сравнительно редко. Однако их эмоциональное воздействие на население трудно переоценить. Наиболее значительные аварии на АЭС представлены в **Табл. 8**:

Табл.8 Опасные аварии на атомных электростанциях

| Место аварии | Дата | Причина | Выброс радиоактивности, кюри | Площадь загрязнения, км | Число пострадавших | |
|--|----------------|----------------------------|------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------|
| | | | | | эвакуант | погибших |
| Кыштым, Южный Урал | 1957 | Взрыв хранилища | 2*10, в т.ч. 5,4*10 кюри стронция | 15000 | 100*10 | - |
| Виндскэйл, Англия | 1957 | Горение графита | 3*10, в т.ч. 2*10 кюри | 500 | - | - |
| Три Майл Айленд, шт. Пенсильвания, США | 28 марта 1979 | Расплавление активной зоны | 20 кюри иода-131 | - | - | - |
| Чернобыль, СССР | 26 апреля 1986 | Разгон реактора | 100.10 в т.ч. ~15 10 кюри иода-131 | 20000 | 120*10 | 30 |

Из этой таблицы видны масштабы воздействия аварий выбросов значительных количеств радиоактивных веществ, загрязнение больших массивов территорий переселение огромных масс людей. Видно также и то, что такие катастрофы сопровождаются сравнительно небольшим числом жертв, погибших в течение нескольких недель после аварии. Следовательно, главные компоненты ущерба таких аварий - социальные и экономические потери.

История развития атомной энергетики знает множество аварийных ситуаций, происшедших на экспериментальных и военных реакторах, но ни один из этих случаев не привел к гибели людей, проживающих вблизи ядерного объекта, или к длительному загрязнению окружающей среды. Следующая таблица (**Табл. 9**) иллюстрирует некоторые серьезные аварии на реакторах. Все аварии, показанные в **Табл. 9**, соответствует оценке 4 или выше по Международной шкале ядерных аварий. Следует подчеркнуть, что промышленный реактор не может при любых обстоятельствах просто взорваться подобно термоядерной бомбе.

Табл.9 Серьезные аварии на военных, исследовательских и коммерческих реакторах

| Реактор | Дата | Смертельные случаи | Влияние на окружающую среду | Комментарии |
|--|------|--------------------|---|------------------------------------|
| NRX, Канада (экспериментальный реактор, 40 МВт) | 1952 | 0 | 0 | Восстановлен, (закрыт в 1992 году) |
| Виндскэйл-1, Великобритания (военный реактор, производящий плутоний) | 1957 | 0 | Широко распределенное загрязнение, повреждение хранилища (выброс 1.5 x 10 ¹⁵ Бк) | Погребен |
| SL-1, США (экспериментальный, военный реактор, 3 МВт) | 1961 | Три оператора | Очень незначительный радиоактивный выброс | Остановлен |
| Ферми -1 США (экспериментальный бридер, | 1966 | 0 | 0 | Восстановлен, (запущен в 1972 |

| | | | | | |
|---|------|------------------------------------|--|--|--|
| 66 МВт) | | | | году) | |
| Льюсинс, Швейцария (экспериментальный реактор, 7.5 МВт) | 1969 | 0 | | Очень незначительный радиоактивный выброс | Остановлен |
| Браунс Ферри, США (коммерческий реактор, 2 x 1080 МВт) | 1975 | 0 | | 0 | Восстановлен |
| Три Майл Айленд-2, США (коммерческий реактор, 880 МВт) | 1979 | 0 | | Незначительная кратковременная доза облучения населения (в пределах пределов ICRP), выброс криптона-85 2×10^{14} Бк | Остановлен |
| Сант-Лоренц-А2, Франция (коммерческий реактор, 450 МВт) | 1980 | 0 | | Незначительный радиоактивный выброс (8×10^{10} Бк) | Восстановлен, (остановлен в 1992 году) |
| Чернобыль-4, Украина (коммерческий реактор, 950 МВт) | 1986 | 31 человек из персонала и пожарные | | Радиоактивный выброс на территории Восточной Европы и Скандинавии (11×10^{18} Бк) | Погребен |
| Ванделос-1, Испания (коммерческий реактор, 480 МВт) | 1989 | 0 | | 0 | Остановлен |

При максимальных авариях (типа аварий в Виндскэйле в 1957 году и в Чернобыле в 1986), главная опасность для здоровья исходит от продуктов деления, таких как йод-131 и цезий-137. Они биологически активны, и при попадании в организм вместе с пищей, задерживаются в нем. Йод-131 имеет период полураспада 8 дней, и опасен в течение первого месяца после аварии (именно йод-131 вызывал раковые образования щитовидной железы после Чернобыльской аварии). Цезий-137 имеет период полураспада 30 лет, и поэтому потенциально опасен в качестве примеси в травах на пастбищах и в зерновых культурах. Также опасен и изотоп цезия-134, который имеет период полураспада, приблизительно, два года. В то время как опасное воздействие иода-131 может быть уменьшено специальными мерами (эвакуацией населения с загрязненных территорий на несколько недель, йодной профилактикой), радиоактивный цезий может препятствовать производству продовольствия на загрязненных землях в течение долгого времени. Другие радиоактивные вещества, присутствующие в активной зоне реактора, образуются не в таких больших количествах и не являются биологически активными (стронций, теллур-132, трансурановые элементы).

Несмотря на внушительный срок безопасной эксплуатации промышленных ядерных установок, на их постоянное совершенствование, которое делает практически невозможным катастрофическое радиоактивное загрязнение окружающей среды, имеются такие люди, которые против риска использования ядерной энергии. Их опасения должны быть строго взвешены с точки зрения выгоды, которую принесет человечеству использование ядерной энергии. Аналогично тому, как опасения некоторых людей относительно использования самолетов, полеты на которых не менее опасны, должны быть сбалансированы с той пользой, которую приносит авиация остальной части населения. Как бы там ни было, баланс между рисками и выгодами отнюдь не простая научная задача.

5.2 Россия

5.2.1. Южный Урал

Крупномасштабное радиационное загрязнение территории и облучение части населения, проживающего на Южном Урале в Челябинской, Свердловской и Курганской областях, связано с деятельностью ПО «Маяк» (Челябинская область). Радиационную обстановку в указанных

областях определяют последствия по меньшей мере трех аварийных ситуаций, возникших из-за значительного накопления радиоактивных отходов и несовершенства технологии их хранения.

Первая аварийная ситуация (1949 – 1956 гг.) С 1946 по 1956 год сбросы средне- и высокоактивных жидких отходов ПО «Маяк» производили в открытую речную систему Теча-Исеть-Тобол в 6 км от истока реки Течи. Всего за эти годы было сброшено 76 млн м³ сточных вод с общей активностью по β-излучениям свыше 2,75 млн Ки. Жители прибрежных сел подверглись как внешнему облучению, так и внутреннему. Всего радиационному воздействию подверглись 124 тыс. человек, проживающих в населенных пунктах на берегах рек этой водной системы. Наибольшему облучению подверглись жители побережья реки Течи (28,1 тыс. человек). Около 7,5 тыс. человек, переселенных из 20 населенных пунктов, получили средние эффективные эквивалентные дозы в диапазоне 3 – 170 сЗв.

Вторая аварийная ситуация (1957 г.) Авария 1957 г. известна как Куштымская (по названию расположенного недалеко от ПО «Маяк» г. Куштым). Она является одной из наиболее тяжелых в мировой практике. На ПО «Маяк» 29 сентября в результате технической неисправности взорвалась одна из емкостей-хранилищ высокоактивных отходов. Взорванная емкость входила в состав прямоугольного, углубленного в почву на 8,2 м бетонного сооружения с ячейками-каньонами для установки 20 стальных емкостей. Емкости охлаждались водой и были оборудованы вентиляцией для разбавления радиоактивных газов до взрывобезопасной концентрации. Хранилище было введено в эксплуатацию в 1953 году. К осени 1957 г. в некоторых емкостях нарушилась герметичность, была нарушена система охлаждения, в результате чего произошел взрыв сухих солей – нитрата и ацетата натрия, образовавшихся в результате выпаривания растворов в емкости, из-за их саморазогрева при нарушении условий охлаждения.

Взрыв полностью разрушил емкость из нержавеющей стали, содержащую 70 – 80 т отходов, сорвал и отбросил в сторону на 25 м бетонную плиту перекрытия каньона. Из хранилища в окружающую среду была выброшена смесь радионуклидов общей активностью 20 млн Ки. Большая часть радионуклидов осела вокруг хранилища, а жидкая пульпа (взвесь), активность которой составляла 2 млн Ки, была поднята на высоту 1 – 2 км и образовала радиоактивное облако, состоящее из жидких и твердых аэрозолей. Основные нуклиды выброса: церий-144 (66%), цирконий-95 (25%) и стронций-90 (5%). Радиоактивные вещества в этих аэрозолях находились в хорошо растворимых соединениях – нитратах. Радиоактивное облако под действием ветра прошло над территорией Челябинской, Свердловской и Тюменской областей. При этом вследствие осаждения радионуклидов из облака произошло выпадение радиоактивных осадков и загрязнение местности. Образовавшийся след получил название Восточноуральского радиоактивного следа. Территория его с плотностью загрязнения стронцием-90 более 0,1 Ки/км² составила 23 тыс. км², оказались загрязненными 217 населенных пунктов с общей численностью населения 272 тыс. человек. Территория с плотностью загрязнения стронцием-90 более 100 Ки/см² составила 117 км². Облучение населения, проживающего на территории Восточноуральского следа, было как внешним, так и внутренним: 2280 человек за 250 дней проживания получили дозу около 17 сЗв, а 7300 человек за 330-770 дней проживания – около 6 сЗв.

Третья аварийная ситуация (1967 г.) Весной 1967 г. в результате пылевого переноса радионуклидов с обсохшей береговой полосы озера Карачай (открытого хранилища жидких радиоактивных отходов) на промплощадке ПО «Маяк» вновь возникла аварийная ситуация. Радиоактивные вещества активностью 600 Ки, состоящие преимущественно из частиц иловых отложений, рассеялись на расстоянии 50 – 75 км, усилив загрязнение территории от аварии 1957 г. В выпавшей смеси содержались в основном цезий-137 и стронций-90. Радиоактивный след охватил территорию 2700 км², в т.ч. 63 населенных пункта с численностью жителей 41,5 человек. Поглощенная доза в результате внешнего облучения для 4800 жителей ближайшей зоны составила 1,3 сЗв, для жителей дальней зоны – 0,7 сЗв.

В результате трех аварийных ситуаций на Южном Урале подверглись облучению 437 тыс человек, около 18 тыс. из них были отселены. На 70% среднегодовая эффективная эквивалентная

доза за счет выбросов ПО «Маяк» за последние 20 лет обусловлена плутонием-239. На территории предприятия в настоящее время находится радиоактивные отходы суммарной активностью около 1,0 млрд Ки, представляющие значительную потенциальную опасность и требующие постоянного радиационного контроля.

5.2.2 Чернобыль

В ночь с 25 на 26 апреля 1986 г. на чернобыльской АЭС, расположенной в 160 км к северо-востоку от Киева и в 15 км к северо-западу от Чернобыля, произошла крупнейшая в мировой истории авария, повлекшая за собой тяжкие последствия для людей и окружающей природы. Авария произошла на четвертом блоке при проведении проектных испытаний одной из систем обеспечения безопасности, входящей в состав энергоблока реактора типа РБМК-1000. Суть испытаний – использование механической энергии останавливаемых турбогенераторов для выработки электроэнергии в условиях наложения двух типов аварийных ситуаций: а) полной потери электроснабжения АЭС; б) максимальной проектной аварии, при которой происходит разрыв трубопровода большого диаметра циркуляционного контура реактора.

Испытания проводили в режиме пониженной мощности, с повышенным расходом теплоносителя через реактор, незначительным недогревом теплоносителя до температуры кипения на входе в активную зону и минимальным паросодержанием. Испытания выявили серьезные просчеты в конструкции реактора: 1) наличие высокого положительного парового коэффициента реактивности; 2) появление положительного мощностного эффекта реактивности при любых режимах эксплуатации; 3) неудовлетворительная конструкция стержней системы управления и защиты реактора. Кроме того, были допущены недочеты в организации испытаний, обусловленные как проблемами и упущениями нормативно-технической документации, так и недостаточной квалификацией персонала АЭС.

В результате перечисленных причин реактор к моменту полного вывода на режим испытаний находился в неустойчивом, трудноуправляемом состоянии. Включение аварийной защиты привело к обратному эффекту повышения давления, подъему уровня в барабанах-сепараторах, повышению давления и разрыва технологических каналов в реакторном пространстве. Произошли два мощных взрыва с разрушением части реакторного блока и машинного зала, повлекших за собой возникновение пожара и выброс в атмосферу радиоактивных веществ.

на 4-ом блоке Чернобыльской АЭС существенно повлияла на темпы развития атомной энергетики в нашей стране, вызвала острые приступы радиофобии и атомной идеосинкразии практически во всех странах мира. Тщательное расследование причин аварии, произведенное специалистами, показало, что корни аварии лежат глубоко в сфере проблем взаимодействия человека и машины, что основным "движущим" фактором аварии были действия операторов, грубо нарушивших эксплуатационные инструкции и правила управления энергоблоком. Подобно другим "рукотворным" катастрофам, авария произошла из-за того, что оперативный персонал, желая выполнить план экспериментальных работ любой ценой, грубо нарушил регламент эксплуатации, инструкции и правила управления энергоблоком. Сказались, конечно, и некоторые особенности физики активной зоны, конструктивные недостатки системы управления и защиты реактора, которые привели к тому, что защита реактора не смогла предотвратить разгон на мгновенных нейтронах.

В подробной информации о происшедшей аварии показано, что операторы

- произвели такие запрещенные действия, как блокирование некоторых сигналов аварийной защиты и отключение системы аварийного охлаждения активной зоны,
- работали при запасе реактивности на стержнях СУЗ ниже допустимого регламентом значения,
- ввели реактор в режим работы с расходами и температурой воды по каналам выше регламентных, при мощности реактора ниже предусмотренной программой.

Эти и другие ошибки операторов привели к такому состоянию реактора, что в условиях роста мощности защитные средства реактора оказались недостаточными, что и привело к значительной сверхкритичности реактора, взрыву, разрушению активной зоны.

Суммарная активность выброса составила 50МКи (без инертных газов) – около 4% общей активности топлива в реакторе. Состав выброса в целом соответствовал изотопной структуре топлива в реакторе, в котором преобладали короткоживущие радионуклиды, в первую очередь йод-131 (T=8 суток). Из долгоживущих радионуклидов в составе выброса преобладал цезий-137 (T=31 год). Стронция-90 (T=28 лет) было значительно меньше. Еще меньше было плутония-239 (T=24380 лет), представляющего наибольшую опасность в долгосрочном плане и входящего в состав горячих частиц (компонентов разрушенных твэлов), отличающихся чрезвычайно высокой удельной активностью (Табл.10).

Большая высота радиоактивного выброса (до 2 км) и изменчивость метеорологической обстановки в период 26.04 – 10.05 1986 г. (прежде всего изменение направления ветра на 360°) определили особенности последующего выпадения радиоактивных материалов на почву и воду, а также характер загрязнения территории (прежде всего его огромную площадь). Радиоактивные выпадения были зарегистрированы на удалении более 2 тыс. км от места аварии, затронув в той или иной степени территорию по крайней мере 20 государств. Только на территории Белоруссии, Украины и России загрязнению цезию-137 с плотностью выпадений свыше 1 Ки/км² подверглась территория 131 тыс. км² с населением около 4 млн человек, в том числе около 1 млн детей (Табл.11).

Вторая особенность выброса – неравномерность загрязнения территории радионуклидами. Наибольшее загрязнение стронцием-90 и плутонием-239 обнаружено в радиусе 30 км от места аварии. Однако и в 30-километровой зоне, и за ее пределами плотность радиоактивного загрязнения отличалась в 10 и более раз.

Особенно тяжелое последствие чернобыльской катастрофы – значительное ухудшение состояния здоровья большого количества людей и многочисленные жертвы. По состоянию на конец лета 1986 г. погиб 31 человек, в т.ч. шестеро пожарных. Более 200 человек были госпитализированы с диагнозом лучевая болезнь. По разным оценкам число умерших от чернобыльской катастрофы составляет от трех до десяти тысяч человек. Полная коллективная эквивалентная доза для населения всех стран мира, подвергшихся радиоактивному загрязнению, составляет 600 тыс. чел-Зв. Из них 240 тыс. чел-Зв (40%) приходится на страны СНГ. В два раза увеличилась заболеваемость раком щитовидной железы, заболеваемость злокачественными новообразованиями возросла на 20%. В настоящее время смертность среди ликвидаторов в Чернобыле не превышает среднестатистических показателей для тех же возрастных групп. Всплеск (но не смертность) наблюдается лишь в лейкозах и в заболеваниях щитовидки у детей (но тоже не смертность).

Табл. 10. Изотопный состав выброса аварийного блока Чернобыльской АЭС.

| Изотоп | Активность выброса, МКи, 26.04.1986 | Активность выброса, МКи, 6.05.1986 |
|-------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| Ксенон –133 | 5 | 45 |
| Криптон-85 | - | 0.9 |
| Йод-131 | 4.5 | 7.3 |
| Теллур132 | 4 | 1.3 |
| Цезий-134 | 0.15 | 0.5 |
| Цезий-137 | 0.3 | 1.0 |
| Молибден-99 | 0.45 | 3.8 |
| Цирконий-95 | 0.45 | 3.2 |
| Рутений-103 | 0.6 | 1.6 |
| Барий-140 | 0.5 | 4.3 |
| Церий-141 | 0.4 | 2.8 |
| Церий-144 | 0.45 | 2.4 |

| | | |
|--------------|-------------------|-------------------|
| Стронций-89 | 0.25 | 2.2 |
| Стронций-90 | 0.015 | 0.22 |
| Плутоний-238 | $1 \cdot 10^{-4}$ | $8 \cdot 10^{-4}$ |
| Плутоний-239 | $1 \cdot 10^{-4}$ | $7 \cdot 10^{-4}$ |
| Плутоний-240 | $2 \cdot 10^{-4}$ | 0.001 |
| Плутоний-241 | 0.02 | 0.14 |
| Плутоний-242 | $3 \cdot 10^{-7}$ | $2 \cdot 10^{-7}$ |
| Кюрий-242 | 0.003 | 0.021 |
| Нептуний-239 | 2.7 | 1.2 |

Табл. 11. Радиоактивное загрязнение территории стран СНГ в результате чернобыльской катастрофы.

| Страна | Площадь, км ² | | | | Итого |
|------------|---|--------|---------|----------|--------|
| | Плотность загрязнения ¹³⁷ Cs, Ки/км ² | | | | |
| | 1 - 5 | 5 - 15 | 15 - 40 | Более 40 | |
| Россия | 39280 | 5480 | 2130 | 310 | 47170 |
| Украина | 34000 | 1990 | 820 | 640 | 37450 |
| Белоруссия | 29920 | 10170 | 4210 | 2150 | 46450 |
| Итого | 103200 | 17610 | 7160 | 3100 | 131070 |

5.3 США

Авария на американской атомной электростанции ТМ-2 (Три Майл Айленд) произошла 28 марта 1979 года. В результате произошло серьезное повреждение активной зоны водо-водяного теплового реактора. Выброс радиоактивности за пределы площадки был не большим (уровень 5). Максимальная доза, полученная населением, проживающим около электростанции, была значительно ниже установленных пределов. Этому способствовала, так называемая, гермооболочка (контэймент), внутри которой размещался сам реактор. Реактор был снят с эксплуатации. Авария привлекла внимание к разработке систем, предотвращающих расплавление активной зоны реактора и предохраняющих реактор от сбоев в работе. Однако, она имела существенный общественный резонанс, нанесла серьезный удар по ядерной промышленности США и неблагоприятно сказалась на темпах роста ядерной энергетики в США и в мире.

Следует отметить, что после утечки радиоактивности на электростанции "Трехмильный остров", американские реакторы работают практически безаварийно, если не считать несущественных мелких дефектов, и их суммарная электрическая мощность за эти годы намного повысилась. Так что 40-летние лицензии на эксплуатацию этих реакторов были продлены еще на 20 лет.

5.4 ВЕЛИКОБРИТАНИЯ

В Англии случились две существенных аварии на заводе Уиндскейле (Селлафилд). Авария 1957 г. на графитовом реакторе с воздушным охлаждением привела к выбросу в окружающую среду радиоактивных продуктов деления, а авария 1973 г. на заводе по переработке топлива - к выбросу радиоактивного материала в рабочую зону завода в результате экзотермической реакции в технологической емкости.

6. ПРИЛОЖЕНИЕ. Параметры предприятий ядерного топливного цикла России, характеризующие их потенциальную опасность.

| | | | | | | |
|----------|---------------------------------|----------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|------------------------------------|
| Параметр | Горно-металлургический комбинат | Обогатительный завод | Изготовлен ие ядерного топлива АЭС | Транспортировка ядерного топлива | Радиохимический завод | Полигон захоронения высокоактивных |
|----------|---------------------------------|----------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|------------------------------------|

| Число объектов в России | отходов | | | | | | |
|--|------------|----------|----------|--------------|-------------|----------------|----------|
| | Единицы | Единицы | Единицы | 10 | Десятки | Единицы | Единицы |
| Радиоактивность, находящаяся на объекте, Ки | 0,3 Ки/тU* | 1 Ки/тU* | 1 Ки/тU* | 10^8-10^9 | 10^4-10^5 | 10^9-10^{10} | $> 10^8$ |
| Возможность СЦЯР на объекте | Невозможна | Возможна | Возможна | Возможна | Возможна | Возможна | Возможна |
| Напряженные технологические параметры | - | Р | П | Р,Т,И,П | - | Т,И,П | - |
| Возможная площадь загрязнения при авариях, км ² | - | - | ~10 | ~100 | ~10 | ~50 | ~10 |
| Уязвимость к внешним воздействиям | - | ДЧ | - | С и Г, М, ДЧ | ДЧ | С и Г, М, ДЧ | С и Г, М |
| Уязвимость к ошибкам персонала | Слабая | Средняя | Сильная | Сильная | Сильная | Сильная | Средняя |
| Физическая защита делящихся радионуклидов | Не нужна | Нужна | Нужна | Нужна | Нужна | Нужна | Нужна |

*Активность по альфа-источникам излучения.

Примечание: Всего в 1953-1978 гг. на предприятиях ЯТЦ произошло 13 серьезных аварий. Анализ этих аварий показывает, что причиной большей части из них являются неконтролируемые физико-химические процессы, меньшая часть аварий произошла в результате развития СЦЯР.