

ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЗАПРОЕКТНОЙ АВАРИИ НА АЭС

ГУ «РНПЦ гигиены», г. Минск, Беларусь

Целью настоящего исследования являлось прогнозирование дозы облучения щитовидной железы в результате запроектной аварии и определение необходимости защитных мероприятий в случае подобной аварии. При моделировании аварии во внимание были приняты данные о состоянии станции, данные об источнике выброса и основная метеорологическая информация. Результаты прогнозирования с помощью международных моделей показали, что в радиусе до 25 км от станции необходимой защитной мерой будет проведение йодной профилактики, а также должна быть предусмотрена возможность введения ограничения на потребление потенциально загрязненных радионуклидами молока и других продуктов питания. Результаты моделирования формируют основу для развития национальных мероприятий по реагированию на запроектную аварию на рассматриваемой АЭС.

Ключевые слова: АЭС, запроектная авария, доза облучения щитовидной железы, ^{131}I , защитные мероприятия

Введение

На сегодняшний день развитие ядерной энергетики характеризуется приоритетной задачей повышения безопасности действующих атомных электростанций (АЭС) и создания реакторов повышенной безопасности для АЭС нового поколения. Высокий уровень безопасности достигается за счет совершенствования активных, введения пассивных защитных и локализирующих систем, а также последовательной реализации концепции внутренне присущей безопасности¹. Создание реакторов нового поколения, обладающих свойством самозащищенности, позволяет обеспечить устойчивость к отказам оборудования и ошибкам персонала, ограничить радиационные последствия самых тяжелых аварий, исключить необходимость эвакуации населения.

Однако, несмотря на высокую безопасность АЭС нового типа и низкую вероятность возникновения любых возмож-

ных аварий, эта вероятность все равно существует, а значит, нет стопроцентной гарантии, что утечка не произойдет [1]. Среди возможных причин аварии могут быть такие, как нарушение контроля и управления цепной ядерной реакцией в активной зоне реактора, образование локальной критичности при перегрузке, транспортировке и хранении ядерного топлива, нарушение теплоотвода от тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) и т.д.

Сопровождаясь выбросом радиоактивных веществ за пределы станции, ядерная авария может привести к загрязнению окружающей среды и облучению населения.

В рамках обоснования безопасности рассматриваются следующие категории исходных событий: проектные и запроектные аварии. Запроектная авария (ЗА) – это авария, вызванная не учитываемыми для проектных аварий исходными событиями или сопровождающаяся дополнительными по сравнению с проектными авари-

¹ Внутренне присущая безопасность – это новый уровень качества, при котором отклонение определенных параметров работы АЭС от нормы автоматически корректируется без участия оператора или же, в случае чрезвычайном, автоматически глушится реактор.

ями 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.

В результате аварии на Чернобыльской АЭС на сегодняшний день наблюдается достоверный значительный рост рака щитовидной железы у жителей России, Украины и Беларуси [2]. В связи с этим с целью прогнозирования возможных последствий запроектной аварии на АЭС были рассчитаны дозы облучения щитовидной железы на различном расстоянии от станции, оценена протяженность территорий, на которых дозы облучения населения могут превысить современные международные уровни вмешательства для принятия решений о проведении защитных мероприятий, а также предложены меры по реагированию на подобную аварию.

Материал и методы исследований

Смоделировать и оценить последствия потенциальной ядерной аварии можно с помощью программного обеспечения, которое принимает во внимание такие параметры, как географическое расположение и технические характеристики атомной электростанции, метеорологические условия на момент предполагаемой аварии, условия протекания аварии. InterRAS (The International Radiological Assessment System) – программный пакет, предназначенный, для использования специалистами, выполняющими оценки радиологических аварий, и позволяющий выполнить расчет активности радионуклидов аварийного выброса и доз облучения населения. Моделями расчета, заложенными в программу, пользуются специалисты ведущих в области радиационной безопасности организаций – специалисты МАГАТЭ и Комиссии США по ядерному регулированию [3, 4].

При расчетах использовалась модель «Источник выброса – Доза» («ST-DOSE»

– Source Term To Dose), которая рассчитывает не только активности радионуклидов аварийного выброса, но также оценивает интегрированные дозы облучения, формирующиеся в результате аварийного выброса радиоактивных веществ в атмосферный воздух. Модель позволяет оценить последствия потенциального или происходящего в настоящий момент выброса и запрашивает лишь ту информацию, которая может быть доступна во время аварии, а именно, данные о состоянии станции либо данные об источнике выброса и основную метеорологическую информацию.

В качестве ЗА рассматривалась авария на водо-водяном энергетическом реакторе, при которой происходит утечка из защитной оболочки в сухих условиях. Этот сценарий предполагает выброс из активной зоны реактора, который типичен при расплавлении активной зоны. Рабочая мощность реактора на момент аварии составила 3200 МВт, активная зона расплавлена на 10-50% (быстрый выброс летучих продуктов деления).

Предполагалось, что выброс в защитную оболочку реактора проходит в сухих условиях через систему первого контура, не проходя через другие системы, которые могли бы осадить йод или другие летучие продукты деления. Концентрация йода и/или других летучих продуктов деления в защитной оболочке реактора может быть уменьшена перед тем, как попасть в атмосферу благодаря нескольким факторам: работе системы распылителей, фильтрации выброса и/или естественному процессу распада. Это уменьшение является функцией времени задержки. В данном случае время задержки было приравнено к нулю, т.е. утечка из реактора началась немедленно.

Мощность выброса радионуклидов из активной зоны составляла 0,02 % / час.

Системы орошения и вентиляции отключены. Выброс является приземным, учтен эффект кильватера зданий и сооружений, приводящий к большему рассеиванию радионуклидов вокруг станции.

Все вышеперечисленные условия были выбраны с целью рассмотрения наихудшего сценария запроектной аварии.

Выброс радионуклидов в окружающую среду за счет утечки через неплотности контейнента был выбран 2,5 часа.

Для моделирования переноса радионуклидов в атмосфере были рассмотрены различные реальные сценарии возможных метеоусловий. В таблицах 1 и 2 представлены наихудшие метеорологические условия – условия, при которых дозы облучения населения будут максимальными (данные, соответствующие зимнему и летнему периодам).

Таблица 1 – Метеорологические условия, рассматриваемые при моделировании («зимний» сценарий 3А)

Параметр	Значение параметра
Направление ветра	западный с переходом на юго-западный
Скорость ветра	5,5 – 11 м/с
Давление	1008,0 гПа
Температура воздуха	-2,5 – -1,5 в ночные и утренние часы, 3,7-1,8 – днем и вечером
Облачность	0 %
Высота слоя перемешивания	1,2 – 1,5 км ночью, 0,5 – 0,3 км днем и вечером
Категория устойчивости атмосферы	F
Интенсивность осадков	от 1 до 4 мм/ч
Снежный покров	снежный покров высотой от 1 до 15 см

Таблица 2 – Метеорологические условия, рассматриваемые при моделировании («летний» сценарий 3А)

Параметр	Значение параметра
Направление ветра	юго-западный
Скорость ветра	6,4 – 6,7 м/с
Давление	993,7 гПа
Температура воздуха	20 °С
Облачность	100 %
Высота слоя перемешивания	0,6 км
Категория устойчивости атмосферы	D
Интенсивность осадков	нет
Снежный покров	отсутствует

Рассмотрение «летнего» варианта метеорологических условий позволяет принять во внимание существенный вклад дозы внутреннего облучения за счет потребления загрязненных продуктов питания в общую дозу облучения щитовидной железы.

Выброс радиоактивного йода в окружающую среду в результате аварии был рассчитан по формуле [3]:

$$Q = FPI_i \cdot CRF_i \cdot \prod_{j=1}^N RDF_{(i,j)} \cdot EF_i, \quad (1)$$

где: Q – активность радиоактивного йода, выброшенного в окружающую среду, Бк;

FPI_i – общее количество радионуклида i в активной зоне, Бк;

CRF_i – отношение выброшенного из активной зоны количества радионуклида i к общему количеству радионуклида i в активной зоне;

RDF_i – доля активности радионуклида i , доступная для выброса после действия механизма уменьшения j ;

EF_i – доля активности, доступная для выброса, которая выброшена.

Доза облучения щитовидной железы состоит из дозы облучения от ингаляционного поступления ^{131}I и за счет потребления загрязненных продуктов питания, в основном молока и листовых овощей. С помощью модели InterRAS была рассчитана лишь первая составляющая дозы, которая представляет собой дозу облучения щитовидной железы взрослого человека при выполнении им/ей легкого физического труда. Доза облучения от поступившего алиментарно ^{131}I была рассчитана для шести возрастных групп с помощью математической модели [3], на основании концентрации ^{131}I в продуктах питания (молоко, листовые овощи) и их потребления.

Результаты исследования

В случае протекания ядерной запроектной аварии по описанному выше сценарию независимо от метеоусловий общий выброс радионуклидов в окружающую сре-

ду составил $1,5 \times 10^{16}$ Бк. Активности освобожденных изотопов йода представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Активность изотопов йода, выброшенных в окружающую среду, при ЗА, Бк

Радионуклид	Активность
^{131}I	$4,10 \times 10^{14}$
^{132}I	$5,80 \times 10^{14}$
^{133}I	$8,30 \times 10^{14}$
^{134}I	$9,20 \times 10^{14}$
^{135}I	$7,30 \times 10^{14}$
ВСЕГО	$3,47 \times 10^{15}$

Выброс йода составляет 23,1 % от общего количества радиоактивного материала, попавшего в окружающую среду в результате аварии. Данная величина хорошо согласуется с усредненной оценкой доли выбрасываемого йода при авариях подобного рода, представленной в международных документах [3].

Результаты расчетов дозы облучения щитовидной железы от ингаляционного поступления йода при «зимнем» сценарии аварии графически представлены на рисунках 1-2.

Максимальное значение дозы облучения щитовидной железы при «зимнем» сценарии ЗА наблюдается в направлении ветра на расстоянии 1 км от станции и составляет $1,5 \times 10^3$ мЗв. На расстоянии 10,5 км в том же направлении доза облучения щитовидной железы может составить $1,7 \times 10^2$ мЗв.

Результаты расчетов дозы облучения щитовидной железы от ингаляционного поступления йода при «летнем» сценарии аварии представлены в таблице 4.

В «зимнем» варианте аварии погода соответствует категории устойчивости атмосферы F (атмосфера устойчива), которая является наиболее неблагоприятной для рассеивания радиоактивного выброса, и, следовательно, приводит к более высоким дозам облучения.

Существенный вклад в общую дозу облучения щитовидной железы в случае «летнего» сценария будет вносить внутреннее облучение, обусловленное потреблением загрязненных продуктов питания.

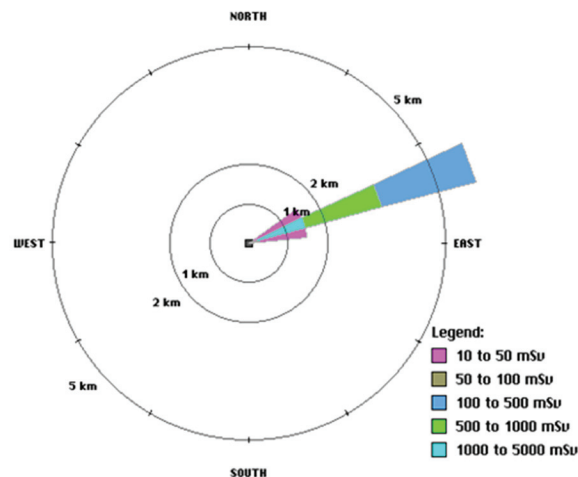


Рисунок 1 – Доза облучения щитовидной железы в ближней зоне АЭС, мЗв

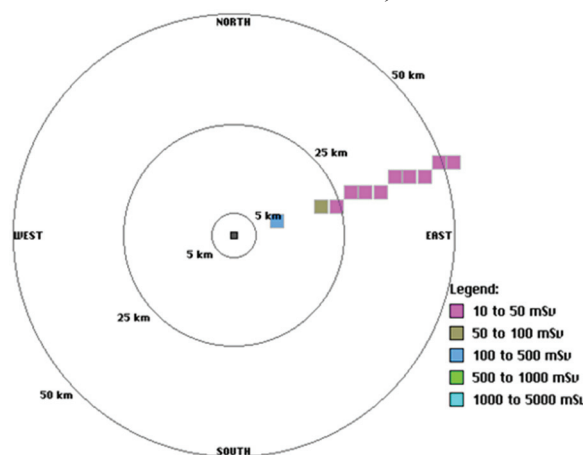


Рисунок 2 – Доза облучения щитовидной железы в дальней зоне АЭС, мЗв

Таблица 4 – Дозы облучения на раннем этапе аварии при «летнем» сценарии ЗА на различных расстояниях от АЭС

Расстояние, км	Доза облучения щитовидной железы*, мЗв
1	770
2	330
5	95
25	7,1
50	2,6

*Доза облучения щитовидной железы включает только дозу от радиоактивного йода.

Если радиоактивные выпадения произошли в пастбищный период, то радионуклиды йода быстро включаются в трофические цепи миграции при потреблении животными пастбищной растительности, загрязненной аэральным путем, а затем по цепочке пастбище – животные – молоко попадают в тело человека и депонируются в щитовидной железе.

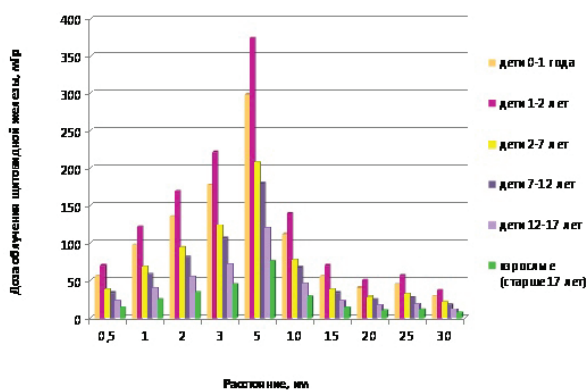


Рисунок 3 – Доза облучения щитовидной железы шести возрастных групп населения за счет потребления молока, загрязненного ^{131}I , за 30 дней после ЗА, мЗв

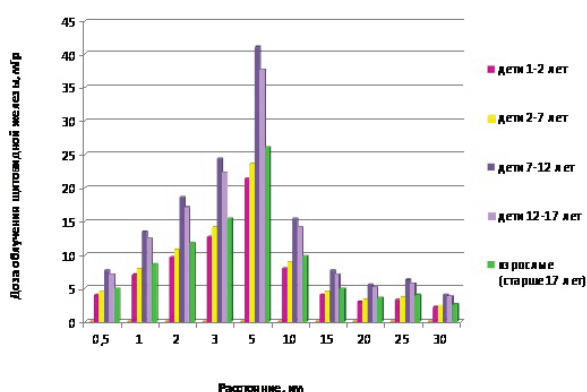


Рисунок 4 – Доза облучения щитовидной железы пяти возрастных групп населения за счет потребления листовых овощей, загрязненных ^{131}I , за 30 дней после ЗА, мЗв

На рисунках 3 - 4 представлены результаты расчета дозы облучения щитовидной железы шести возрастных групп от поступления йода с молоком и листовыми овощами в случае ЗА.

Наибольшие дозы облучения щитовидной железы за счет перорального поступления загрязненных молока и листовых овощей наблюдаются на расстоянии 5 км от станции, что объясняется наличием переноса радиоактивного облака воздушным потоком.

Различия в потреблении рассматриваемых продуктов питания являются причиной того, что дозы облучения щитовидной железы за счет потребления загрязненного молока значительно превышают дозы облучения за счет потребления листовых овощей. А половые, возрастные и, следовательно, физиологические различия приводят к тому, что наибольшие дозы облуче-

ния от потребления загрязненного ^{131}I молока наблюдаются у детей до двух лет.

Заключение

Незамедлительная и адекватная оценка последствий аварии является одним из наиболее важных аспектов реагирования в случае ядерной аварии, так как позволяет своевременно принять обоснованное решение о необходимости проведения защитных мероприятий и, таким образом, избежать тяжелых последствий для здоровья населения.

Оценка дозы облучения щитовидной железы при ЗА показала, что максимальная доза облучения за счет ингаляционного поступления йода составляет 1500 и 770 мЗв при «зимнем» и «летнем» вариантах аварии, соответственно; за счет потребления загрязненного ^{131}I молока – 373 мЗв, листовых овощей – 41 мЗв. Суммарные дозы облучения превышают критерий вмешательства – 50 мЗв за первые 7 дней после аварии [5] – в обоих рассмотренных сценариях запроектной аварии. Из этого следует, что в радиусе как минимум 25 км от станции необходимой защитной мерой на раннем этапе аварии будет проведение йодной профилактики. Также должна быть предусмотрена возможность введения ограничения на потребление потенциально загрязненных радионуклидами молока и других продуктов питания. В дополнение следует обеспечить возможность срочного проведения мониторинга окружающей среды, продуктов питания и кормов для животных на расстоянии не менее 30 км от станции.

Библиографический список

1. Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, Safety Requirements, Safety Standards Series №GS-R-2 / International Atomic Energy Agency. – Vienna: IAEA, 2002.
2. Кенигсберг, Я.Э. Облучение щитовидной железы жителей Беларуси вследствие Чернобыльской аварии: дозы и эффекты / Я.Э. Кенигсберг, Ю.Е. Крюк.

– Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2004. – 121с.

3. Generic Assessment Procedures for Determining Protective Actions during a Reactor Accident. IAEA-TECDOC-955 / International Atomic Energy Agency. – Vienna: IAEA, 1997. – 259 p.

4. InterRAS Version 1.3. Users Guide / IAEA, Vol. 1, 2. Vienna. 1999.

5. Development of extended framework for emergency response criteria. Interim report for comments, IAEA-TECDOC-1432 / International Atomic Energy Agency. – Vienna: IAEA, 2004.

K. Kouts

THYROID DOSES IN CASE OF AN ACCIDENT AT A NUCLEAR POWER PLANT

The purpose of this study was to make prognosis of thyroid doses in case of an beyond design basis accident at a NPP with water-water reactor. For modelling of the accident scenario geographic location and technical characteristics of the station and weather conditions were taken into account. This study allowed estimating the thyroid doses, as well as the necessity of protective and other actions in case of the accident. Results of prognosis using the international models have demonstrated that:

- there is a need in thyroid blocking for population at a distance up to 25 km from the station;
- the possibility of restrictions of consumption for potentially contaminated by ^{131}I food, milk and other products should be preplanned.

The results of modelling performed in this study form a basis for developing national arrangements for response to a BDBA at considered NPP.

Key words: *beyond design basis accident, Nuclear Power Plant, thyroid dose, ^{131}I , protective actions*

Поступила 02.08.10