СЕМЕНОВЫХ С.В., ДЕТКИНА А.В., ДЕНИСОВ А.Л.

ООО НПФ «Сосны», г. Москва

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ ПЕРСОНАЛА И НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ ОЯТ ЭГП-6 С БИЛИБИНСКОЙ АЭС НА ПЕРЕРАБОТКУ НА ФГУП «ПО «МАЯК»

В докладе рассмотрены подходы к оценке радиационных рисков персонала и населения при планируемом транспортировании ОЯТ ЭГП-6 с Билибинской АЭС на переработку на ФГУП «ПО «Маяк», необходимые для проверки возможности соблюдения требований действующих норм и правил радиационной безопасности, а также выбора предпочтительных маршрутов движения и используемых видов транспорта с минимальными рисками.

Введение

Вывоз ОЯТ ЭГП-6 с Билибинской АЭС запланирован на начало 2020 года в связи с окончанием срока эксплуатации станции в 2019 году и началом работ по подготовке к выводу из эксплуатации. Один из наиболее вероятных вариантов вывоза ОЯТ с Билибинской АЭС – на переработку на ФГУП «ПО «Маяк». Вопрос о возможности временного хранения ОЯТ ЭГП-6 в горных выработках вблизи Билибинской АЭС остается открытым из-за отсутствия обоснования безопасности.

К настоящему времени специалистами ООО НПФ «Сосны» разработана технология подготовки ОЯТ ЭГП-6 к вывозу на переработку или захоронение [1] и выполнено обоснование ее безопасности [2], проведено технико-экономическое исследование затрат на подготовку к вывозу и вывоза ОЯТ воздушным или морским путем [3, 4].

Применительно к подготовке к вывозу ОЯТ основные этапы данной технологии предусматривают:

– подготовку к извлечению и извлечение ОТВС из осушенных бассейнов выдержки;
– инспекцию (входной контроль) состояния ОТВС;
– разделку ОТВС (отрезка выполняется по конструкционной части выше графитовых втулок совместно с пеналом);
– упаковку топливной части ОТВС в новый герметичный пенал;
– загрузку пенала с топливной частью ОТВС в ТУК.

Необходимость расчета радиационных рисков транспортирования ОЯТ ЭГП-6 перед принятием решения о выборе маршрутов и видов транспорта (воздушный или морской) была отмечена на совещании в ФБУ «НТЦ ЯРБ» Ростехнадзора в декабре 2011 г., на котором рассматривались проблемные вопросы обращения с ОЯТ ЭГП-6.

Предпочтительным является маршрут движения и транспорт, которые обеспечивают минимизацию радиационных рисков персонала и населения при нормальных условиях эксплуатации (безаварийные условия) и при возможных авариях. Сделанный выбор определяет создание инфраструк-

туры, необходимой для осуществления вывоза. Подробная оценка радиационных рисков при транспортировании ОЯТ также необходима и для информирования общественности, способствуя политике открытости, снижению радиофобии и пропаганде здорового отношения населения к решению задач атомной отрасли.

Требования нормативных документов по оценкам радиационного риска

Требования в отношении соблюдения пределов радиационного риска отражены в п.2.3 НРБ-99/2009 [5].

Пределы индивидуального пожизненного риска при нормальной эксплуатации:

– для персонала – $1{,}0 \cdot 10^{-3}$;
– для населения – $5{,}0 \cdot 10^{-5}$.

Уровень пренебрежимо малого риска составляет 10^{-6}.

Пределы обобщенного риска потенциального (аварийного) облучения

(произведение вероятности события, приводящего к облучению, и вероятности смерти, связанной с облучением):

– персонал – $2{,}0 \cdot 10^{-4}$ год$^{-1}$;
– население – $1{,}0 \cdot 10^{-5}$ год$^{-1}$.

Рекомендации МАГАТЭ по оценкам радиационного риска при транспортировании отработавшего ядерного топлива

Для расчетов радиационного риска, коллективных и индивидуальных эффективных доз персонала и населения при транспортировании отработавшего ядерного топлива и выбора предпочтительных маршрутов движения (видов используемого транспорта) под эгидой МАГАТЭ была разработана программа Intertran-2 [6]. В соответствии с методологией, заложенной в данную программу, рассчитывается радиационный риск транспортирования (автомобильным, железнодорожным, морским и воздушным транспортом) для нормальных условий эксплуатации и потенциальных аварий. Радиационный риск при безаварийных условиях транспортирования представляет собой коллективную эффективную дозу населения, складывающуюся из коллективных эффективных доз различных его групп, которые могут подвергнуться воздействию ионизирующего излучения ОЯТ. Персонал, участвующий в транспортировании ОЯТ, относится к одной из групп населения. Для аварийных условий транспортирования радиационный риск рассчитывается как сумма произведений вероятностей аварии на коллективные эффективные дозы облучения населения (персонала). Также рассчитывается количество населения, подвергшегося облучению.

МАГАТЭ также рекомендует самостоятельное использование программы Radtran 5 [7], являющейся подпрограммой Intertran-2, и программу RISKIND [8].

Таким образом, для реализации отечественных и международных подходов к оценкам радиационного риска требуется рассчитывать:

– и сравнивать с установленными пределами значения индивидуального пожизненного риска для нормальной эксплуатации и приведенного риска в условиях потенциального облучения (аварий);

– коллективную эффективную дозу населения и персонала при нормальной эксплуатации и сумму произведений вероятностей на соответствующие коллективные эффективные дозы для различных аварий;

– численность населения, которое может подвергнуться облучению при авариях.

На основе вышеприведенных расчетов, можно сделать вывод о принципиальной реализуемости перевозок (проверка на соответствие пределам риска, установленным в НРБ-99/2009) и рекомендовать маршрут (виды транспорта), способствующие соблюдению принципа оптимизации – поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника излучения.

Выполненные работы по оценкам радиационного риска транспортирования ОТВС в соответствии с НРБ-99/2009

В 2010 году ФБУ «НТЦ ЯРБ» Ростехнадзора были выполнены работы по оценке максимальных индивидуальных радиационных рисков, обусловленных транспортированием ОЯТ РБМК-1000 с площадок АЭС в «сухое» хранилище ФГУП «ГХК» и всеми транспортно-технологическими операциями по вывозу накопленного ОЯТ РБМК-1000 с площадок АЭС [9]. Было показано, что даже при заведомо консервативных предположениях, касающихся списка возможных аварий, вероятностей их реализации, значений максимальных ожидаемых эффективных доз, получаемых при авариях, деятельность на всех этих этапах удовлетворяет критериям безопасности лиц из персонала и населения, установленным в НРБ–99/2009, а радиационные риски, связанные с данной деятельностью, являются, согласно НРБ–99/2009, не только приемлемыми, но и крайне малыми даже по сравнению со значением пренебрежимо малого риска.

Несмотря на то, что оцененные риски при транспортировании ОЯТ РБМК-1000 малы и, казалось бы, можно априори предположить, что и при транспортировании ОЯТ ЭГП-6 риски будут невелики, требуется провести расчеты, чтобы провести сравнение с пределами риска, установленными в НРБ-99/2009 и предоставить результаты расчетов общественности для того, чтобы каждый мог убедиться в их достоверности и, при желании, проверить расчеты.

Исходные данные для расчета рисков транспортирования ОЯТ ЭГП-6

Индивидуальные радиационные риски для сопоставления с пределами, установленными в НРБ-99/2009, рассчитываются на основе соответствующих данных об индивидуальных эффективных дозах в соответствии с «Положением о прогнозировании индивидуальных радиационных рисков персонала и населения при нормальной эксплуатации и возможных авариях на объектах использования атомной энергии», утвержденным приказом Ростехнадзора от 14 июля 2010 г. № 605.

Для нормальных условий при транспортировании ОЯТ ЭГП-6 должны быть рассчитаны максимальные индивидуальные дозы облучения персонала и населения, обусловленные транспортированием ОЯТ ЭГП-6. Для оценки риска потенциального (аварийного) облучения требуется оценивать сумму произведений максимальных индивидуальных эффективных доз на соответствующие значения вероятностей аварий.

Исходными данными для расчетов индивидуальных эффективных доз персонала, в свою очередь, являются характеристики источника излучения – транспортных контейнеров (состав и активность радионуклидов, МЭД на поверхности ТУК и на расстоянии 1 м от него), МЭД на рабочих местах персонала, занятого транспортированием, расположение рабочих мест, характер работ, выполняемых персоналом, и продолжительность нахождения персонала на рабочих местах при обращении с ОЯТ ЭГП-6.

Необходимыми исходными данным для расчета риска транспортирования с помощью программы Intertran 2 являются [10]:

– длина маршрута (длина каждого из участков маршрута);
– количество возможных аварий на километр пути;
– плотность населения на каждом из участков следования транспорта;
– доля посевных площадей по маршруту следования транспорта;
– скорость транспортного средства на каждом из участков маршрута;
– поток встречных автомобилей (для автомобильного транспорта);
– категории тяжести аварий;
– доля аварий с заданной категорией тяжести;
– категория устойчивости атмосферы по Пасквиллу на каждом участке пути (для автомобильного, железнодорожного и воздушного транспорта);
– параметры упаковки для транспортирования и ее содержимого;
– максимальная МЭД на расстоянии 1 м от поверхности упаковки каждого типа, а так же вклад гамма- и нейтронного излучений в суммарную МЭД;
– размеры упаковки;

– радионуклидный состав и активность каждого из радионуклидов в упаковке.

При проведении технико-экономических исследований [3, 4] было рассмотрено два основных маршрута транспортирования ОЯТ ЭГП-6 с Билибинской АЭС во ФГУП ПО «Маяк» – «воздушная» и «морская» перевозки. «Воздушная» перевозка включает в себя транспортирование автомобильным, воздушным и железнодорожным транспортом. «Морская» – автомобильным, морским и железнодорожным.

Согласно [11], вывоз на переработку с использованием морского транспорта является менее затратным (в 5,8 раз дешевле воздушного). Однако основным недостатком «морской» перевозки является то, что транспортная схема вывоза на переработку действует ограниченный период времени в течение года. Для «воздушной» перевозки основной недостаток – большое количество авиационных рейсов.

Характеристика груза и необходимого контейнера

Согласно НП-053-04, для воздушных перевозок упаковки типа В не должны содержать материалы, активность которых превышает следующие значения:

3000А1 или 100000А2 в зависимости от того, какое значение является более низким, – для радиоактивного материала особого вида; или

3000А2 – для всех других радиоактивных материалов.

В связи с данными ограничениями и спецификой груза – ОЯТ ЭГП-6 с высокой удельной активностью – для перевозки ОЯТ воздушным транспортом необходимо разработать и использовать упаковку типа С, для которой в соответствии с НП-053-04 для воздушных перевозок нет ограничений по активности содержимого упаковки. Конструкция должна выдерживать усиленные испытания (п. 2.11 [12]).

Модели для расчета риска, заложенные в программных продуктах, рекомендованных МАГАТЭ

Основные составляющие расчетной модели программных продуктов Intertran-2 (Radtran 5) включают в себя модели упаковки, модели инфраструктуры транспортирования, модели распределения населения, модели тяжести аварий и их последствий, модели вероятности аварий, метеорологические модели, модели путей облучения человека, модели расчета доз и радиационного риска (рис. 1) [13].

Модели упаковки включают в себя приближения точечного и линейного изотропных источников, использующиеся для расчета доз внешнего облучения персонала и населения при безаварийной перевозке ОЯТ. Модель точечного изотропного источника используется при расстояниях от источника до человека, более чем в два раза превышающих размеры упаковки. Модель линейного изотропного источника используется при расстояниях до источника, меньших, чем два размера упаковки. При оценках послед-

ствий аварий используются данные по активности и радионуклидному составу содержимого упаковки, закладываемые пользователем в модель упаковки, а также дозовые коэффициенты для расчета доз от облака, доз за счет ингаляционного поступления, период полураспада и другие характеристики радионуклидов.

Рисунок 1. Основные составляющие моделей расчета радиационного риска по программам Intertran-2 (Radtran 5)

*Модели транспортирования*определяют свойства и характеристики транспортной инфраструктуры, которая влияет на расчеты доз при безаварийной перевозке и при оценке вероятностей аварий и их последствий.Рассматриваются участки маршрутов (существует возможность разделить маршрут на 60 отдельных участков) и остановки. Пользователь может задавать длину маршрута (участков), данные по плотности движения, данные по количеству персонала, занятому транспортированием, по расстояниям между персоналом и грузом, частоте аварий (на 1 км пути), информацию о каждой остановке и общей продолжительности остановок, особенности облучения персонала и населения, связанные с остановками

(заправка топливом, отдых, инспекция, например, при пересечении границы и т.д.), количество или плотность населения, которое потенциально может подвергнуться облучению, местоположение относительно транспортируемого груза на остановках.

*Модели распределения населения*предусматривают внесение данных по плотности населения на единицу площади на различных участках маршрута, учет населения, движущегося в автомобилях по тому же направлению, что и транспортируемый груз, и навстречу.

*Модели тяжести последствий аварий*позволяют пользователю разделять последствия аварий на категории (вплоть до 30-ти категорий), в зависимости от степени потери упаковкой защитных свойств и (или) доли активности содержимого упаковки, которая может выйти из упаковки в результате аварии. Суммарная вероятность наступления аварий в выбранных категориях не должна превышать единицы.

Модели вероятности аварий содержат типовые данные по вероятностям аварий для выбранного маршрута и используемого вида транспорта, полученные по результатам статистики о происшествиях, а также данные по возможным вероятностям аварий для конкретной осуществляемой перевозки ОЯТ (рассчитываются и вводятся в программу пользователем).

Метеорологические модели распределения радионуклидов в атмосфере в результате их возможного выброса при авариях предусматривают ввод пользователем значений приземных концентраций радионуклидов, которые могут сформироваться в результате аварий.

Модели путей облучения, наряду с непосредственным облучением в результате нарушения защитных свойств упаковки, позволяют рассчитывать дозы, обусловленные дисперсией радионуклидов, выходящих из упаковки при авариях:

– дозы внутреннего облучения за счет ингаляционного поступления радионуклидов в организм;

– дозы внешнего облучения от облака;

– дозы внутреннего облучения за счет дефляции аэрозолей с загрязненных поверхностей;

– дозы внутреннего облучения за счет пищевого поступления радионуклидов в организм.

Модели расчета доз позволяют пользователю применять не только заложенные в программе подходы к расчетам доз, но и вводить пользовательские параметры. Применительно к рассматриваемой задаче расчета радиационных рисков транспортирования ОЯТ ЭГП-6 с Билибинской АЭС к месту переработки для расчета доз внешнего и внутреннего облучения персонала и населения целесообразно использовать дозовые коэффициенты, приведенные в НРБ-99/2009 [5].

Заключение

Рассмотренные при выполнении настоящей работы подходы целесообразно применить при оценках радиационного риска транспортирования ОЯТ ЭГП-6 с Билибинской АЭС к месту переработки во ФГУП «ПО «Маяк». Оценки риска на этой основе будут способствовать обеспечению радиационной безопасности населения в соответствии с действующими нормами и правилами радиационной безопасности.

Библиографический список:

1. Технология обращения с отвс ру эгп-6 на Билибинской АЭС при подготовке к вывозу на переработку: Технический отчет. / ООО НПФ «Сосны». – Димитровград, 2011.

2. Обоснование безопасности вновь разрабатываемых технологий и оборудования, предполагаемых к применению на Билибинской АЭС при подготовке ОТВС РУ ЭГП-6 к дальнейшему обращению (захоронению или вывозу на переработку) : Отчет (предварительный). /ООО НПФ «Сосны». – Димитровград, 2011.

3. Технико-экономическое исследование варианта вывоза ОЯТ РУ ЭГП-6 на переработку с использованием воздушного транспорта: Технический отчет. / ООО НПФ «Сосны». – Димитровград, 2011.

4. Технико-экономическое исследование варианта вывоза ОЯТ РУ ЭГП-6 на переработку с использованием морского транспорта: Технический отчет. / ООО НПФ «Сосны». – Димитровград, 2011.

5. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СанПин 2.6.1.2523-09. – Взамен НРБ-99: утв. Мин-вом здравоохранения РФ 07.07.2009: введ. 01.09.2009 – М., 2009. – 61 с.

6. Radiation Dose Assessment for the Transport of Nuclear Fuel Cycle Materials. WNTI Review Series No. 2 (Revised July 2006).

7. NEUHAUSER, K.S., KANIPE, F.L., RADTRAN 4: A Computer Code for Transportation Risk Analysis, Rep. SAND-89-2370, TTC-0943, Sandia Natl Lab., NM (1992).

8. YUAN, Y.C., CHEN, S.Y., LEPOIRE, D.J., ROTHMAN, R., RISKIND: A Computer Program for Calculating Radiological Consequences and Health Risks from Transportation of Spent Nuclear Fuel, Rep. ANL/EAIS-6, Argonne Natl Lab., IL (1993).

9. http://www.secnrs.ru/publications/nrszine/3_61_201/nir2010.pdf.

10. A-M Ericsson, C. Järnry. INTERTRAN2 Transportation Risk Assessment Package User’s Guide. AMC konsult AB.

11. Сравнительный анализ и определение оптимального варианта обращения с ОЯТ РУ ЭГП-6 Билибинской АЭС при подготовке к вывозу или захоронению. Технико-экономические исследования. / ООО НПФ «Сосны». – Димитровград, 2011.

12. Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов: НП-053-04. – Взамен ПБТРВ-73 и ОПБЗ-83: утв. Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору 04.10.2004: введ. 01.05.2005 – М., 2005. – 105 с.

13. RADTRAN 5 Technical Manual. K. S. Neuhauser, F. L. Kanipe and R. F. Weiner. Transportation Safety and Security Analysis Department. Sandia National Laboratories. P.O. Box 5800. Albuquerque, New Mexico 87185-0718.

ДЕНИСОВ А.Л., ДЕТКИНА А.В.

ООО НПФ «Сосны», г. Москва

ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ГЕРМЕТИЧНЫХ ПУЧКОВ ТВЭЛОВ ОТВС РБМК-1000, КОТОРЫЕ МОЖНО БЕЗОПАСНО ТРАНСПОРТИРОВАТЬ В НЕГЕРМЕТИЧНЫХ АМПУЛАХ В ОДНОМ ТУК-11

В докладе рассматривается предварительное обоснование безопасного транспортирования в ТУК-11 максимального количества пучков твэлов ОТВС РБМК-1000 с различным начальным обогащением по урану-235, глубиной выгорания, выдержкой и источниками сырья к месту переработки. Рассчитанные критерии тепловой, радиационной и ядерной безопасности сравниваются со значениями, установленными в правилах безопасности транспортирования радиоактивных материалов.

Для обоснования максимального количества герметичных некондиционных пучков твэлов (ПТ) ОТВС РБМК-1000, которые можно безопасно транспортировать в ТУК-11, требуется проведение расчетов для широкой номенклатуры ОТВС РБМК с различным начальным обогащением по урану-235, глубиной выгорания, выдержкой и источниками сырья [1]. Поскольку в настоящее время первоочередная цель вывоза ОТВС – освобождение в ХОЯТ свободного места для размещения ОТВС, извлекаемых из реакторов, а подходы к переработке ОТВС окончательно не определены, то следует провести расчеты, обосновывающие оптимальный вывоз любых ОТВС, находящихся в ХОЯТ.

ТУК-11 с чехлом 32М разработан для перевозки 102-х пучков твэлов ОТВС РБМК-1000 с максимальным исходным обогащением по урану-235 до 2%, глубиной выгорания не более 20 МВт·сут/кгU и суммарным остаточным энерговыделением отработавших ТВС не более 10,24 кВт [2]. Герметичными некондиционными считаются ПТ ОТВС, в которых возможны механические повреждения конструкционных элементов, но отсутствуют газопроницаемые микродефекты оболочки.

В соответствии с ОСТ 95-10585-2003 [3], минимальное время хранения ОТВС в воде должно составлять не менее 10 лет, остаточное тепловыделение ПТ не должно превышать 54 Вт.

В нормальных условиях перевозки конструкция ТУК должна обеспечивать ограничение [4, 5]: