

Вопросы ядерного топливного цикла атомной энергетики малых мощностей в аспекте обеспечения режима нераспространения

Л.Н. Андреева-Андриевская, В.П. Кузнецов,
П.П. Полуэктов

АТОМЭКСПО - 2012
Москва, 5 июня 2012 г.

Изначально термин нераспространение использовался применительно к нераспространению ядерного оружия. В настоящее время эта терминология имеет более широкое толкование, включая нераспространение ядерных и радиоактивных материалов.

В последнее время активно обсуждаются возможности ядерных и радиационных террористических актов, в том числе с использованием ядерных взрывных устройств и радиологических «грязных» бомб.

Атомные реакторы могут выступать как «грязные» бомбы, где в качестве радиоактивных компонентов бомб могут быть радионуклиды, такие как кобальт-60, стронций-90, цезий-137, плутоний-238, которые характеризуются большими сроками жизни, высокой удельной активностью и токсичностью (табл. 1).

Таблица 1

Ядерно-физические свойства радионуклидов

Радионуклид	Период полураспада, лет	Тип распада	Средняя энергия излучения, МэВ/(Бк·с)			Дочерний радионуклид (выход)
			характеристическое, гамма- и аннигиляционное излучение	бета-излучение, конверсионные и Оже	альфа-излучение и ядра отдачи	
Кобальт-60	5,27	β^-	1.17; 1.33	9.58 $\cdot 10^{-2}$		Никель-60 стаб.
Стронций-90	29,1	β^-		1.96 $\cdot 10^{-1}$		Иттрий-90 радиоакт.
Цезий-137*	30,2	β^-		1.87 $\cdot 10^{-1}$		Барий-137 стаб.
Плутоний-238	87,74	СД, α	1.81 $\cdot 10^{-3}$	1.06 $\cdot 10^{-2}$	5.58	Уран-234 радиоакт.

*Дочерний барий-137 имеет период полураспада 2,55 мин и испускает гамма-кванты с энергией 661.6 кэВ

Транспортабельные атомные установки

Типичная энергетическая мощность АЭС большой энергетики составляет порядка 1000 МВт. Транспортабельные атомные установки (ТАУ) являются атомными станциями малой мощности (до 100 МВт (эл)) и предназначены для работы на базе без перегрузки ядерного топлива в течение всего срока службы (от 8 до 12 лет).

Пример ТАУ RITM-200



Full name: RITM-200

Reactor type: Integral pressurized water reactor

Coolant/moderator: Light water

System pressure: 15.7 MPa

Thermal capacity: 175 MW(th)

Electrical capacity: 50 MW(e)

Fuel material: UO_2

Fuel cycle: 84 months

Design status: Detailed design

Distinguishing features: Integral reactor with forced circulation in the primary circuit for universal nuclear icebreakers

ТАУ транспортируются со свежим топливом в точку базирования и возвращаются с ОЯТ после эксплуатации на ремонтное предприятие. Именно эти стадии определяют специфику ядерного топливного цикла ТАУ; изготовление топлива и обращение с ОЯТ не отличаются от таковых для большой атомной энергетики.

В жизненном цикле ТАУ возникают особенности распространения радиоактивных материалов ядерного топлива:

- работа в удаленных изолированных регионах (может быть политически нестабильных) и возможности угона ТАУ с базы;

- возможность нападения, захвата и удержания ТАУ при транспортировке со свежим топливом или ОЯТ;

- возможность разрушения ядерной установки при конфликтах, сопровождающемся распылением радиоактивных материалов.

Необходимо обеспечивать транспортировку ТАУ на ремонтную базу без перерыва (или с минимальным перерывом) после выработки срока службы. Наиболее критичной в аспекте нераспространения представляется завершающая фаза работы ТАУ на базе и транспортировка ее на ремонтное предприятие, поскольку ОЯТ внутри РУ имеет максимальную радиоактивность.

Препятствие распространению ядерных материалов может создаваться техническими и организационными мерами при соответствующем многостороннем контроле (со стороны поставщика, оператора и потребителя при международных гарантиях).

Нераспространение радиоактивности в этом случае обеспечивается следующим образом:

- предельно достижимое качество безопасности работы ЯЭУ (за счет внутренней самозащищенности, пассивных систем безопасности, конструктивных особенностей, защищенности крепления ТАУ на причале);

- использование топлива с обогащением менее 20% и, как следствие, невозможность его применения в ядерной (но не радиологической) бомбе;

- обеспечение технического контроля и дистанционного управления положением ТАУ на базе;

- физическая защита в месте базирования и при транспортировке.

Длительная работа реактора без перегрузки топлива предполагает его высокое выгорание ($\sim 10\%$ при обогащении 14 -15 %), что предполагает существенное накопление продуктов деления (\sim в 2 ÷ 3 раза более, чем в топливе реактора ВВЭР) и $\sim 2\%$ (тяжелых атомов) актинидов.

Проблемы внутри топливного цикла, имеющие отношение к обеспечению сопротивления распространению ядерных материалов:

- для транспортировки топлива высокого выгорания в России нет соответствующих контейнеров;
- нет контейнеров (и ТУК'ов) для обеспечения длительного хранения высоковыгоревшего топлива;
- существующая водно-экстракционная («мокрая») технология переработки топлива требует совершенствования для высоковыгоревшего топлива.

Организационно-технические меры:

- информационный контртерроризм;
- работа с персоналом;
- физзащита объекта;
- административно-организационные мероприятия

Особое внимание при реализации физзащиты на ядерных объектах (в том числе ТАУ) должно уделяться созданию эшелонированных систем защиты, а также обеспечению повышенной охраны жизненно важных зон и помещений таких объектов (реакторная установка, система охлаждения, центральный пункт управления и т.п.).

Для защиты ядерной энергетики от несанкционированного использования технологий и материалов для создания ядерного и радиологического оружия необходимо применить административно-организационные меры (внешние барьеры, экспортный контроль, Гарантии МАГАТЭ и Дополнительный Протокол).

Заключение

- ЯТЦ ТАУ совместим с циклом большой энергетики.
- Наиболее критической фазой ЯТЦ для ТАУ в аспекте нераспространения является завершающая фаза работы ТАУ на базе и транспортировки ТАУ на ремонтное предприятие.