

КАРЕЛИН А.И.¹, КАРЕЛИН В.А.², АБУБЕКЕРОВ Р.А.³, ДОМАШЕВ Е.Д.⁴,
ДОМАШЕВ В.Е.⁴, ПОПАДЕЙКИН М.В.⁵

¹НПО «Радиевый институт им. В. Г. Хлопина», Россия

²Северский государственный технологический институт, Россия

³АО «Украинская Металлургическая Корпорация»

⁴Институт технической теплофизики НАН Украины

⁵«Сибирский химический комбинат», Россия

НОВОЕ СТРАТЕГИЧЕСКОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ПО БЕЗОПАСНОМУ ОБРАЩЕНИЮ С ОТРАБОТАВШИМ ЯДЕРНЫМ ТОПЛИВОМ И ВЫСОКОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ УКРАИНЫ*

Анализ мирового опыта, выполненный в рамках МАГАТЭ [1], показал, что безопасное обращение с радиоактивными отходами (РАО) входит в тройку главных проблем современной ядерной энергетики, наряду с ее экономическими показателями и безопасностью.

К сожалению, эта проблема в бывшем СССР долгое время рассматривалась как второстепенная. Поэтому проекты АЭС, в том числе и действующих на Украине, не были охвачены общей концепцией обращения с радиоактивными отходами, и ограничивались созданием спецкорпусов, фактически являющихся промежуточными хранилищами для жидких и твердых отходов. Серийное оборудование для их переработки не было разработано. Практически полностью отсутствовал парк специальных контейнеров, в первую очередь транспортных. Региональных, тем более национальных хранилищ радиоактивных отходов энергетического происхождения не существовало.

Развитие ядерного топливного цикла в Украине было и остается предметом многочисленных дискуссий как на профессиональном, так и политическом уровнях. При этом высказываются противоречивые предложения, вплоть до создания отечественного замкнутого топливного цикла [2,3]. Побудительным мотивом столь кардинальных предложений является желание достичь полной независимости от внешних поставщиков ядерного топлива. Наличие больших запасов относительно дешевого уранового сырья делает в настоящее время переход на замкнутый топливный цикл экономически невыгодным. Практически все ядерные страны, кроме России, заморозили программы сооружения энергоустановок с реакторами на быстрых нейтронах. Только три страны: Россия, Великобритания и Франция – продолжают регенерацию отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) для целей энергетики, причем в ограниченных масштабах. США прекратили регенерацию ОЯТ и перешли на длительное хранение до тех времен, когда регенерация станет экономически выгодной.

*Промтеплотехника. – 2004. – т.26. - № 3. с. 58-61.

За время независимости в Украине предпринимались неоднократные попытки создания стратегических документов и программ по обращению с радиоактивными отходами. Но все эти документы либо не отличались реалистичностью, либо их выполнение тормозилось финансовыми трудностями и борьбой интересов различных ведомств. Ведомственные подходы сказались и на качестве законодательных актов в этой области.

Как следствие, до сих пор в Украине отсутствует национальная система утилизации радиоактивных отходов, сбалансированная с учетом интересов и взаимных обязательств производителей отходов и организаций, ответственных за их хранение и окончательное захоронение. Практически не решается задача по обращению с высокоактивными отходами, которые должны быть возвращены из России после переработки отработанного ядерного топлива украинских АЭС.

Отсутствие национальной системы обращения с РАО негативно влияет на ситуацию с обращением с радиоактивными отходами энергетического происхождения. До сих пор не решены вопросы, в каком виде, с какой степенью иммобилизации должны передаваться отходы разного агрегатного состояния и уровня активности от АЭС на централизованные пункты их хранения, кто будет осуществлять перевозку отходов, каким транспортом и в каких контейнерах. Остается открытым вопрос о роли предприятия «Вектор» в утилизации отходов АЭС, как его технологическое оснащение должно согласовываться с теми техническими средствами, которые есть или должны быть на отдельных электростанциях.

Четко не определена отраслевая роль заводов по переработке твердых и жидких радиоактивных отходов, сооружаемых на Чернобыльской АЭС, несмотря на масштабность работ по снятию с эксплуатации блоков с реакторами РБМК [4,5].

Накопление отходов на АЭС идет достаточно высокими темпами, о чем свидетельствуют данные, представленные в таблицах 1-3.

Таблица 1 – Динамика накопления радиоактивных отходов на АЭС Украины

| АЭС | жидкие, м ³ | | | | | твердые, м ³ | | | | |
|--------------|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 |
| ЗАЭС | 2806 | 2525 | 3335 | 3060 | 3420 | 6483 | 6012 | 6528 | 6974 | 7208 |
| ХАЭС | 609 | 605 | 606 | 625 | 604 | 1606 | 1955 | 2309 | 2426 | 2484 |
| РАЭС | 6118 | 6091 | 6454 | 6214 | 6114 | 2616 | 2918 | 3195 | 3457 | 3560 |
| ЮУАЭС | 2142 | 2150 | 2658 | 2696 | 2860 | 12455 | 12828 | 13583 | 14062 | 14201 |
| Итого | 11675 | 11371 | 13053 | 12595 | 12998 | 23160 | 23713 | 25615 | 26919 | 27453 |

Таблица 2 – Среднегодовое накопление радиоактивных отходов на АЭС Украины (1999-2001 годы)

| АЭС | жидкие, м3 | | | твердые, м3 | | |
|--------------|---------------|----------------|----------------|---------------|--------------|-------------|
| | низкоактивные | среднеактивные | высокоактивные | 1 группа | 2 группа | 3 группа |
| ЗАЭС | - | 1386,6 | - | 404,3 | 10,05 | 1,37 |
| ХАЭС | - | 170,6 | - | 242,5 | 7,2 | 0,68 |
| РАЭС | - | 1653,2 | - | 258,9 | 4,3 | 2,13 |
| ЮУАЭС | - | 427,3 | - | 330,7 | 22,3 | 1,12 |
| Итого | - | 3637,7 | - | 1236,4 | 43,85 | 5,30 |

Таблица 3 – Прогноз накопления радиоактивных отходов на АЭС Украины

| АЭС | жидкие, м3 | | | твердые, м3 | | |
|--------------|--------------|---------------|-------------------|--------------|---------------|-------------------|
| | 2010 р. | 2030 р. | проектные емкости | 2010 р. | 2030 р. | проектные емкости |
| ЗАЭС | 23760 | 56160 | 4800 | 25410 | 62370 | 19522 |
| ХАЭС | 10120 | 20880 | 4351 | 12705 | 23485 | 16825 |
| РАЭС | 10120 | 21760 | 8180 | 11780 | 25144 | 10310 |
| ЮУАЭС | 3960 | 10080 | 800 | 4235 | 11165 | 6371 |
| Итого | 49720 | 108880 | 18131 | 54130 | 122164 | 53028 |

Из таблицы 3 видно, что объемы как жидких, так и твердых отходов на уровне 2010 года могут превышать существующие возможности АЭС по их хранению. Если в ближайшее время не заработает национальная система обращения с радиоактивными отходами и не начнется их передача от АЭС в общенациональные хранилища, то дальнейшее функционирование электростанций будет серьезно осложнено.

Предстоит выполнить большой объем подготовительной работы, включая организацию производства специальных контейнеров и транспортных средств, их сертификацию, подготовку ряда нормативных документов межведомственного характера, ввод в действие национальных хранилищ и перерабатывающих предприятий и т.д.

В настоящее время отработанное ядерное топливо украинских АЭС передается России с оплатой либо его переработки (ВВЭР-440), либо хранения (ВВЭР-1000). При этом оплата услуг российских предприятий составляет ежегодно 50 и более млн. долларов США. После окончательной переработки отработавших топливных сборок, извлечения из них изотопов урана и плутония (свыше 90% по весу), других полезных изотопов оставшиеся высокоактивные отходы должны быть возвращены в Украину.

Таким образом, Украина не только лишается 90% уранового сырья и полезных изотопов, но и фактически оплачивает развитие предприятий ядерного топливного цикла России, испытывая серьезные финансовые трудности при создании собственной инфраструктуры по безопасному обращению с высокоактивными отходами и решению других проблем ядерной энергетики.

Отсутствие специализированных хранилищ отработанного ядерного топлива несет угрозу стабильной работе украинских АЭС в случае отказа России от его приема. Подобная ситуация имела место в начале 90-х годов, когда администрация Красноярского края (Россия) запретила ввоз на свою территорию отработанного топлива АЭС Украины. Последним грозила полная остановка из-за невозможности перегрузок отработавших топливных сборок на свежие. Однако, за прошедшие годы задача долговременного хранения ОЯТ решена только для Запорожской АЭС.

Совершенно очевидно, что сложившаяся ситуация неудовлетворительна как в экономическом, так и политическом плане, и необходимо развивать собственную инфраструктуру для длительного хранения отработанного ядерного топлива.

Существуют конкретные предложения решения задачи в минимальные сроки и с минимальными финансовыми затратами для Ровенской, Хмельницкой и Южно-Украинской АЭС, в том числе от западных инвесторов. В их основе лежит создание в Чернобыльской зоне централизованного хранилища с использованием освоённой в мире технологии «сухого» хранения отработавших сборок в железобетонных контейнерах. Достоинства этого предложения очевидны. Необходимо рассмотреть и альтернативные варианты.

Например, надежное и безопасное обращение с отработавшим ядерным топливом и высокоактивными отходами может быть обеспечено путем иммобилизации оксидного ядерного топлива (таблеток) или отработавших ядерных сборок (без их разделки), а также высокоактивных твердых отходов в герметичные, высокопрочные с высокой теплопроводностью капсулы и контейнеры из высококачественных конструкционных керамических материалов на основе диборида титана (TiB_2) и дисилицида титана ($TiSi_2$). Эти материалы обладают уникальными свойствами: имеют высокую теплопроводность, превышающую таковую для металлического алюминия, высокую термическую, коррозионную, радиационную стойкость, механическую прочность, при обычном давлении имеют температуры плавления, превышающие $2500^{\circ}C$. Диборид титана (TiB_2) обеспечивает в любых аварийных ситуациях ядерную безопасность при транспортировке и хранении радиоактивных материалов.

С использованием уникальных свойств предлагаемых материалов или их композиций с другими высококачественными керамическими материалами (карбидами, нитридами, боридами, силицидами других химических элементов), можно надежно решить проблему безопасного долговременного обращения с образующимся при эксплуатации атомных станций отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами.

Принципиальная схема иммобилизации отработавшего ядерного топлива или высокоактивных отходов в герметичные керамические капсулы и контейнеры представлена на рис.1.

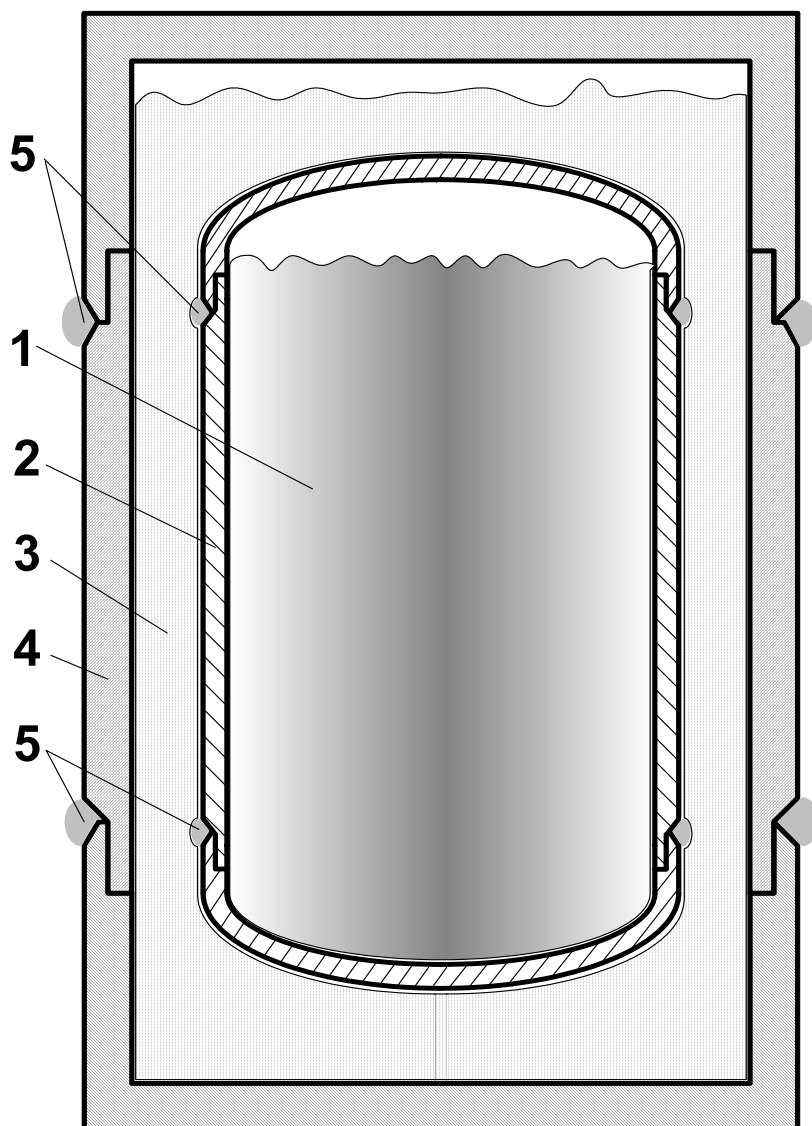


Рис. 1 Принципиальная схема иммобилизации отработавшего ядерного топлива или высокоактивных отходов в герметичные керамические капсулы и контейнеры

1- отработавшее ядерное топливо или отходы; 2 – керамическая капсула; 3 – керамическая засыпка; 4 – керамический контейнер; 5 – герметизирующие швы капсулы и контейнера.

Ядерные материалы или высокоактивные отходы 1 загружают в керамическую капсулу 2. Эта капсула состоит из цилиндрического корпуса, днища и крышки, которые соединяются между собой с помощью резьбовых соединений. Днище и корпус капсулы герметизируют с помощью специальной керамической пасты, обрабатывая соединительные швы 5 при температуре 900°С. Аналогичным образом герметизируют место подсоединения верхней крышки к корпусу капсулы после загрузки в нее ядерных материалов или высокоактивных отходов. Эту капсулу устанавлива-

ют в керамический контейнер 4, между корпусом капсулы и стенкой контейнера засыпают порошок диборида (TiB_2) или дисилицида ($TiSi_2$) титана 3. Верхнюю крышку керамического контейнера герметизируют с корпусом керамической пастой 5.

Герметичные керамические контейнеры и капсулы с иммобилизованным отработавшим ядерным топливом и твердыми высокоактивными отходами устанавливаются друг на друга в сухие хранилища, охлаждаемые воздухом. Эти контейнеры можно безопасно хранить длительное время до возникновения необходимости в переработке отработавшего ядерного топлива или окончательно захоронить высокоактивные отходы после их охлаждения.

Предлагаемая концепция безопасного обращения с отработавшим ядерным топливом и высокоактивными отходами может быть осуществлена только при условии, если она будет конкурентоспособной по затратам финансовых средств по сравнению с известными способами обращения с ядерными материалами и отходами.

Предлагаемая концепция является новым стратегическим направлением в этой области и основана на разработанных авторами относительно дешевых технологиях получения и применения конструкционных керамических материалов и изделий на основе диборида титана (TiB_2), дисилицида титана ($TiSi_2$) и композиций с другими высококачественными керамическими материалами, которые проходят в настоящее время стадию патентования. После завершения патентования, предлагаемая концепция безопасного обращения с отработавшим ядерным топливом и высокоактивными отходами при использовании высококачественных конструкционных керамических материалов с уникальными свойствами, может быть детально проработана и оценена в короткие сроки авторами, совместно с группой высококвалифицированных специалистов из ведущих в этой области российских и украинских научных и проектных институтов.

Литература

1. Фишер Д. История МАГАТЭ. Первые сорок лет. // Вена. – 1997. – 550 с.
2. Карелин А.И., Домашев Е.Д., Абубекеров Р.А. Атомная техника на пороге XXI века // Промышленная теплотехника. – 1998. – Т.20 – №5. – С. 37 – 46.
3. Абубекеров Р.А., Домашев Е.Д., Домашев В.Е., Карелин А.И., Карелин В.А. Ядерная и солнечная энергетика – проблемы и перспективы // Энергетика: Економіка, технології, екологія. 2002. – №3. – С. 25 – 30.
4. Домашев Е.Д., Симановский В.М. Вывод из эксплуатации и консервация уран-графитовых реакторов РБМК // Промтеплотехника. – 1999. – т. 21. - № 4-5. – с. 111-117.
5. Домашев Е.Д., Симановский В.М. Принципы консервации блока с реактором РБМК Чернобыльской АЭС // Промтеплотехника. – 1999. – т. 21. - №6. – с. 64-68.