

РАДИОАКТИВНЫЕ ОТХОДЫ И ОТРАБОТАВШЕЕ ЯДЕРНОЕ ТОПЛИВО

Работа любого реактора сопровождается накоплением жидких и твердых радиоактивных отходов (РАО) и выгрузкой отработавшего ядерного топлива (ОЯТ), имеющего чрезвычайно высокую радиоактивность (за счет осколков деления ядер топлива). Операции по обработке и «вечному» захоронению этих опасных веществ, с извлечением их полезной составляющей, должны были замкнуть цикл всего ядерного производства. Такой цикл, начинающийся добычей урановой руды и заканчивающийся «захоронением» в землю безопасно упакованных РАО, называется полным ядерно-топливным циклом (ЯТЦ). Создать эффективно работающий, полный ЯТЦ не удалось ни одной стране. Это факт. После выработки планового количества энергии отработавшее топливо выгружается и на том ЯТЦ прерывается. До сих пор РАО и ОЯТ хранятся во временных хранилищах на АЭС и военных объектах, потому что ранее спроектированные и отработавшие свой срок установки по их переработке оказались слишком дорогими, и слабыми, и малоэффективными.

Госатомнадзор России так характеризует состояние этой проблемы [64]: «Выполнение работ по федеральной целевой программе "Обращение с радиоактивными отходами и отработавшими ядерными материалами, их утилизация и захоронение на 1996-2005 годы" на АЭС задерживается из-за отсутствия финансирования. Темпы реконструкции старых и строительства новых хранилищ РАО на АЭС России не отвечают темпам образования РАО. Кондиционирование РАО на АЭС не соответствует современным требованиям безопасности. До настоящего времени ни одна АЭС России не имеет полного комплекта установок по переработке твердых радиоактивных отходов (ТРО) с целью сокращения их объемов методами измельчения, прессования и сжигания, или перевода жидких радиоактивных отходов (ЖРО) в формы, пригодные для транспортировки и захоронения, как того требуют санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций СПАС-88/93... Для АЭС с РБМК не решен вопрос с хранением ОЯТ (переход к уплотненному хранению ОТВС в приреакторных БВК и ХОЯТ является вынужденной мерой)».

Приведенные выше выдержки из Справки Госатомнадзора РФ за 2000 год достаточно красноречиво иллюстрируют общее состояние дел с РАО и ОЯТ. Но даже бесконечное перечисление отдельных фактов не даст полного представления об истинном масштабе проблемы временного хранения, переработки и захоронения миллиардов кюри радиоактивности, накопленных на предприятиях атомного комплекса СССР (в Украине положение дел не лучше).

Обращение с РАО и ОЯТ

На объектах ЯТЦ только в России расположено 416 пунктов хранения РАО, из них:

- 96 - пункты хранения жидких РАО;
- 320 - пункты хранения твердых РАО.

На предприятиях ЯТЦ находится 21 пункт хранения ОЯТ (в том числе бассейны выдержки). Заполнение пунктов хранения твердых РАО и жидких РАО составляет 68 % и 87 % соответственно [35].

Отработавшее ядерное топливо, переработка, хранение и транспортирование которого осуществляются на предприятиях топливного цикла, представляет собой:

- ТВС, отработавшие свой ресурс в энергетических реакторах типа ВВЭР - 440, ВВЭР-1000, БН-350, БН-600 или в транспортных ядерных установках;
- ТВЭЛы промышленных реакторов, обогащенные на 90 % изотопом урана-235;
- ядерное топливо промышленных реакторов в виде ТВЭЛов (блочков) на основе металлического урана природного обогащения, предназначенное для наработки плутония.

ТВС энергетических реакторов и транспортных ядерных установок перерабатываются на радиохимическом заводе (РТ-1) ПО «Маяк». За год перерабатывается не более 200 тонн отработавшего топлива при проектной мощности завода 400 тонн [35].

ТВЭЛы промышленных реакторов перерабатываются на радиохимических производствах трех предприятий:

- СХК (радиохимический завод);
- ГХК (горно-химический завод);
- ПО «Маяк» (радиохимический завод).

Технологический процесс переработки ОЯТ включает в себя:

- механическую фрагментацию (рубку) ТВС и ТВЭЛов с целью извлечения топлива (применительно к ОЯТ) энергетических реакторов и транспортных ядерных установок;
- растворение;
- очистку растворов балластных примесей;
- экстракционное выделение и очистку урана, плутония и других товарных нуклидов;

- выделение диоксида плутония, диоксида нептуния и закиси-окиси урана;
- переработку растворов, содержащих другие радионуклиды, и их выделение.

На каждом из трех предприятий осуществляется хранение поступающего на предприятие ОЯТ и продуктов, получаемых после его переработки.

В отношении хранения ОЯТ особое положение занимает Красноярский ГХК, на котором с 1976 года действует хранилище для топлива реакторов ВВЭР-1000, но нет готового производства по его переработке. В отсеки бассейна этого хранилища ОТВС поступают после предварительной выдержки в хранилищах на АЭС. Переработка ОТВС реакторов ВВЭР-1000 начнется после ввода в действие завода РТ-2, но это только добавит проблем по хранению образующихся при этом отходов.

В результате переработки 1 тонны ОЯТ (в пересчете на уран) образуется следующее количество радиоактивных отходов (РАО):

- жидкие высокоактивные - 45 м³
- среднеактивные - 150 м³
- низкоактивные - 2000 м³
- твердые 3-й группы активности - 1000 кг
- 2-й группы активности - 3000 кг
- 1-й группы активности - 3500 кг
- газообразные - 0,23 Ки/год.

Получается явно неутешительный баланс – из одной тонны отработавшего топлива выходит 7,5 тонн твердых и 2200 тонн жидких РАО, которые тоже нужно переработать и безопасно захоронить.

Со всех зарубежных АЭС, построенных по советским проектам, отработавшее топливо всегда направлялось на переработку в СССР. В настоящий момент Россия не готова к широкомасштабному ввозу на хранение и переработку отработавшего ядерного топлива, поскольку экологическая безопасность в местах размещения предприятий ядерного топливного цикла находится в катастрофическом состоянии [35].

Система обращения с твердыми РАО практически не учитывает наличие в них плутония и трансурановых элементов, хранение которых требует специальных мер. Так, на заводе по производству гексафторида урана в Томске-7 масса плутония в твердых захороненных отходах превышает 70 кг. Обоснование ядерной безопасности отсутствует. Такая же ситуация и на других региональных могильниках России.

Транспортировка ОЯТ

Отработавшее ядерное топливо (ОЯТ), представляет собой крайне опасный радиоактивный материал, транспортировка которого осуществляется в специальных вагонах-контейнерах, очень тяжелых, оборудованных биологической защитой.

Аварийность на железнодорожном транспорте достаточно высока, что делает перевозки ОЯТ делом небезопасным. Только с 1991 по 1997 годы на российских железных дорогах произошло 566 аварий и несчастных случаев (243 из них - с пассажирскими поездами), в результате которых пострадало 2600 человек; было повреждено 68 локомотивов и 4268 железнодорожных вагонов. Самая серьезная катастрофа произошла в июне 1988 года, когда в результате взрыва трех цистерн с быстро испаряющимися веществами в районе города Арзамас-1 погиб 91 человек, 840 - было ранено.

В течение нескольких лет ОЯТ в Россию не завозили. Но 11 июля 2001 года вступили в силу поправки к закону "Об охране окружающей природной среды", которые разрешают ввоз в Россию, на переработку и захоронение, отработавшее ядерное топливо (ОЯТ). Отмена запрета на ввоз радиоактивных материалов в страну была инициирована Министерством атомной энергии Российской Федерации. В течение 10 лет оно планирует ввезти в страну до 20 000 тонн отработавшего ядерного топлива из таких стран как Болгария, Словакия, Венгрия, Тайвань, Южная Корея, Япония, Швейцария, Германия и Испания, и заработать на этом 20 миллиардов долларов.

Для того только чтобы перевезти эти 20 000 тонн ОЯТ, нужно будет сформировать и сопроводить через несколько стран 450 очень опасных эшелонов. Конечный пункт назначения (Челябинск, или Красноярск) еще не определен, но там тоже есть свои проблемы. ПО "Маяк", куда может быть направлено отработавшее ядерное топливо, уже является самым радиоактивно загрязненным местом на земном шаре. Грета Джой Дайкус, член Комиссии по ядерной регламентации США, заявила в 1998 году: "Из-за применения устаревших технологий и аварий на "Маяке", рабочие на самом комбинате и люди, живущие вокруг него получали чрезвычайно высокие дозы радиации и были подвержены воздействию радиоактивных материалов. Во многих случаях дозы радиации были сравнимы с теми, которые получили жители Хиросимы и Нагасаки, выжившие после атомной бомбардировки".

Переработать эти 20 тысяч тонн ОЯТ не на чем, поэтому придется размещать их в хранилища, которые являются временными. Понимающие люди такой исход иначе как «аферой века» не называют. Деньги за прием ОЯТ уйдут как вода в песок, а проблема временных хранилищ останется.

В Красноярске радиоактивное загрязнение не столь тяжелое, но его горно-химический комбинат не имеет предприятия по переработке ОЯТ.

Положение дел на предприятиях по переработке РАО и ОЯТ

Сегодняшняя ситуация на предприятиях Минатома России, обеспечивающих заключительную стадию ЯТЦ, характеризуется как крайне тяжелая. Комплекс завода РТ-1, который эксплуатируется уже более 20 лет и имеет большую степень износа оборудования, является единственным в СНГ заводом по регенерации ОЯТ атомной энергетики. До вывода его из эксплуатации остается всего 3 года.

Отработавшее топливо ВВЭР-1000 и РБМК-1000 хранится в пристанционных бассейнах выдержки и в централизованном мокром бассейне-хранилище Горно-химического комбината (1-ая очередь завода РТ-2). При существующих темпах поступления ОЯТ из реакторов ВВЭР-1000 российских и украинских АЭС имеющийся ресурс объема этого хранилища будет исчерпан в 2006 году.

Одновременно с переработкой ОЯТ АЭС завод РТ-1 занят регенерацией ОЯТ выведенных из эксплуатации атомных подводных лодок ВМФ. В 1999 году ПО «Маяк» вывез и переработал 5,5 тонн лодочного ОЯТ. В настоящее время на базах ВМФ находится на временном хранении еще 118 тонн топлива из реакторов подлодок.

Наибольшую радиационную опасность представляет система обращения с жидкими РАО всех уровней активности. Высокоактивные отходы хранятся в емкостях или закачиваются в глубинные пласты-коллекторы, обоснование ядерной безопасности которых отсутствует [35]. Емкости-хранилища высокоактивных отходов требуют постоянного и повышенного внимания, так как протечки, разрушения или тепловые взрывы в них могут привести к серьезным радиационным авариям, подобным случившейся в 1957 году на ПО «Маяк».

Технология обращения с жидкими высокоактивными РАО предусматривает, что их сначала упаривают (до 3,0-4,5 м³ на 1 т ОЯТ) и фракционируют (в августе 1996 года была пущена первая в мире промышленная установка по фракционированию высокоактивных отходов), а затем подвергают отверждению путем остекловывания (в фосфатном стекле).

На ПО «Маяк» с июня 1992 г. по май 1997 г. работали две электропечи прямого нагрева, предназначенные для остекловывания отходов высокого уровня радиоактивности. Производительность второй печи была 500 л/час по исходному раствору, что позволяло остекловывать не только жидкие высокоактивные отходы, образующиеся от переработки ОЯТ в настоящее время, но и перерабатывать ранее накопленные отходы. За время работы печей на них было переработано почти 13 млн. м³ высокоактивных отходов и получено 2,2 тыс. тонн стекломассы. Суммарная активность включенных в стекло радионуклидов составила около 300 млн. Ки, или 35 % ранее накопленных отходов данного типа.

Емкости со стеклом, содержащим внутри себя высокоактивные радионуклиды, после остывания помещают в стальной пенал. Пеналы герметично заваривают и устанавливают во временное хранилище с регулируемым теплоотводом (бассейн с дистиллированной водой). Перед окончательным захоронением пеналов их необходимо охлаждать в течение 20 и более лет, постоянно контролируя уровень тепловыделения РАО.

14 января 1997 года последняя работающая печь остекловывания вышла из строя, отслужив два проектных ресурса. Сегодня на «Маяке» жидкие высокоактивные РАО хранятся в резервных железобетонных емкостях, как это происходило и ранее, до внедрения технологии остекловывания. Таким образом, ситуация с самыми опасными жидкими высокоактивными РАО вернулась в прежнее состояние повышенного риска.

В открытых бассейнах-хранилищах жидких РАО на предприятиях атомной отрасли в придонном иле содержится плутоний, масса которого превышает десятки килограммов. Особую тревогу вызывает положение на радиохимических предприятиях, как из-за большого объема накопившихся отходов, так и по причине их концентрации в открытых природных средах, что привело к утрате контроля за их распространением и грозит обернуться экологической катастрофой [35].

Временные хранилища ОЯТ на АЭС

Проблема хранения отработавшего топлива оказалась очень сложной для украинских АЭС с реакторами ВВЭР-1000, поскольку объем отправки отработанного топлива с Украины в Красноярск-26 отстает от объема выгрузки отработавшего топлива.

В декабре 1993 года Запорожская АЭС, работе которой угрожало полное заполнение имеющихся бассейнов выдержки, подписала соглашение с компанией Duke Engineering and Services Inc. на поставку бетонных вентилируемых контейнеров для хранения ОЯТ подобных тем, какие используются сейчас в США.

Из-за низкой концентрации расщепляющихся изотопов в отработавшем топливе реакторов РБМК планы на его переработку отсутствуют. Сегодня 100% отработавшего топлива на АЭС хранится в бассейнах выдержки, расположенных рядом с реактором, и в отдельно стоящих временных стационарных хранилищах. По состоянию на конец 1992 года имелось около 7700 тонн тяжелого металла в виде отработавшего топлива РБМК на хранилищах реакторных площадок; в этом топливе содержится около 32 тонн плутония, распределенных следующим образом [65]:

Страна	Отработавшее топливо (тонн)	Плутоний (тонн)
Россия	5500	23
Украина	1500	6
Литва	700	3

А на конец 2005 года в Украине скопилось около 4500 тонн тяжелого металла в виде отработавшего топлива ВВЭР и РБМК. В этом топливе содержится почти 12 тонн плутония, требующего особого обращения и представляющего очень серьезную опасность.

До сих пор нет окончательного решения о том, как распорядиться отработавшим топливом РБМК. Среди рассматриваемых вариантов есть и такие - захоронение топлива в скальных геологических формациях, или в сверхглубоких скважинах, и удаление его в слои вечной мерзлоты на севере РФ. Поскольку Новая Земля уже использовалась Советским Союзом в качестве испытательного полигона, Минатом рассматривает этот район как политически более приемлемый для захоронения ОЯТ, нежели другие площадки в северной Сибири.

На Украине принято решение хранить ОЯТ Чернобыльской АЭС в сухом хранилище, которое возводится вблизи ЧАЭС. Возможно, что для этой цели будут использованы также транспортно-упаковочные контейнеры российской разработки типа ТУК-84, или иные.

Положение с отработавшим ядерным топливом в Украине

Отработавшее ядерное топливо (ОЯТ) – это чрезвычайно опасная, высокорadioактивная смесь изотопов урана, плутония, осколков деления ядер трансурановых элементов и продуктов их распада.

Отработавшее ядерное топливо вносит наибольший вклад в суммарную активность накопленных в мире отходов. Ежегодная выгрузка ОЯТ из АЭС в мире превышает 10 тысяч тонн. К 2005 году в мире накопилось около 260 тысяч тонн ОЯТ, к 2020 году его количество составит около 600 тысяч тонн. В то же время, до сих пор не существует общепризнанной концепции обращения с отработавшим ядерным топливом. Существующие технологии обеспечивают только два способа обращения с ОЯТ:

- хранение и (или) захоронение,
- переработка (регенерация) ОЯТ.

Многие страны мира пытаются избавиться от ОЯТ, представляющего безусловную экологическую опасность и являющегося потенциальным объектом для террористических атак. Но ни одна страна в мире не имеет достаточных мощностей для переработки накопленного в ней объема ОЯТ. А многие страны не имеют даже пространства для его временного безопасного хранения (например, Бельгия, Болгария, Тайвань, Швейцария).

Переработкой ОЯТ в гражданских целях занимаются 3 страны в мире – Россия, Франция и Великобритания. Остальные страны выбирают в качестве способа обращения с ОЯТ прямое захоронение без переработки. Переработка ОЯТ на сегодня признана тупиковым решением, потому что в результате переработки 1 тонны ОЯТ (в пересчете на уран) образуется 7,5 тонн твердых и 2200 тонн жидких РАО, которые тоже нужно переработать и безопасно захоронить. Экономически это разорительно, а создание такого комплекса в стране, не обладающей большой территорией – просто смертельно.

В Украине до сих пор окончательно не решен вопрос о хранении и утилизации радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива (ОЯТ). Хотя общая стратегия понятна – это временное хранение в наземных сухих хранилищах, с возможностью дальнейшего захоронения в глубоких геологических формациях. Однако, сухое хранилище для топлива Чернобыльской АЭС так и не было введено в эксплуатацию, хотя и было построено. Проект создания ХОЯТ-2 на промплощадке ЧАЭС провален, впустую затрачено почти сто миллионов евро.

Хранение отработавшего топлива оказалось проблемой и для АЭС с реакторами ВВЭР-1000, поскольку объем его перевозки с Украины в Красноярск-26 меньше, чем объем выгруженного из реакторов топлива. На некоторых реакторных блоках удалось реконструировать охлаждающие бассейны и тем самым

увеличить число топливных кассет, хранящихся в них. Однако такое решение спасло положение не надолго, хоть и дало время для возведения «сухих» хранилищ ОЯТ на территории станций.

Сегодня 100% отработавшего топлива хранится в бассейнах выдержки топлива рядом с реакторами и в пристанционных временных хранилищах. Но емкость таких хранилищ ограничена, и они не соответствуют в полной мере требованиям безопасности. Современных хранилищ для ОЯТ в Украине нет, поэтому ситуация в сфере работы с ОЯТ может характеризоваться как критическая.

Создание в Украине централизованного хранилища могло снизить стоимость хранения ОЯТ реакторов ВВЭР вдвое - до 25 долларов за 1 килограмм урана. К сожалению, его строительство не начато до сегодняшнего дня. Более того, до сих пор не определена площадка для его размещения. Но даже выстроенное и работающее такое хранилище не обеспечит Украине радиационную безопасность надолго, потому что оно является временным.

«Сухие» хранилища ОЯТ рассчитаны на безопасную работу в течение 50 лет. Считается, что за эти 50 лет наука уйдет вперед, и ученые смогут придумать, как избавиться от этого опасного ядерного продукта. В противном случае наши наследники получат опаснейшую проблему, связанную не только с хранением, но и утилизацией ядерных отходов и ОЯТ, излучающих миллиарды кюри в течение тысяч лет. Поэтому в Украине, как и в мире, развитие технологий их хранения и переработки проблема не только техническая, но и этическая. Нас не может не волновать вопрос, какое "ядерное наследство" и насколько «чистую» Украину мы оставим своим потомкам.

Что делать с ОЯТ дальше, после окончания срока его безопасного хранения в наземных контейнерах (50 лет)? Ученые оказались в тупике: масса энергетического плутония, заключенная в ОЯТ, возрастает быстрыми темпами. Поэтому ОЯТ нужно либо перерабатывать, чтобы этот плутоний включить в новое топливо, либо надежно захоранивать в геологических формациях. Заводов по переработке ОЯТ в Украине нет, и не будет. Значит ОЯТ нужно размещать в сухих хранилищах, а через 50 лет перемещать в места постоянного захоронения. Но есть ли в Украине места для захоронения контейнеров с ОЯТ? Срок службы геологических хранилищ должен составлять тысячи лет... Надо отметить, что хранилищ таких пока нет. Не только в США и России, но и в мире.

Что делают страны, эксплуатирующие атомные электростанции, но не имеющие инфраструктуры по обращению с ОЯТ? Они используют возможности международной кооперации. Например, Россия принимает на хранение топливо из стран, которые используют российские тепловыделяющие сборки, что позволило Болгарии и другим маленьким странам избавиться от необходимости захоронения ОЯТ на своей территории.

Интересен пример Финляндии, где топливо, наработанное на четырех энергоблоках АЭС «Ловиса», было отправлено в Россию на перерабатывающий комплекс "Маяк". Правда, позднее эту практику прекратили, после принятия поправки к Акту о ядерной энергии в 1994 г. Тогда Финляндией была принята новая программа обращения с ОЯТ, воплощение которой началось более 20 лет назад. В настоящее время все ОЯТ хранится на территориях АЭС до окончательного захоронения. Временное хранение осуществляется только в бассейнах, а окончательное захоронение будет производиться в отечественные геологические хранилища. Общее разрешение, включая назначение площадки для хранилища, было дано Правительством Финляндии и одобрено Парламентом. В середине 2004 г. началось сооружение подземной установки со скальными параметрами; которая станет составной частью хранилища. Предполагается, что лицензия на строительство установки по герметизации и захоронению будет представлена на рассмотрение в 2012 году, а лицензия на эксплуатацию - в 2020 г.

К сожалению, опыт Финляндии пока не используется в Украине, хотя скальных геологических формаций на её территории предостаточно. Из-за отсутствия трезвого государственного подхода в этой проблеме, представители геологической и радиационной наук до сих пор не имели достаточных возможностей для выбора подходящих территорий для обустройства мест захоронения ОЯТ. Это значит, что после выдержки отработавшего топлива в отечественных «сухих» хранилищах, его придется отправлять на переработку в Россию. Но и это решение не снимет проблемы захоронения РАО, поскольку по действующим договорам в 2010 году Россия начнет возвращать Украине радиоактивные вещества, извлеченные из присланного ею ОЯТ. Несмотря на то, что они будут надежно упакованы в компактные формы (остеклованы), для них все равно нужно будет строить отдельное хранилище для вечного захоронения. В связи с этим вызывает недоумение завоз в Украину свежего ядерного топлива американского производства, осуществленного под прикрытием лозунга о повышении уровня национальной безопасности (и независимости) в сфере энергетики. Кроме того, что оно на 40% дороже российского, оно несет в себе еще одну проблему - США не примет это топливо назад после его использования в наших реакторах, и оно навсегда останется в Украине, со всеми вытекающими из этого факта последствиями. **Власть наконец-то должна сделать выбор – или мы постепенно очищаем свою территорию от опасных ОЯТ, или продолжаем концентрировать на ней «мирные» атомные бомбы в виде временных хранилищ отработавшего ядерного топлива.**