



НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ НАУКА И МИРОВОЗЗРЕНИЕ

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ЗАХОРОНЕНИЯ ВЫСОКОАКТИВНЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ РАЗНЫХ СТРАН

Волуца Арина Витальевна

студент, Государственный университет аэрокосмического приборостроения, РФ, Санкт Петербург

Жидкие высокоактивные радиоактивные отходы – техногенные ядерные отходы, которые образуются при эксплуатации предприятий атомной энергетики. Они содержат 99% активности, образовавшейся в результате выгорания топлива в ядерном реакторе. (более 107 кБк/кг для бета-излучающих и более 106 кБк/кг $\frac{3}{4}$ для альфа-излучающих радионуклидов). Их захоронение является одной из актуальных проблем человечества.

Исследование направлено на рост технологичности, качества, экономичности и экологичности захоронения радиоактивных отходов как в нашей стране, так и по всему миру. В работе сопоставлены подходы четырех стран: Россия, Франция, США и Япония. В данный момент, в России радиоактивные отходы временно хранятся в ПО «Маяк» в г. Озёрске Челябинской области. Сейчас на временном хранении там накопилось около 7000 м³ таких остеклованных отходов. В них более 700 млн Ки активности.

Эксперты уже выбрали площадку для объекта захоронения ВАО вблизи мест переработки ОЯТ («ПО «Маяк», ФГУП «ГХК», и АО «СХК»). Подходящее место имеется возле Горно химического комбината в Нижнекамском массиве скальных пород. Это в 6 км от города Железнодорожска и в 4,5 км от реки Енисей. Рассмотрим концепцию российского подхода. Во-первых, создается подземная исследовательская лаборатория. Она определит параметры безопасности размещения радиоактивных отходов. Завершить ее создание запланировано в 2026 году.

Во-вторых, в течение минимум 5 лет запланированы исследования. В-третьих, в 2030-х начнется поэтапное строительство пункта захоронения, а затем и его эксплуатация. Это произойдет в случае, если исследования подтвердят, что место пригодно для захоронения ВАО. Если нет, то его можно будет перепрофилировать под хранение менее долгоживущих отходов. ВАО планируется захоранивать после остекловывания в флягах из антикоррозийной стали, после фляги помещаются в толстостенные пеналы, с мощным бетонитовым барьером и захораниваются вертикальных скважинах глубиной 75 метров.

Данный вариант имеет ряд преимуществ, к которым относятся: создание эффективного химического барьера; снижение скорости коррозии стальных контейнеров; высокая газопроницаемость; легкость обращения с цементом. Наиболее спорные вопросы применения цемента — ускоренная коррозия стеклообразной матрицы остеклованных высокоактивных отходов и относительно высокая проницаемость для слабо сорбируемых нуклидов типа ¹²⁹I и ³⁶Cl. Однако преимуществ данного барьера больше, так как содержание радионуклидов крайне незначительно.

Во Франции для захоронения ВАО в 2025 году, в соответствии с проектом Cigeo, планируется запустить в эксплуатацию пункт захоронения радиоактивных отходов,

который размещен на границе регионов Meuse и Haute de Marne, в северо-восточной части на глубине ~500 м в аргиллитовых формациях. Проектные решения разработаны для захоронения 10 тыс. м³ ВАО. Первичные упаковки с высокоактивными отходами (канистры из нержавеющей стали) планируется устанавливать в стальных толстостенных цилиндрических контейнерах. Данные контейнеры размещаются последовательно друг за другом в горизонтальных тоннелях длиной 100 м, облицованных сталью. Технология захоронения ВАО разработана с учетом возможности последующего извлечения упаковок с отходами.

Этот способ захоронения так же обладает эффективным химическим барьером; низкой скоростью коррозии стальных контейнеров. Еще одним огромным плюсом в способе захоронения Франции является один из лучших ядерный топливный цикл. Что дает им такие преимущества, как обеспечение теплоотвода в промежуточных хранилищах; простота извлечения; обеспечение в будущем глубоководной защиты при захоронении в глубоких геологических формациях с использованием высоких прочностных качеств стеклянной матрицы при долгосрочном хранении (более 10000 лет); низкой долгосрочной радиотоксичности отходов. Минусом же является низкая газопроницаемость.

В Японии уже действуют четыре подземные исследовательские лаборатории, но место для постройки пункта захоронения ВАО до сих пор не выбрано, из-за большого количества мест геологической и вулканической активности. При этом уже разработан метод захоронения. Проектируемая установка сможет вместить порядка 40 000 контейнеров с ВАО (объем отходов, образовавшийся в результате эксплуатации АЭС до 2020 года). При захоронении контейнеры с ВАО будут размещены на таком расстоянии друг от друга, чтобы выделяемое отходами тепло не оказывало существенного влияния на систему захоронения. Учитывая это требование, площадь, занимаемая зоной захоронения ВАО, может составить порядка 5–6 км².

Принципиальная схема устройства инженерных барьеров безопасности для окончательной изоляции ВАО представлена на рисунке. Остеклованные отходы поместят в металлический контейнеры, окруженные буфером из природного бентонита. Устройство упаковки ВАО Японии схожи с упаковкой в России, как и недостатки и достоинства. Не считая идеи размещения контейнеров на расстоянии друг от друга, чтобы тепло не оказывало влияние на систему захоронения. Идея интересная, но весьма непрактичная, так как во много раз увеличивается занимаемая ВАО площадь. Для захоронения высокоактивных отходов (ВАО) в США был выбран участок в штате Невада, хребет Юкка-Маунтин.

Хранилище в Юкка-Маунтин будет располагаться внутри хребта, около 360 метров ниже поверхности и 240 метра выше уровня грунтовых вод, и будет иметь 64,37 км тоннелей. Вместимость составит приблизительно 77000 тонн ядерных отходов. Вместе с сухим климатом штата Невада это создает очень благоприятные условия для захоронения из-за защищенности от переноса радионуклидов с подземными водами. При этом уже введена в эксплуатацию экспериментальная установка по изоляции отходов, или WIPP. Она является третьим в мире глубоким геологическим репозиторием, получившим лицензию на хранение трансурановых радиоактивных отходов в течение 10 000 лет. Но там хранятся отходы связаны с исследованиями и производством ядерного оружия Соединенных Штатов. Точный метод упаковки еще не выбран. Сам проект разрабатывается с 80-х годов, но до сих пор не закончен.

При этом высокоактивные радиоактивные отходы в США хранятся на местах производства, что гораздо более опасно и накладно, чем перевозка и захоронение их в репозитории.

Проанализировав способы захоронения высокоактивных радиоактивных отходов разных стран, было установлено, что они находятся на различных уровнях совершенствования по многим признакам. В результате анализа было получено, что Россия и Франция в этом направлении оказались самыми технологически развитыми странами. На их территориях уже начаты работы по строительству объектов для размещения радиоактивных отходов. Немного отстает Япония, в следствие того, что имеет проблемы с выбором места для объекта захоронения. При этом самые практичные и безопасные упаковки будут использоваться в России и Японии. США, по известным данным, очень сильно отстает от вышеперечисленных стран как по способу хранения, так и по способу захоронения, который до сих пор не разработан.