

Опыт и планы Франции

От насыпей и монолитов к более глубоким разработкам

Ж.Ж. Лефевр

Более чем 40-летний опыт, накопленный Францией в ходе реализации широкомасштабной ядерно-энергетической программы, позволил ей выработать соответствующую всеобъемлющую политику обращения с радиоактивными отходами. Она охватывает правила и инструкции, аспекты радиационной и эксплуатационной безопасности в ближайшей и отдаленной перспективе, различные технологии (от проектирования установок до снятия их с эксплуатации), а также кондиционирование, транспортировку и захоронение отходов.

Распределение ответственности

Во Франции правительство несет ответственность за разработку основных принципов политики обращения с радиоактивными отходами, национальных правил, инструкций и осуществление контроля, а также санкционирует и выдает лицензии на строительство ядерных установок. (В настоящее время основной организацией, отвечающей за эти вопросы, является Министерство промышленной реорганизации и внешней торговли.) Политику обращения с радиоактивными отходами разрабатывает Комиссия по атомной энергии (КАЭ), которая и представляет ее на утверждение правительства.

Производители радиоактивных отходов, в основном, осуществляют краткосрочные операции по обращению с отходами, включая их временное хранение на месте производства. Ответственность за окончательное захоронение радиоактивных отходов возложена на специальное ведомство — Национальное агентство по удалению радиоактивных отходов (ANDRA), которое было создано правительством в 1978 г. в рамках КАЭ Франции.

ANDRA выполняет следующие задачи:

- Выбор, оборудование и эксплуатация площадок окончательного захоронения отходов
- Разработка спецификаций (для обеспечения соблюдения правительственных норм безопасности) для системы барьеров между отходами и окружающей средой
- Обеспечение гарантии качества и осуществление контроля на местах образования отходов, обработки, кондиционирования и захоронения (в дополнение к обычным инспекциям и проверкам, проводимым специальными регулирующими органами)

Г-н Лефевр является руководителем Отдела радиоактивных отходов КАЭ в Париже. (Все фотографии были любезно представлены КАЭ.)

- Прогноз возможных объемов производства ядерных отходов в целях своевременного планирования строительства площадок для захоронения отходов

Финансирование ANDRA осуществляется за счет производителей отходов в зависимости от расходов, связанных с объемом и характером производимых отходов. Производители отходов также выделяют средства на предварительное финансирование строительства будущих площадок для захоронения радиоактивных отходов, основываясь на прогнозах производства отходов в будущем. К числу производителей отходов относятся крупные электростанции фирмы „Электриситэ де Франс” (EDF) (на их долю приходится большая часть отходов), компания „Cogéma”*,

*Название компании „Cogéma” расшифровывается как „Общая компания ядерных материалов”.

Вход в „инспекционную галерею” монолита, в которой расположена дренажная система.



финансируемая КАЭ Франции, гражданские и военные исследовательские центры КАЭ, а также многочисленные обычные производители, как, например, университеты, госпитали и промышленность.

Научно-исследовательская и опытно-конструкторская деятельность обычно осуществляется и финансируется КАЭ; частичный вклад вносит Европейское сообщество и производители отходов (через ANDRA). Производители отходов, в основном, фирма EDF, проводят некоторые научные исследования в своих собственных лабораториях, как и различные университеты и институты, или по контракту с КАЭ Франции, или за счет своих собственных фондов.

Передача технологии КАЭ промышленности осуществляется через поставщиков оборудования и услуг, многие из которых являются дочерними предприятиями КАЭ или EDF и также ведут свою собственную научно-исследовательскую работу.

Политика в области обращения с отходами

Политика в области обращения с ядерными отходами сформулирована в программе, подготовленной КАЭ и одобренной правительством Франции, и была опубликована в 1984 г. Ядерные отходы делятся на три категории в зависимости от сложности технологических проблем, вызванных уровнями радиоактивности, и проблем радиационной защиты, связанных с длительными потенциальными опасностями для здоровья людей.

Принятая политика направлена на обеспечение полной изоляции отходов от окружающей среды в ближайшей перспективе (в течение нескольких первых столетий). Это достигается благодаря системе последовательных барьеров: форме отходов и упаковке, в которой они хранятся, свойствам хранилища и инженерным барьерам. Для отходов, содержащих долгоживущие изотопы, после периода полной изоляции, которую можно гарантировать лишь в течение ограниченного периода времени, начинается медленное растворение и перенос не распавшихся радионуклидов через естественный геологический барьер.

Другими словами, захоронение отходов, содержащих короткоживущие нуклиды, можно осуществлять на поверхности или в приповерхностных слоях земли, обеспечивая полное удержание нуклидов до тех пор, пока радиация и связанная с ней опасность не уменьшатся в результате радиоактивного распада до приемлемого уровня. Такое условие ограничивает общий уровень активности коротко- и долгоживущих нуклидов, которую может поглотить какое-либо хранилище; оно также ограничивает содержание (долгоживущих и альфа-излучателей) каждой упаковки с отходами. Все другие отходы, альфа-активность которых превышает установленный предел, должны быть дополнительно защищены с помощью достаточно стабильного и эффективного естественного барьера, как, например, глубокой геологической формации, так, чтобы уровень радиоактивности, которая может оказать воздействие на человека в отдельном будущем, снизился до приемлемой величины.

Насыпи и монолиты для низко- и среднеактивных отходов

Как говорилось выше, были установлены три категории радиоактивных отходов:

• *Категория А.* К ней относятся низко- и среднеактивные отходы (НСАО), в основном, содержащие бета- и гамма-излучатели, период полураспада которых не превышает 30 лет, причем содержание альфа-излучателей не превышает 0,01 кюри на тонну (Ки/т) в среднем по площадке. (Максимальное содержание альфа-излучателей в одном контейнере обычно не должно превышать 0,5 Ки/т.) Эти пределы учитывают радиоактивный распад как короткоживущих и среднеживущих бета-излучателей, так и долгоживущих альфа-излучателей (например, плутоний-241, америций-241, нептуний-237), поэтому они рассчитываются до конца контролируемого периода — 300 лет после закрытия площадки. Данные пределы основываются на вариантах максимально вероятного риска в длительной перспективе. К их числу относятся строительство на территории заброшенной площадки хранилища крупной дороги (с учетом соответствующего облучения персонала строителей) или жилых домов (включая детские площадки для игр), а также результирующее облучение населения. Приемлемыми пределами облучения являются пределы, рекомендованные Международной комиссией по радиологической защите (МКРЗ) на весь период жизни человека.

Формами отходов могут быть смеси с цементным раствором, битумом, полимерными смолами или со смесью нескольких веществ. К числу инженерных барьеров хранилищ, разработанных ANDRA, относятся теперь уже хорошо технически изученные земляные насыпи и монолиты. Отходы, содержащие короткоживущие нуклиды и обладающие относительно высокой радиоактивностью, или отходы, чья упаковка не обеспечивает адекватного сохранения, помещаются в бетонные боксы. Каждый слой упакованных отходов заливается слоем жидкого цементного раствора, а на последний слой для укрепления устанавливается стальная плита. Полностью заполненные и залитые цементным раствором боксы представляют собой монолит. Они строятся попарно и разделяются двухметровым промежутком для размещения других радиоактивных упаковок. Вся конструкция опирается на слой бетона и оборудована дренажной системой, которая собирает всю просочившуюся воду (дождь или грунтовые воды).

Отходы с очень низким уровнем радиоактивности и соответствующим образом кондиционированные устанавливаются сверху платформы монолитов. Бетонные контейнеры с отходами устанавливаются по бокам и поперек платформы, также образуя, таким образом, боксы, в которые устанавливаются менее устойчивые контейнеры. Затем котлован засыпается заполнителем, а сверху укладывается слой глины. Такая система также собирает любые просочившиеся осадки или грунтовую воду. На месте котлована делается земляная насыпь, которая прикрывается слоем почвы, а на ней высаживается растительность.

На северо-западе Франции, недалеко от завода по переработке отработанного топлива (Ла Ар), в течение уже 16 лет эксплуатируется единственное хранилище такого рода. Через несколько лет оно будет заполнено до проектной мощности (400 000 м³). Общий объем отходов категории А, как ожидается, к 2000 г. достигнет приблизительно 800 000 м³.

Трансурановые отходы

Вторая группа отходов:

• *Категория В.* Она включает в себя трансурановые (ТУ) отходы, в основном, образующиеся в результате



Макет контейнера с остеклованными отходами в зале хранилища завода по остекловыванию отходов AVM в Маркуле.



Нижний слой монолита на площадке для захоронения отходов в Ла Манш: усиленные стенки и место для заливки бетонного раствора.



Внутри отсека для остекловывания отходов установки R7, строящейся на заводе по переработке отработанного топлива Ла Аг фирмы „Согема“.

переработки отработанного топлива, а также некоторые другие отходы гражданской и военной ядерной деятельности. Предпринимались и продолжают предприниматься большие усилия по сокращению объема таких отходов путем сортировки, разделения и повторной переработки, сжигания, дробления или выщелачивания. Все трансурановые отходы, помещенные в матрицы из цементного раствора, полимерных смол, битума или в смешанные матрицы, устанавливаются во временные хранилища в ожидании захоронения в глубоких геологических формациях. Ожидается, что объем таких отходов к 2000 г. достигнет 60 000–80 000 м³.

Высокоактивные отходы

Третья группа отходов:

• *Категория С.* Она включает в себя высокоактивные отходы (ВАО): жидкие отходы заводов по переработке отработанного топлива с очень высокой радиоактивностью. Такие отходы, как правило, остекловываются, как это делается с 1978 г. на промышленной установке, использующей процесс AVM, в Маркуле. (Процесс остекловывания AVM используется и фирмой „Бритиш Нуклеар Фьюэлз“, Великобритания, на заводе по переработке топлива в Селлафилде.) К 1985 г. на заводе в Маркуле было произведено свыше 1000 стальных контейнеров, содержащих примерно 400 т остеклованных отходов, что эквивалентно примерно 12 000 т топлива.

В настоящее время строятся две более крупные установки по остекловыванию жидких ВАО, полученных в результате переработки обогащенного топлива на заводе Ла Аг (первая установка R7 в 1986 г. будет готова к проведению испытаний на модельных растворах). Каждая из этих установок будет оборудована

тремя линиями по остекловыванию отходов, мощность каждой из которых составит 50 л/ч, что позволит производить 25 кг стекла в час. Общая мощность линий будет достаточна для обслуживания двух заводов по переработке, т.е. для остекловывания жидких ВАО после переработки 1600 т топлива легководных реакторов в год. Каждый этап этого процесса был проверен и испытан на прототипной установке AVH (аналогична установке AVM в Маркуле).

В настоящее время научные исследования направлены на более глубокое понимание поведения стекла и контейнера в реальных условиях захоронения; на повышение гибкости процесса, надежности и на уменьшение тем самым, например, количества вторичных отходов.

Контейнеры с остеклованными отходами будут храниться, по крайней мере, в течение 30 лет для их охлаждения, а это даст некоторое время на подготовку площадки для окончательного захоронения отходов; однако этот период времени будет небольшим, так как реальные условия захоронения должны быть известны заранее для оптимизации общей системы барьеров.

Программа строительства хранилищ для захоронения отходов

В силу того, что через несколько лет существующее хранилище будет полностью заполнено, правительство поручило ANDRA выбрать и представить на рассмотрение две новые площадки, чтобы одну из них или обе площадки можно было сдать в эксплуатацию в 1990 г. Предварительная работа, проведенная Горнорудным управлением (BRGM) для ANDRA, позволила сузить район поисков до территории трех