

Экономика хранения отработавшего топлива

Описание разработанной МАГАТЭ методологии анализа издержек

Хосе Л. Рохас де Диего

Существуют три различные стратегии конечного этапа ядерного топливного цикла: прямоточный цикл, включая окончательное захоронение отработавшего топлива; открытый топливный цикл, в котором это топливо хранится в промежуточных хранилищах с возможностью его извлечения или окончательного захоронения в будущем; замкнутый топливный цикл, в котором отработавшее топливо перерабатывается, а извлеченные из него уран и плутоний повторно используются в цикле.

Концепция хранения отработавшего топлива включает в себя как методы промежуточного хранения, так и методы окончательного захоронения, хотя последние еще и не были продемонстрированы на практике. В странах, выбравших эту стратегию, в течение последующих 30–50 лет нужно будет построить установки для окончательного захоронения отработавшего топлива. Поэтому промежуточное хранение отработавшего топлива, позволяющее извлекать топливо в будущем, является очень важной стратегией, которую нужно принимать во внимание во многих процессах разработки политики.

Основная цель данной статьи заключается в кратком обсуждении экономики различных вариантов хранения отработавшего топлива с использованием разработанной МАГАТЭ методологии расчета различных расходов на хранение и их адекватного анализа.* В частности, в ней рассматривается влияние таких факторов, как количество, период и методы хранения, финансирование, а также весь процесс, начиная с планирования и строительства до снятия с эксплуатации установки для хранения отработавшего топлива.

Г-н Рохас де Диего является сотрудником Отдела ядерного топливного цикла и обращения с отходами МАГАТЭ.

*МАГАТЭ готовится опубликовать технический отчет „Методология анализа экономики хранения отработавшего топлива“, в котором содержится более подробная информация, чем в кратком анализе, представленном в данной статье.

Соображения о калькуляции издержек

Общие издержки, связанные с хранением, должны основываться на подробной технической оценке вида топлива, подлежащего хранению, и выбранном варианте его хранения, принимая во внимание все возможные технические характеристики.

Для точной калькуляции издержек, прежде всего, необходимо понять, что некоторые основные параметры имеют значение для всех возможных вариантов, оказывая сильное влияние на конструкцию установки для хранения отработавшего топлива. К их числу относится количество подлежащего хранению топлива (мощность хранилища); запланированный график эксплуатации; период хранения; график извлечения топлива и характеристики отработавшего топлива.

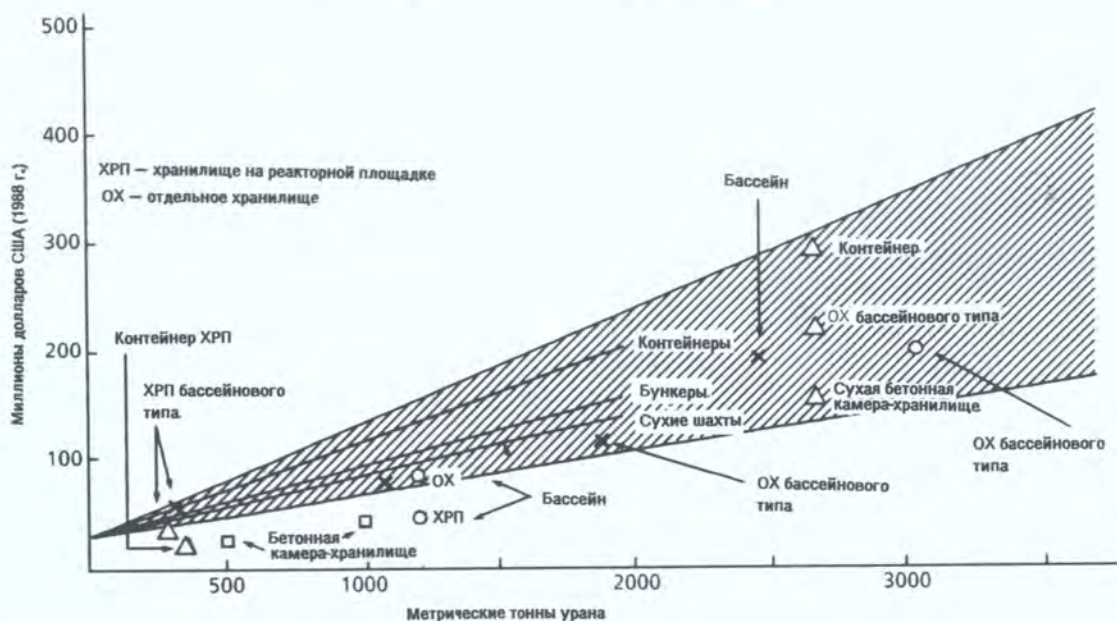
Различные издержки, связанные с установкой для хранения отработавшего топлива, можно классифицировать по категориям издержек и составляющим издержек. Категории издержек включают в себя затраты на первоначальную разработку, капиталовложения, эксплуатацию, текущие разработки, транспортировку и снятие с эксплуатации.

Каждая категория имеет различные составляющие, которые необходимо четко определить, чтобы провести правильную калькуляцию издержек.

В капиталовложениях, например, наиболее важными составляющими являются расходы на приобретение земли, подготовку площадки, проектно-конструкторские работы, строительство, технологическое оборудование, контрольно-измерительные приборы и снятие с эксплуатации.

К числу составляющих эксплуатационных затрат, которые нужно учитывать, относятся трудовые ресурсы, материалы и товары, услуги, энергия, техническое обслуживание, кондиционирование и захоронение отходов, налоги и страхование, а также гарантия качества.

Затраты на капиталовложения в хранилище отработавшего топлива в зависимости от его мощности



Одной из наиболее важных составляющих затрат на первоначальную разработку являются издержки, связанные с лицензированием и регулированием, которые могут влиять на эксплуатационные затраты, если в соответствии с решением регулирующих органов в последующем потребуется производить ежегодные выплаты.

Анализ издержек

После того как были определены и рассчитаны составляющие и категории издержек, необходимых для правильного экономического выбора, их нужно суммировать в удобной для пользователя форме с помощью экономического анализа. Временной ряд всех будущих затрат может быть эквивалентен характерной стоимости, известной как «чистая дисконтированная стоимость» (ЧДС), когда наиболее экономичным из всех существующих вариантов является вариант с наименьшей ЧДС.

ЧДС рассчитывается путем дисконтирования всех издержек к одной общей дате и применения адекватной ставки дисконта в отношении ряда годовых затрат (годовые движения денежной наличности).

Корреляция различных категорий издержек

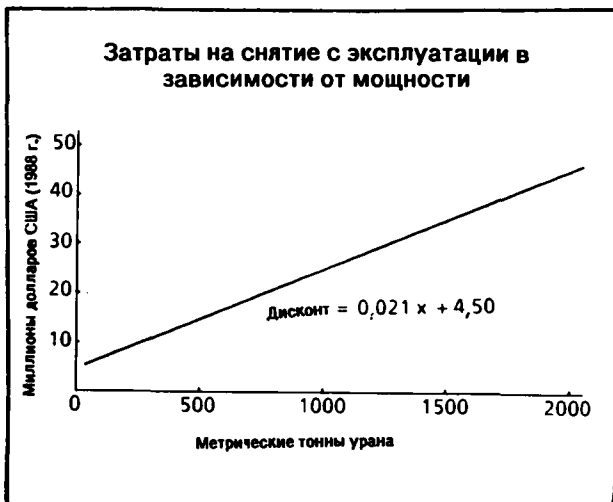
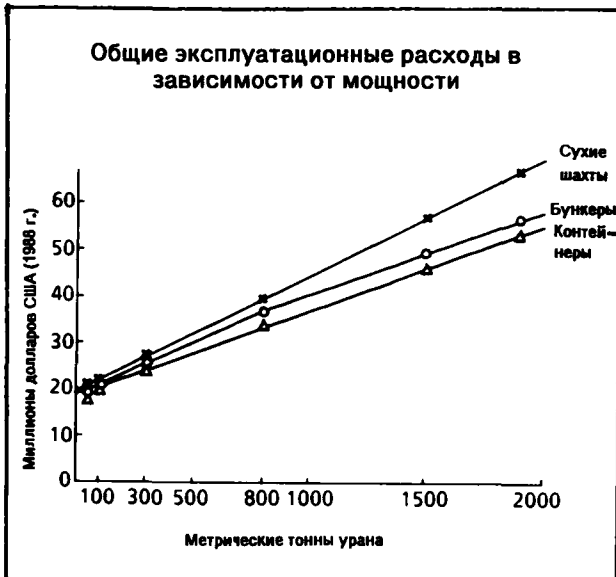
При проведении анализа экономики хранения отработавшего топлива очень трудно делать выводы или коррелировать очень различные случаи, опи-

санные в исследованиях (МАГАТЭ проанализировало свыше 300 работ), а также существующие неопределенности. В приводимом в данной статье кратком анализе наиболее важные категории издержек сравниваются с наиболее существенной переменной величиной хранения отработавшего топлива — мощностью хранилища.

Затраты на капиталовложения. Общие затраты на различные капиталовложения дисконтировались к стоимостным значениям одного общего года (1988 г), используя, по возможности одни и те же ставки дисконта, после чего они были нанесены на график в зависимости от мощности хранилища. Несмотря на большие неопределенности и расхождения в рассматриваемых случаях, все дисконтированные затраты на капиталовложения находятся в одной характерной области. (См. приведенный график.)

Эту область ограничивают две прямые линии. Верхняя граница соответствует металлическим контейнерам, а нижняя — бассейнам выдержки на реакторной площадке (РП) и сухим хранилищам. Несмотря на то, что обе линии не имеют никакого конкретного экономического значения, они могут ассоциироваться с максимально-минимальными затратами на капиталовложения в хранилище определенной мощности.

Эксплуатационные расходы. Как правило, с ними сталкиваются после завершения строительства и пуска в эксплуатацию установки. Платежи, осуществляемые до начала хранения топлива, в основном связаны с транспортировкой топлива с атомной электростанции в хранилище. Платежи, выплачиваемые во время хранения топлива, связаны



с вышеперечисленными составляющими. В конце срока службы хранилища нужно будет произвести новые затраты на перемещение топлива для его окончательной обработки (химическая переработка или захоронение).

После таких конечных перемещений топлива установка должна быть снята с эксплуатации, и в некоторых случаях затраты на эту операцию включаются в эксплуатационные расходы.

Мощность установки для хранения отработанного топлива — это очень важный фактор, влияющий на эксплуатационные расходы. Выбранный вариант хранения топлива также является одной из решающих компонент эксплуатационных расходов.

Эксплуатационные расходы во всех рассматривавшихся случаях коррелировались с мощностью хранилища. Такие издержки являются годовыми эксплуатационными расходами, дисконтированными к 1988 г. и добавленными ко всем годам эксплуатации хранилища для получения общих эксплуатационных расходов. Для расчета конкретных эксплуатационных расходов необходимо разделить их на мощность хранилища или, что более

целесообразно, выравнять эти расходы. (См. графики) После этого наивысшие значения будут относиться к сухим хранилищам, низшие — к типам контейнеров в модулях хранилища.

Затраты на снятие с эксплуатации. Данная категория затрат обычно производится в конце срока службы хранилища и может варьироваться в зависимости от его мощности и вида работ по снятию с эксплуатации: немедленный демонтаж, консервирование или превращение в могильник.

Затраты на снятие с эксплуатации, хотя и могут быть весьма значительными, очень мало влияют на дисконтированные общие затраты (т.к. они связаны с денежными суммами, которые потребуются через много лет после пуска в эксплуатацию хранилища), если в расчетах используются реальные ставки процента. Однако рекомендуется сравнивать эти расходы без дисконтирования. Они варьируются в зависимости от размера установки и изменяются в четком соответствии с линейным уравнением. (См. нижний левый рисунок.)

Нивелированные затраты

До настоящего момента мы имели дело с затратами и их ЧДС. В случае, когда эти издержки должны покрываться за счет дохода, а именно так обстоит дело с хранилищами отработавшего топлива, ЧДС доходов в течение периода их получения должна равняться ЧДС затрат.

Существует много путей получения доходов: использование предварительных платежей, ежегодные взносы или оплата при доставке. Для каждого метода платежа необходимо определить ЧДС дохода и выравнять их с ЧДС затрат. После этого можно определить выравненные удельные затраты (ВУЗ).

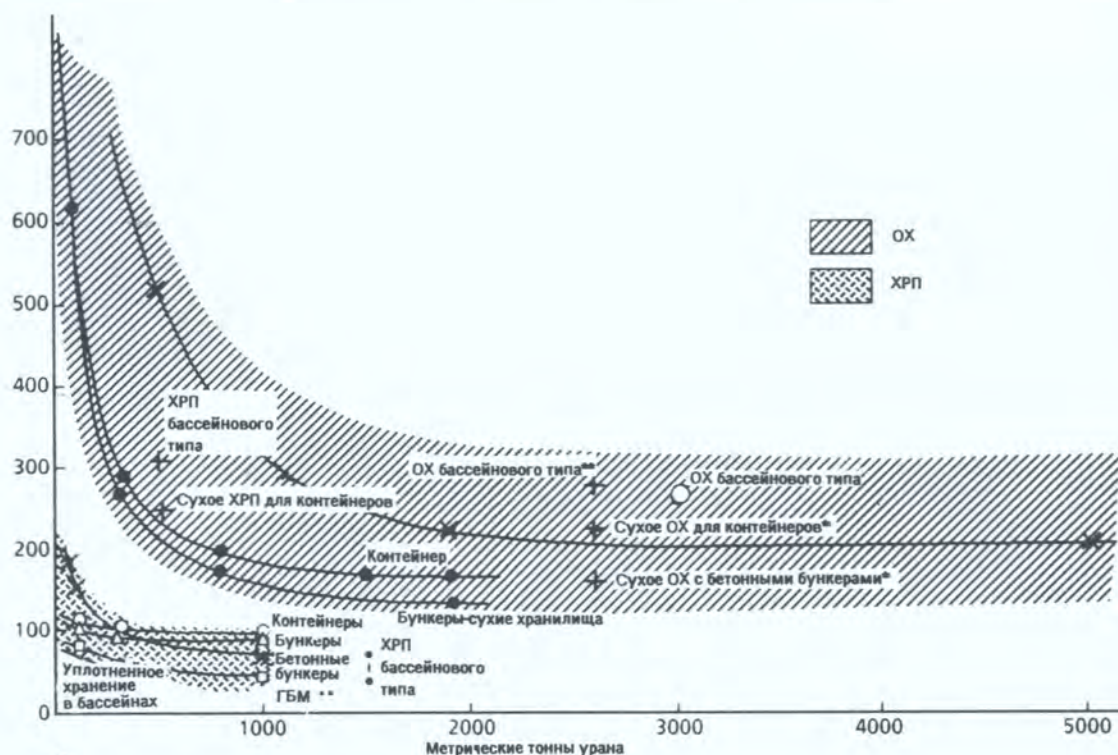
Чтобы получить жизнеспособные корреляции выравненных удельных затрат, среди общих неопределенностей, влияющих на оценки различных категорий стоимости, необходимо отметить, что: (1) во всех случаях ВУЗ должны выражаться в деньгах одного и того же года, в данном случае 1988 г.; (2) для конкретной мощности хранилища темпы его загрузки в метрических тоннах урана должны быть очень близкими друг другу и (3) кроме того, во всех случаях должна использоваться одна и та же ставка дисконта.

В **обсуждаемом** в данной статье анализе различных случаев, взятых и обработанных из многих изучавшихся источников, ВУЗ коррелировались в зависимости от мощности хранилища. Однако учитывались как методы мокрого, так и сухого хранения, а также другие переменные, например, ставки дисконта, темпы загрузки и срок службы установки. (См. рисунок.)

Финансирование

Существуют различные возможности финансирования выбранного варианта хранилища отработавшего топлива. В выбранном методе финансирования должны учитываться все платежи, которые нужно произвести во время строительства, эксплу-

Выравненные затраты на хранилище отработавшего топлива



Примечание. *В долл. США 1985 г.
**Горизонтальные бетонные модули

ХРП — хранилище на реакторной площадке
ОХ — отдельное хранилище

атации и снятия с эксплуатации установки для хранения отработавшего топлива, а также пути получения владельцем хранилища денег.

В различных методах финансирования принимаются во внимание различные виды владения хранилищем (например, принадлежит ли оно только электроэнергетической компании или независимой сервисной организации). В первом случае расширение мощности хранилища может финансироваться таким же путем, как и строительство и эксплуатация электростанций с возмещением расходов за счет потребителей, т.е. включая их в стоимость электроэнергии. В различных странах по-разному осуществляется управление таким фондом возмещения затрат.

Дело обстоит немного иначе, когда хранилище принадлежит независимой организации и эксплуатируется ею. Такая организация может обратиться с просьбой осуществлять платежи на основе контрактных обязательств, включая вознаграждение и/или внесение авансов для покрытия расходов, контролируемых правительством. Правительство может даже на законном основании потребовать создания специального фонда покрытия затрат, связанных с хранилищем и последующим окончательным решением его судьбы.

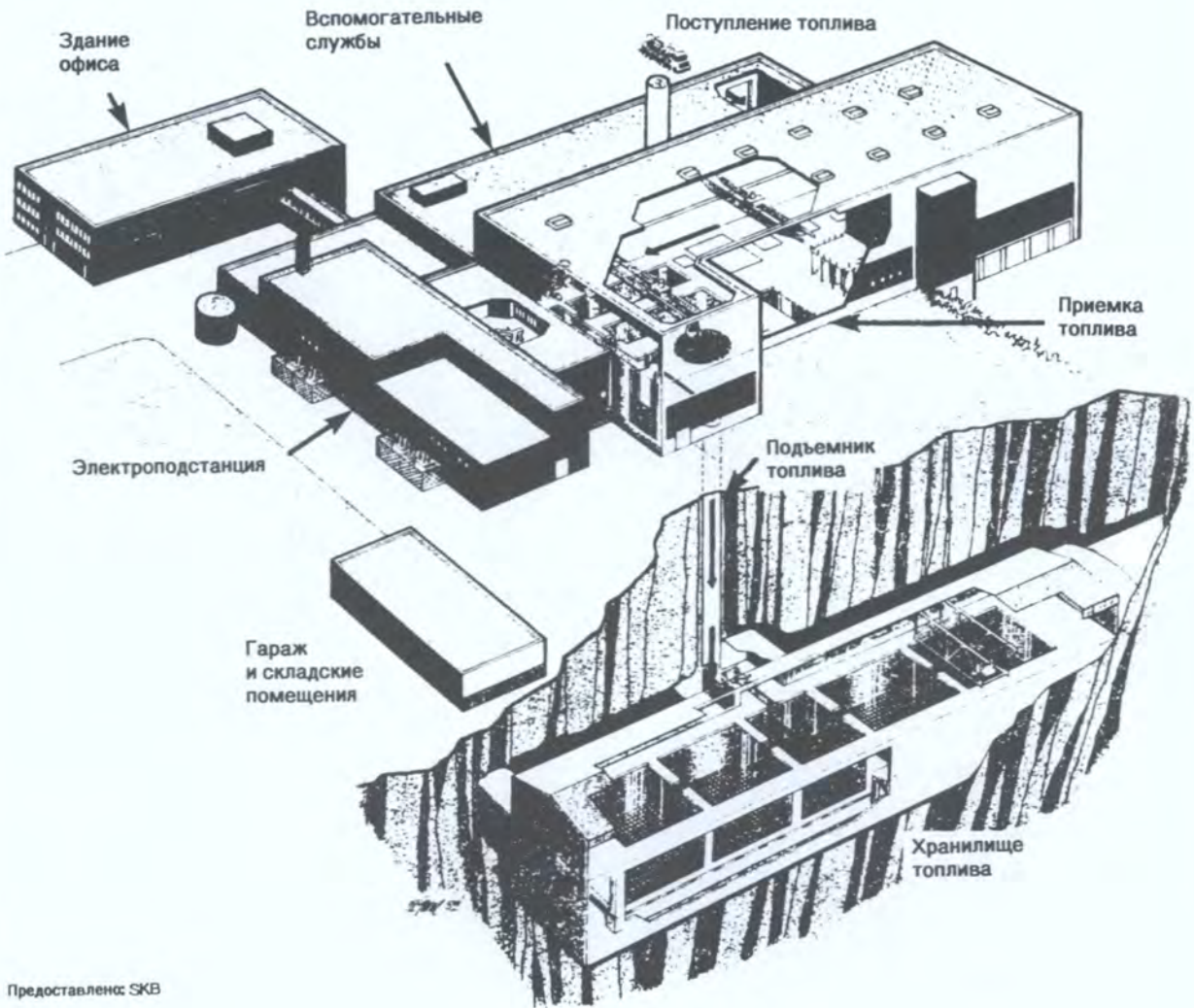
Выводы

Из концепций, включенных в данную статью, можно сделать два вида выводов. Каждый из них должен облегчать процесс принятия решений.

Общие выводы:

- Выбор варианта хранилища на реакторной площадке (ХРП) или отдельного хранилища (ОХ) должен делаться, исходя из чисто стратегических соображений и принимая во внимание характер ядерно-энергетической программы конкретной страны.
- Для мощностей ниже 300 метрических тонн урана вариант ОХ неудобен в силу высокой стоимости, превышающей 300 долл. США за килограмм урана (в странах с небольшой ядерно-энергетической программой).
- Для мощностей свыше 1000 метрических тонн урана вариант ХРП может оказаться неадекватным (в странах с крупной ядерно-энергетической программой).
- Затраты на вариант ХРП ниже, чем на ОХ. Однако обязательно нужно также учитывать и другие потребности в хранении отработавшего топлива.

Схема системы подземного захоронения реакторных отходов и хранилища отработавшего топлива в Швеции



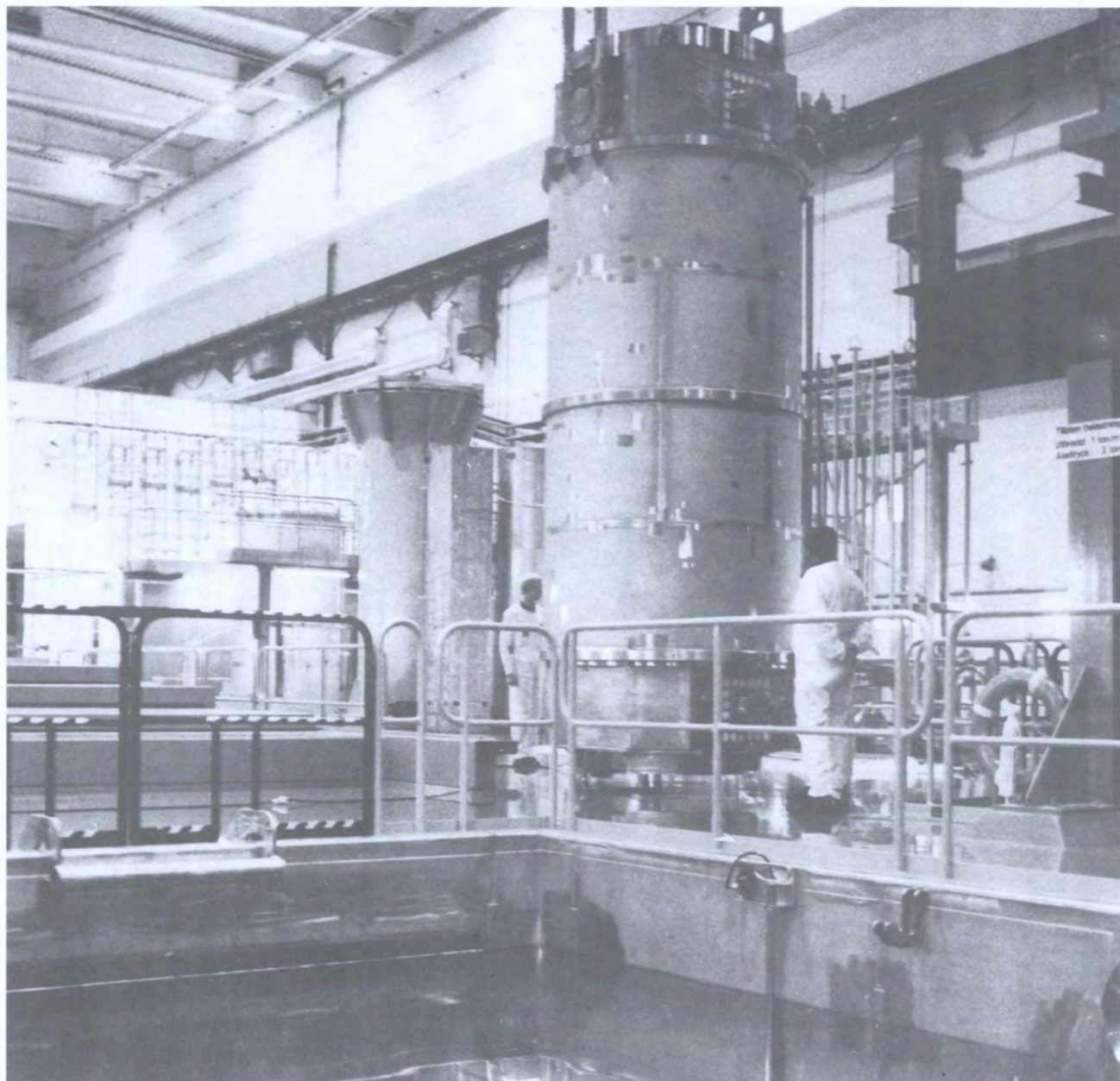
Конкретные выводы:

- Уплотненное хранение отработавшего топлива (после перекомпоновки стеллажей и двойного уплотнения) является самым дешевым решением варианта ХРП, однако оно обладает ограниченной мощностью (менее 300 метрических тонн урана). Кроме того, необходимо помнить что бассейны выдержки реактора предназначены для облегчения его эксплуатации, а не для хранения больших коли-

честв отработавшего топлива в течение длительных периодов времени.

- Технологии мокрого хранения в варианте ОХ связаны с более высокими издержками, чем в случае сухих хранилищ.

- Варианты сухого хранилища подразумевают модульный подход, который положительно влияет на финансовые расходы.



Транспортно-загрузочные операции с контейнером, содержащим отработавшее топливо, в приемном отсеке хранилища отработавшего топлива в Швеции. (Предоставлено: CLAB)