

Конечный этап ядерного топливного цикла в Швеции

Г. Шульц*

Шведская ядерная программа определена в настоящее время, возможно, лучше, чем в большинстве других стран. После смены правительства в 1976 г. началось более активное вовлечение общественности в обсуждение проблемы ядерной энергетики. В марте 1980 г. в Швеции был проведен референдум о будущем ядерной программы.

Общественности предложили три варианта. Первый вариант — завершить ранее принятую ядерную программу с 12 реакторами и использовать эти реакторы в течение их технического срока службы или необходимого периода. При первой возможности, если позволит ситуация в стране, отказаться от использования атомной энергии. Второй вариант — это первый вариант с некоторыми дополнительными условиями политического характера, определяющими государственную собственность на будущие атомные электростанции. Третий вариант — не развивать в дальнейшем ядерную энергетику, а находящиеся в эксплуатации шесть энергетических реакторов закрыть в течение ближайших 10 лет. Результаты референдума были таковы: первый и второй варианты — 58 % голосов, а третий вариант — 38 %. В голосовании приняло участие 75,7 % населения страны. Результаты референдума обсуждались в парламенте.

Решение парламента относительно будущей ядерной политики предусматривает выполнение программы с 12 реакторами и эксплуатацию их до 2010 г., что означает 25-летний эксплуатационный период для реактора, введенного в строй последним. Была также создана парламентская комиссия для выработки способов закрытия ядерных реакторов и создания альтернативных источников производства электроэнергии.

12 реакторов, из которых в настоящее время 9 вводятся в эксплуатацию, перечислены в табл. 1. Для сравнения в табл. 2 приведены ядерные программы некоторых стран.

Шведская программа имеет относительно крепкий фундамент для планирования конечного этапа ядерного топливного цикла и удаления ядерных отходов.

* Г-н Шульц сотрудничает со Шведской компанией по поставке ядерного топлива (SKBF), P.O. Box 5864, S-10248 Стокгольм, Швеция.

Таблица 1. Атомные электростанции в Швеции

Электростанция	Тип реактора	Полезная мощность, МВт (э)	Дата ввода в эксплуатацию	Ожидаемый срок ввода в эксплуатацию
Оскарсхамн 1	BWR	440	февраль 1972	
Оскарсхамн 2	BWR	570	декабрь 1974	
Рингхальс 2	PWR	800	май 1975	
Барсбек 1	BWR	570	июль 1975	
Рингхальс 1	BWR	750	январь 1976	
Барсбек 2	BWR	570	июль 1977	
Форсмарк 1	BWR	900	декабрь 1980	
Форсмарк 2	BWR	900	июль 1981	
Рингхальс 3	PWR	915	сентябрь 1981	
Рингхальс 4	PWR	915	1982	
Форсмарк 3	BWR	1050	осень 1985	
Оскарсхамн 3	BWR	1050	1986	

Таблица 2. Производство ядерной электроэнергии, 1981 год

Страна	Полная ядерная мощность, МВт	Выработка ядерной энергии, ТВт·ч	Население, млн. человек	Выработка ядерной энергии на 1 человека в год, кВт·ч	% электроэнергии АЭС от общего производства энергии
Швеция	6400	34,1	8,2	4200	35
Финляндия	2200	14,0	4,8	2900	34
Швейцария	1900	14,5	6,4	2300	28
Франция	21600	99,5	54	1800	38
Канада	5600	37,8	24	1600	10
США	57000	272,4	226	1200	12
Бельгия	1700	12,2	9,9	1200	25
ФРГ	8600	49,6	61	800	14
Япония	15000	85,1	118	700	17
Великобритания	7600	33,2	56	600	13

Источник: Банк данных МАГАТЭ по энергии и экономике.

Определение ответственности

В настоящее время в Швеции ответственность за удаление ядерных отходов довольно хорошо определена специальным законодательством. Однако это стало относительно недавно, и вплоть до 1976 г. по этому вопросу не было специальных положений. После смены правительства в 1976 г. были разработаны новые правовые положения относительно атомных электростанций. Правительство утвердило общую декларацию принципов, за которой последовал так называемый Акт об условиях. В соответствии с ним владельцу ядерного реактора выдается разрешение на загрузку в реактор свежего топлива, если у него есть соглашение о переработке и возможность размещения отходов высокой активности полностью безопасным образом, либо он в состоянии размещать непосредственно отработавшее топливо полностью безопасным образом. В акте, однако, было специальное положение о станции Барсебек 2, для которой требуется только контракт на переработку. Акт об условиях распространялся на станции Барсебек 2, Рингхальс 3 и 4 и Форсмарк 1 и 2, которым были выданы разрешения в соответствии с законом на основе имеющегося контракта с Cogema* на переработку, а также ведущимся исследовательских работ по остекловыванию высокоактивных отходов переработки. Эти работы выполняются под руководством ядерных энергетических компаний и полностью финансируются ими (так называемый проект KBS) [1]. Также изучается окончательное хранение непереработанного отработавшего топлива [2].

Была изучена общая картина в отношении всех ядерных отходов, в результате чего были приняты новые законы, наиболее важным из которых является так называемый Акт о финансировании. Этот акт частично вступил в силу с 1 июля 1981 г., а частично — с 1 января 1982 г.

Теперь в законодательном порядке установлено, что держатель концессии на атомную электростанцию несет полную ответственность (техническую и финансовую) за ядерные отходы. Кроме того, общую ответственность несет шведское правительство. Для гарантирования средств, требующихся на конечном этапе ядерного топливного цикла, и снятия с эксплуатации АЭС компании должны платить государству налог, пропорциональный выработанной на АЭС электроэнергии. Этот налог установлен с 1 января 1982 г. в размере 0,017 шведских крон** за квт·ч.

Получаемые таким образом деньги должны вноситься под проценты на счет в Банк Швеции. За деньги несет ответственность новый орган — Национальный Совет по отработавшему топливу. Этот орган будет в дальнейшем выдавать разрешение на использование части средств на определенные нужды и ссуды компаниям. Совет будет определять и предлагать государству величину налога на каждый год.

* Compagnie générale des matières nucléaires (Франция)

** В апреле 1982 г. 1 шведская крона стоила, примерно, 0,17 доллара США.

Совет также должен быть осведомлен о всех принимаемых ядерными компаниями мероприятиях в рамках их ответственности в отношении обращения с ядерными отходами. Ответственность за все фазы работы, которую должны выполнить ядерные компании, — исследование и разработка, планирование, создание и эксплуатация, — была возложена на Шведскую компанию по поставке ядерного топлива (SKBF*), которой совместно владеют шведские ядерные компании. Эта компания будет каждый год представлять Совету свои планы относительно конечного этапа топливного цикла и т.д.

Шведские ядерные компании в письме правительству в 1977 г. приняли на себя финансовые обязательства относительно конечного этапа ядерного топливного цикла и попросили освободить их от налога. Позже парламент принял соответствующее решение, и до января 1982 г. обязательства шведских ядерных компаний покрывались за счет внутреннего финансирования. Однако теперь внутреннее финансирование должно быть уменьшено до такой степени, чтобы работы покрывались в соответствии с Актом о финансировании.

Текущие планы

В отношении конечного этапа ядерного топливного цикла Шведская компания SKBF разработала общие планы необходимых технических мероприятий и связанных с ними расходов. Для иллюстрации этих планов была принята схема, которая считается консервативной, особенно в отношении экономических расходов. Эта схема представлена на рис. 1.

Схемой планируется примерно 7000 тонн отработавшего ядерного топлива. Швеция имеет контракты на переработку 867 тонн. Это количество отработавшего топлива будет отправлено на переработку и будет храниться там до переработки. До настоящего времени груз не был отправлен. В течение этого лета будет осуществлена отгрузка 140 тонн отработавшего топлива в адрес BNFL**. Отгрузка остального топлива во Францию, в адрес Cogema, планируется также в этом году. Для отходов низкой, средней и высокой активности, которые в будущем будут поступать из Cogema, SKBF планирует специальные устройства для временного хранения до той поры, пока они не смогут быть помещены на постоянное и окончательное хранение. Окончательное захоронение таких отходов планируется начать не раньше 2020 г.

Для неперерабатываемого отработавшего топлива первым необходимым устройством является временное хранилище, и такое хранилище в настоящее время сооружается (подробности приводятся ниже), и в 1985 г. планируется ввести его в эксплуатацию. Как альтернатива в SKBF также изучается вопрос непосредственного размещения отработавшего топлива, и в планы включено создание такой системы.

* Svensk Kärnbränsleförbrjning AB.

** British Nuclear Fuels Limited (Великобритания).

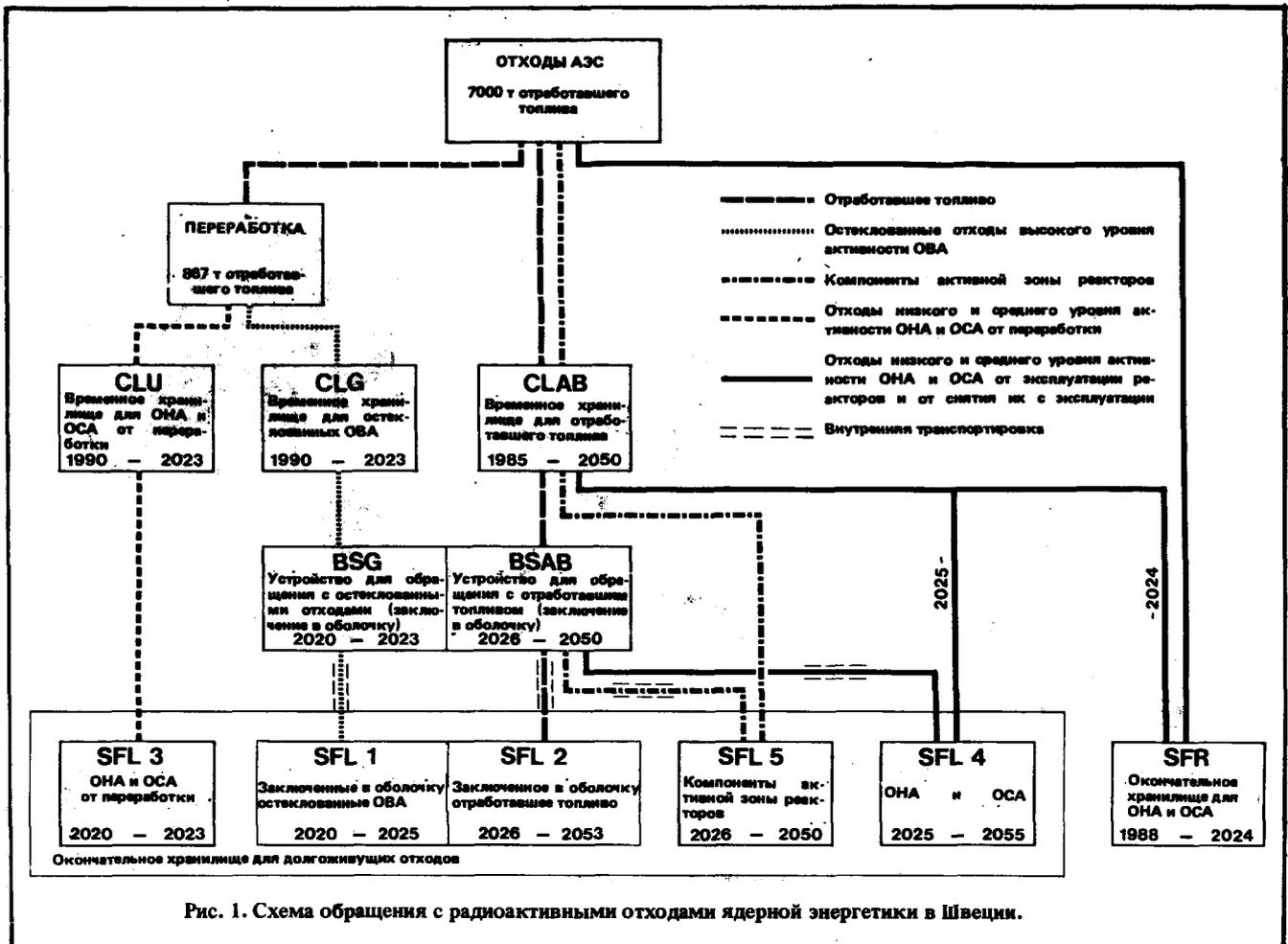


Рис. 1. Схема обращения с радиоактивными отходами ядерной энергетики в Швеции.

Другим крайне необходимым сооружением является хранилище для окончательного хранения отходов низкого и среднего уровня активности от ядерных реакторов. Такое хранилище планируется ввести в эксплуатацию в 1988 г.

Текущие работы

Целью ведущихся исследований и разработок является получение данных для сооружения необходимого хранилища и возможности показать, что окончательное хранение в нем может быть осуществлено с очень высокой степенью безопасности. Программа исследований охватывает все аспекты обращения с отходами. Основной упор в настоящее время делается на исследование очень сложных взаимодействий между отходами, их естественным окружением и созданными человеком защитными барьерами.

Начата программа бурений, в ходе которой должен быть исследован ряд площадок с точки зрения мощности их кристаллического скального основания и водоносности, т.е. для получения информации, достаточной для возможности выбора площадки для окончательного хранения. Предполагается, что этот выбор будет сделан к 2000 г.

Исследование основных свойств шведских кристаллических пород проводится также в рамках четырехлетнего исследовательского проекта OECD*, так называемого проекта Stvira. Он ведется SKBF с участием Канады, Финляндии, Франции, Японии, Швейцарии и США. В старой выработанной железнорудной шахте Stvira в Швеции исследуется прилегающий массив кристаллического скального основания.

Для шведской схемы конечного этапа топливного цикла необходимы транспортные средства. Все шведские атомные электростанции располагаются на побережье, и поэтому был выбран морской транспорт. Специально спроектированное судно сооружается на французской верфи Ateliers et Chantiers du Havre и будет сдано к концу августа текущего года. Это судно было спроектировано шведской фирмой Salen Technologies AB и будет собственностью компании Sofrasam — французского отделения компании SKBF (SKBF — 68 %, Cogema — 32 %), которая будет также нести ответственность за эксплуатацию транспортного судна. Эксплуатация будет поручена французской компании Compagnie Maritime Char-

* Организация экономического сотрудничества и развития.

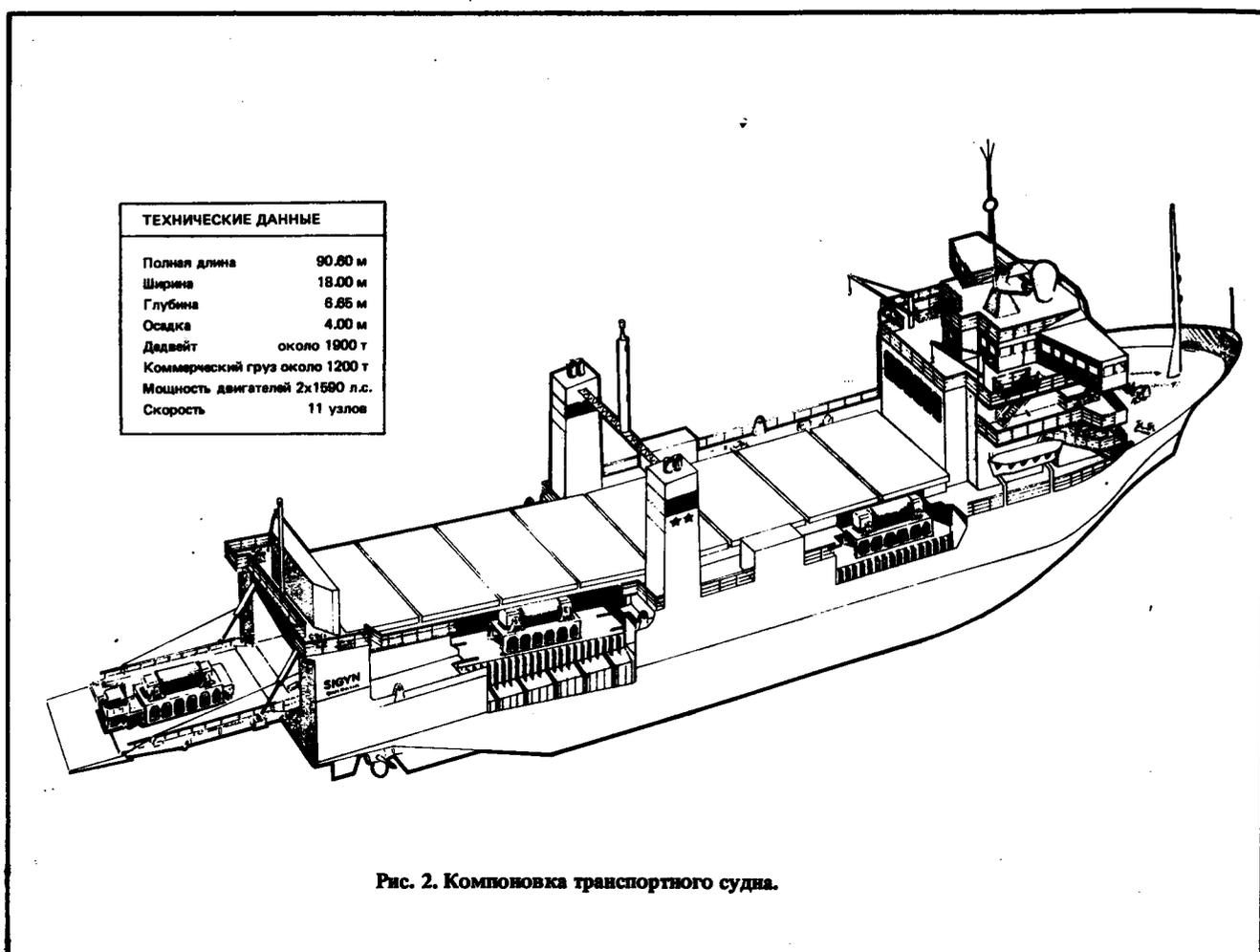


Рис. 2. Компоновка транспортного судна.

geurs Reunis. Первоначально судно предназначалось для транспортировки отработавшего ядерного топлива из Швеции во Францию. После ввода в эксплуатацию (в 1985 г.) хранилища для промежуточного хранения отработавшего топлива (Slab) судно предполагается также использовать для транспортировки отработавшего ядерного топлива с атомных электростанций к этому хранилищу, которое сооружается на одной из стационарных площадок АЭС Оскарсхамн.

Транспортное судно (рис. 2) предназначено для плавания в океане и спроектировано таким образом, что груз может быть принят на борт либо на транспортном средстве через кормовую аппарель, либо с помощью крана через люки, образующие перекрытие трюма. Трюм имеет двойные борта и двойное дно. Судно снабжено двояными двигателями и гребными винтами. Оно имеет носовой толкатель и двояные рули, а также рассчитано для плавания во льдах. Переборки между трюмом и рубкой и между трюмом и машинным отделением выполняют функцию радиационной защиты. Следовательно, не потребуется специальных устройств радиационной защиты рабочих зон и жилых помещений.

SKBF также строит в настоящее время временное хранилище для отработавшего топлива, Slab, которое будет обладать следующими характеристиками: вместимость хранилища — 3000 тонн урана; интенсивность приема — 300 тонн урана в год; количество бассейнов хранения — 4 и 1 резервный;

примерный объем воды на бассейн — 3000 м³; глубина слоя воды — примерно 12,5 м; эксплуатационная температура воды — 32 °С; проектная температура бассейна — 100 °С.

Таким образом, отработавшее ядерное топливо всех шведских реакторов до 2000 г. может быть принято хранилищем Slab при его проектной вместимости 3000 тонн урана и бассейнами выдержки на реакторных площадках.

Бассейны хранения будут размещены в скальной полости объемом примерно 65 000 м³, скальная полость будет длиной около 120 м и шириной 21 м при высоте 27 м. Толщина скального свода будет от 25 до 30 м. Slab располагается на площадке реакторов Оскарсхамн вблизи небольшого города Оскарсхамн на юге Швеции. Общий вид хранилища представлен на рис. 3. Полная стоимость оценива-

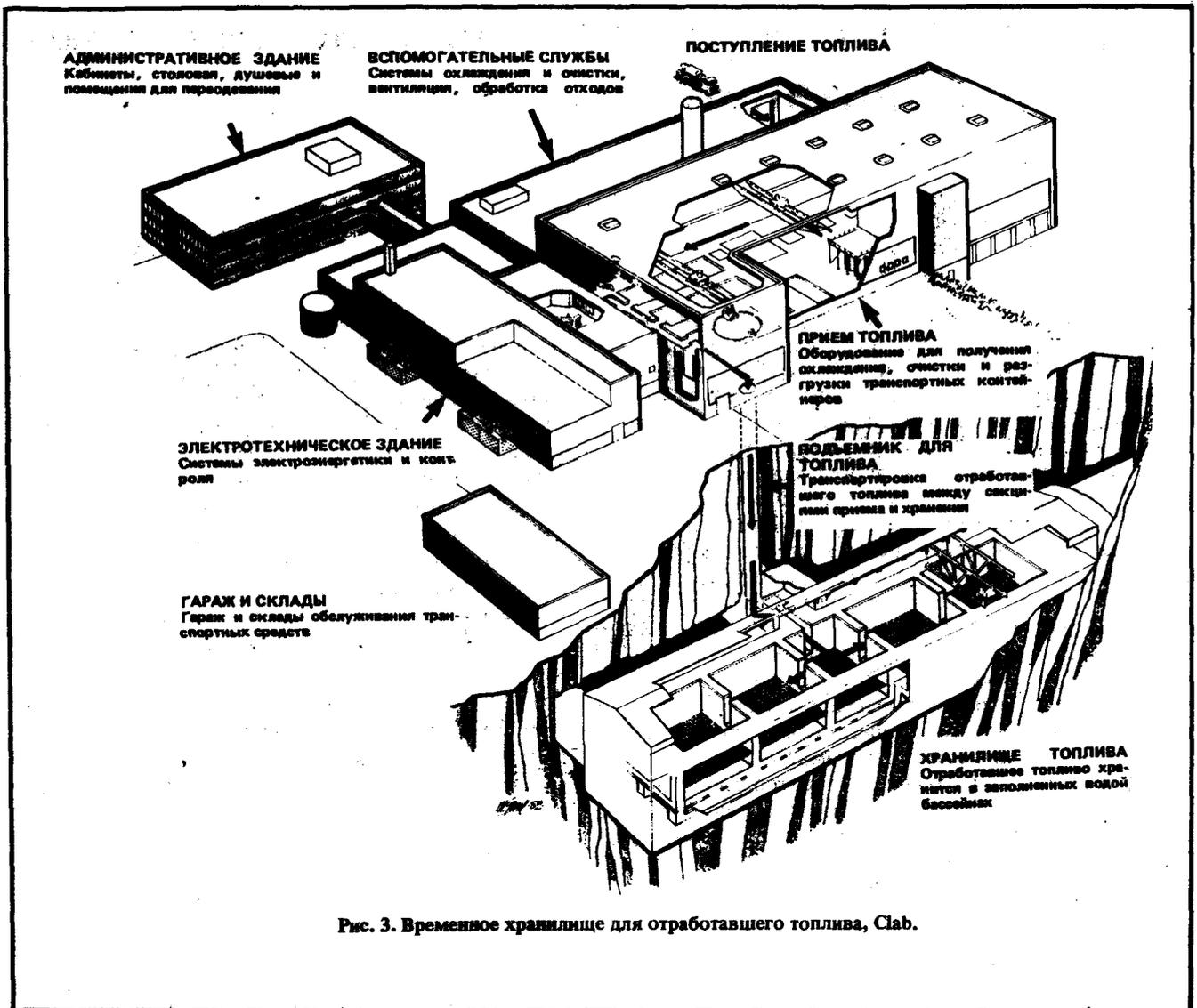


Рис. 3. Временное хранилище для отработанного топлива, Slab.

ется примерно в 1200 шведских крон (в ценах 1981 г.).

Швеции необходима еще одна установка — это хранилище для окончательного захоронения отходов низкого и среднего уровня активности от эксплуатации шведских реакторов. Его планируется построить также в скальной полости. Планы этого хранилища разрабатываются в настоящее время, а заявка в соответствии с Актом об охране окружающей среды была направлена правительству в конце марта 1982 г. Хранилище предполагается разместить на площадке Форсмарк. Полный объем скальной полости будет около $500\,000\text{ м}^3$, объем хранилища — около $250\,000\text{ м}^3$. Предполагается открыть полость под дном Балтийского моря с помощью

туннелей с побережья, где будет размещен вход. Полость будет иметь скальное перекрытие толщиной около 50 м, поверх которого будет слой 5–10 м морской воды.

Планируется, что это устройство будет готово к приему отходов в 1988 г. Полная стоимость, включая стоимость эксплуатации до момента окончательной изоляции хранилища, оценивается суммой около 1,1 млн. шведских крон (в ценах 1982 г.).

Литература

- [1] Handling of spent nuclear fuel and final storage of vitrified high-level reprocessing waste, KBS, Dec. 1977.
- [2] Handling and storage of unprocessed spent nuclear fuel, KBS, Sept. 1978.