

## Международные ядерные рынки: Проблемы и перспективы

Роберт Скулдбранд

Международная ядерная торговля в настоящее время считается весьма важным фактором в энергетическом балансе ряда стран. С самого начала она регулировалась с помощью двусторонних или многосторонних соглашений, в которые всегда включались условия, в настоящее время основанные на гарантиях МАГАТЭ, обеспечивающие гарантии нераспространения и проверки. Без сомнения, ядерная торговля была бы невозможной без разработанного режима нераспространения.

В последнее время, вследствие ограничений, внесенных в 70-х гг. в результате развивающейся национальной политики, цели и условия нераспространения превратились в основной вопрос дискуссии о международной ядерной торговле. Детальное изучение этих вопросов проводилось в рамках Международной Оценки Ядерного Топливного Цикла (МОЯТЦ) в 1977–1980 гг. и позднее Комитетом по гарантированным поставкам (КГП), основанном в 1980 г. Советом управляющих МАГАТЭ.

Иногда кажется, что другие и, возможно, более фундаментальные проблемы и ограничения, отходят на второй план. В этой статье рассматриваются некоторые из этих факторов с точки зрения требований международной торговли для атомных электростанций и топливных циклов, а также некоторые перспективы на будущее.

### Происхождение и масштаб проблемы

**Атомные электростанции.** Атомные электростанции находятся в стадии эксплуатации или строятся в 32 странах мира, из которых около 10 имеют промышленность, позволяющую сооружать станции, главным образом, на основе собственных ресурсов, а остальные были или являются импортерами (см. табл. 1).

Следует подчеркнуть, что ситуация, представленная в таблице, изменялась и изменяется. Например, Франция и ФРГ импортировали технологию для первых реакторов с водой под давлением, но сейчас они имеют собственную достаточно развитую технологию и экспортируют ее. Япония достаточно развила собственную промышленность и могла бы быть экспортером, хотя и не делает этого. То же самое можно сказать, например, о Чехословакии или Италии, и в будущем это будет справедливым для многих стран, включая и некоторые развивающиеся страны, такие как Индия, которая в настоящее время почти независима в вопросах создания электростанций.

Также интересно отметить, что устанавливаются отношения сотрудничества, при наличии которых

Р. Скулдбранд — руководитель Секции реакторной техники Отдела ядерной энергетики МАГАТЭ.

опыт и возможности некоторых развивающихся стран, имеющих более высокий уровень, могут быть использованы для поддержки экспортной деятельности традиционных поставщиков.

### Стимулирование экспортных интересов

В некоторых странах независимость от импорта, главным образом в области топливного цикла, а также долгосрочного снабжения электростанций, была задачей национальной политики. Однако в ряде стран имеющиеся инженерные и промышленные возможности для достижения полной или частичной независимости не означают, что достижение независимости является национальной целью. Государства, стоящие на такой позиции и уверенные в возможности поставок в будущем, вероятно уверены в действии механизма международного рынка и покупают как отдельные компоненты, так и целые системы в соответствии с международной специализацией просто с целью получения экономии.

В странах с рыночной структурой по имеющимся оценкам ежегодный прирост установленных мощностей АЭС может составлять около 60 ГВт; в основу этой оценки положены фактические данные, соответствующие периоду 1972–1974 гг., когда отмечался бурный темп роста мощностей новых АЭС (60–70 ГВт в год). Столь высокий темп развития, конечно, не был, и в действительности не мог быть выдержан, и в настоящее время промышленность работает только на 20–30% от суммарных производственных мощностей. В большинстве стран-поставщиков внутренний рынок истощен и пребывает в неопределенности.

Таким образом, естественно, что экспортный рынок вызывает возрастающий интерес, так как позволяет избежать серьезных нарушений промышленной структуры. Примечательно, что в порядке приготовления к возможному новому экспортному подъему, а также для расширения финансовых возможностей, создается несколько международных содружеств и промышленных объединений.

В отличие от стран с рыночной структурой экономики, темп ввода мощностей ядерной энергетики в странах Совета Экономической Взаимопомощи (СЭВ) кажется ограниченным, главным образом, производственными мощностями промышленности. Поскольку эти страны имеют строгие совместные обязательства по быстрому расширению использования атомной энергии существенный подъем экспорта вне СЭВ кажется маловероятным.

В промышленно развитых странах с рыночной структурой экономики все за исключением 12 из 149 строящихся АЭС имеют мощность выше 800 МВт. Девять из этих 12 АЭС имеют реакторы

Таблица 1. Импорт АЭС: отображение ситуации в мире\*

	Действующие или сооружаемые реакторы				Импортированы из													
	всего		отечественные		США		ФРГ		Канада		Франция		Швеция		Великобритания		СССР	
	количество	мощность, МВт (эл)	количество	мощность, МВт (эл)	количество	мощность, МВт (эл)	количество	мощность, МВт (эл)	количество	мощность, МВт (эл)	количество	мощность, МВт (эл)	количество	мощность, МВт (эл)	количество	мощность, МВт (эл)	количество	мощность, МВт (эл)
<b>Промышленно развитые страны и европейские страны с централизованным планированием</b>																		
Бельгия	8	5485			5	2806					3	2679						
Болгария	6	3538															6	3538
Великобритания	42	12556	42	12556													4	1632
Венгрия	4	1632															5	1694
ГДР	5	1694																
Испания	15	12129			12	9669	2	1980			1	480						
Италия	6	3231	1	35	4	3046								1	150			
Канада	23	14228	23	14228														
Нидерланды	2	501			1	51	1	450										
Польша	2	880															2	880
Румыния	2	1320						2	1320									
СССР	85	59625	85	59625														
США	135	124400	135	124400														
Финляндия	4	2206										2	1316				2	890
Франция	61	56103	61	56103														
ФРГ	27	23018	26	23003	1	15												
Чехословакия	11	5116															11	5116
Швейцария	5	2882			4	1962	1	920										
Швеция	12	9455	9	6825	3	2630												
ЮАР	2	1842									2	1842						
Югославия	1	632			1	632												
Япония	38	29045	28	21859	9	7027									1	159		
Частный итог	496	371518	410	318634	40	27838	4	3350	2	1320	6	5001	2	1316	2	309	30	13750
<b>Развивающиеся страны</b>																		
Аргентина	3	1627					2	1027	1	600								
Бразилия	2	1871			1	626	1	1245										
Индия	10	2130	6	1320	2	398			2	414								
Китай	1	300	1	300														
Куба	2	816															2	816
Мексика	2	1308			2	1308												
Пакистан	1	125							1	125								
Тайвань	6	4924			6	4924												
Филиппины	1	621			1	621												
Южная Корея	9	7263			6	4785			1	628	2	1850						
Частный итог	37	20985	7	1620	18	12660	3	2272	5	1767	2	1850					2	816
Всего в мире	533	392503	417	320254	58	40498	7	5622	7	3087	8	6851	2	1316	2	309	32	14566

\* В таблицу включены все реакторы, подключенные к энергосистемам или находящиеся на стадии сооружения, по состоянию на 31 декабря 1983 г.

(Источник: информационная система МАГАТЭ по энергетическим реакторам PRIS).

типа CANDU и усовершенствованные газоохлаждаемые реакторы AGR, а три станции являются прототипами.

Табл. 2 свидетельствует об ограниченном числе типов экспортируемых реакторов. Следует отме-

тить, что за исключением реакторов с водой под давлением мощностью 440 МВт, экспортируемых СССР в рамках СЭВ и в Финляндию, в течение более чем 10 лет не было подписано ни одного контракта на экспорт установок мощностью менее

Таблица 2. Типы импортируемых ядерных реакторов\*

Тип	Действующие или сооружаемые реакторы				Импортированы из													
	всего		отечественные		США		ФРГ		Канада		Франция		Швеция		Великобритания		СССР	
	количество	мощность, МВт (эл)	количество	мощность, МВт (эл)	количество	мощность, МВт (эл)	количество	мощность, МВт (эл)	количество	мощность, МВт (эл)	количество	мощность, МВт (эл)	количество	мощность, МВт (эл)	количество	мощность, МВт (эл)	количество	мощность, МВт (эл)
PHWR мощностью 100–599 МВт (эл)	19	6524	15	5650			1	335	3	539								
PHWR мощностью свыше 600 МВт (эл)	18	13116	13	9876			1	692	4	2548								
AGR	14	8132	14	8132														
GCR мощностью 100–599 МВт (эл)	26	6549	23	5760							1	480			2	309		
PWR мощностью 100–599 МВт (эл)	68	28208	31	13405	8	2755	1	450									28	11598
PWR мощностью свыше 600 МВт (эл)	221	219797	182	184521	25	21854	4	4145			7	6371					3	2906
BWR мощностью 100–599 МВт (эл)	17	7356	11	5420	6	1936												
BWR мощностью свыше 600 МВт (эл)	80	74641	62	59448	16	13877						2	1316					
LWGR мощностью свыше 600 МВт (эл)	22	22900	22	22900														
Прототипы	48	5280	44	5142	3	76											1	62
Всего	533	392503	417	320254	58	40498	7	5622	7	3087	8	6851	2	1316	2	309	32	14566

\* В таблицу включены все реакторы, подключенные к энергосистемам или находящиеся на стадии сооружения, по состоянию на 31 декабря 1983 г. за исключением тех, которые остановлены к этому времени.

## Типы реакторов:

- PHWR — тяжеловодный реактор, охлаждаемый водой под давлением
- AGR — усовершенствованный газоохлаждаемый графитовый реактор
- GCR — газоохлаждаемый графитовый реактор
- PWR — водо-водяной реактор, охлаждаемый водой под давлением
- BWR — кипящий легководный реактор
- LWGR — реактор с легководным охлаждением и графитовым замедлителем

(Источник: информационная система МАГАТЭ по энергетическим реакторам PRIS).

600 МВт. Ныне имеющиеся стандартизованные проекты АЭС в некоторых странах также имеют мощность выше 900 МВт.

## Деятельность в области реакторов малой и средней мощности

Мощность более 600 МВт часто оказывается слишком большой для размеров электрических

энергосистем развивающихся стран. По крайней мере, частично этим объясняется оживившийся интерес в некоторых странах — „экспортерах” к небольшим или средним ядерным энергетическим реакторам мощностью от 200 до 600 МВт. Большая доступность реакторов малой и средней мощности в принципе может обеспечить внедрение ядерной энергетики в 10 или 15 развивающихся странах в более ранние сроки. Кроме того, реакторы малой и средней мощности могли бы использоваться

**Инфраструктуры, к которым особые требования предъявляют программы развития ядерной энергетики**

- Мощность и устойчивость электрических энергосистем
- Наличие квалифицированной рабочей силы на всех уровнях
- Организационные структуры для планирования, принятия решений, выполнения проекта, эксплуатации и регулирования
- Промышленная база
- Финансирование

как источники тепла для теплоснабжения или в опреснительных установках.

МАГАТЭ способствует обмену информацией по реакторам малой и средней мощности в течение более чем 20 лет. Однако не было осуществлено ни одного экспортного соглашения по причине неопределенности в экономике и финансировании, ограниченной доступности апробированных проектов, прошедших лицензирование в странах-поставщиках, и неготовности потенциальных покупателей согласиться на проект, прошедший единичную апробацию, достаточную для поставщика.

Это положение можно изменить, так как заинтересованность поставщиков в будущем экспортном рынке возрастает и возможна заинтересованность некоторых промышленно развитых стран в меньших по мощности установках, основанная на желании уменьшить финансовый риск для индивидуальных проектов в условиях медленного роста соотношения нагрузка — потребление. Внутренний рынок для меньших и возможно более стандартизованных установок в промышленно развитых странах, если он будет развиваться, может, таким образом, оказать очень существенное влияние на развитие ядерной энергетики в развивающихся странах.

Однако следует помнить, что небольшие АЭС предъявляют к инфраструктуре государства практически такие же требования, как и крупные АЭС. Финансовые трудности часто называются в качестве единственного наиболее важного препятствия для развития ядерной энергетики в развивающихся странах, и в течение последних десяти лет нелегко найти примеры финансирования таких проектов, так как финансисты относятся к ним, как к особенно рискованным.

Но даже в том случае, когда имеются финансовые возможности, но слабы другие инфраструктуры, программу развития ядерной энергетики осуществить невозможно. Когда же инфраструктура в основном создана, финансовые трудности преодолеваются и программы развития ядерной энергетики становятся жизнеспособными. На этом опыте основан подход, используемый в программах МАГАТЭ, а именно, усиление инфраструктуры в развивающихся странах, в особенности развитие инженерных возможностей, как необходимый подготовительный этап для успешного внедрения ядерной энергетики и передачи технологии.

**Уран и поставки топлива.** Уран имеет две уникальные особенности. Во-первых, это единственный элемент, используемый в широком масштабе в энергетических реакторах, для которых в настоящее время не существует какого-либо альтернативного топлива, исключая крайний случай — переработки плутония. Во-вторых, запасы урана са-

ми по себе не вносят вклад в топливно-энергетический баланс страны, так как для их использования необходимо применять технологию высокого уровня.

В декабрьском докладе 1983 г. „Уран — ресурсы, производство и потребности“<sup>\*</sup> сообщается, что дополнительные запасы (разумно гарантированные и вероятные) в 3,25 млн. тонн урана в 32 странах могут быть извлечены по цене ниже 130 долларов США за килограмм. В 15 из этих стран имеются работающие или строящиеся АЭС. Представленные на рисунках графики показывают уменьшение запасов в категориях с низкой стоимостью из-за увеличения стоимости производства, что сдвигает некоторую часть запасов в категорию с высокой стоимостью.

Для уранового рынка характерно, что основная масса материала доставляется согласно долгосрочным контрактам так, что местный рынок играет второстепенную роль. Цены в рамках долгосрочных контрактов достаточно стабильны, но цены местного рынка в настоящее время весьма различны и являются показателем современного состояния и перспектив производящей промышленности.

## Циклические изменения поставок и спроса

Урановый рынок претерпел некоторые серьезные циклические изменения. В конце 60-х и в начале 70-х гг. цены были очень низкими, но в 1974 г. из-за стечения обстоятельств, приведших к увеличению спроса, вызвавшего максимальную загрузку производственных мощностей, на местном рынке произошло резкое увеличение цен до 40–45 долларов США за фунт окиси урана.

Установившийся спад в программах развития ядерной энергетики в странах с рыночной структурой экономики в настоящее время привел к более сильному, чем ожидалось только 5–8 лет тому назад, уменьшению спроса. Результатом этого является образование значительного неиспользуемого запаса производственных мощностей уранопроизводящей промышленности и большое накопление материально-производственных запасов некоторыми покупателями вследствие действия долгосрочных контрактов. По имеющимся на 1985 г. оценкам, эти материально-производственные запасы в некоторых промышленно развитых странах будут превосходить действительные годовые потребности по крайней мере в четыре раза, но они также очень неравномерно распределены среди государств-покупателей.

Естественно, такое положение привело к серьезному застою в уранопроизводящей промышленности. С 1980 по 1983 гг. ежегодное производство в странах ВОСА<sup>\*\*</sup> уменьшилось на 15%. В США производство в 1983 г. снизилось более чем наполовину по сравнению с 1980 г. Частично это объясняется сокращением производства, но в значительной степени также происходит из-за закрытия рудников и

<sup>\*</sup> Совместный проект МАГАТЭ и Агентства по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития, обычно называемый „Красная книга“.

<sup>\*\*</sup> Все страны, кроме государств с централизованным планированием экономики.

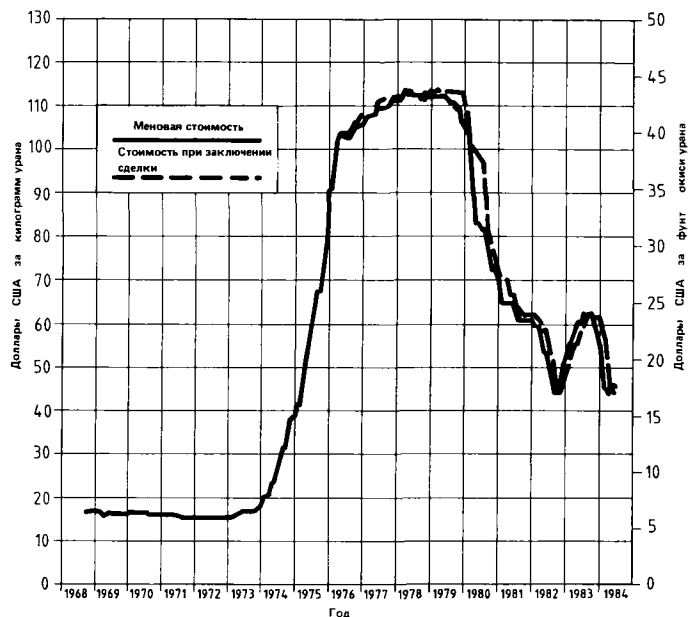


Рисунок. Изменение меновой стоимости и стоимости при заключении сделки на уран включительно по 30 июня 1984 г.  
(Данные: любезность NUЕХСО)

предприятий по дроблению уранового концентрата, не выдерживающих конкуренции при существующих ценах. По всей вероятности восстановление эксплуатации этих рудников является затруднительным.

Существующие цены делают большие многообещающие районы мира бесперспективными. Разработка и вовлечение в производство новых месторождений требует около 10 лет, приблизительно такое же время необходимо для ввода в действие новых проектов по ядерной энергетике. Таким образом, с этой точки зрения только два пути могут сравниться для периода, пока программы развития ядерной энергетике остаются достаточно определенными.

Производство урана является в некоторых странах предметом национальной политики. Размеры будущих производственных мощностей остаются неопределенными в данный момент и могут оказаться ниже того уровня, который прогнозируется в настоящее время. Если существующий избыток материально-производственных запасов не будет перераспределен среди покупателей, то спрос на уран может опять превысить возможности производственных мощностей уже к концу 80-х гг. По другим прогнозам, однако, это произойдет не раньше 1995 г. Существующее положение, при котором имеет место перенасыщение поставок, изменится, но хотелось бы надеяться, что это произойдет не так резко, как это имело место в прошлом.

Стабильность и возможность прогнозирования ситуации на рынке, по-видимому, должны быть важными факторами гарантирования поставок топлива для атомных электростанций в течение длительного периода их существования. Для достижения этого, очевидно, необходим лучший обмен информацией между поставщиками и покупателями. Кроме того, конечно, необходимо обеспечить возможность достоверных оценок внешних воздействий на рынок.

#### Служба по обогащению топлива

Служба по обогащению топлива также характеризуется излишними запасами и увеличивающейся разнотипностью источников снабжения. В настоящее время существуют четыре основных поставщика на международном рынке, и еще три страны объявили о своей способности производить обогащение топлива и о наличии, по крайней мере, экспериментальных заводов. Объем поставок имеет устойчивый характер или медленно возрастает и будет в состоянии удовлетворять спрос к 90-м гг.

Другие начальные этапы топливного цикла, не отличающиеся особой интенсивностью, в частности изготовление топлива, в настоящее время также характеризуются избыточной мощностью и в отдельных странах наблюдается тенденция создавать свои заводы для удовлетворения национальных потребностей.

Несмотря на то, что ситуация на начальных этапах топливного цикла неблагоприятна для поставщиков, тем не менее желательно внимательно следить за развитием этого сектора во избежание повторения неожиданных изменений ситуации, имевших место в прошлом.

#### Переработка и хранение

На заключительном этапе топливного цикла ситуация прямо противоположная. Перерабатывающие мощности даже в 90-е гг. будут в состоянии справиться только с частью возрастающего количества отработавшего топлива; поэтому во многих странах пересматриваются планы в отношении перерабатывающих заводов, что обуславливает неопределенность в величине планируемых на будущее мощностей.

Развитие бридерных программ запаздывает в настоящее время частично из-за избытка урана, используемого в качестве топлива для АЭС с реак-

торами на тепловых нейтронах, и из-за высокой стоимости разворачивания бридинга. Кроме производства плутония для бридеров существуют еще два других важных фактора в пользу переработки топлива тепловых реакторов: 1) более легкое удаление высокоактивных отходов и 2) повторное использование плутония в тепловых реакторах увеличивает безопасность национальной энергетики. Экономические показатели рециркуляции топлива реакторов на тепловых нейтронах выглядят, однако, очень неопределенными. Удаление высокоактивных отходов все еще не продемонстрировано, хотя это в высшей степени желательно для улучшения отношения общественности к ядерной энергетике.

Некоторые страны, например, Швеция и Испания, объявили о своей политике в области захоронения отработавшего топлива, ориентированной на хранение использованного топлива в промежуточных хранилищах в течение 20–50 лет, не отказываясь от его дальнейшего захоронения в глубоких геологических формациях, как это принято для отходов, не подвергающихся переработке. В качестве причин, объясняющих такое решение, были названы слишком высокая стоимость переработки и отсутствие рынка сбыта восстановленного плутония. Можно ожидать, что тенденция промежуточного хранения ускорится во второй половине 80-х гг.

В это же время наполняются хранилища отработавшего топлива многих реакторов и проблема хранилищ станет острой во многих странах в конце 80-х гг. Возникнет необходимость во вне реакторных хранилищах и международные установки были бы желательным вариантом. Советский Союз всегда следует варианту возврата отработавшего топлива из энергетических установок, экспортированных из СССР. Недавно Китайская Народная Республика также выразила готовность принять отработавшее топливо на промежуточное хранение.

### Перспективы роста, факторы

В течение последних десяти лет высокие цены на нефть явились причиной изменения структуры потребления энергоресурсов. Несмотря на спад, в условиях более холодного климата оказалось экономически выгодно монтировать электрические нагреватели для тепловых паровых котлов в жилых районах, так как цены на электричество довольно устойчивы. В Швеции, например, это привело к сильному уменьшению спроса на нефть и увеличению спроса на электричество в этой области, хотя общий спрос на электричество увеличивается достаточно низкими темпами.

Если экономика рынка в настоящее время начнет оживляться, мы можем ожидать, что капиталы будут вкладываться в те отрасли промышленности, которые потребляют меньше органического топлива, что в большинстве случаев будет означать сдвиг в сторону электричества из-за его более высокой эффективности в конечном использовании.

Когда это произойдет, — а имеются определенные признаки того, что это уже происходит, — возникнет необходимость в новых мощностях. Ядерная энергетика является доказанной экономической альтернативой в том случае, когда выполняются некоторые условия: контролируемое время сооружения, предсказуемые капитальные затраты, гарантированные поставки топлива для энергетических установок в течение всего времени эксплуатации.

По оценкам МАГАТЭ установленная мощность ядерных реакторов возрастет до 350–480 ГВт к

2000 г. с 260 ГВт в 1985 г. В течение следующих 8 лет должны быть размещены заказы на новые АЭС общей мощностью от 90 до 220 ГВт. Только около 12% от проектируемого увеличения мощности придется на развивающиеся страны.

В промышленно развитых странах вновь будут осуществляться заказы на строительство АЭС. Однако выбор подрядчика будет определяться не только чисто экономическими сопоставлениями. Ключевым фактором будет способность подрядчиков справиться с экономическим риском для каждого проекта.

В настоящее время несколько поставщиков готовы к возобновлению заказов на стандартизированные станции (всегда в диапазоне мощностей свыше 900 МВт) и соглашений с хорошо организованным договорным и проектным управлением. В странах, где ядерная энергетика используется в небольших масштабах, могут быть осуществлены заказы на стандартизированные станции меньшей мощности (скажем, около 600 МВт) по договорным соглашениям, которые будут сводить к минимуму риск в отдельных проектах. Такие станции, по всей вероятности, должны быть основаны на прошлых и настоящих проектах хорошо проверенных ядерных систем, предназначенных для выработки пара.

Мало вероятно, что какие-то новые индустриально развитые страны начнут реализацию программ по развитию ядерной энергетики. Те, кто не сделал этого до сих пор, имели либо богатые местные энергетические ресурсы, либо гарантированный импорт. Однако ряд новых развивающихся стран весьма тщательно изучает ядерные программы с реалистическим пониманием требований, которые будет представлять новая технология. Согласно оценкам МАГАТЭ от 10 до 20 стран заняты изучением ядерных программ и половина из них может принять положительное решение до конца текущего столетия. В большинстве случаев это потребует специальных программ для увеличения числа специалистов и промышленной поддержки.

Улучшение контактов и обмена информацией между поставщиками и покупателями, достижению которых особенно способствует деятельность Уранового института, основанного в Лондоне, Великобритания, является стабилизирующим фактором, улучшающим ситуацию на урановом рынке. Покупатели имеют возможность защитить себя от последствий изменения правительственной политики экспортных поставок, используя разные источники поставок урана и его обогащения. Однако такая возможность отсутствует в случае небольших энергетических программ в развивающихся странах, которые зависят от прогнозирования правительственных действий с тем, чтобы получить их гарантии.

Заключительная стадия топливного цикла есть сфера деятельности, требующая специальных действий, и международное сотрудничество представляется весьма желательным. Первостепенную важность имеет демонстрационный проект по захоронению высокоактивных отходов. Желательно определить, какая организационная структура может быть практичной и приемлемой для конкретных проектов по сотрудничеству на заключительной стадии, начинающихся с международных хранилищ для отработавшего топлива, для которых МАГАТЭ уже заложило некоторую основу.