

Обзор исследований по ядерному топливному циклу

И. Рыбальченко и Л. Константинов

Ядерная энергетика не может развиваться без соответствующего развития ресурсной базы и технологии полного ядерного топливного цикла. По различным причинам существует целый ряд стратегий ядерного топливного цикла, но большого коммерческого масштаба достигли в основном два типа ядерных энергетических реакторов:

- реакторы на естественном урановом топливе с графитовым или тяжеловодным замедлителем, охлаждаемые водой или газом
- реакторы, использующие слегка обогащенное топливо, водяной или графитовый замедлитель и охлаждаемые водой.

Оба типа энергетических реакторов с некоторыми небольшими модификациями хорошо себя зарекомендовали, и во многих странах накоплен большой положительный опыт их эксплуатации.

За последние 20–30 лет в ряде стран была разработана соответствующая технология полного ядерного топливного цикла, направленная на удовлетворение требований, связанных с увеличением ядерных энергетических программ. Была доказана надежность этой технологии, ее безопасность и приемлемость для многих стран.

В последние годы, когда не произошло ожидаемого роста ядерной энергетике, предполагаемые потребности в ядерном сырье и топливе уменьшились, что привело к перепроизводству в некоторых странах и значительному падению цен на рынке урана. Это явилось результатом сниженных потребностей в электроэнергии, финансовых проблем, а также политических и общественных противодействий развитию ядерной энергетике в некоторых странах.

Однако ожидается, что постоянный в общем рост ядерной энергетике улучшит ситуацию в ядерной промышленности во многих странах, и потребности в ядерных материалах и услугах по топливному циклу стабилизируются. Ниже приводится обзор исследований по ядерному топливному циклу и деятельности МАГАТЭ в этой области.

Ресурсы и поставки урана

Последние несколько лет условия в урановой промышленности продолжали ухудшаться, хотя сни-

женный уровень производства урана в 1983 г. (около 38 тыс. т в WOSA* снизил уровень перепроизводства. Средние контрактные цены на уран в США поднялись до 70 долл. США за килограмм импортного урана и до 100 долл. США за килограмм отечественного урана. Тем временем рыночные цены за килограмм урана выросли с 44 долл. США в августе–сентябре 1982 г. до 60 долл. США к осени 1983 г., но затем снова упали.

Во многих странах произошло существенное сокращение изыскательских работ и разработки рудников, хотя некоторые проекты продолжали осуществляться на дешевых месторождениях, особенно в Канаде и Австралии. В будущем предполагается увеличение потребностей в уране с 31 500 т в 1983 г. до 45 000 т в 1990 и до 55 000 т в 1995 г.

С учетом этого предположения и необходимости заранее начинать проекты по урановым рудникам следует развернуть деятельность по изысканию урана для удовлетворения перспективных потребностей **.

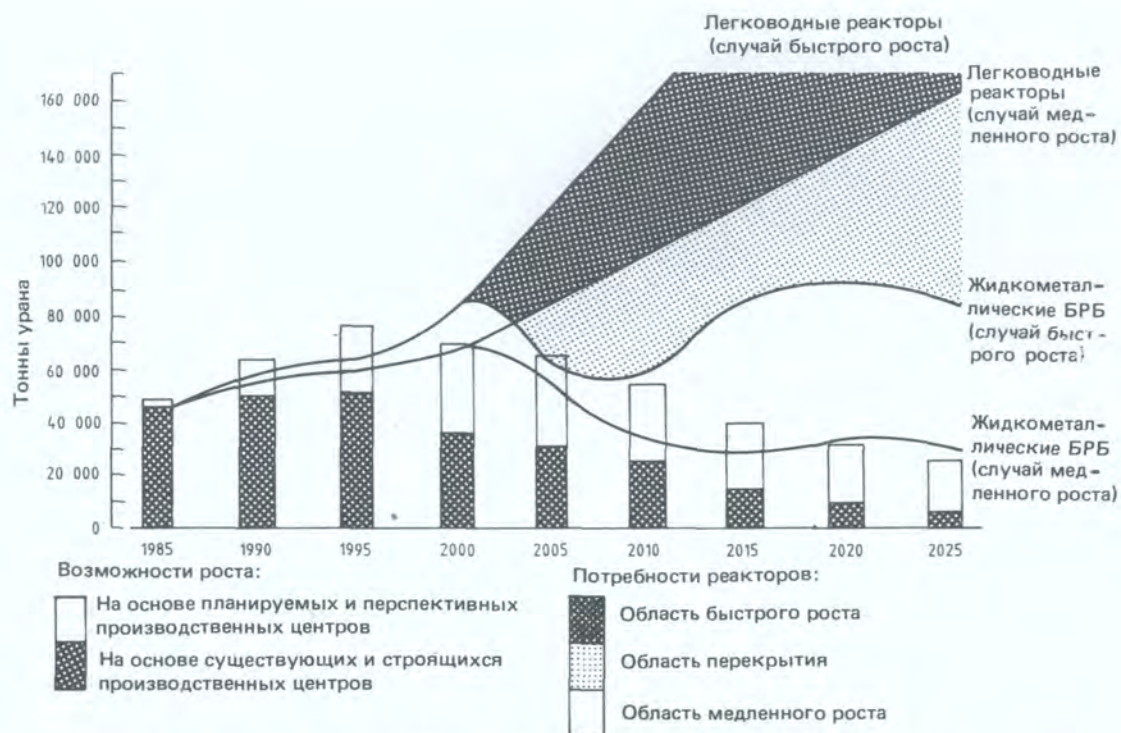
На рис. 1 отражены поставки и потребности в уране по данным совместного проекта МАГАТЭ и Агентства по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития „Ресурсы, производство и потребности в уране”. Необходимо продолжить деятельность, направленную на дополнение этого двухлетнего отчета и упорядочение имеющихся в нем данных. Во исполнение этого было подготовлено два руководства: одно касается оценки возможности производства, а другое — оценки запасов руды.

* Все страны без государств с централизованно планируемой экономикой.

** Деятельность МАГАТЭ в этой области была сосредоточена на обновлении информации по ресурсам и поставкам (главным образом урана) ядерных материалов, на сборе и оценке информации и подготовке отчетов по геологии урана, его изысканиям и производству. Были опубликованы следующие технические отчеты МАГАТЭ: Методы оценки и разработки урана (1980 г.), Уран в геосинклинали Пайн Крик (1980 г.), Урановые месторождения в Латинской Америке (1981 г.), История урановых разработок (1981 г.), Жильные и подобные жильным месторождения урана в горных породах, образовавшихся после Протерозойской эры (1982 г.), Урановые месторождения во влажных тропических условиях (1983 г.) и Геология и металлогенез урановых месторождений в Южной Америке (1984 г.). Кроме того, были изданы технический отчет „Дистанционные методы изыскания урана” (1981 г.) и руководство „Каротаж при изыскании урана” (1982 г.).

Л. Константинов — заместитель Генерального директора и руководитель Департамента МАГАТЭ по ядерной энергии и безопасности, И. Рыбальченко — бывший сотрудник этого Департамента. В составлении обзора также участвовал Саид Фаридуддин, директор Отдела ядерного топливного цикла.

Рис. 1. Годовые потребности в урановом топливе и возможности его производства на основе известных ресурсов* (1985–2025 гг.)



* Обеспечено известными ресурсами (реально гарантированные ресурсы и оцененные дополнительные ресурсы) по цене до 130 долл. США за 1 кг урана

Кроме текущей информации по ресурсам и производству урана, официально переданной соответствующими странами, в отчете содержатся последние оценки теоретических ресурсов по 182 странам (см. табл. 1). Предыдущие оценки были сделаны в 1976–77 гг.

Что касается методов изыскания урана, то МАГАТЭ в настоящее время разрабатывает руководство по геохимическим исследованиям, проведена подготовительная работа для подготовки справочника для гамма-анализа геологических материалов. Была создана расчетная программа „Система геохимических анализов (GAS)” для больших ЭВМ, подготовленная в 1984 г. для передачи пользователям. В 1984 г. появилась также связанная с ней программа для микроЭВМ (MICROGAS).

Продолжаются также работы по постановке на ЭВМ Международной информационной системы по геологии урана (INTURGEO), которая располагает информацией по геологии и месторождениям урана, национальной статистикой по урану, при этом информация поступает о месторождениях урана в Африке, Азии, Северной и Южной Америке. Были созданы программы для ЭВМ для получения карт

и другой графической информации. Описание системы может быть предоставлено заинтересованным государствам-членам.

Переработка и производство ядерных материалов

В области переработки и производства ядерных материалов* технология извлечения урана достигла совершенства. За последние несколько лет в этой области не было крупных технических новшеств, но продолжается отработка гидрометаллургических процессов, направленная на повышение их эффективности и универсальности и на снижение их стоимости и степени воздействия на окружающую среду.

* Деятельность МАГАТЭ в этой области связана, главным образом, со сбором, оценкой и распространением информации о технологии переработки урановых руд и производстве ядерного топлива и ядерных материалов, сбором основных данных по установкам ядерного топливного цикла по всему миру и оказанием технических консультаций государствам-членам по технологии ядерного топлива.

Таблица 1. Теоретические запасы урана (миллионы тонн)

	Число стран	Полный диапазон, оценка:		Наиболее вероятный диапазон, оценка:	
		нижняя	верхняя	нижняя	верхняя
		млн. тонн	млн. тонн	млн. тонн	млн. тонн
Африка	50	1,3	4,6	2,6	3,5
Северная Америка	3	1,8	2,9	2,1	2,4
Южная и Центральная Америка	40	0,7	1,8	1,0	1,3
Азия и Дальний Восток*	37	0,3	1,6	0,5	0,8
Австралия и Океания	17	2,0	4,0	3,0	3,5
Западная Европа	22	0,3	1,1	0,4	0,6
Всего по WOGA**	169	6,4	16,0	9,6	12,1
ГЦПЭ***	13	3,3	8,4	5,2	6,5

* Без Китайской Народной Республики и восточной части СССР.

** Все страны без государств с централизованно планируемой экономикой.

*** Потенциал, показанный для государств с централизованно планируемой экономикой, представляет собой полный потенциал, который включает „реально гарантированные запасы” и „оцененные дополнительные запасы”, хотя Рабочая группа и не располагала соответствующими данными.

Были достигнуты успехи в промышленном применении выщелачивания под давлением и в применении импульсных колонн для концентрирования и очистки растворов урана методом растворения. Использование кислоты Каро (H_2SO_5) в качестве окислителя кажется многообещающим.

Извлечение урана из фосфорной кислоты в настоящее время находится на грани экономичности. Требуется усовершенствования этого метода извлечения, чтобы сделать его более конкурентоспособным. Ведутся работы по созданию новых поглотителей, особенно твердых, для снижения требований к начальной и конечной обработке кислоты.

Некоторые страны разрабатывают процессы извлечения урана из угля и из природных вод, в том числе из морской воды. Кажется, что эти процессы разрабатываются не для того, чтобы конкурировать

в ценах на уран из обычных источников, а для установления верхнего потолка для этих цен и для обеспечения длительной гарантии поставок в страны с большими ядерно-энергетическими программами и с очень ограниченными местными ресурсами урана.

Многие развивающиеся страны развивают или выразили намерение развивать национальную промышленность по переработке урановых руд.

Обогащение урана. Ситуация с обогащением урана подобна ситуации с естественным ураном — избыток мощностей и избыток поставок. Существующие мощности обеспечивают 42,6 млн. единичных операций разделения (ЕОР) в год, тогда как оцениваемые потребности на 1985 г. составляют 25 млн. ЕОР/год. Поэтому существующие и планируемые мощности могут удовлетворять будущие потребности по обогащению топлива в течение многих лет.

Крупномасштабное обогащение урана газодиффузионным способом осуществляется в течение 40 лет, и теперь этот способ представляет собой устоявшийся и хорошо проработанный процесс. Однако он чрезвычайно дорог и в настоящее время столкнулся с конкуренцией со стороны более новых процессов, особенно со стороны процесса разделения на газовых центрифугах. В некоторых странах газодиффузионные заводы остаются еще основным источником обогащенного урана, но уже эксплуатируется несколько заводов с газовыми центрифугами.

Газодиффузионные заводы США являются основными для многих стран мира, хотя американская доля на иностранном рынке со 100 % десять лет назад упала до 35 %. Выполненные в 1983 г. проекты модернизации увеличили мощность заводов США до 27,3 млн. ЕОР/г., тогда как потребность в энергии уменьшилась на 23 %.

Первые две очереди обогатительного завода с газовыми центрифугами, сооружаемые в Портсмуте, штат Огайо, планируется запустить в 1988—1989 гг. с мощностью 2,2 млн. ЕОР/г. После 20-летних проработок и при опыте эксплуатации 2000 установок-лет характеристики и надежность газовых центрифуг достигли хорошего уровня.

В Европе в настоящее время эксплуатируется завод Евродиф, построен и эксплуатируется на проектной мощности 10,8 млн. ЕОР/г. газодиффузионный завод Трикастин. Это является значительным достижением, которое делает Евродиф главным поставщиком обогащенного урана и обеспечивает Европе существенную независимость от услуг по обогащению.

По трехстороннему проекту Уренко также достигнуты хорошие успехи: эксплуатируются заводы с центрифугами в Нидерландах и в Великобритании, третий завод запланирован в ФРГ. Уренко планирует к концу 80-х годов увеличить их мощность до 2 млн. ЕОР/г. Это трехстороннее соглашение хорошо себя зарекомендовало и является примером успешного многонационального ядерного проекта с участием правительств и промышленности.

Продолжаются интенсивные работы по улучшению существующих методов обогащения и разработке новых технологий. В процессе с газовыми

центрифугами, хотя и хорошо себя зарекомендовавшим, имеются значительные возможности для дальнейшего совершенствования.

США достигли значительных успехов в разработке улучшенных установок с повышенной на 50 % мощностью, которые будут использоваться при строительстве последующих очередей заводов с центрифугами. Эти центрифуги имеют длину свыше 25 футов (762,5 мм) и эксплуатируются при критических скоростях. В Японии изготовлению центрифуг уделяется повышенное внимание. Япония к 2000 г. потребует 9,5 млн. ЕОР/г., и она планирует обеспечить как минимум 3 млн. ЕОР/г. на собственных заводах.

Другие методы, как полагают, имеют перспективу коммерческого применения в будущем. Французский химический процесс обогащения Чемекс доведен до стадии эксплуатации опытного завода. По сопловому методу разделения, разработанному в ФРГ, также достигнут значительный успех. Опытный завод сооружается в Бразилии, планируется сооружение демонстрационного завода мощностью 300 000 ЕОР.

Используются очень маленькие сопла, для изготовления которых были разработаны специальные методы. Эти сопла собираются для образования каскада в трубы.

Также продолжают работы по лазерной технологии, которая в случае успеха, как предполагается, даст наиболее экономичный способ обогащения.

Изготовление ядерного топлива

Основная часть работающих в мире энергетических реакторов (около 90 %) охлаждается водой и использует в качестве топлива двуокись урана. Одиннадцать стран уже в течение достаточно длительного периода времени изготавливают ядерное топливо для коммерческих нужд (см. табл. 2).

Ряд других государств разрабатывает технологию изготовления и осуществляет различные научно-исследовательские работы. Применяемые методы изготовления достаточно одинаковы на большинстве заводов, хотя для различных типов топлива существуют специальные требования.

Практически все топливные сборки существующих энергетических реакторов состоят из топливных стержней из двуокиси урана с оболочкой из циркониевого сплава. Геометрия стержней иборок различна, но их физические и механические характеристики до некоторой степени одинаковы. Различные изготовители могут в организационном и техническом плане по-разному относиться к методам обеспечения и контроля качества (ОК и КК). Кроме того, ряд развивающихся стран вступает в группу поставщиков и сооружает свои собственные установки по изготовлению ядерного топлива. Среди них Аргентина, Бразилия, Корейская Республика и Румыния.

Опыт в области изготовления топлива свидетельствует об очень небольшом количестве дефек-

Таблица 2. Коммерческие заводы по изготовлению топлива

Страна	Завод	Мощность (тонны/год)	Тип изготавливаемого топлива
Бельгия	FBFC, Дессель	400	PWR и BWR
Канада	CGE	600	HWR
	Западная Канада	500	HWR
	Центральная и Восточная Канада		
	да	230	HWR
ФРГ	RBV	850	PWR, BWR и HWR
	Эксдон, Линген	200	PWR, BWR
Франция	FBFC, Романс	600	PWR
	CFC, Пирлате	500	PWR
Великобритания	BNFL	100	BWR и PWR
Италия	Агип Нуклиаре	200	BWR и PWR
Индия	DAE	135	HWR и BWR
Япония	JNF	480	BWR
	MNF	460	PWR
	NFI	50	BWR и PWR
Швеция	ASEA-ATOM	330	BWR и PWR
СССР	Государственный комитет по атомной энергии	700	PWR и BWR
США	B&W	375	PWR
	C-E	265	PWR
	ENC	600	BWR и PWR
	GE	1100	BWR
	W	800	PWR

тов и продолжающемся увеличении надежности топлива. Подробно изучаются проблемы образования гидридов, уплотнения двуокиси урана, размывания и взаимодействия таблеток с оболочкой. Улучшения были достигнуты за счет изменения технических условий и улучшенных методов изготовления и контроля качества.

Строгие процедуры ОК и КК внесли существенный вклад в высокую надежность современного топлива, а последующий опыт привел к имеющемуся в настоящее время удовлетворительному уровню надежности топлива в условиях эксплуатации. Усилия компаний, промышленности и исследователей по разработке методов предотвращения первоначальных дефектов по большей части оказались плодотворными.

Для преобладающих в настоящее время режимов эксплуатации и глубины выгорания топлива могут быть достигнуты средние нормы дефектности топливных элементов порядка 0,01 % за один реакторо-год. Проводятся научно-исследовательские работы по повышению использования топлива (увеличенное выгорание), по режиму маневрирования мощностью при изменении нагрузки, по использованию плутония в тепловых реакторах и по изысканию возможности восстановления поврежденных топливных сборок.

Попытки повысить использование топлива в водоохлаждаемых реакторах могли бы осуществляться параллельно по двум путям: изменением стратегии обращения с топливом и улучшением механических и металлургических свойств топлива. В настоящее время научно-исследовательская деятельность направлена на решение таких проблем, как утечка газообразных продуктов деления, коррозия циркониевой оболочки в воде, сохранение размеров, взаимодействие таблеток с оболочкой и увеличение применения выгорающих поглотителей нейтронов. Большинство из этих проблем не новы, но до получения лицензии необходимо экспериментально проверить поведение топлива при ожидаемых условиях эксплуатации. Отработаны расчетные модели и программы для анализа поведения топлива, которые будут полезны при разработке новых проектов.

Внедрение достижений не встречает непреодолимых трудностей. Однако из-за характера самой работы — продолжительность времени облучения, необходимость тщательного контроля за соблюдением правил безопасности, задержки, связанные с промышленными закупками — полная отдача от новшеств в области использования топлива ожидается не раньше следующего десятилетия.

Нововведения в технологию топлива потребовали бы дополнительных или новых методов ОК и КК, которые также следует проверить для гарантии более высоких уровней безопасности эксплуатации топлива*.

Обращение с отработавшим топливом

Значительный опыт также связан с конечной стадией ядерного топливного цикла (хранение, перевозка и переработка). В настоящее время большая часть облученного ядерного топлива хранится в водяных бассейнах на реакторах, и только меньшая часть отработавшего топлива находится в водяных бассейнах хранилищ на перерабатывающих заводах или на вне реакторных (ВР) площад-

ках хранения (см. табл. 3). Первое коммерческое устройство для сухого хранения окисного топлива недавно было введено в эксплуатацию в Горлбене, ФРГ.

Только небольшое количество образовавшегося отработавшего топлива было переработано. Даже при полной загрузке перерабатывающих заводов большая часть отработавшего топлива в течение некоторого времени не будет перерабатываться и должна быть отправлена на хранение. Например, до 1990 г. в Европе может быть переработано не более 6500 т урана окисного топлива, а количество непереработанного топлива за это время достигнет величины 10 800 т.

Расширение станционных хранилищ и увеличение мощностей перерабатывающих предприятий, а также создание устройств для централизованного хранения могли бы в ближайшем будущем разрешить проблемы хранения отработавшего топлива. В то же время длительное хранение облученного ядерного топлива требует его надежности (особенно герметичности топливной оболочки) даже после извлечения топлива из реактора. Хотя среда в хранилищах менее агрессивная по сравнению с условиями в контуре реактора, время пребывания в этой среде топлива значительно дольше. Требуется дополнительное научно-исследовательские работы по доказательству надежности и безопасности хранения топлива в течение длительных периодов времени.

* Деятельность МАГАТЭ в области изготовления ядерного топлива охватывает сбор, оценку и обмен информацией по изготовлению топливных элементов для водяных реакторов с уделением особого внимания улучшенному использованию топлива (увеличение выгорания) и характеристикам поведения топлива и его надежности.

С помощью Международной рабочей группы по характеристикам и технологии топлива водяных реакторов (JWGFP) был подготовлен обзор по внутренней химии топливных стержней, поведению топлива при повышенной мощности и в условиях периодического изменения мощности, по характеристикам топливных элементов и моделированию утечки газообразных продуктов деления, по взаимодействию таблеток с оболочкой в водяных реакторах, по большим глубинам выгорания топлива водяных реакторов и по взаимодействию оболочек с теплоносителем. Были выпущены технические документы по методам исследования топлива после облучения и по использованию конкретного топлива при различных реакторных концепциях.

В 1983 г. был организован региональный семинар по изготовлению и контролю топлива для тяжеловодных реакторов, а в 1984 г. был проведен другой семинар по дистанционному оборудованию для установок ядерного топливного цикла.

В 1983 г. было выпущено руководство по контролю качества топлива водяных реакторов, а в 1984 г. был проведен семинар на ту же тему.

Три скоординированные исследовательские программы находятся на разных стадиях своего развития: D-COM (разработка расчетных моделей поведения топливных элементов водяных реакторов), CCI (Исследование взаимодействия оболочки топливных элементов с водяным теплоносителем энергетических реакторов) и ED-WARF (Методология изучения и документирования для топлива водяного реактора).

Таблица 3. Хранилища для отработавшего топлива на внеакторных площадках (ВР)

Страна	Название/местоположение	Владелец	Состояние	Срок введения в действие	Тип топлива	Существующая проектная вместимость	Существующая вместимость	Планируемая вместимость
						(в тоннах тяжелого металла)		
Бельгия	Дессель-Мол	Еврокемик	Резерв		PWR			380 (1987)*
		Государство*	Планируется		PWR			
Канада	Уайтшел	AECL	Действует	1974	OCR	11,1	10,2	**
Франция	Ла Хагва	COGEMA	Действует	1967	GCR	440		+2000 (1983) ; +2000 (1987)
				1975	LWR	4000		
ФРГ	Ахауз	DWK/STEAG	Планируется	1985	LWR			1500
	Горлебен	DWK	Сооружается	1983	LWR			1500
Швеция	Симлеварп	SNFSC	Сооружается	1985	LWR			3000 (1985)
Великобритания	DNPD, Турсо	VKA EA	Действует	1960	MTR U/AL	***		
	Уиндскейл В30	BNFL	Действует	1960	Магнокс	1500		
	Уиндскейл В27	BNFL	Действует	1968	LWR	2300		
	Уиндскейл Понд 4	BNFL	Лицензируется	1980	AGR	550		
	Уиндскейл Понд 5	BNFL	Сооружается	1983	Магнокс			1000 (1983)
					AGR			510 (1984)
США	Уиндскейл THORP	BNFL	Планируется	1987	LWR AGR			1500 (1987)
	Уэст Велли	Штат Нью-Йорк	Действует	1966	LWR	250	165	
	Моррис	GE	Действует	1971	LWR	700	350	
	Барнвел	AGNS	Планируется		LWR			400

* Зависит от решения Парламента.

** По требованию — сухое хранилище.

*** 700 сборок.

В области перевозки была создана новая индустрия для перемещения топлива со станции на перерабатывающие заводы или на площадки хранения. Были разработаны транспортные системы для перевозки в сухом состоянии и под заливом с осуществлением перевозок по железным дорогам, автомобильным и морским транспортом в соответствии с международными правилами. За период около 30 лет не было зарегистрировано ни одного инцидента, приведшего к значительному облучению персонала или населения во время осуществления перевозок.

В области переработки был внедрен проверенный химический процесс, основанный на Пьюрекс-методе экстракционной очистки растворителем. Опыт, накопленный при переработке как металлического, так и окисного топлива, подтвердил надежность и безопасность этого метода. Воздействие на окружающую среду при переработке незначительно. Действующие перерабатывающие заводы имеются в немногих странах Европы, в Индии и Японии, их мощности, существующие и планируемые, значительно меньше необходимых и соответствующих реально получающемуся количеству отработавшего топлива.

Страны с ограниченными ресурсами урана считают, что переработка отработавшего топлива и рециркуляция делящихся материалов (плутония и урана) в водоохлаждаемых реакторах могла бы уменьшить их зависимость от импорта урана. Быстрые реакторы-бридеры на плутониевом топливе представляются наилучшим вариантом, как существенный и надежный вклад в решение проблемы глобального снабжения энергией*.

* Деятельность Агентства в этой области сосредоточена на технических вопросах обращения с отработавшим топливом различных типов реакторов. Продолжаются сбор и оценка информации по вариантам краткосрочного, среднего и долгосрочного хранения, а также по методам перевозки, переработки и рециркуляции топлива.

Результаты мирового обзора по хранению отработавшего топлива водяных реакторов в водяных бассейнах были опубликованы в 1982 г. в Серии технических отчетов, № 218.

Руководство по хранению отработавшего топлива было недавно опубликовано в Серии технических отчетов, № 240. В нем отражены следующие вопросы: методы хранения отработавшего топлива в сухом виде и под заливом, экономика хранения отработавшего топлива, организационные вопросы, международные гарантии, критерии оценки, международное сотрудничество. Продолжается работа по обобщению мирового опыта в области хранения отработавшего топлива в сухом виде.

Международное сотрудничество

Возрастает важность многонационального сотрудничества в ядерной области, что увеличивает значение роли МАГАТЭ как единственной организации, способной собирать и оценивать информацию, а также оказывать поддержку большому числу государств-членов в области ядерных материалов и технологии топливного цикла.

За период 1980–1984 гг. МАГАТЭ оказало помощь в осуществлении проектов технического сотрудничества по изысканию урана в 41 стране Африки, Азии, Европы и Южной Америки. Число поддерживаемых проектов колебалось от 30 до 40 в год, из которых от 6 до 10 были крупными проектами, финансируемыми в рамках Программы развития ООН (ПРООН). Суммарный годовой бюджет по этим проектам — порядка 2 млн. долл. США.

В области ядерного топлива за последние годы была оказана помощь ряду стран, включая Египет, Индонезию, Корейскую Республику, Мексику и Румынию. Обеспечение качества и контроль качества являются одним из наиболее важных вопросов в программе технической помощи.

В настоящее время МАГАТЭ поддерживает работу Комитета по обеспечению поставок применительно к ядерным материалам, топливу и услугам по топливному циклу. Обеспечение поставок реакторного топлива очень важно для многих развивающихся стран.

Несмотря на то, что ряд стран развивает свои собственные производственные мощности, многие страны еще будут продолжать зависеть от других стран. Для обеспечения надежности поставок многие страны проявляют интерес к разделению источников поставок. В этой ситуации для дальнейшего развития требуются обеспечение поставок топлива, стандартизация методов изготовления топлива и программы контроля качества. Всего этого можно достичь только путем широкой кооперации.

МАГАТЭ будет продолжать свои программы в области ядерного топливного цикла с уделением особого внимания улучшению технологии топливного цикла и характеристик топлива, повышению безопасности. Важность этих программ будет возрастать по мере вовлечения все большего числа стран в дело использования ядерной энергии для производства электроэнергии и других мирных целей и потребуются обеспечение поставок ядерных материалов, топлива и услуг по топливному циклу.