

Развитие ядерной энергетики — задачи 1980-х годов

Сигвард Эклунд*

Рассматривая тему "Развитие ядерной энергетика — задачи 1980-х годов", я проанализировал следующие данные, главным образом те данные, которые хранятся в ЭВМ Международного агентства по атомной энергии, чтобы сделать прогноз относительно того, что произойдет в ядерной области в течение следующего десятилетия. Словом "задачи" я бы подчеркнул реализацию тех возможностей, которыми обладает атомная энергетика для решения мировых энергетических проблем.

Существующие энергетические системы имеют высокий потенциал, и тот факт, что в настоящее время ядерная энергетика обеспечивает 8% производства электроэнергии во всем мире, сам по себе является доказательством уже реализованных возможностей ядерной энергии, а также свидетельствует о том, что ядерная энергия проложила себе дорогу в тех сферах, которые ранее были закреплены за обычными источниками энергии. Это также означает, что и сама ядерная энергетика уже обладает достаточным потенциалом и будет оставаться с нами в течение долгого времени, даже если лица, принимающие решения, не будут активно содействовать ее развитию.

Хотя мы любим считать, что будущее зависит от нас и его можно планировать в соответствии с нашими желаниями и намерениями, несомненным фактом является то, что развитие на следующие, скажем, пять лет, уже предопределено решениями, принятыми ранее. Вследствие этого развитие ядерной энергетика в наших обществах в течение следующих пяти лет можно прогнозировать с достаточно высокой степенью точности, исходя, безусловно, из предположения о том, что будет преобладать мир и что потребности в энергии будут развиваться таким же образом, что и в прошлом. К сожалению значительно труднее дать прогноз в отношении того, что может произойти в области энергетика через пять-десять лет.

Сохранение энергии

Совершенно очевидно, что везде, где это возможно, следует избегать потерь энергии, и в ряде стран с помощью различных мер по сохранению энергии уже достигнуты великолепные результаты. Я хотел бы особо отметить здесь перспективную разработку те-

* Д-р Эклунд является Генеральным директором МАГАТЭ. Настоящая статья представляет собой адаптированный вариант речи д-ра Эклунда, с которой он выступил в начале этого года на четырнадцатой Ежегодной конференции Японского атомного промышленного форума.

пловых насосов, приводимых в действие электричеством, например, получаемым от атомной электростанции. Представляется, что это даст колоссальные возможности для сохранения энергии при отоплении жилых домов или районов города. Тепловые насосы мощностью 10 МВт очень скоро станут обычными приборами в ряде промышленно развитых стран. В Федеративной Республике Германии сбыт теплонасосов возрос с 36 000 единиц в 1979 году до почти 100 000 единиц в 1980 году. В моей стране, Швеции, сбыт таких насосов в течение нескольких последних лет ежегодно удваивался. Теперь, когда гений человека позволил ему получать практически неограниченные количества дешевой энергии, было бы очень жаль не использовать полностью это достижение для улучшения условий жизни человека.

Вследствие этого я не согласен с теми в Швеции, кто говорит, что несмотря на наличие дополнительной электроэнергии и на то, что электроэнергия является очень удобным видом энергии для отопления квартир и домов, ее не следует использовать для этих целей, потому что для ее получения требуются крупные электростанции, которым нет места в философии "зеленой волны". Иными словами, я считаю, что к людям вновь вернется реалистическое мышление, когда они поймут, что существует энергия, которую нужно использовать, и в то же время осмыслят и одобряют демократическим путем производство такой энергии.

Текущая ситуация и будущие перспективы энергетических реакторов

Фактическую ситуацию в области ядерной энергетика и наиболее вероятный прогноз ее развития до 1990 года лучше всего продемонстрировать графически.

На рис. 1 приводятся количества и мощность эксплуатируемых или строящихся в настоящее время реакторов, а также их распределение по различным географическим районам*. Несмотря на сложившуюся в настоящее время ситуацию в США, установленная мощность строящихся в этой стране атомных электростанций к 1990 году почти утроится. То же самое справедливо и в отношении Канады. К дру-

* Термин страны ОЭСР относится к 24-м государствам — членам Организации по экономическому сотрудничеству и развитию (ОЭСР), включая Японию. Группа стран ОЭСР района Тихого океана включает Австралию, Японию и Новую Зеландию. ЦПЭ обозначает страны с централизованно планируемой экономикой и включает 13 социалистических стран.

Таблица 1. Оценки общих и ядерных мощностей для производства электроэнергии в основных группах стран (ГВт (эл.))

Группа стран	1980			1985			1990		
	Общие мощности	Ядерные мощности	%	Общие мощности (среднее значение)	Ядерные мощности	%	Общие мощности (среднее значение)	Ядерные мощности	%
ОЭСР Северная Америка	710	57	8	890	130	15	1065	150	14
ОЭСР Европа	440	45	10	580	105	18	735	150	20
ОЭСР район Тихого океана	180	15	8	255	25	10	340	50	15
Европейские страны с ЦПЭ	370	16	4	545	35	6	745	75	10
Всего в промышленно развитых странах	1700	133	8	2270	295	13	2885	425	15
Азия	130	3	2	235	10	4	400	20	5
Латинская Америка	100	0,3	0,3	130	3	2	180	10	6
Африка и Ближний Восток	65	—	—	80	2	3	120	3	3
Всего в развивающихся странах	295	3	1	445	15	3	700	33	5
Всего в мире	1995	136	7	2715	310	11	3585	458	13

гим промышленно развитым странам, в которых прирост будет происходить быстрыми темпами, относятся Франция, Япония и СССР. На проходившей в прошлом году в Вене Генеральной конференции МАГАТЭ министр Никагава сказал, что к 1990 году Япония попытается иметь 53 ГВт установленной мощности атомных электростанций.

С другой стороны, развивающиеся страны* имеют ограниченные планы, и значительного роста в данной области в ряде стран, приступающих к внедрению ядерной энергетики в 1980-х годах, не ожидается, за исключением восьми государств, в которых уже эксплуатируются или строятся атомные электростанции. Кроме того, в четырех-пяти государствах, таких, как Египет, в настоящее время рассматривается вопрос о внедрении ядерной энергетики, однако, вероятно, не все из них примут окончательное решение.

В табл. 1 приведены оценки общих и ядерных мощностей по производству электроэнергии во всем мире и их распределение среди промышленно развитых и развивающихся стран, а также среди групп стран. В 1980 году ядерные мощности во всем мире составляли 136 ГВт (эл.), или 7% от почти 2000 ГВт (эл.) всех установленных электрических мощностей. В промышленно развитых государствах — членах ОЭСР и европейских государствах с централизованно планируемой экономикой сосредоточено почти 98% всех ядерных мощностей мира, в то время как на долю развивающихся стран приходится только около 2%. В 1990 году ядерные мощности составят порядка 458 ГВт (эл.) или около 13%

* Дать точное определение термину "развивающиеся страны" представляет некоторую сложность. В данной статье этот термин применяется только к тем странам, которые получают техническую помощь от ООН и не входят в группу стран ОЭСР или в группу европейских стран с централизованно планируемой экономикой.

предполагаемых общих мощностей по производству электроэнергии во всем мире.

В следующей таблице приводятся оценки общего производства электроэнергии и доля ядерной энергетики в мировом масштабе до 1990 года с разбивкой на основные группы государств (табл. 2). В процентном выражении доля электроэнергии, выработанной атомными электростанциями, несколько выше, чем доля ядерных мощностей, приводимых в табл. 1, поскольку атомные электростанции обычно работают в режиме базовой нагрузки. Эта таблица еще раз показывает, что в течение последних десяти лет на государства — члены ОЭСР и европейские государства с централизованно планируемой экономикой будет по-прежнему приходиться наибольшая доля производства электроэнергии с помощью атомных электростанций. Эта таблица также показывает, что государства Латинской Америки и Азии, исключая Японию, начнут значительно наращивать производство электроэнергии с помощью атомных электростанций в конце текущего десятилетия.

На рис. 2 приведено распределение по срокам эксплуатации действующих реакторов, построенных более восьми лет назад. Как видно из рисунка, 97 реакторов находятся в эксплуатации более восьми лет, а 32 реактора — от восьми до десяти лет. 159 из 256 действующих во всем мире реакторов построены менее восьми лет назад. Шесть реакторов к настоящему времени уже находятся в эксплуатации более 20 лет. В общей сложности к настоящему времени накоплен опыт эксплуатации, составляющий около 2200 реакторо-лет, и технология ядерной энергетики вступила в пору зрелости, стала безопасной и надежной.

Каковы же эксплуатационные характеристики этих реакторов? На рис. 3 приводятся итоговые коэффициенты нагрузки и использования за период с 1975 по 1979 годы. Коэффициент нагрузки является

Таблица 2. Оценки общего производства электроэнергии и производства электроэнергии с помощью атомных электростанций в основных группах стран (ТВт · час)

Группа стран	1980			1985			1990		
	Всего	АЭС	%	Всего (среднее значение)	АЭС	%	Всего (среднее значение)	АЭС	%
ОЭСР Северная Америка	2760	290	11	3455	800	23	4230	885	21
ОЭСР Европа	1780	215	12	2280	640	28	2890	885	31
ОЭСР район Тихого океана	725	60	8	1070	150	14	1430	315	22
Европейские страны с ЦПЗ	1780	80	5	2620	225	9	3575	450	13
Всего в промышленно развитых странах	7045	645	9	9425	1815	19	12 125	2535	21
Азия	665	15	2	1060	65	6	1815	100	6
Латинская Америка	375	2	0,5	485	15	3	695	50	7
Африка и Ближний Восток	225	—	—	320	10	3	480	15	3
Всего в развивающихся странах	1295	17	1	1865	90	5	2990	165	6
Всего в мире	8340	662	8	11 290	1905	17	15 115	2700	18

ся единицей измерения производительности в том смысле, что он представляет собой фактически произведенную энергию, деленную на энергию, которая могла бы быть произведена при работе с максимальной мощностью в течение всего периода времени. Коэффициент использования представляет собой

единицу измерения эксплуатационной готовности — время эксплуатации деленное на общее время.

Интересно отметить тот факт, что с 1975 года имело место медленное увеличение значений обоих коэффициентов, продолжавшееся до 1979 года, в котором их значения резко сократились. Хотя это следует под-

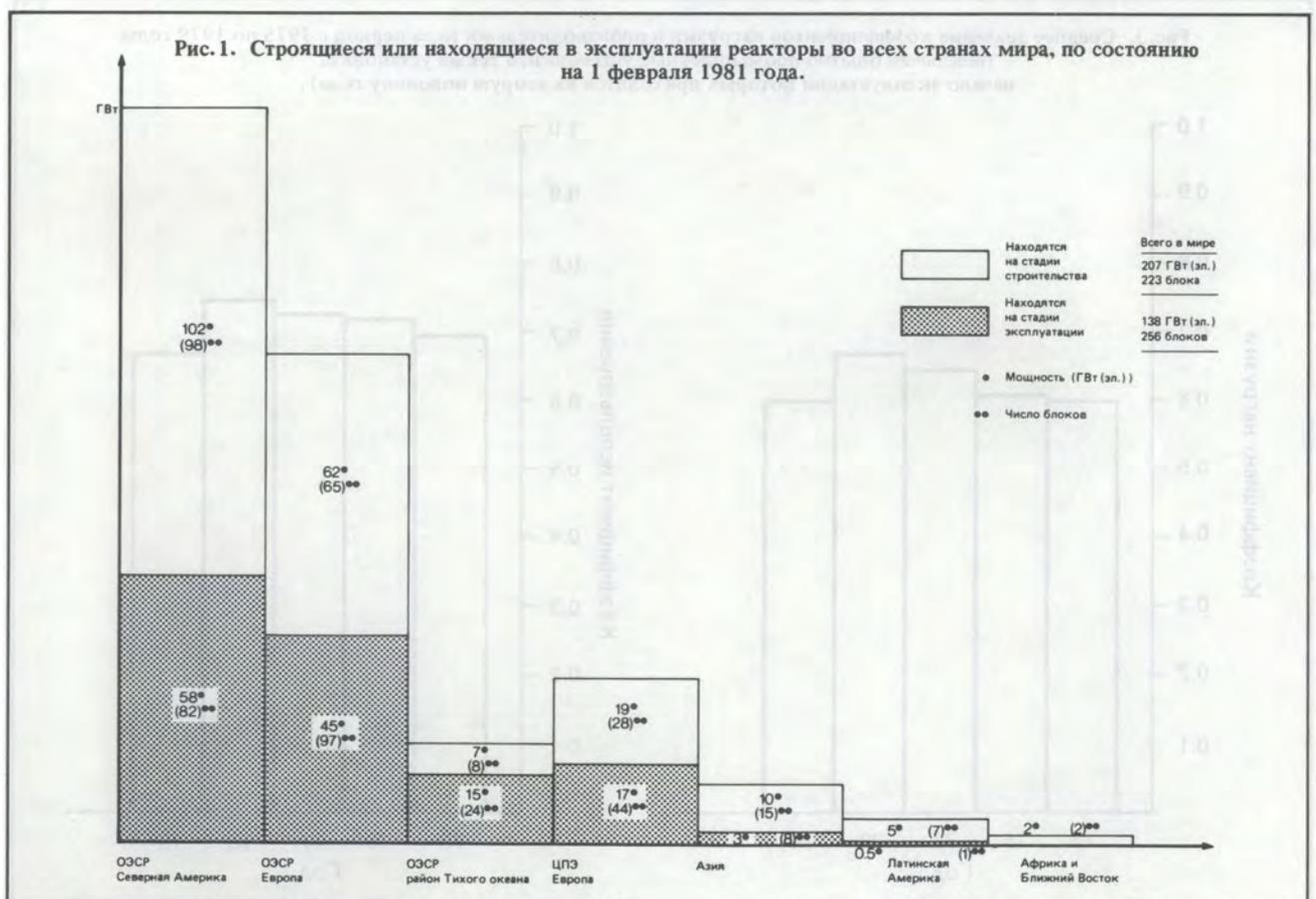


Рис. 2. Распределение реакторов, построенных более восьми лет назад, по времени их эксплуатации.

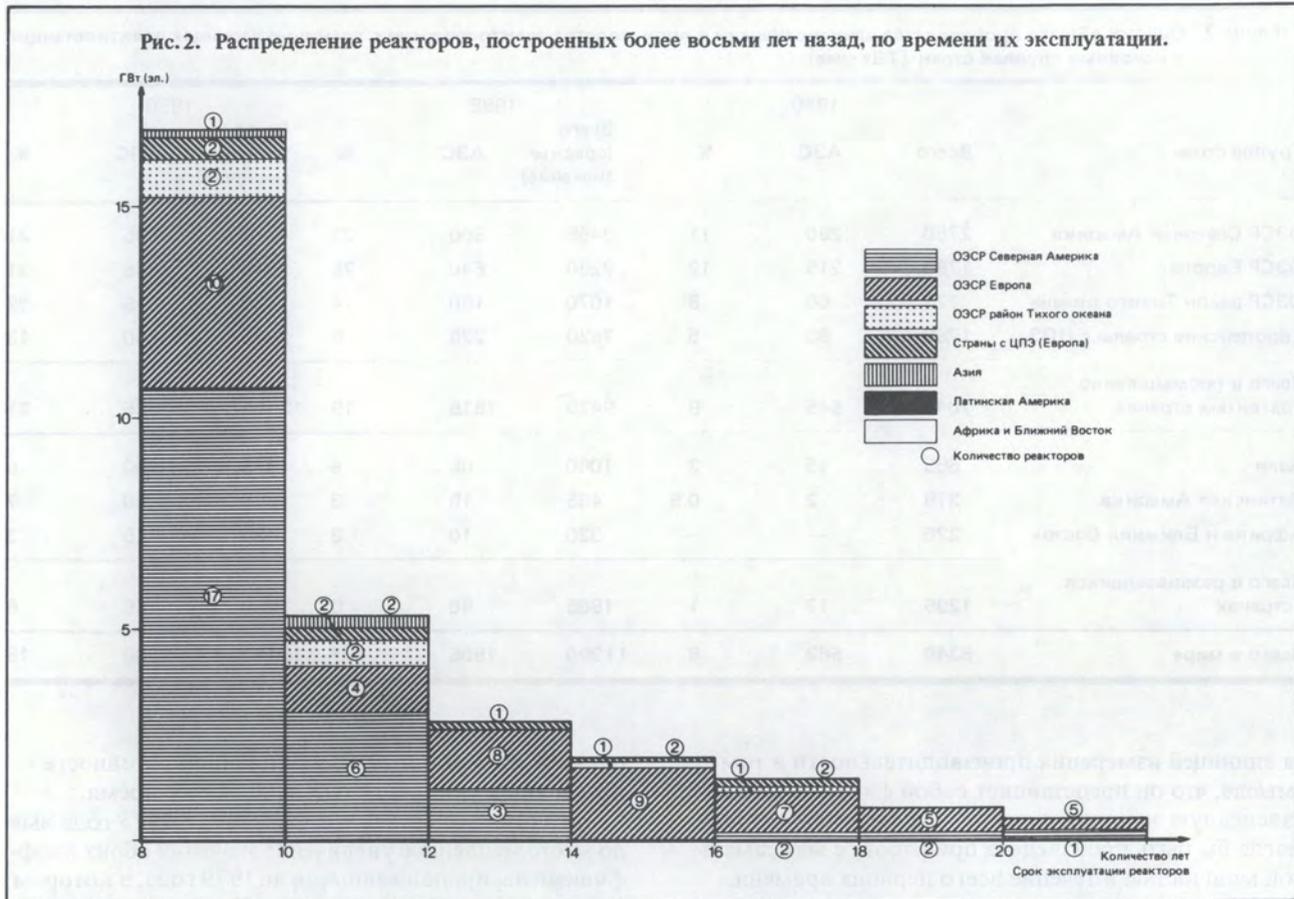


Рис. 3. Среднее значение коэффициентов нагрузки и производительности за период с 1975 по 1979 годы (исключая опытно-промышленные установки, а также установки, начало эксплуатации которых приходится на вторую половину года).

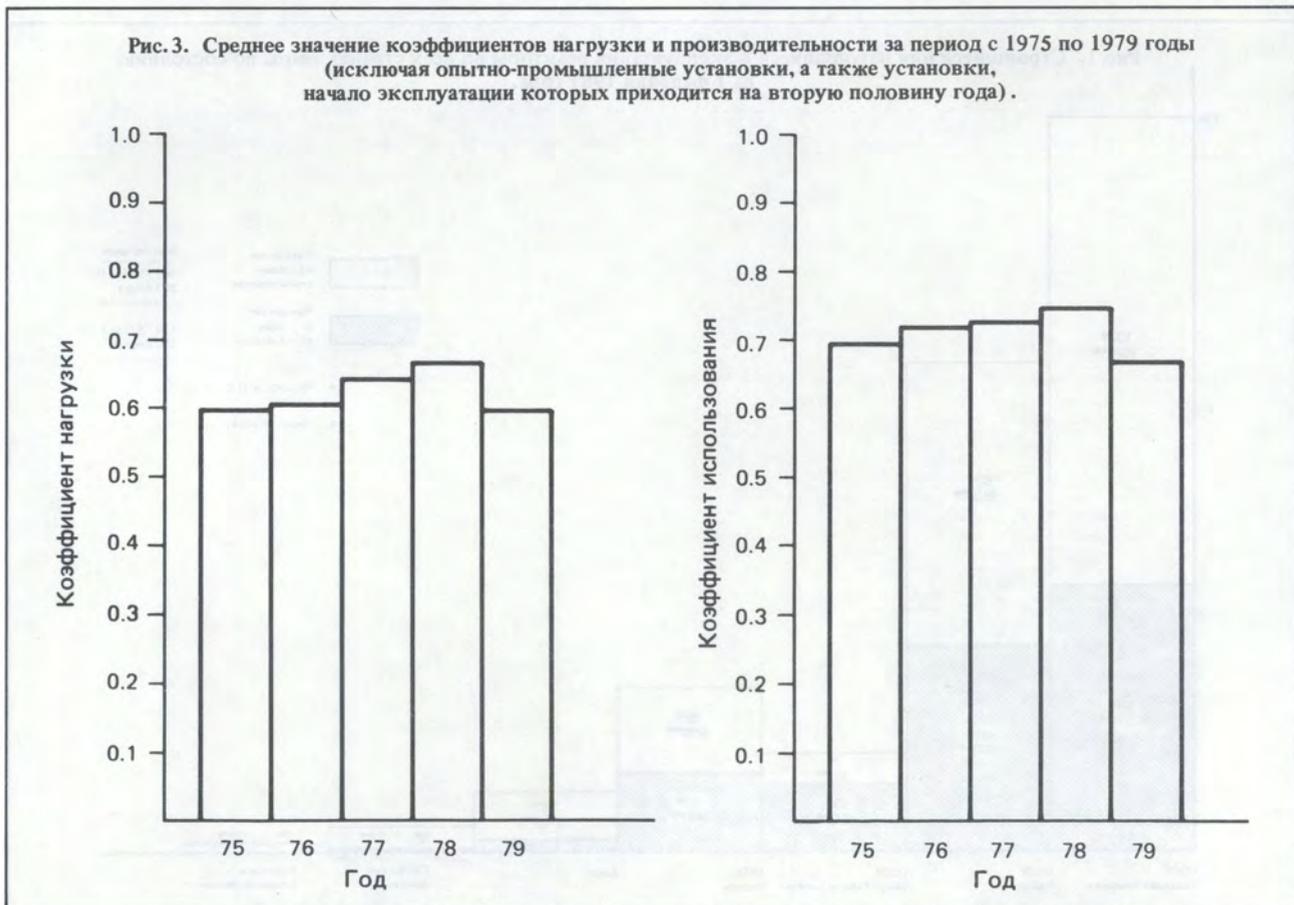
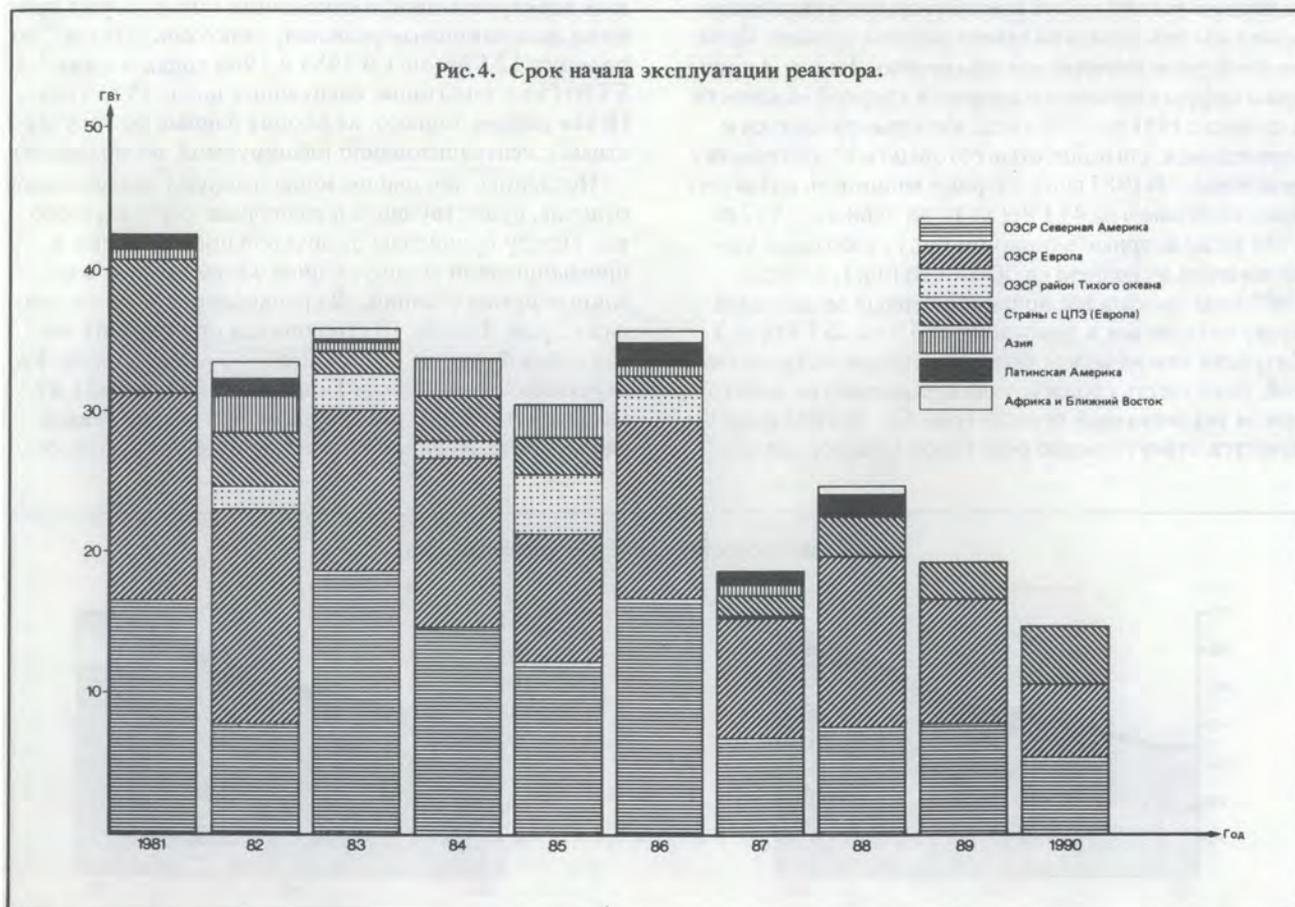


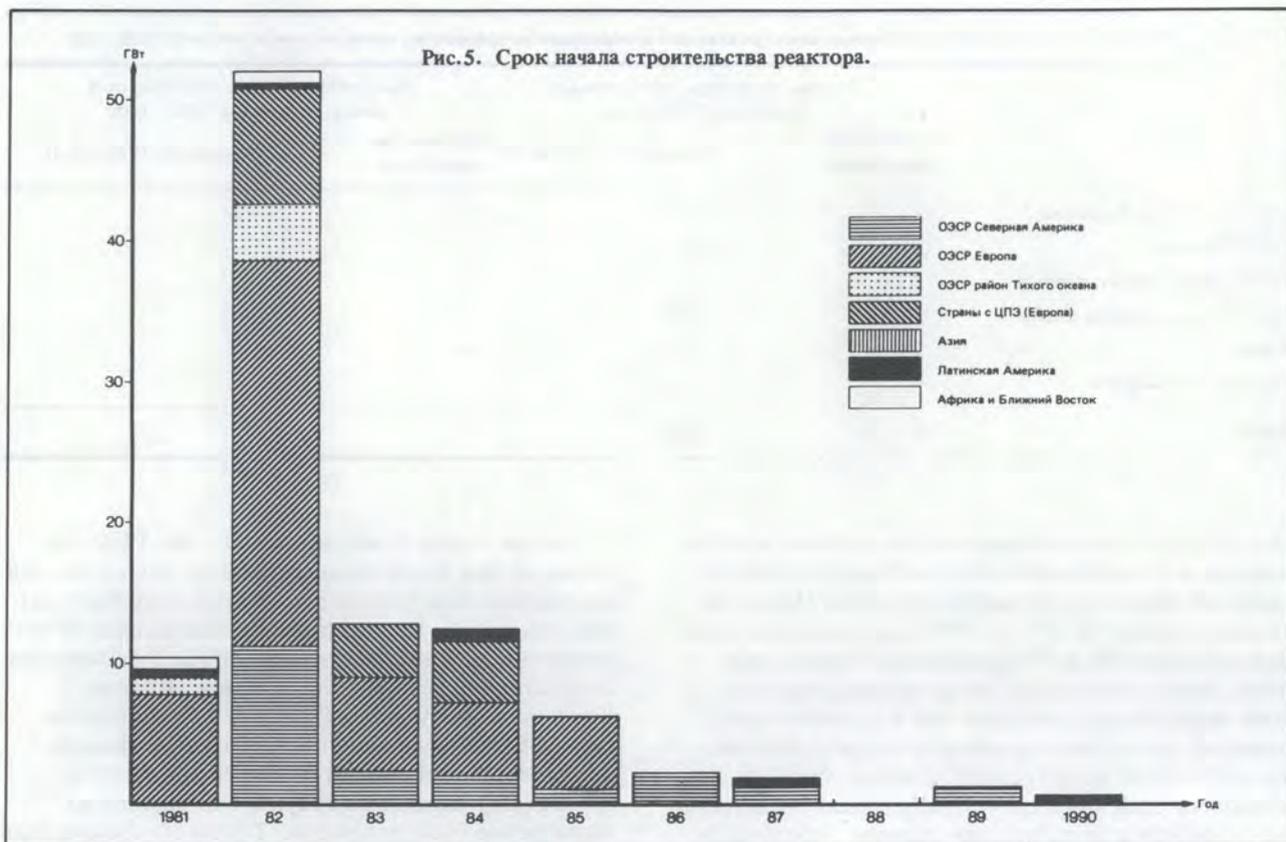
Таблица 3. Заказы на строительство атомных электростанций и перенесение сроков их выполнения в течение 1980 года

	Заказы и запросы, полученные в течение 1980 года		Аннулированные и отсроченные заказы в течение 1980 года	
	Количество реакторов	Мощность (ГВт (эл.))	Количество реакторов	Мощность (ГВт (эл.))
ОЭСР Северная Америка	—	—	12	13
ОЭСР Европа	12	12	—	—
ОЭСР район Тихого океана	4	4	—	—
Европейские страны с ЦПЭ	1	0,6	—	—
Азия	2	2	—	—
Латинская Америка	—	—	—	—
Всего	19	18,6	12	13

твердить путем анализа данных, тем не менее представляется, что такое сокращение было вызвано нормативными мерами после аварии на о. Три Мили. Поскольку данные за 1978 и 1979 годы основаны соответственно на 156 и 176 реакторных блоках, важность такого сокращения не вызывает сомнений. В этой связи следует отметить, что в соответствии с данными, представленными на последней Мировой энергетической конференции, в целом неготовность к эксплуатации ядерных установок была аналогична неготовности к эксплуатации станций, работающих на ископаемых видах топлива, сравнимой мощности — порядка 30-35%.

Говоря о табл.3, можно сказать, что 1980 год также не был продуктивным в плане новых заказов на атомные электростанции. В этом году были размещены заказы на строительство всего лишь 19 реакторов общей мощностью 18 ГВт (эл.) во Франции, Федеративной Республике Германии, Японии, Корейской Республике, Румынии и Соединенном Королевстве. Однако в США 12 из этих заказов на строительство реакторов общей мощностью 13 ГВт (эл.) были либо аннулированы, либо их выполнение было отложено. Таким образом чистый прирост в мощности составил всего лишь 5 ГВт (эл.).





Если сравнить общую ситуацию в ядерной области, сложившуюся в 1980 году, с периодом до 1990 года, на первый взгляд может показаться, что в настоящее время мы находимся на самом низком уровне. Однако это первое впечатление обманчиво. На рис. 4 приведены цифры ежегодного прироста ядерной мощности в период с 1981 по 1990 годы, которые относятся к строящимся или полностью готовым к строительству реакторам. В 1981 году ядерные мощности возрастут приблизительно на 43 ГВт(эл.); за период с 1982 по 1985 годы ядерные мощности будут ежегодно увеличиваться в среднем на 30-35 ГВт(эл.), а после 1987 года ежегодный прирост ядерных мощностей будет находиться в диапазоне от 15 до 25 ГВт(эл.). Ситуация тем не менее будет выглядеть оптимистичной, если учесть сроки начала строительства реакторов за тот же самый период (рис.5). В 1981 году начнется строительство реакторов мощностью нес-

колько более 10 ГВт(эл.), а в 1982 году – порядка 52 ГВт(эл.). После 1983 года строительство атомных электростанций, в отношении которых уже приняты окончательные решения, резко сократится: до порядка 12 ГВт(эл.) в 1983 и 1984 годах и ниже 5 ГВт(эл.) для годов, следующих после 1985 года. (В эти цифры, однако, не входят данные по государствам с централизованно планируемой экономикой).

Последние две цифры иллюстрируют значительное отличие, существующее в различных странах, в сроках между принятием окончательного решения и промышленной эксплуатацией сооружаемых в настоящее время станций. В среднем эти сроки составляют: для Японии (8 строящихся станций) 61 месяц; для Франции (29 станций) 63 месяца; для Федеративной Республики Германии (10 станций) 82 месяца и для США (85 станций) 121 месяц. Различие в сроках можно почти полностью объяснить бо-



Таблица 4. Оценки максимальной производительности урано-добывающей промышленности

	1980		1985		1990	
	Число стран	Производительность (ктУ/год)	Число стран	Производительность (ктУ/год)	Число стран	Производительность (ктУ/год)
ОЭСР Северная Америка	2	30	2	30	2	42
ОЭСР Европа	3	4	3	5	5	7
ОЭСР район Тихого океана	2	2	2	14	2	21
Африка	4	14	5	18	6	23
Латинская Америка	1	<1	3	3	4	5
Азия	2	<1	2	<1	3	2
Всего	14	50	17	70	22	100

Таблица 5. Мощности установок по изотопному обогащению

	Число стран	1980		Число стран	1985	
		Количество установок	10 ⁶ ерр*		Количество установок	10 ⁶ ерр*
ОЭСР Северная Америка	1	3	21 000	2	4–6	35 300–44 300
ОЭСР Европа	4	7	3880	4	9	12880
ОЭСР район Тихого океана	2	1	30	2	3–4	300
Европейские страны с ЦПЭ	1	1	7100	1	1	7100
Азия	—	—	—	—	—	—
Латинская Америка	—	—	—	1	1	180
Африка и Ближний Восток	1	1	6	1	1	200–300
Всего в мире	9	13	32016	11	19–22	55960–65 060

Ежегодные потребности для производства 1 ГВт (эл.) с помощью ЛВР: ~110 × 10⁶ ерр.

* ерр — единица разделительной работы.

Таблица 6. Мощности заводов по изготовлению топлива (только для ЛВР)

	Число стран	1980		Число стран	1985	
		Количество заводов	т U в год		Количество заводов	т U в год
ОЭСР Северная Америка	1	6	2900	1	7	3300–3700
ОЭСР Европа	6	13	3510	7	14	4860
ОЭСР район Тихого океана	1	4	990	1	4	1 050
Европейские страны с ЦПЭ			Данные отсутствуют			
Азия	1	1	21	1	1	21
Латинская Америка	—	—	—	—	—	—
Африка и Ближний Восток	—	—	—	—	—	—
Всего в мире	9	24	7421	10	26	9231–9631

Годовое количество топлива, необходимое для производства 1 ГВт (эл.) с помощью ЛВР: ~30 тонн.

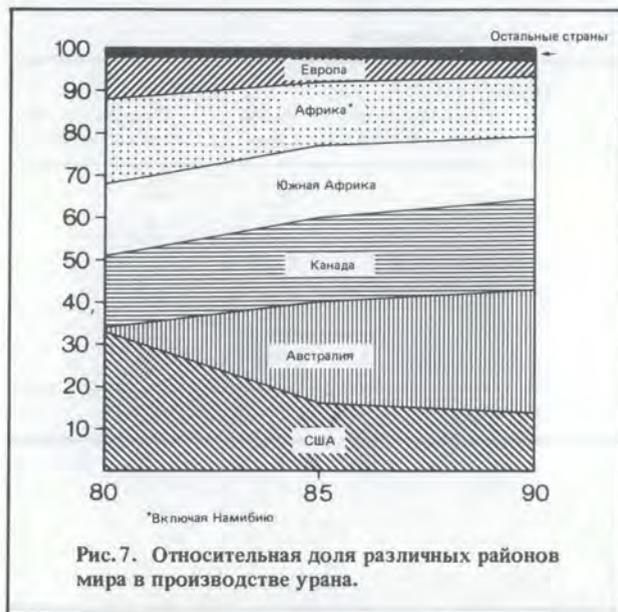


Рис. 7. Относительная доля различных районов мира в производстве урана.

лее или менее сложными процедурами получения разрешений на строительство, лицензий на эксплуатацию и т. д. Если в настоящее время не будет принято окончательное решение относительно строительства новых отдельных станций и если вместе с тем учесть длительные, только что упомянутые сроки, вполне вероятно, что после 1990 года в области ядерно-энергетических программ произойдет общий спад, что повлечет серьезные последствия для атомной промышленности во многих странах.

Задачи топливного цикла

После такого краткого обзора развития энергетических реакторов в 1980-х годах вполне естественно перейти к рассмотрению вопроса об обеспечении топливом в течение данного десятилетия и другим аспектам топливного цикла. Задачи в этой области имеются как на самом начальном, так и на конечном этапах топливного цикла.

Что касается природного урана, то задача 1980-х годов заключается в приведении в соответствие значительно снизившегося спроса на него для существующих и планируемых ядерных реакторов с существующими и, возможно, будущими избыточными мощностями в уранодобывающей промышленности. В связи с этим, приведенные на рис. 6 существующие, основанные на промышленных показателях прогнозы относительно потребностей в уране и производства урана довольно пессимистичны и отражают сложившуюся в промышленности озабоченность из-за неясности темпов дальнейшего прироста установленных ядерных мощностей по производству электроэнергии.

С 1978 года, когда сбыт урана достиг наивысшего уровня, спрос на него более или менее непрерывно падает. В феврале 1981 года цены на уран на рынке наличного товара снизились до 65 долл. США за килограмм, что в фактическом выражении составляет менее половины его стоимости в 1978 году – 112 долл. США за килограмм. Сложившееся общее пред-

ставление о том, что дополнительное количество урана можно будет легко получить за счет новых производств и имеющихся запасов, оставляет мало надежды на коренное изменение ситуации. Одним из результатов такой тенденции будут радикальные изменения в географическом распределении производства урана, как это показано на рис. 7. В течение нынешнего десятилетия должно значительно возрасти производство урана в Австралии и Канаде, где в настоящее время разрабатываются новые крупные шахты, в то время как производство урана в США и Африке должно остаться на прежнем уровне, а его относительная важность понизится. Это также означает, что развивающиеся страны получают мало шансов на привлечение капитала для новых коммерческих предприятий по добыче урана, и на них особенно скажутся низкие цены на уран.

Следует дополнительно отметить еще один аспект, касающийся наличия гарантированных запасов урана в настоящее время и в будущем. В табл. 4 приведены оценочные цифры максимального, технически достижимого производства урана из известных ресурсов для 1980, 1985 и 1990 годов. Эти цифры значительно превышают оценки потребностей и производства урана и указывают на большой резерв мощностей, имеющихся в существующей промышленности. До тех пор, однако, пока неблагоприятные условия, сложившиеся в настоящее время на урановом рынке, не изменяются радикальным образом, вероятно существование большой озабоченности относительно способности урановой промышленности разработать и создать дополнительные производственные центры для десятилетия, которое последует после 1990 года.

Для большинства реакторов, которые находятся в эксплуатации или которые планируется построить в течение текущего десятилетия, требуется обогащенный уран. В табл. 5 указаны мощности заводов по изотопному обогащению урана в 1980 и 1985 годах. Учитывая тот факт, что прогнозируемые на 1990 год общие ядерные мощности в 458 ГВт (эл.) потребуют от установок по разделению изотопов ежегодной производительности приблизительно в 50000 тонн, а также то, что эта цифра будет достигнута в 1985 году, в недалеком будущем можно было бы ожидать перепроизводства, если бы были построены все запланированные к строительству установки.

Что касается мощности заводов по изготовлению топлива (табл. 6), то здесь не ожидается каких-либо трудностей, поскольку их производительность порядка 9500 тонн урана в год в 1985 году соответствует требованиям прогнозируемой мощности в 310 ГВт (эл.) в том же самом году.

Прогноз относительно мощностей хранилищ отработавшего топлива показывает, что в этой области в течение 1980-х годов не предвидится каких-либо серьезных трудностей в мировом или региональном масштабе. Тем не менее, следует подчеркнуть, что общее сравнение поступлений отработавшего топлива и имеющихся мощностей для их хранения не отражает фактической ситуации, потому что отработавшее топливо невозможно свободно распределить в сети имеющихся хранилищ. В связи с этим в неко-

Таблица 7. Мощности заводов по переработке топлива (только для топлива ЛВР)

	1980			1985		
	Число стран	Количество заводов	т U в год	Число стран	Количество заводов	т U в год
ОЭСР Северная Америка	—	—	—	1	3	2550
ОЭСР Европа	4	5	840	5	7	2115
ОЭСР район Тихого океана	1	1	210	1	1	210
Европейские страны с ЦПЭ			Данные отсутствуют			
Азия	1	1	100	1	2	200
Латинская Америка	—	—	—	—	—	—
Африка и Ближний Восток	—	—	—	—	—	—
Всего в мире	6	7	1150	8	13	5075

Годовое количество топлива, выгружаемого из ЛВР после производства 1 ГВт (эл.): ~30 тонн.

торых государствах и на некоторых предприятиях будет существовать недостаток в хранилищах и им придется использовать альтернативные методы хранения — отправку в другие бассейны выдержки, хранение в контейнерах, хранение топлива в два яруса и т.д.

Однако, основные проблемы с хранением, вероятно, возникнут в следующем десятилетии — 1990-2000-е годы. На рис. 8 приводятся обобщенные данные, полученные Агентством в результате Международной оценки топливного цикла и исследований Международного обращения с отработавшим топливом. Данные на 1990 год говорят о том, что эти проблемы можно было бы решить на региональном уровне, в то время как данные на 2000 год указывают на то, что необходимо изучать основные альтернативы хранения. Из-за отсутствия новых реакторов производственная мощность хранилищ на площадках реакторов не возрастает, в то время как накопления отработавшего топлива продолжают увеличиваться.

Это означает, что дополнительные потребности в обращении с отработавшим топливом придется удовлетворять с помощью хранилищ, расположенных вне площадок реакторов, а также путем переработки и окончательного захоронения отработавшего топлива. Более того, результаты исследований показывают, что даже если прогнозируемые мощности по переработке будут введены в эксплуатацию своевременно, все равно значительное количество топлива придется хранить или захоронять.

Как показано в табл. 7, достигнутая в 1980 году производительность в размере 1150 тонн урана в год представляет собой только лишь 20% производительности, необходимой для переработки всего облученного топлива; теоретически прогнозируемая на 1985 год производительность в размере 5075 тонн урана в год позволила бы переработать около 50% накопленных отработавшего топлива. Все согласятся с тем, что некоторые страны должны принять решение относительно внедрения крупномасштабной пе-



переработки отработавшего топлива. Это необходимо для того, чтобы обеспечить основу для принятия долгосрочных решений в рамках международных договоренностей, а также для того, чтобы восстановить доверие к этой части ядерного топливного цикла, которая имеет такое большое значение для внедрения реакторов-размножителей на быстрых нейтронах.

Наконец, в течение 1970-х годов стало вполне очевидно, что безопасное обращение с радиоактивными отходами и их безопасное удаление имеет первостепенную важность для дальнейшего развития и приемлемости атомной энергии. Специалисты, занимающиеся обращением с радиоактивными отходами, в целом согласны с тем, что правильное подземное захоронение радиоактивных отходов может обеспечить их необходимую долгосрочную изоляцию и, таким образом, защиту как человека, так и окружающей среды.

Во многих государствах осуществляются обширные программы по изучению пригодности геологических формаций на их территориях в качестве площадок для захоронения и по созданию национальных систем долгосрочного обращения с радиоактивными отходами. В некоторых государствах созданы специальные национальные организации для решения этих вопросов. Помимо этого, большой прогресс достигнут в области различных методов кондиционирования и упаковки различных видов радиоактивных отходов, что необходимо для их последующего хранения и захоронения.

В наступившем десятилетии в еще большем количестве стран ожидается значительный прогресс в области создания и внедрения соответствующих систем обращения с отходами в их национальных ядерно-энергетических программах. Сюда будет входить обращение с низко- и среднеактивными отходами, промежуточное хранение высокоактивных отходов, а также определение мест, а в некоторых странах, возможно, и сооружение хранилищ для высокоактивных и альфа-содержащих отходов. В ряде развитых стран будет осуществляться отверждение и подготовка к хранению и захоронению высокоактивных отходов в промышленном масштабе.

Как и теперь, хранение и захоронение радиоактивных отходов будет находиться под контролем национальных органов. Тем не менее, возможно, что будут проводиться поиски решения проблемы хранения и захоронения высокоактивных отходов на региональном и даже международном уровнях, включая размещение отходов из других стран в национальных хранилищах. Это даст преимущество государствам, осуществляющим небольшие ядерно-энергетические программы, которые не предусматривают перерабатывать отработавшее топливо. Для того чтобы удовлетворить потребности всех сторон, этот вопрос, возможно, придется изучить на международной конференции. Одним относящимся сюда предварительным условием может быть наличие консенсуса относительно основных требований по безопасности, которые следует применять.

В сотрудничестве с другими международными организациями программа Агентства по обращению

с радиоактивными отходами внесет вклад в достижение международного консенсуса относительно того, каким образом обеспечить безопасное захоронение радиоактивных отходов, имея при этом главной целью оказание поддержки национальным системам. Для того чтобы обсудить эти вопросы и проблемы, Агентство планирует провести в 1983 году международную конференцию по обращению с радиоактивными отходами, на которой будут рассмотрены все виды безопасного обращения с радиоактивными отходами.

Экономика энергетики

Обзор задач на 1980-е годы, безусловно, был бы не полным, если бы не были упомянуты экономические аспекты энергоснабжения. Значительное увеличение стоимости энергии, вызванное ростом цен на нефть начиная с 1973-1974 годов, сыграло важную роль в росте инфляции во всем мире и, вследствие этого, экономическом спаде и безработице. Перед всеми государствами как промышленно развитыми, так и развивающимися стоит проблема изыскания надежных источников снабжения энергией по приемлемым ценам. Эту проблему можно быстро решить с помощью ядерной энергии.

Электроэнергия, получаемая с помощью атомных электростанций, в настоящее время уже значительно дешевле, чем электроэнергия, получаемая с электростанций, работающих на нефти. При сравнении стоимости электроэнергии, получаемой с атомных электростанций, и электростанций, работающих на угле, результат во многом зависит от ряда факторов, и окончательного универсального ответа на этот вопрос нет. Сложившаяся ситуация, однако, в целом более благоприятствует ядерной энергетике.

Ключевым экономическим фактором в производстве электроэнергии с помощью сжигания угля является стоимость угля. Для атомной энергетике ключевыми факторами являются капитальные затраты на атомную электростанцию и ее эксплуатационные характеристики. Одна из задач, стоящих перед атомной энергетикой в 1980-х годах, заключается в достижении более коротких сроков лицензирования и сооружения, для того чтобы сократить объем капитальных затрат.

Атомные электростанции по сравнению с электростанциями, работающими на ископаемых видах топлива, в значительно меньшей степени зависят от цен на источники топлива. Удвоение стоимости урана увеличило бы стоимость электроэнергии, получаемой на атомных электростанциях, только на 10%, а удвоение цен на ископаемые виды топлива привело бы к увеличению стоимости электроэнергии, получаемой на электростанциях, сжигающих ископаемые виды топлива, на 65%. Таким образом, государства, принявшие решения широко развивать ядерную энергетiku, в меньшей степени зависят от роста цен на топливо.

Реализация экономических выгод ядерной энергетики потребует, однако, согласованных действий для того, чтобы преодолеть проблемы приемлемости ее общественностью, которые значительно задержали ее развитие. Это привело к продолжению исполь-

зования в больших масштабах нефти и угля для производства электроэнергии, даже несмотря на то, что ядерная энергетика имеет более благоприятные экономические показатели. Например, крупные атомные электростанции могут производить электроэнергию, стоимость которой на 25-50% ниже, чем стоимость электроэнергии, производимой электростанциями, работающими на угле. За 30 лет эксплуатации можно было бы сэкономить средства, достаточные для строительства одной или двух новых атомных электростанций. В сравнении с электростанциями, работающими на нефти, экономическая выгода еще более значительна.

Техническая зрелость и отношение к авариям

В 1980-х годах технические усовершенствования реакторов опробованных типов скорее всего будут незначительными и главным образом будут основаны на опыте, полученном за три последних десятилетия, в течение которых эксплуатировались атомно-энергетические реакторы, и, как было указано выше, в течение которых был накоплен опыт эксплуатации реакторов, составляющий 2200 энергетических реакторо-лет. Следует учитывать, что в течение 1980-х годов накопление опыта будет происходить быстрыми темпами. В начале текущего десятилетия опыт эксплуатации ядерных реакторов будет ежегодно возрастать на 250 реакторо-лет, в середине десятилетия — приблизительно на 450 реакторо-лет, а в 1990 году — на 600 реакторо-лет, т.е. к этому времени накопленный за десятилетие опыт эксплуатации ядерных реакторов будет составлять порядка 6000 реакторо-лет.

Это должно позволить повысить стандартизацию конструкции атомных электростанций путем сотрудничества между изготовителями, владельцами и регулируемыми органами, что помимо непосредственного влияния на цены позволило бы также сократить сроки лицензирования, а также периоды времени между принятием окончательного решения о строительстве атомной электростанции и началом ее промышленной эксплуатации, не говоря уже о соответствующем вкладе в безопасность станции.

Дополнительные нормативные требования усложняют конструкцию атомных электростанций, и необходимо в равной мере учитывать как эффекты введения таких новых требований, так и недостатки, которые могут возникнуть в результате чрезмерного усложнения конструкции. Следует надеяться на то, что удастся избежать крайних трудностей, вызываемых доработками на атомных электростанциях во время строительства и эксплуатации. В некоторых ведущих государствах именно такие требования, а не заказы на новые реакторы, обеспечивают занятость в ядерной промышленности.

Как и в любой другой сложной технологии, в системах энергетических реакторов неизбежно будут отказы. Здесь, однако, следует напомнить, что до сих пор ни на одной атомной электростанции, используемой в мирных целях, не было ни одной аварии со смертельным исходом в результате облучения. Множество предусмотренных конструкцией защитных барьеров, которые препятствуют выбросу ра-

диоактивности в биосферу в опасных объемах, до сих пор выполняли свое назначение.

Возросшее использование ядерной энергии должно сопровождаться принятием ее в качестве естественного элемента окружающей среды в представлениях общественности и средств массовой информации. Течь в клапане парогенератора или остановка турбины на атомной электростанции должны расцениваться таким же образом, что и аналогичные происшествия на обычных электростанциях. В наши дни преувеличения — нередкость. Если, например, инцидент на о. Три Мили можно назвать "катастрофой", то можно было бы только надеяться на то, чтобы любые будущие аварии были аналогичными "катастрофами"!

Однако события на о. Три Мили имели катастрофические последствия с экономической точки зрения. Вероятно в будущем компаниям-"потребителям" следует предусмотреть, чтобы на основе взаимных договоренностей они несли равные убытки, которые могут возникнуть в результате аварии.

Малые реакторы для развивающихся стран

В какой степени смогут развивающиеся страны использовать ядерную энергию в течение текущего десятилетия? В этой области предусматривается одиннадцатикратное увеличение, которое, однако, касается небольшого числа стран. Это объясняется тем, что при оказании помощи в области ядерной энергетики необходимо учитывать существующую последовательную тенденцию к проектированию и изготовлению блоков с производительной мощностью 1000-1300 МВт. Для обслуживания блоков такого размера получающая страна должна располагать готовой инфраструктурой. Я имею в виду электрическую сеть достаточной мощности, а также рабочую силу и оборудование, необходимые как для повседневного обслуживания такой установки, так и на случай аварийных ситуаций.

Старое эмпирическое правило гласит, что ни одна установка в электрической сети не должна производить более 10% общей мощности. Экономия, обусловленная ростом масштаба производства, привела к разработке очень крупных станций, которые можно включать в энергосистемы мощностью по крайней мере от 5000 до 7000 МВт, а это в свою очередь приводит к выводу о том, что такие крупные реакторы можно внедрить всего лишь в нескольких развивающихся странах. Как мы недавно узнали, некоторые изготовители реакторов в настоящее время изучают возможность строительства энергетических реакторов значительно меньшего размера, причем потери в экономии, обусловленной ростом масштаба производства, компенсируются за счет упрощения конструкции; при этом сохраняется тот же уровень безопасности, что и на более крупных установках.

Тем не менее совершенно ясно, что разработка таких маленьких блоков, их сбыт и лицензирование потребуют значительного времени. Пока же я могу выразить надежду на то, что переход развитых стран на ядерную энергию разрядит обстановку на нефтяном рынке и даст возможность развивающимся

ся странам расширить их обычные энергетические системы до размера, необходимого для внедрения ядерных реакторов, а также создать необходимую инфраструктуру.

Ядерная безопасность

Разработки в области ядерной безопасности можно подразделить на три различные категории, а именно: правила, безопасность в эксплуатации и системы, обеспечивающие безопасность.

Основной задачей 1980 годов в этой области будет установление нормативных приоритетов в области крупнейших проблем безопасности таким образом, чтобы свести к минимуму крупные изменения в конструкциях старых и новых атомных электростанций. В связи с этим уместно отметить важность согласования ядерных стандартов в международном масштабе, в частности согласования на уровне основных критериев и подходов, а также вклада, внесенного программой МАГАТЭ по разработке норм безопасности АЭС. Другим важным моментом является гарантирование безопасности населения в равной мере на трех основных этапах: проектирование — эксплуатация, выбор площадки и планирование на случай аварий.

Совершенствованию безопасности в эксплуатации способствовал заметный прогресс в двух основных областях, где, тем не менее, еще много нужно сделать, а именно: оценка опыта эксплуатации и учет человеческого фактора. Во все возрастающем потоке докладов, появляющихся в результате национальных и международных обменов, становится все сложнее выявить самые важные проблемы. После событий на о. Три Мили человеческий фактор был признан в качестве фактора, который влияет на безопасность и который должен учитываться при проектировании, эксплуатации, техническом обслуживании атомных электростанций и в руководстве ими. В тесном сотрудничестве с государствами-членами, а также с полным учетом различных условий, преобладающих в различных странах, МАГАТЭ следует предпринять попытку создать критерии компетентности операторов и обслуживающего персонала. Стандартом должно стать использование моделей для проведения анализа поведения систем.

Много усилий было потрачено на изучение гипотетических аварий с расплавлением активной зоны реактора. Ожидаемые качественные изменения в системах теплосъема, питания и аварийного охлаждения

вероятно сделают изучение теоретических аварий с расплавлением активной зоны менее неотложным.

Конференция МАГАТЭ по опыту эксплуатации атомных электростанций, которая состоится в сентябре 1982 года, предоставит государствам-членам и существующим в них потребителям возможность ознакомиться с наиболее ценным обзором накопленного обширного опыта эксплуатации атомных электростанций, который в настоящее время составляет порядка 2200 реакторо-лет.

Выбор на будущее

Количество людей, не признающих ядерную энергию и обладающих значительным политическим влиянием, невелико. Такие люди могут изменить свое мнение на противоположное, если им придется столкнуться с нехваткой энергии, вызванной блокированием поставок нефти, или в том случае, если связанные с энергией экономические трудности будут самым пагубным образом сказываться на экономике всей страны, социальных условиях и уровне жизни населения; никто не хочет, чтобы такое случилось. Может случиться, что эти люди стали бы еще более яркими противниками ядерной энергии, если бы произошли аварии на атомных электростанциях, независимо от того, имели ли бы эти аварии непосредственное отношение к ядерной части установки или нет. Поэтому необходимо приложить максимум усилий для объективного информирования общественности с помощью средств массовой информации с тем, чтобы избежать несправедливых сравнений между отказами на атомных электростанциях и отказами на других технических предприятиях равной сложности.

Хотелось бы еще также напомнить, что системы с тепловыми реакторами играют лишь временную роль в производстве энергии во всем мире. Во временном масштабе их использование соизмеримо с использованием нефти для производства электроэнергии. Долгосрочное использование атомных реакторов предполагает разработку систем на быстрых нейтронах, реакторов-размножителей, с помощью которых ядерная энергия могла бы сделать долгосрочный вклад в разрешение мировых энергетических проблем; иными словами, подобно углю, но со значительно меньшими последствиями для окружающей среды — несмотря на то, что ядерная энергия имеет свои проблемы. К сожалению политики в своих планах на будущее не учитывают динамику технического развития.