

Положение и тенденции развития ядерной энергетики в мире

Увеличение доли ядерной энергетики в производстве электроэнергии

Леонард Л. Беннетт и Роберт Скулдсбренд

В 1985 г. общая установленная мощность атомных электростанций в мире увеличилась на 14 % или на 32 ядерноэнергетические установки общей мощностью 30 гига watt электрических (ГВт (эл.)), включенных в энергосети. В конце 1985 г. в мире работали 374 атомных электростанции общей мощностью 250 ГВт (эл.). За 1985 г. они произвели около 1400 тераватт-часов электроэнергии, что на 19 % больше, чем в 1984 г. и составило примерно 15 % от всей электроэнергии, произведенной в мире в 1985 г.*

Насколько значительна эта доля? Электроэнергия, произведенная во всем мире атомными электростанциями в 1985 г., равна электроэнергии, полученной за этот год десятью государствами — членами Европейского экономического сообщества. Произведенные в 1985 г. 1400 тераватт-часов — это то количество электроэнергии, которое было получено во всем мире в 1954 г. Это равнозначно использованию 570 миллионов тонн угля. В Западной Европе в 1985 г. на атомных электростанциях получен 551 тераватт-час или столько, сколько в 1960 г. было произведено всей электроэнергией.

Доля АЭС в производстве электроэнергии

Доля АЭС в производстве электроэнергии в разных странах различна, а в некоторых странах это различие проявляется и по районам (например, в США). Как видно из прилагаемой карты, в 1985 г. насчитывалось 19 стран, в которых доля электроэнергии от АЭС составила 10 % и более от всего ее производства. В странах, входящих в Организацию экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), на АЭС приходится около 20,4 % всей полученной в 1985 г. электроэнергии.

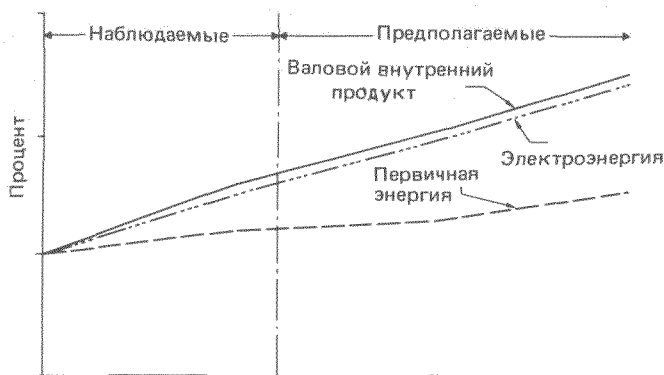
Следует отметить, что в Канаде доля АЭС в производстве электроэнергии составила в 1985 г. 12,7 %, а в ее провинции Онтарио — 42 %. В США доля АЭС достигла 15,5 % от всей произведенной электроэнергии, а в шести штатах страны — свыше 50 % (см. карту и таблицу на стр. 52).

Быстрое увеличение доли ядерной энергетики в мировом обеспечении энергией является результатом заказов на АЭС, которые были размещены в 70-х годах и которые будут еще в течение нескольких лет обеспечивать рост ядерной энергетики. В связи с этим предполагается увеличение ее мощностей к 1990 г. примерно до 370 ГВт (эл.), что составит 20 % от мирового производства электроэнергии, если запланированные проекты не будут аннулироваться или замедляться в их осуществлении.

Безусловно, национальные планы и цели будут пересматриваться и заново обсуждаться в связи с аварией на Чернобыльской станции в СССР. Но несмотря на аварию остаются потребности в энергии и экономические факторы, которые должны способствовать продолжению развития ядерной энергетики в 90-е годы и в следующем столетии. Некоторые из этих факторов и тенденций рассматриваются ниже.

Безусловно, национальные планы и цели будут пересматриваться и заново обсуждаться в связи с аварией на Чернобыльской станции в СССР. Но несмотря на аварию остаются потребности в энергии и экономические факторы, которые должны способствовать продолжению развития ядерной энергетики в 90-е годы и в следующем столетии. Некоторые из этих факторов и тенденций рассматриваются ниже.

Экономические и энергетические тенденции в странах ОЭСР



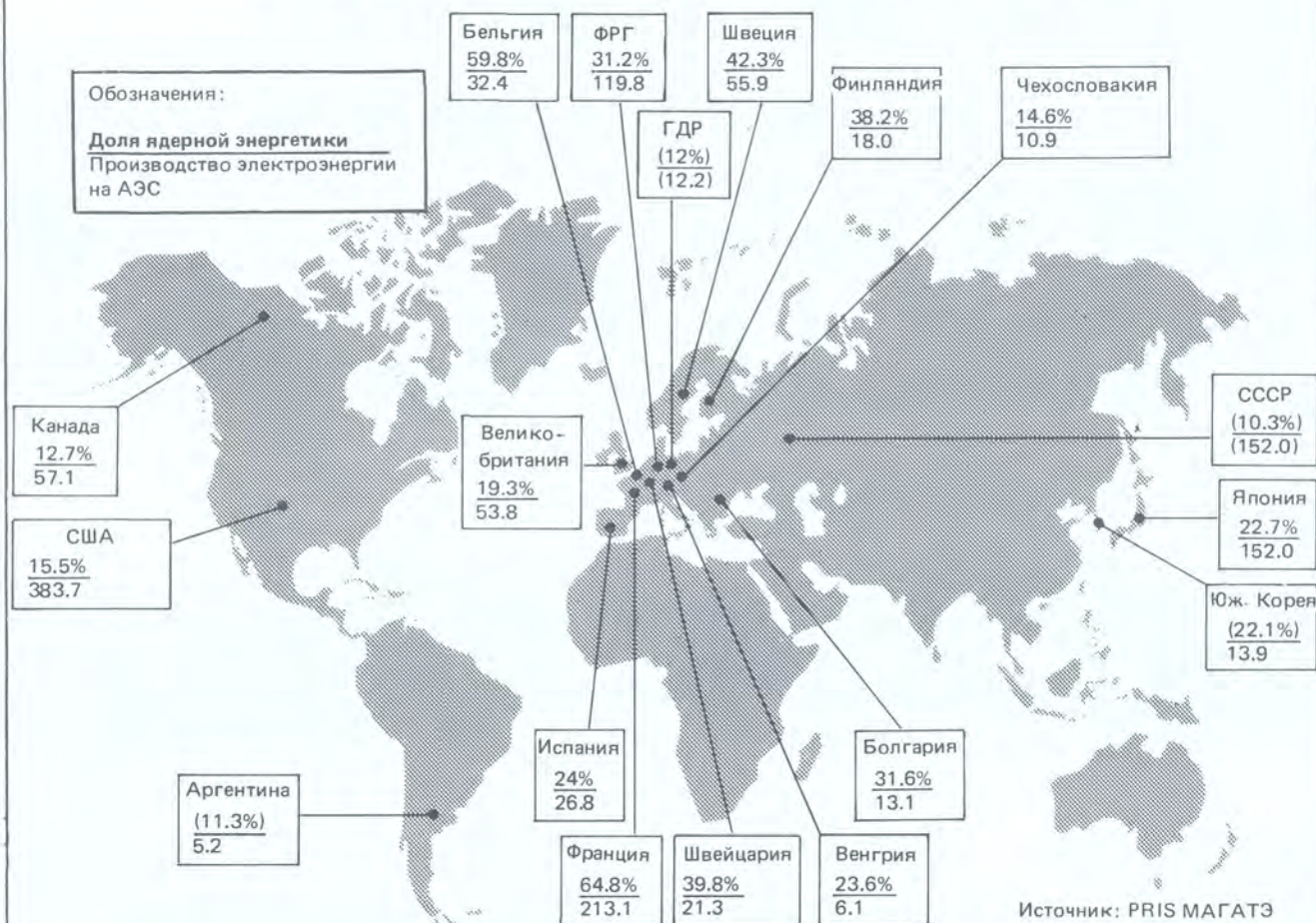
Г-н Беннетт — руководитель Секции экономических исследований, а г-н Скулдсбренд — руководитель Секции реакторной техники Отдела ядерной энергетики МАГАТЭ.

* Гига watt — 10^9 watt; тера watt — 10^{12} watt.

Примечание. Для каждой кривой за 100 % взят 1970 г.

Источник: Банк энергетических и экономических данных МАГАТЭ (EEDR)

Доля ядерной энергетики в производстве электричества во всем мире в 1985 г.



Примечание. Производство электроэнергии на АЭС выражено в тераватт-часах, а доля ядерной энергетики в процентах от общего производства электроэнергии. На Тайване, Китай, производство электроэнергии ядерными реакторами составило 27,3 тераватт-часов или 52 % от общего количества полученной электроэнергии. Цифры, указанные в скобках, — предположения МАГАТЭ.

Виды энергообеспечения

В промышленных странах с рыночной экономикой в настоящее время наблюдается значительный диссонанс потребления первичной энергии с валовым внутренним продуктом (ВВП). Однако имеются четкие указания на важность электричества в сохранении энергии в связи с его более высокой эффективностью в конечном использовании, что практически означает тесную связь спроса на электроэнергию с ВВП. За период 1974–1984 гг. ВВП вырос в странах ОЭСР на 27 %. Этот рост сопровождался незначительным понижением общего потребления первичной энергии и увеличением на 30 % потребления электроэнергии. Это означает, что экономия первичной энергии достигается благодаря сдвигу в конечном использовании, в частности, от нефти к электроэнергии. Предполагается, что эта тенденция будет продолжаться в 90-е годы.

Для отдельных стран результаты оказались еще более удивительными. В 1974 г. Франция в области энергообеспечения на 84 % зависела от импорта. В 1985 г. эта зависимость сократилась до 64 %; электроэнергия достигала 38 % снабжения первичной энергией с долей ядерной энергетики почти в 65 %. Хорошо известно, какое значение придается во Франции ядерной энергетике, а также стабилизации цен на электроэнергию на самом низком в Европе уровне, что служит двигателем национального развития и позволяет сокращать импорт энергии (см. в этом выпуске статью по данному вопросу).

Генерирующие мощности и резервы

Часто указывается на большие резервы генерирующих мощностей, которыми располагают в настоящее время страны ОЭСР. В своем исследова-

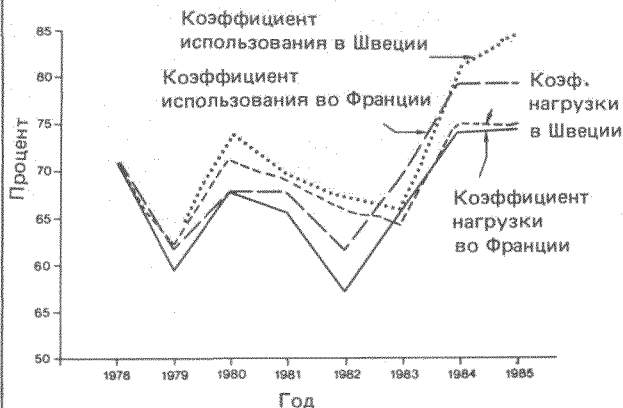
Функционирование и срок службы станции

В докладе МАГАТЭ *Положение дел и тенденции в ядерной энергетике: Выпуск 1985 г.* показано, что классическое представление коэффициента нагрузки как функции срока службы станции по календарным годам является неверным. В частности, использование календарного года не проявляет эффекта зрелости в улучшении рабочих характеристик станции после первоначального периода „встряски“, являющегося нормальным явлением в работе сложных станций, как это видно из прилагаемых данных.

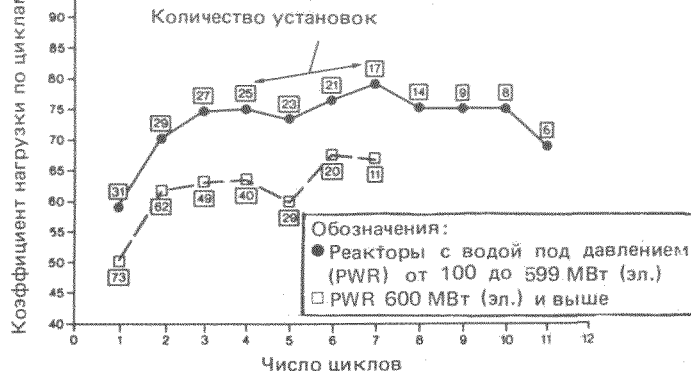
Оператору атомной электростанции следует использовать цикл нагрузки, определяемый как период времени от пуска после запланированной перегрузки топлива и останова на ремонт до конца следующего подобного останова. При использовании цикла нагрузки вместо срока службы по календарным годам эффект нормальной зрелости проявляется четко, как об этом свидетельствуют цифры. Объяснение следует искать в происходящем переходе все большего числа станций от 12-месячных циклов нагрузки к более длительным.

В связи с дискуссиями относительно определения срока службы атомных электростанций и его prolongации озабоченность вызывает падающая часть кривой для небольших реакторов с водой под давлением после 10 лет или после десятого цикла нагрузки. Проводится исследование с целью определить причины такого падения кривой и техническое значение этого явления, особенно в связи с тем, что подобное явление не наблюдается в случае с кипящими реакторами. Одновременно для определения работоспособности станций будет произведена замена коэффициента нагрузки коэффициентом использования.

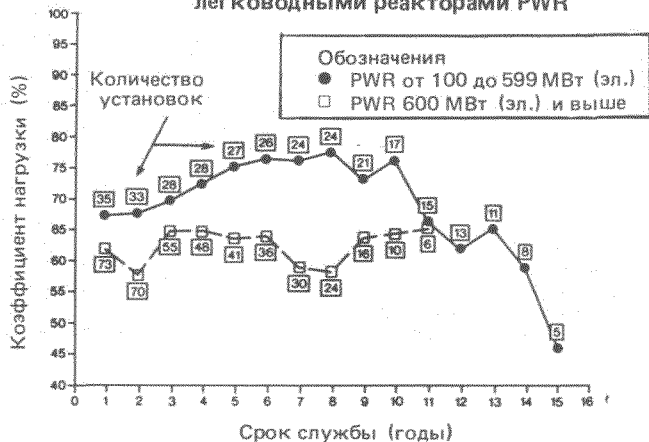
Различия между коэффициентами нагрузки и использования во Франции и в Швеции



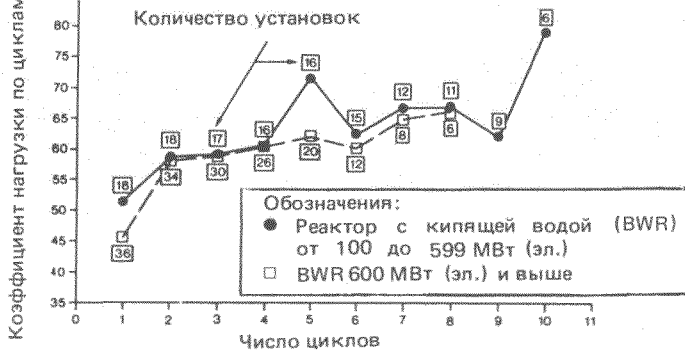
Коэффициент нагрузки и циклы загрузки — легководные реакторы PWR



Коэффициент нагрузки и срок службы станций с легководными реакторами PWR



Коэффициенты нагрузки и циклы загрузки — кипящие реакторы BWR



Источник: PRIS МАГАТЭ

нии, опубликованном в 1985 г., Международное энергетическое агентство (МЭА) в Париже предупреждает, что эти резервы могут быстро исчезнуть во многих странах ОЭСР в 90-е годы и что еще до 1995 г. возможно возникновение нехватки мощностей. Это объясняется тем, что многие из действующих ныне станций работают на нефти и среди них

немало старых и морально устаревших станций. Поэтому можно предположить, что в 90-е годы некоторые из стран ОЭСР окажутся перед необходимостью дальнейшего развития их ядерной энергетики.

В странах-членах Совета экономической взаимопомощи (СЭВ) в Восточной Европе на долю ядерной

энергетики приходится в настоящее время около 10 % производимой ими электроэнергии, а их программы строительства новых атомных электростанций приобретают все большее значение. Примечательно, что на XXVII съезде КПСС были объявлены планы о прибавлении до 1990 г. около 40000 МВт (эл.) ядерных мощностей к уже имеющимся 28000 МВт (эл.).

Авария на Чернобыльской АЭС без сомнения заставит ядерную промышленность всех стран искать дополнительные пути обеспечения безопасности и надежности атомных электростанций. Однако заслуживает внимания заявление СССР о том, что авария не помешает осуществлению планов развития ядерной энергетики в Советском Союзе. Семь глав государств и правительств, встретившихся в мае 1986 г. в Токио, также выразили свое убеждение в том, что управляемая надлежащим образом ядерная энергетика является и будет оставаться широко применяемым источником энергии.* Около 15 % всей производимой в мире электроэнергии получают сегодня на атомных электростанциях, а правительственные органы СССР и лидеры других стран мира придерживаются того мнения, что ядерная энергетика останется важным источником энергии.

Ядерная энергетика в развивающихся странах

В развивающихся странах внедрение ядерной энергетики происходит медленнее, чем ожидалось. В этих странах имеется всего лишь 21 действующая ядерная установка и 18 строящихся, причем половина из них приходится только на две страны: на Индию и на Южную Корею. Безусловно, электрификация в развивающемся мире находится на значительно более низком уровне, но следует предполагать быстрое увеличение установленных генерирующих мощностей. Значение электроэнергии для этих стран проявляется в том, что ее потребление растет не только быстрее потребления первичной энергии, но и значительно быстрее, чем потребление электроэнергии в промышленных странах. Однако следует признать, что между этими странами имеются значительные различия. На десять развивающихся стран приходится в настоящее время 63 % всей производимой в развивающемся мире электроэнергии, и восемь из них имеют программы развития ядерной энергетики.

Время строительства реактора

Имеющийся в Системе информации МАГАТЭ по энергетическим реакторам (PRIS) файл о статусе станций может использоваться для получения дан-

ных о времени строительства атомных электростанций, в данном случае определяемом как период между первой крупной укладкой бетона под станцию и ее включением в энергосистему. Наблюдаются значительные различия между странами в среднем времени строительства и его тенденциями на протяжении последнего десятилетия, как это показано в прилагаемой таблице.

Несмотря на значительные различия в средних сроках строительства необходимо также отметить, что отдельные проекты завершались в очень короткие сроки. За период 1980–1985 гг. около 64 станций были построены менее чем за 7 лет.

Весьма короткие сроки строительства в Японии и Швеции объясняются очень внимательным отношением к осуществлению проекта и использованием новых методов строительства, таких как узловая сборка предприятием на месте и применение очень крупных грузоподъемных кранов в Японии. Некоторые из этих строительных методов могут также при приемлемых расходах повысить гарантию качества.

Работоспособность атомных электростанций

Последние тенденции в эксплуатационной готовности атомных электростанций в общем совпадают с теми, которые указаны в докладе МАГАТЭ за 1985 г. о положении дел и тенденциях в ядерной энергетике, что подтверждает содержащиеся в этом докладе важные соображения по обеспечению надлежащей работоспособности АЭС:

- Степень стандартизации при проектировании и строительстве
- Применяемые стандарты гарантирования качества
- Условия регламентации
- Компетентность организаций, эксплуатирующих станции

Средняя эксплуатационная готовность и тенденции в период 1977–1985 гг. показаны в прилагаемых данных по странам и энергетическим фирмам и свидетельствуют об устойчивом хорошем или постоянно улучшающемся функционировании АЭС. Эти данные как бы подтверждают, что там, где ранее достигли хорошего функционирования АЭС, оно и продолжает оставаться таким, а там, где добились улучшения в их функционировании, такое положение также остается без изменений.

Наблюдаемое в Канаде очевидное ухудшение функционирования АЭС объясняется частично средней неработоспособностью, обусловленной внешними причинами (забастовки и ураганы) и достигшей в 1985 г. 4,2 %. Другим фактором, оказавшим влияние на работоспособность станций, является замена трубопроводов на установках Пикеринг 1 и 2, которые были остановлены из-за этого на весь 1985 г.

Следует отметить и некоторые достижения в обеспечении эксплуатационной готовности АЭС:

- В Бельгии средний коэффициент использования 87,4 % был достигнут на семи коммерческих станциях, две из которых работают с сентября 1985 г.

* Были представлены следующие страны: Великобритания, Италия, Канада, США, Федеративная Республика Германии, Франция и Япония.

Специальные сообщения

Коэффициенты использования атомных электростанций по странам (в процентах)

Страна	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
Аргентина	51,9	96,9	85,3	74,1	90,2	59,8	80,3	98,7	93,2
Бельгия	77,6	81,9	74,2	81,5	83,9	82,0	77,7	86,8	87,4
Болгария	76,6	78,4	80,2	79,6	82,0	87,2	89,7	88,1	89,8
Канада	87,3	79,5	81,2	83,7	90,2	86,9	86,3	76,5	70,4
Финляндия		79,0	81,8	60,3	81,3	83,5	86,9	90,3	90,1
Франция	73,4	70,2	64,5	66,4	65,0	62,2	70,3	80,1	77,9
ФРГ	65,0	59,4	57,1	61,0	67,9	69,4	71,7	81,0	85,4
Чехословакия				73,9	65,9	77,8	82,0	83,9	72,2
Швейцария	86,6	89,3	87,7	80,0	84,6	84,4	87,1	89,4	84,2
Швеция	58,7	70,6	62,2	73,3	72,3	67,3	72,4	81,1	84,7
Япония	38,1	51,7	48,6	61,4	60,5	68,3	70,1	71,1	72,5

Коэффициенты использования атомных электростанций по энергетическим фирмам (в процентах)

Фирма	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
BG&E (США)	69,0	69,9	68,1	76,3	79,9	71,8	80,9	79,8	69,0
BKW (Швейцария)	86,7	88,0	88,3	88,5	89,5	93,3	89,8	88,3	88,2
EBES (Бельгия)	78,2	79,2	81,4	81,9	83,6	83,3	78,2	84,1	92,8
INTERCOM (Бельгия)	77,1	83,8	67,7	80,8	84,2	80,9	76,7	85,1	82,3
NOK (Швейцария)	86,6	90,0	87,4	84,7	87,1	86,3	87,3	88,8	85,8
NSP (США)	81,8	85,4	85,3	74,2	75,6	76,2	87,8	62,2	85,9
ОН (Канада)	87,3	79,5	81,2	83,9	90,2	86,9	86,3	74,9	68,4
OKG (Швеция)	66,8	77,7	73,5	82,7	76,0	81,3	84,5	87,4	80,3
SYDKRAFT (Швеция)	54,2	77,6	61,9	76,1	82,3	89,4	81,8	81,7	95,7

BG&E = Baltimore Gas & Electric

BKW = Bernische Kraftwerke AG

EBES = Sociétés réunies d'énergie du bassin de l'escaut sa

INTERCOM = Société intercommunale Belge de gas et d'électricité

NOK = Nordostschweizerische Kraftwerke AG

NSP = Northern States Power

ОН = Ontario Hydro

OKG = Oskarshamnsværkets Kraftgrupp AB

SYDKRAFT = Sydsvenska Kraftaktiebolaget

Время строительства реакторов

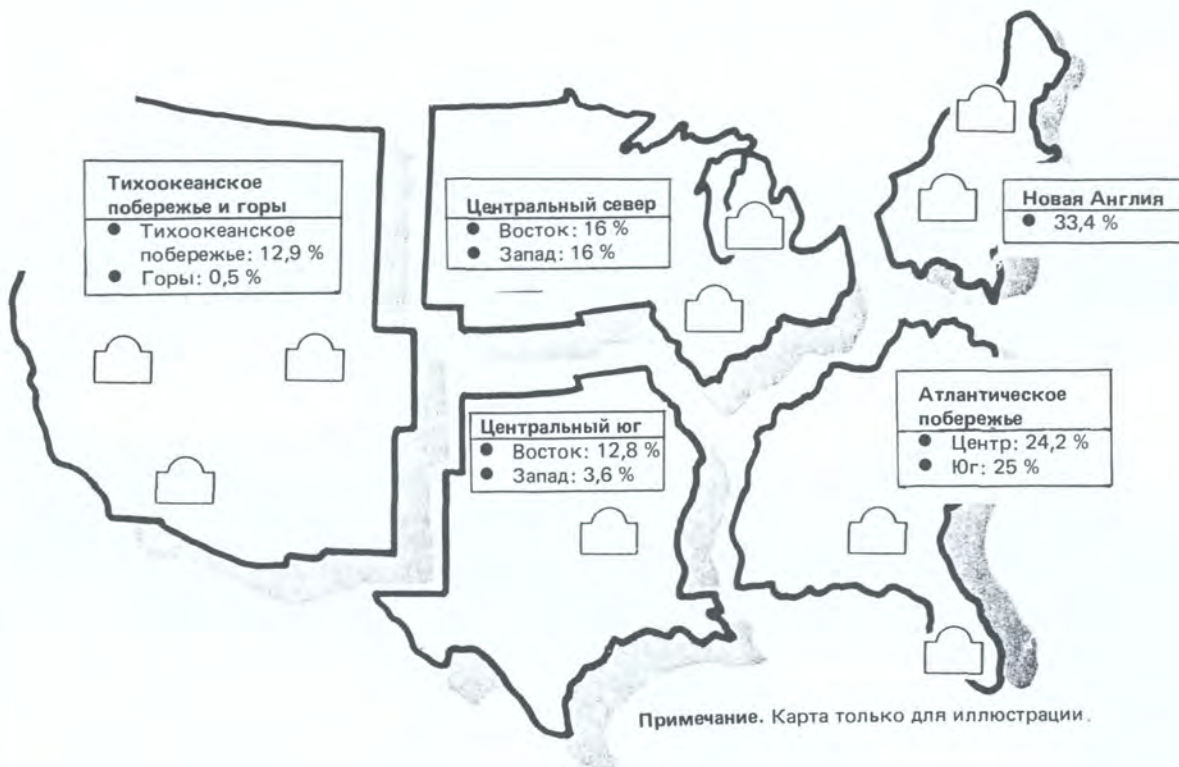
Страна	Год включения в энергосистему					
	До 1979 г.		1980—1985 гг.		С 1986 г.	
	кол-во установок	среднее кол-во месяцев	кол-во установок	среднее кол-во месяцев	кол-во установок	среднее кол-во месяцев
Бельгия	3	58	4	86		
Испания	3	50	5	113	2	101
Канада	8	72	7	98	7	87
СССР	14	69	19	96	31	81
США	63	68	27	127	26	151
Финляндия	2	62	2	76		
Франция	11	63	31	66	19	79
ФРГ	10	63	6	97	6	81
Чехословакия	1	56	4	87	11	99
Швейцария	4	51	1	124		
Швеция	6	56	6	81		
Южная Корея	1	81	3	73	5	76
Япония	21	52	11	52	14	69

Примечание. В таблице учитываются только непрототипные реакторы мощностью свыше или равной 100 МВт (эл.). Включены также запланированные в настоящее время и строящиеся реакторы. Остановленные реакторы не включены. На 55 реакторов МАГАТЭ не получило данных о времени строительства или включения в энергосистему.

Источник: PRIS МАГАТЭ.

Производство ядерной электроэнергии в США: 1985 г.

В США 31 штат располагает ядерными генерирующими мощностями. Таблица показывает долю электроэнергии, полученной в этих штатах на АЭС в 1985 г; карта же показывает ее по районам. Данные приводятся в процентах от общего количества киловатт-часов. Однако эти данные не обязательно показывают именно то количество электроэнергии, которое фактически потреблено в данном штате или районе, поскольку в некоторых случаях часть электроэнергии, произведенной атомными электростанциями одного штата, продается и используется потребителями другого штата.



Доля производства электроэнергии на АЭС в США по штатам

Вермонт	71,7 %	Мэриленд	30,7 %	Нью-Йорк	21,6 %	Канзас	14,0 %
Южная Каролина	59,4 %	Арканзас	27,8 %	Алабама	19,7 %	Миссури	14,0 %
Мэн	58,6 %	Висконсин	26,7 %	Пенсильвания	19,4 %	Джорджия	12,5 %
Виргиния	53,0 %	Небраска	25,9 %	Мичиган	18,1 %	Вашингтон	8,6 %
Нью-Джерси	51,7 %	Северная		Массачусетс	16,9 %	Айова	8,2 %
Коннектикут	50,4 %	Каролина	25,9 %	Калифорния	15,4 %	Луизиана	5,5 %
Иллинойс	37,7 %	Флорида	24,3 %	Теннесси	14,5 %	Аризона	2,4 %
Миннесота	37,4 %	Миссисипи	22,6 %	Орегон	14,3 %	Огайо	1,8 %

Источник: Данные INFO, AIF, апрель 1986 г.

- В Финляндии этот коэффициент достигает 90 %. Запланированные на 1985 г. остановки были рассчитаны в среднем на 22 дня для каждого реактора

- Франция сохраняет высокий по стране коэффициент использования 78 %. Особенно хорошо функционировали в 1985 г. станции мощностью 900 МВт (эл.) с коэффициентом использования 81 %

- В Федеративной Республике Германии средний коэффициент использования достиг в 1985 г. 85,4 % благодаря сокращению запланированных остановов на 3,5 % и незапланированных — на 1,5 %

- В Японии заметный рост эксплуатационной готовности АЭС позволил достичь среднего коэффициента использования в 72,5 % вопреки требованиям ежегодной регламентационной инспекции, установившей плановую неработоспособность в 26–27 %. Неплановая неработоспособность равнялась в среднем 1,5 %. Примечательно, что некоторые японские энергетические фирмы намерены сократить планируемые ежегодные остановки с 90–100 до 65 дней. Частота быстрых остановов продолжает оставаться очень низкой — 0,2 % на каждый реактор в год

- В Швеции коэффициент использования увеличился до 84,7 %

- В Южной Корее реактор KN-2 установил в 1985 г. рекорд, проработав 214 дней на полной мощности



Рабочие на линиях электропередачи (фото EPRI)



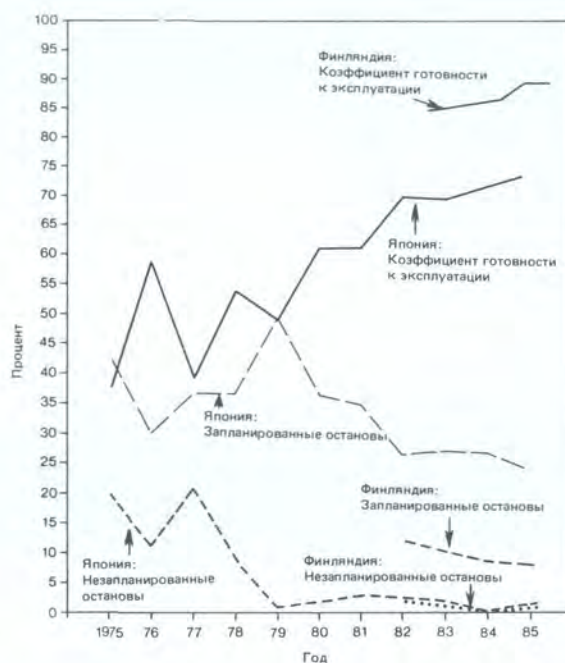
Данные картотеки

Более подробные данные Системы информации МАГАТЭ по энергетическим реакторам (PRIS) опубликованы в журнале *Энергетические реакторы мира* (апрельский выпуск 1986 г.), который можно получить в Отделе публикаций, Австрия, Вена, А-1400.

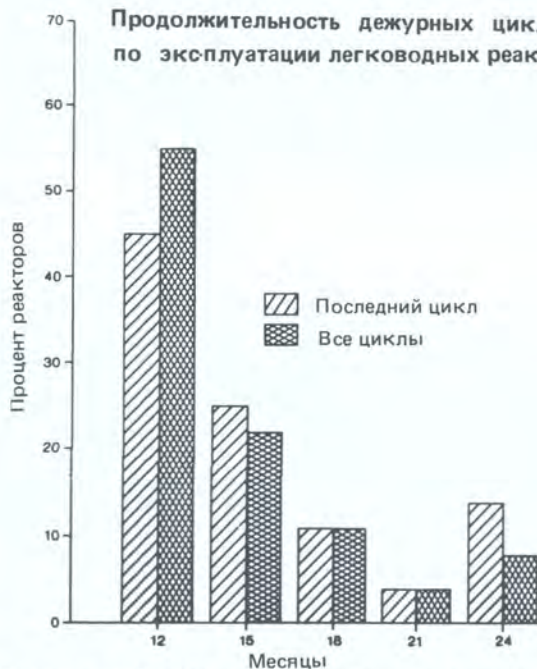
Количество электроэнергии, произведенной ядерной энергетикой, количество всей произведенной электроэнергии в европейских странах ОЭСР, 1950–1985 гг.



Коэффициент готовности к эксплуатации

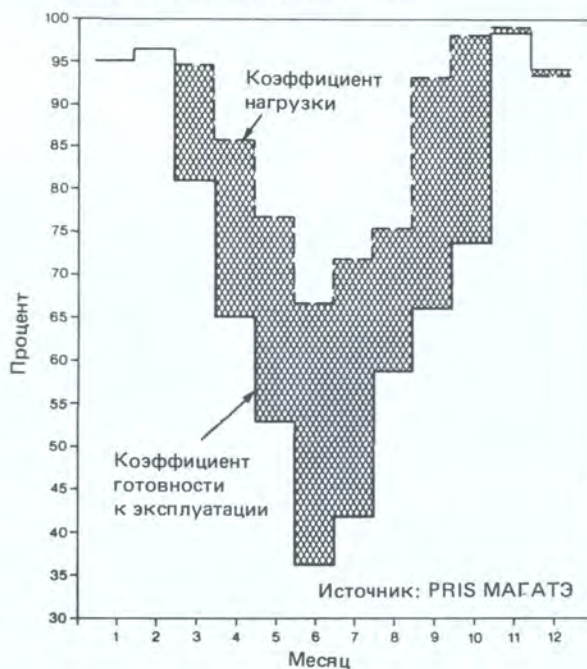


Продолжительность дежурных циклов по эксплуатации легководных реакторов



Примечание. Первый дежурный цикл исключается. Данные приводятся по легководным реакторам, введенным в эксплуатацию в 1984 г. Дежурный цикл определяется как период от пуска реактора после останова для запланированной перегрузки топлива и ремонтных работ до конца следующего такого останова.

Швеция: коэффициент нагрузки и коэффициент готовности к эксплуатации в 1985 г.



Источник: PRIS МАГАТЭ