

**Только для официального пользования**

Пункт 13 предварительной повестки дня Конференции  
(GC(52)/1)

## Международное состояние и перспективы ядерной энергетики

*Доклад Генерального директора*

### Резюме

- В резолюциях GC(50)/RES/13 и GC(51)/RES/14 Генеральной конференции содержится предложение о том, чтобы Секретариат представлял на двухгодичной основе, начиная с 2008 года, отдельный всеобъемлющий доклад о международном состоянии и перспективах ядерной энергетики. Этот доклад с необходимыми обновлениями будет также представлен в качестве отдельного приложения к *Обзору ядерных технологий – 2009*.

## Содержание

Краткое резюме .....	1
Введение.....	1
Состояние ядерной энергетики в государствах-членах.....	1
Перспективы дальнейшего использования ядерной энергии.....	2
Проблемы в связи с развитием ядерной отрасли .....	2
A.    Введение .....	4
B.    Современное состояние ядерной энергетики.....	4
B.1. Использование ядерной энергии.....	4
B.2. Имеющиеся технологии реакторов.....	8
B.3. Кадровые ресурсы .....	11
B.4. Деятельность в области топливного цикла .....	11
B.5. Обращение с радиоактивными отходами и снятие с эксплуатации .....	13
B.6. Промышленные мощности .....	14
B.7. Неэлектрические применения .....	15
C.    Перспективы дальнейшего использования ядерной энергии .....	16
C.1. Перспективы в странах, уже использующих ядерную энергетику.....	16
C.2. Перспективы в странах, изучающих вопрос о внедрении ядерной энергии.....	17
C.3. Региональное сотрудничество .....	18
C.4. Потенциальные стимулы для внедрения ядерной энергетики .....	18
C.5. Прогнозы развития ядерной энергетики .....	20
C.6. Ожидания, связанные с неэлектрическими применениями ядерной энергии, и их потенциал .....	22
D.    Проблемы в связи с развитием ядерной отрасли .....	24
D.1. Основные вопросы и тенденции в связи с развитием ядерной отрасли в краткосрочной перспективе .....	24
D.1.1. Безопасность и надежность .....	24
D.1.2. Экономическая конкурентоспособность и финансирование .....	24
D.1.3. Общественное восприятие.....	25
D.1.4. Людские ресурсы.....	26
D.1.5. Обращение с отработавшим топливом и отходами .....	26
D.1.6. Перевозка .....	27
D.1.7. Риски распространения и физическая ядерная безопасность .....	28
D.1.8. Создание инфраструктуры в новых ядерных странах .....	28
D.1.9. Взаимосвязь между энергосистемами и реакторной технологией .....	29
D.2. Основные вопросы, связанные с долгосрочным развитием ядерной отрасли.....	29
D.2.1. Эффективное использование имеющихся ресурсов .....	30
D.2.2. Разработка инновационных конструкций реакторов.....	30
D.2.3. Инновации в области топливного цикла.....	31
E.    Развитие реакторной технологии и технологии топливного цикла .....	31
E.1. Развитие технологии ядерных реакторов и вспомогательных технологий.....	31
E.1.1. Эволюционное развитие.....	32
E.1.2. Будущие инновации.....	35
E.2. Развитие технологии ядерного топливного цикла и вспомогательных технологий .....	36
E.2.1. Развитие технологии ядерного топливного цикла.....	36
E.2.2. Будущие инновации.....	36
E.3. Неэлектрические применения.....	37
F.    Сотрудничество, связанное с расширением использования ядерной энергии и техническим развитием .....	38

# Международное состояние и перспективы ядерной энергетики

*Доклад Генерального директора*

## Краткое резюме

### Введение

1. Настоящий доклад подготовлен в ответ на предложение государств-членов, высказанное в резолюциях GC(50)/RES/13 и GC(51)/RES/14, о том, чтобы Секретариат представлял на двухгодичной основе, начиная с 2008 года, отдельный всеобъемлющий доклад о международном состоянии и перспективах ядерной энергетики.

### Состояние ядерной энергетики в государствах-членах

2. Атомные электростанции (АЭС) используются главным образом для производства электроэнергии. В настоящее время 439 реакторов эксплуатируются в 30 странах, и на их долю приходится приблизительно 14% глобального производства электроэнергии. Доля ядерной энергетики в глобальном производстве электроэнергии немного снизилась в последние годы. Однако общий объем производства электроэнергии на АЭС увеличивается по мере того, как обеспечение эксплуатационной готовности станций, повышение их мощности и строительство новых станций компенсируют потери, обусловленные остановом станций старшего поколения. Ввиду экономических выгод продолжения эксплуатации станции после возмещения капитальных затрат и в результате проведения тщательных оценок управления жизненным циклом станции, лицензии на эксплуатацию ряда реакторов были продлены еще на 20 лет.

3. В настоящее время наиболее широко используются легководные реакторы (LWR), за ними следуют корпусные тяжеловодные реакторы и газоохлаждаемые реакторы. Хотя быстрые реакторы находятся в стадии разработки с 1950-х годов, в настоящее время эксплуатируются лишь демонстрационные установки.

4. Безопасность и надежность ядерных установок стабильно повышается. Установление прочных сетевых связей между странами, эксплуатирующими АЭС, позволило операторам усваивать опыт друг друга и решать общие проблемы. Усилия, предпринимаемые в настоящее время, постоянно укрепляют культуру безопасности и регулирующий надзор.

5. Осуществляемые в настоящее время поставки урана удовлетворяют спрос. Имеющиеся мощности обогащения и изготовления топлива достаточны для удовлетворения ожидаемого спроса в следующем десятилетии. Накоплен также значительный опыт хранения и переработки отработавшего топлива и обращения с высокоактивными отходами. Существующие мощности переработки достаточны для удовлетворения нынешнего спроса. Большинство отработавшего топлива, однако, продолжает оставаться в хранилищах в ожидании принятия решения относительно будущей политики, т.е. необходимо ли его перерабатывать и рециклировать или же захоранивать в качестве отходов. На сегодняшний день нет установок для окончательного захоронения.

6. В настоящее время только несколько стран используют гражданскую ядерную энергию в иных целях, чем производство электроэнергии, – главным образом для опреснения морской воды и централизованного теплоснабжения – и то лишь в ограниченных масштабах.

## **Перспективы дальнейшего использования ядерной энергии**

7. Глобальные энергетические потребности и доля электроэнергии в общем потреблении энергии быстро растут, и, согласно прогнозам, вклад ядерной энергетики значительно увеличится. Из 30 стран, использующих в настоящее время ядерную энергетику для производства электроэнергии, 24 страны намерены разрешить строительство новых станций, и большинство из них активно выступают за расширение использования ядерной энергетики, при этом некоторые из них обеспечивают стимулы. Большинство этих стран, как ожидается, построят реакторы с производственной мощностью более 1000 МВт (эл.).

8. Кроме того, все большее число стран выражает заинтересованность во внедрении ядерной энергетики. Такую заинтересованность в последние годы выразили свыше 40 стран, из них более 20 активно рассматривают вопрос о разработке ядерно-энергетических программ с целью удовлетворения своих энергетических потребностей, а другие выразили заинтересованность в понимании вопросов, связанных с внедрением ядерной энергетики.

9. Движущими силами растущих ожиданий, возлагаемых на ядерную энергетику, являются: увеличение спроса на энергию, обеспокоенность национальной безопасностью энергоснабжения, усиление колебаний цен на органическое топливо и наличие глобальных экологических проблем. Эти движущие силы, как представляется, одинаковы как для стран, расширяющих существующие ядерные программы, так и для стран, стремящихся к их внедрению.

10. Прогнозы, сделанные различными международными организациями, указывают на значительное расширение использования ядерной энергетики. Прогнозы Агентства указывают на то, что суммарные мировые мощности производства электроэнергии составят от 437 до 542 ГВт (эл.) к 2020 году и от 473 до 748 ГВт (эл.) к 2030 году. Согласно как высокому, так и низкому прогнозам, наибольший рост в следующие 20 лет ожидается в странах с существующими ядерно-энергетическими программами. Все прогнозы, сделанные Агентством и другими организациями, имеют высокую степень неопределенности.

11. Использование ядерной энергетики в применениях, не связанных с производством электроэнергии, может расширяться в будущем в таких областях, как опреснение морской воды, централизованное теплоснабжение, применение технологического тепла в производственных целях и для ожижения угля, а также производство водорода. Вклад ядерной энергетики в сокращение выбросов парниковых газов может увеличиться посредством ее косвенного содействия транспортным перевозкам с использованием электромобилей и электропоездов.

## **Проблемы в связи с развитием ядерной отрасли**

12. Перспективы роста и развития ядерной энергетики зависят от решения ряда проблем, которые включают:

- продолжение усердных усилий по обеспечению безопасности и надежности ядерных установок;
- повышение экономической конкурентоспособности;
- достижение и сохранение доверия населения к ядерной энергетике;
- сохранение и повышение компетентности кадровых ресурсов;
- продолжение успешного обращения с отработавшим топливом и радиоактивными отходами
- демонстрация успешных результатов окончательного захоронения отработавшего топлива и высокоактивных отходов;
- обращение с ядерным топливом и принятие его перевозки;
- поддержание доверия к ядерному нераспространению и физической ядерной безопасности;
- создание приемлемой инфраструктуры в странах, внедряющих ядерную энергетику;

- обеспечение разработки апробированных проектов реакторов, подходящих для конкретных стран;
- эффективное и устойчивое использование ресурсов в долгосрочной перспективе.

13. Производственные мощности ядерных поставщиков в целом уменьшились за прошедшие 20 лет. Не только сократилось число проектировщиков реакторов, и уменьшился выбор реакторов, но и стало меньше инженеров-архитекторов и проектных организаций, обладающих опытом осуществления крупных ядерно-энергетических проектов. Трудности, связанные с набором, обучением и подготовкой персонала и приобретением опыта, необходимого для поддержки роста и развития ядерной отрасли, могут ограничить планы расширения даже в тех некоторых странах, которые имеют утвердившиеся ядерные программы.

14. Многие страны, выражающие заинтересованность во внедрении ядерной энергетики, в настоящее время не имеют необходимой инфраструктуры. Им могут понадобиться значительное время и значительные ресурсы для приобретения надлежащей компетентности для внедрения ядерных установок. Будущие вызовы могут включать внесение институциональных инноваций и усовершенствований в порядок функционирования отрасли, включая возможность обмена информацией об одобрении лицензий на проекты, совместное использование региональной ядерной инфраструктуры, в том числе установок топливного цикла и международных хранилищ.

15. Эффективность использования ресурсов и топлива может быть повышена посредством внедрения быстрых реакторов и закрытого топливного цикла. В рамках этой системы уран и плутоний рециклируются из отработавшего топлива, и улучшается использование урановых ресурсов, а также сокращается содержание долгоживущих радиоактивных нуклидов в отходах. В некоторых странах сохраняются опасения по поводу рисков распространения и потенциальных экологических рисков, связанных с такими стратегиями.

16. Большинство стран, заинтересованных во внедрении своей первой АЭС, желают утверждать апробированные проекты. Большое число стран, заинтересованных во внедрении ядерной энергетики, в настоящее время имеют энергосети, слишком малые для развертывания имеющихся в наличии реакторов большой (1000 МВт (эл.) или выше) мощности.

17. Ключевыми целями разработки эволюционных конструкций реакторов являются обеспечение повышенной надежности и безопасности, внедрение современных технологий, сокращение периода строительства, уменьшение капитальных затрат и облегчение процесса выдачи лицензии и выбора площадки. В ближайшей перспективе большинство новых ядерных установок будут иметь эволюционные конструкции. В более долгосрочной перспективе ожидается, что сроки строительства реакторов эволюционных конструкций будут сокращены и капитальные затраты уменьшатся, а также будут применяться новые стратегии в отношении топливного цикла и обращения с отходами.

18. Международное сотрудничество может помочь компенсировать затраты на развитие технологии, в особенности для инновационных систем и систем, которые будут разработаны в более долгосрочной перспективе. В рамках двух крупных международных мероприятий – Международного форума "Поколение-IV" (МФП) и Международного проекта по инновационным ядерным реакторам и топливным циклам (ИНПРО) – участвующим государствам-членам оказывается помощь в оценке разработок новых технологий и определении жизнеспособности ядерно-энергетического варианта и его места в их будущей структуре энергопроизводства.

19. Предполагается, что в результате осуществления инициативы Российской Федерации по развитию глобальной инфраструктуры ядерной энергетики (ГИЯЭ) с Международным центром по обогащению урана в Ангарске, в качестве первого шага, а также инициативы США в отношении Глобального партнерства в области ядерной энергии (ГПЯЭ) будет установлена связь между государствами, которые разделяют общее видение необходимости расширения безопасного и надежного использования ядерной энергии в мирных целях на всей планете.

## **А. Введение**

20. В настоящем докладе дается краткий обзор современного положения дел в отношении использования ядерной энергии в мире, имеющихся в настоящее время технологий АЭС и вспомогательного топливного цикла.

21. В нем дается также обзор перспектив будущего применения ядерной энергии на основе имеющейся у Агентства информации о намерениях стран в отношении применения ими ядерной энергии.

22. Приводится описание трудностей, с которыми приходится сталкиваться странам, обладающим и планирующим обладать ядерно-энергетическим потенциалом, а также некоторых вопросов, которые могут способствовать будущему использованию ядерной энергетики, после чего дается описание достижений в технологиях реакторов и топливного цикла, помогающих преодолеть эти трудности.

23. Данный доклад был подготовлен в ответ на поступившее от государств-членов на 50-й сессии Генеральной конференции и вновь подчеркнутое на 51-й сессии Генеральной конференции предложение к "Секретариату ... представлять на двухгодичной основе, начиная с 2008 года, всеобъемлющий доклад о международном состоянии и перспективах ядерной энергетики" (резолюция GC(51)/RES/14).

## **В. Современное состояние ядерной энергетики**

### **В.1. Использование ядерной энергии**

24. В настоящее время использование ядерной энергии обеспечивает примерно 14% мирового электроснабжения и примерно 6% общего мирового энергопотребления.

25. Увеличивается как общий объем производимой энергии, так и объем энергопотребления в расчете на душу населения. Общие мировые потребности в энергии возросли за период с 1970 по 2006 год в 2,5 раза – с 6181 до 15 311 ГВт·год (со 195 до 483 эксаджоулей)<sup>1</sup>. В течение последних десятилетий возросла также доля электроэнергии в общем объеме производимой энергии.

26. На рис. В-1 показана доля различных источников энергии в глобальном энергетическом балансе за этот период. Доля ядерной энергии увеличилась с чуть ниже 0,5% в 1970 году до более 7% в 90-е годы прошлого века и сократилась к 2006 году до 6%. Доминирующим источником энергии остаются органические виды топлива.

---

<sup>1</sup> Один эксаджоуль равен  $2,78 \times 10^5$  ГВт·ч или 31,7 ГВт·год.

27. Ядерная энергетика используется для производства электричества для населения с 1954 года. С этого времени АЭС работали в 32 странах<sup>2</sup>. В настоящее время в 30 странах эксплуатируется 439 АЭС с суммарной мощностью 372 ГВт (эл.). Кроме того, ведется строительство 34 энергоблоков суммарной мощностью 28 ГВт (эл.) (по состоянию на 26 июня 2008 года). В течение 2007 года на АЭС было выработано 2608 млрд. кВт·ч. электроэнергии. Общий опыт эксплуатации в отрасли насчитывает 13 000 реакторо-лет.

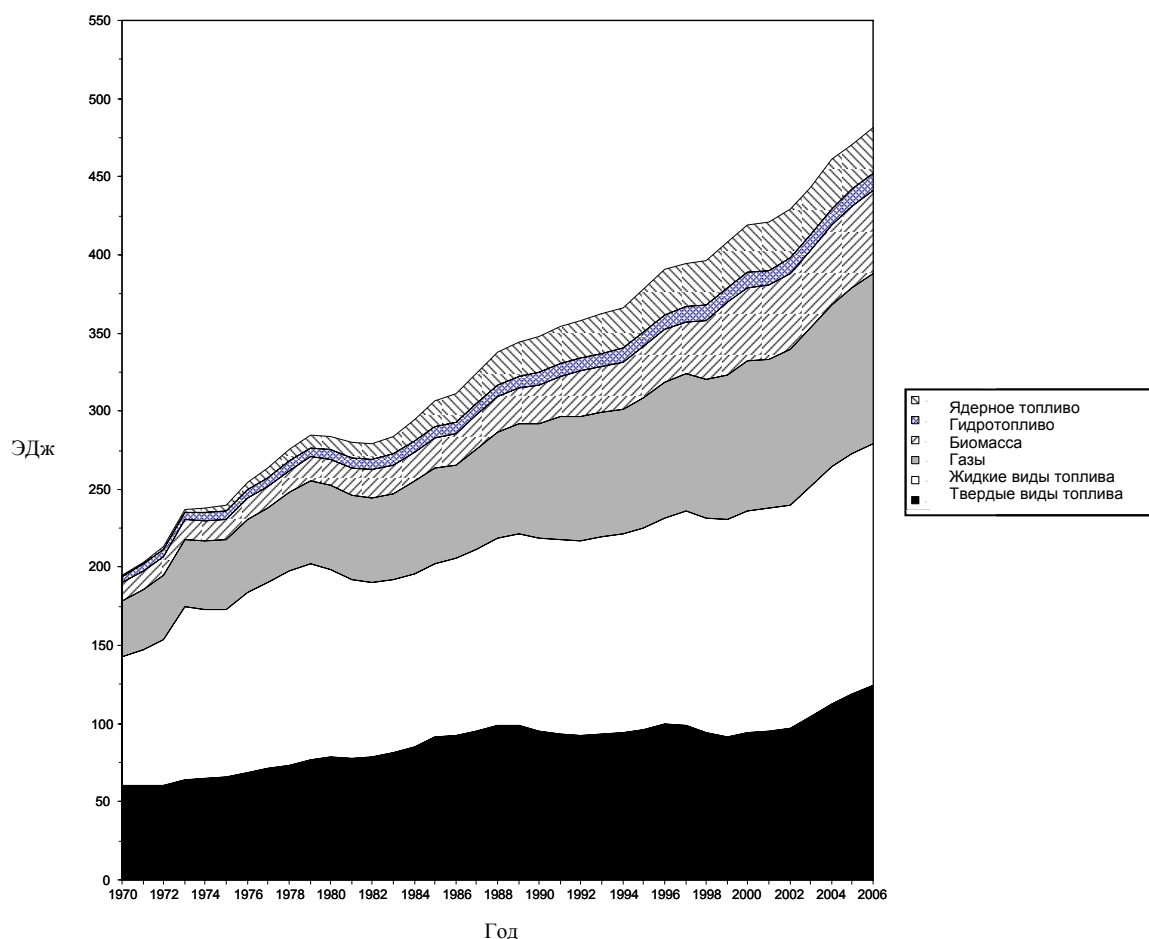


РИС. В-1. Доля источников энергии в общем мировом объеме производства энергии, 1970-2006 годы

<sup>2</sup> В Аргентине, Армении, Бельгии, Болгарии, Бразилии, Венгрии, Германии, Индии, Испании, Италии, Казахстане, Канаде, Китае, Литве, Мексике, Нидерландах, Пакистане, Республике Корея, Российской Федерации, Румынии, Словакии, Словении, Соединенном Королевстве, Соединенных Штатах Америки, Украине, Финляндии, Франции, Чешской Республике, Швейцарии, Швеции, Южной Африке и Японии.

Таблица В-1. Потребление (ЭДж) различных видов топлива для производства электроэнергии и их процентная доля (%) в 2006 году

Регион	Тепловые а)		Гидро-топливо		Ядерное топливо		Возобновляемые виды б)		Всего	
	Потребление (ЭДж)	%	Потребление (ЭДж)	%	Потребление (ЭДж)	%	Потребление (ЭДж)	%	Потребление (ЭДж)	%
Северная Америка	22,21	65,71	2,43	14,53	9,61	18,99	0,63	0,77	34,87	100,00
Латинская Америка	4,42	38,28	2,46	58,31	0,33	2,61	0,32	0,81	7,54	100,00
Западная Европа	15,56	52,32	1,72	15,86	9,56	29,14	0,53	2,68	27,37	100,00
Восточная Европа	17,36	64,95	1,12	17,21	3,51	17,80	0,02	0,05	22,01	100,00
Африка	4,89	80,01	0,35	17,74	0,11	1,84	0,04	0,41	5,4	100,00
Средний Восток и Южная Азия	14,42	82,42	0,64	15,51	0,20	1,57	0,02	0,50	15,28	100,00
Юго-Восточная Азия и Тихий океан	5,81	88,17	0,26	10,73			0,21	1,10	6,28	100,00
Дальний Восток	32,61	75,65	2,04	12,50	5,70	11,52	0,47	0,33	40,83	100,00
<b>Всего в мире</b>	<b>117,27</b>	<b>66,46</b>	<b>11,02</b>	<b>17,46</b>	<b>29,03</b>	<b>15,18</b>	<b>2,26</b>	<b>0,89</b>	<b>159,83</b>	<b>100,00</b>

Примечания: а) В столбце "Тепловые" объединены твердые и жидкие виды топлива, газы, биомасса и отходы.

б) В столбце "Возобновляемые виды" объединены ресурсы, использующие геотермальную энергию, энергию ветра, солнечную энергию и приливную энергию.

28. Доля ядерной энергии в суммарном производстве электроэнергии существенно меняется в зависимости от региона (таблицы В-1 и В-2). В Западной Европе выработка электроэнергии на АЭС составляет почти 30% всей электроэнергии. В Северной Америке и Восточной Европе она составляет примерно 18%, а в Африке и Латинской Америке – 1,8% и 2,6% соответственно. На Дальнем Востоке доля ядерной энергии в производстве электроэнергии составляет 11,5%, а на Среднем Востоке и в Южной Азии она составляет 1,6%<sup>3</sup>. Потребление ядерной энергии сконцентрировано в развитых в технологическом отношении странах.

Таблица В-2. Количество ядерно-энергетических реакторов в мире (на конец 2007 года)

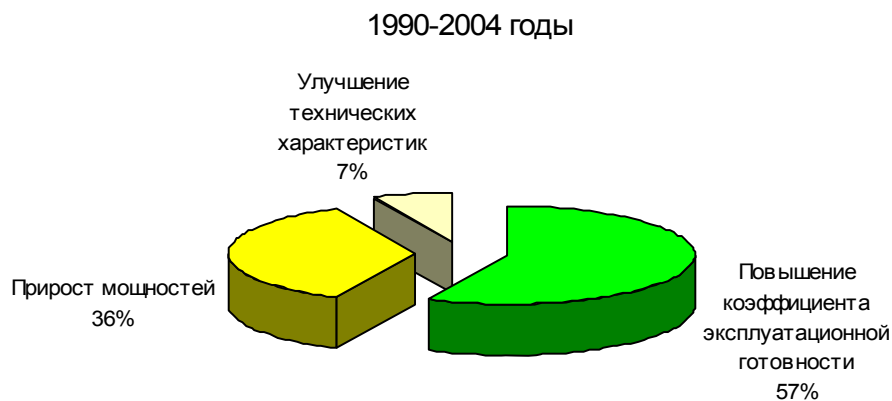
Регион	В эксплуатации		В стадии строительства		Выработка электроэнергии на АЭС в 2007 г. (ТВт·ч)
	Число реакторов	Полезная мощность МВт (эл.)	Число реакторов	Полезная мощность МВт (эл.)	
Северная Америка	122	113 171	1	1 165	895
Латинская Америка	6	4 090	1	692	28
Западная Европа	130	122 638	2	3 200	827
Восточная Европа	68	47 765	10	7 445	325
Африка	2	1 800			13
Средний Восток и Южная Азия	19	4 207	8	4 125	18
Дальний Восток	92	78 531	11	10 566	502
<b>Всего в мире</b>	<b>439</b>	<b>372 202</b>	<b>33</b>	<b>27 193</b>	<b>2 608</b>

<sup>3</sup> В регионе Юго-Восточной Азии и Тихого океана АЭС нет, поэтому данных о доле АЭС в выработке электроэнергии по этому региону не приводится.



29. За период 1990-2004 годов общее увеличение выработки электроэнергии на АЭС составило примерно 714 ТВт·ч (приблизительно 40%), что объясняется сочетанием трех факторов: повышением коэффициента эксплуатационной готовности существующих станций, строительством новых станций и улучшением технических характеристик существующих АЭС. Главную роль в увеличении сыграли повысившиеся коэффициенты эксплуатационной готовности (повышение с 72,3% до 83,2%), на которые приходится 57% роста. Следующий по значению фактор – это новое строительство (36%), и наконец, улучшение технических характеристик (7%) (рис. В-2).

30. Со времени аварии в Чернобыле показатели безопасности отрасли существенно улучшились<sup>4</sup>. Незапланированное число автоматических остановов уменьшилось с 1,8 за каждые 7000 часов в критическом режиме в 1990 году до 0,55 за каждые 7000 часов в критическом режиме в 2007 году<sup>5</sup>. Повышение коэффициента эксплуатационной готовности и показателей безопасности отчасти объясняется расширением обмена информацией об образцовой практике и извлеченных уроках в отрасли, внедрением регулирующих положений с учетом рисков и происходящей в отрасли консолидацией.



*РИС. В-2. Процентная доля факторов, способствовавших увеличению производства электроэнергии на АЭС*

<sup>4</sup> Обзор ядерной безопасности за 2007 год, документ GOV/2008/2, 24 января 2008 года.

<sup>5</sup> World Association of Nuclear Operators (WANO), *2007 Performance Indicators*, 2008.

## **В.2. Имеющиеся технологии реакторов**

31. Хотя на настоящее время в эксплуатации остается широкий спектр различных технологий, большинство эксплуатируемых ныне реакторов – это легководные реакторы. Из общего числа эксплуатируемых коммерческих реакторов приблизительно 82% – это реакторы с легководным замедлителем<sup>6</sup> и с легководным теплоносителем; 10% – это реакторы с тяжеловодным замедлителем и легководным теплоносителем; 4% – это газоохлаждаемые реакторы и 4% – это водоохлаждаемые реакторы с графитовым замедлителем. Два реакторных блока являются реакторами с жидкометаллическим замедлителем и теплоносителем. В таблице В-3 приводятся данные о количестве, типах и полезной электроэнергетической мощности находящихся в настоящее время в эксплуатации АЭС. Помимо перечисленных стран, в некоторых странах в эксплуатации находились также быстрые реакторы, которые в настоящее время остановлены.

32. Примерно три четверти всех находящихся сегодня в эксплуатации реакторов эксплуатируются уже более 20 лет, а одна четверть – более 30 лет, что видно на рис. В-3. Благодаря программам управления жизненным циклом первоначально предусмотренный срок эксплуатации многих установок был продлен, что позволяет продолжать их эксплуатацию в течение периода до 20 лет дополнительно. На стареющих реакторах приходится сталкиваться с проблемами ухудшения свойств материалов и морального старения технологий, например измерительных приборов и систем управления защитой. Для преодоления этих проблем осуществляется управление жизненным циклом с целью повышения рентабельности инвестиций, а также, поскольку опыт показывает, что удается добиваться очень хороших эксплуатационных показателей, продления предусмотренного лицензией срока эксплуатации.

33. Большинство из находящихся в эксплуатации в мире в настоящее время АЭС были спроектированы в конце 60-х годов и в 70-х годах прошлого века, и сегодня они не предлагаются для продажи. Постепенно отмечалось увеличение проектной мощности реакторов, что делалось для использования преимуществ эффекта масштаба с целью повышения конкурентоспособности. Мощность многих первых реакторов, поступивших в коммерческую эксплуатацию в 50-е годы прошлого века, составляла не более 50 МВт (эл.). Мощность эксплуатируемых в настоящее время реакторов составляет от менее 100 МВт (эл.) до 1500 МВт (эл.). Средняя мощность находившегося в 2006 году в эксплуатации реактора составляла 850 МВт (эл.).

---

<sup>6</sup> Некоторые LWR имеют графитовый замедлитель.

Таблица В-3. Распределение реакторов по типам на настоящее время

Страна	PWR		BWR		GCR		PHWR		LWGR		FBR		Всего	
	Кол-во	МВт (эл.)	Кол-во	МВт (эл.)	Кол-во	МВт (эл.)	Кол-во	МВт (эл.)	Кол-во	МВт (эл.)	Кол-во	МВт (эл.)	Кол-во	МВт (эл.)
АРГЕНТИНА							2	935					2	935
АРМЕНИЯ	1	376											1	376
БЕЛЬГИЯ	7	5824											7	5824
БОЛГАРИЯ	2	1906											2	1906
БРАЗИЛИЯ	2	1795											2	1795
ВЕНГРИЯ	4	1829											4	1829
ГЕРМАНИЯ	11	13973	6	6457									17	20430
ИНДИЯ			2	300			15	3482					17	3782
ИСПАНИЯ	6	5940	2	1510									8	7450
КАНАДА							18	12610					18	12610
КИТАЙ	9	7272					2	1300					11	8572
ЛИТВА									1	1185			1	1185
МЕКСИКА			2	1360									2	1360
НИДЕРЛАНДЫ	1	482											1	482
ПАКИСТАН	1	300					1	125					2	425
РЕСП. КОРЕЯ	16	14824					4	2627					20	17451
РОССИЯ	15	10964							15	10219	1	560	31	21743
РУМЫНИЯ							2	1305					2	1305
СЛОВАКИЯ	5	2034											5	2034
СЛОВЕНИЯ	1	666											1	666
СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО	1	1188			18	9034							19	10222
США	69	66697	35	33885									104	100582
УКРАИНА	15	13107											15	13107
ФИНЛЯНДИЯ	2	976	2	1720									4	2696
ФРАНЦИЯ	58	63130									1	130	59	63260
ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА	6	3619											6	3619
ШВЕЙЦАРИЯ	3	1700	2	1520									5	3220
ШВЕЦИЯ	3	2819	7	6215									10	9034
ЮЖНАЯ АФРИКА	2	1800											2	1800
ЯПОНИЯ	23	18420	32	29167									55	47587
<b>ИТОГО</b>	<b>265</b>	<b>243421</b>	<b>94</b>	<b>85275</b>	<b>18</b>	<b>9034</b>	<b>44</b>	<b>22384</b>	<b>16</b>	<b>11404</b>	<b>2</b>	<b>690</b>	<b>439</b>	<b>372208</b>

Итоговые цифры включают 6 энергоблоков мощностью 4921 МВт (эл.) в Тайване, Китай.

В течение 2007 года к энергосети были подключены 3 новых реактора мощностью 1852 МВт (эл.).

PWR: реактор с водой под давлением; BWR: кипящий реактор; GCR: газоохладимый реактор; PHWR: корпусной тяжеловодный реактор; LWGR: легководный реактор с графитовым замедлителем; FBR: реактор-размножитель на быстрых нейтронах.

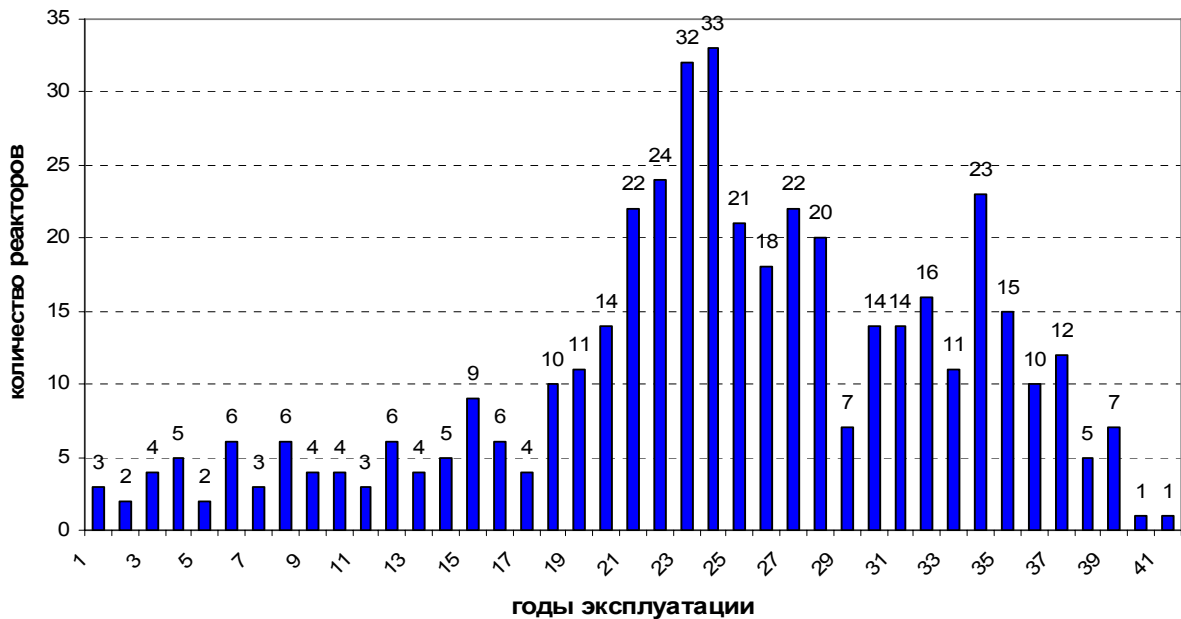


РИС. В-3. Количество находящихся в эксплуатации АЭС в мире по возрастам по состоянию на январь 2008 года (отметим, что возраст реактора исчисляется с даты его первоначального подсоединения к энергосети)

34. Имеющиеся в настоящее время технологии реакторов в целом основаны на предыдущих проектных решениях, и в них учитываются следующие проектные характеристики:

- 60 лет жизненного цикла;
- упрощенное техническое обслуживание – в подключенном состоянии и во время останова;
- простота и сжатые сроки строительства;
- учет соображений безопасности и надежности на самых ранних стадиях проектирования;
- современные технологии цифровых блоков управления и взаимодействия человека и машины;
- проектирование системы безопасности с учетом оценки рисков;
- обеспечение простоты в эксплуатации за счет сокращения числа вращающихся компонентов;
- широкое использование пассивных систем (гравитация, естественная циркуляция, суммарное давление и т.д.);
- дополнительное оборудование для смягчения последствий тяжелых аварий;
- полные и стандартизованные проекты с обеспечением предшествующего лицензированию процесса.

35. Хотя в данной отрасли исторически в преобладающем большинстве случаев ставилась задача достижения большей экономии за счет масштаба, сооружение реакторов малой (менее 300 МВт (эл.)) и средней мощности (от 300 МВт (эл.) до 700 МВт (эл.)) продолжается. Реакторы малой и средней мощности (РМСМ) дают возможность производить инвестиции постепенно. РМСМ разрабатываются для а) использования в небольших энергосетях с ограниченным числом межсистемных связей, подобных таким, которые существуют в некоторых развивающихся странах; б) в качестве источника питания или многоцелевого источника энергии в изолированных районах; в) для производства поэтапных капиталовложений с целью избежать финансовых рисков.

### В.3. Кадровые ресурсы

36. Хотя ни Агентство, ни другие международные организации не занимаются сбором всеобъемлющих статистических данных, судя по оценкам, в 2007 на всех находящихся в эксплуатации в мире АЭС работало более 250 000 человек. По оценкам, в 2007 году во всем мире в обеспечении работы атомной промышленности участвовало свыше одного миллиона человек. Они заняты в строительстве новых установок, в оказании инженерно-технической поддержки, подготовке кадров и сфере образования, в работе регулирующих органов, государственных министерств, исследованиях и разработках, сфере обращения с радиоактивными отходами, радиационной защиты, проектировании и производстве, поддержке работ в период остановов, обеспечении поставок топлива, а также оказании других услуг и работе подрядчиков, занимающихся снабжением. Наблюдается процесс старения кадров, работающих в настоящее время в ядерной отрасли, и во многих этих секторах приходится сталкиваться с проблемами нехватки опытных специалистов и утратой знаний и опыта из-за выхода людей на пенсию, что имеет место даже в странах с отработано функционирующими ядерными программами.

37. С учетом сказанного, сохранение знаний и набор кадров для работы в этой отрасли и в регулирующих органах - это важные вопросы. Сложность ядерных технологий требует наличия высокообразованных и специально подготовленных кадров. В последние годы прослеживается тенденция к содействию обучению и подготовке кадров в ядерной отрасли, хотя ресурсы для получения такого специального образования и подготовки ограничены, а для занятия некоторых должностей в этой отрасли необходимо проходить соответствующую подготовку в течение периода до десяти лет. В некоторых странах правительства стимулируют разработку академических учебных программ и набор студентов для обучения в ядерных областях. Создаются также региональные сети обмена информацией и улучшаются сетевые связи между операторами. Эти усилия направлены, среди прочего, на сокращение разрыва в опыте в процессе обновления и расширения кадрового состава.

### В.4. Деятельность в области топливного цикла

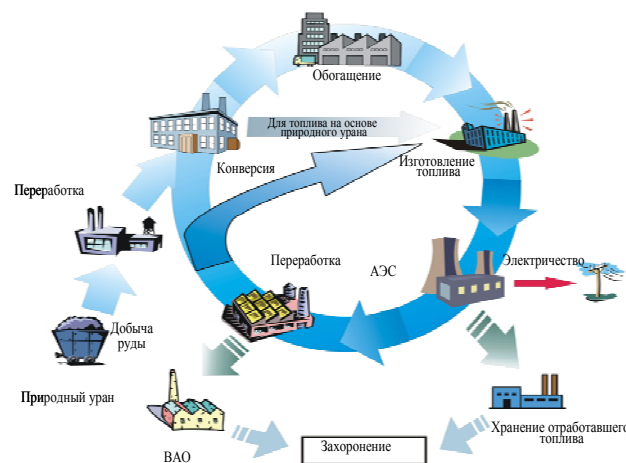


РИС. В-4. Топливный цикл

38. Производство топлива для реакторов и обращение с топливом после его использования (топливный цикл) необходимо осуществлять в несколько этапов, как это показано на рис. В-4. Обычно они подразделяются на начальную стадию топливного цикла (добыча руды, конверсия, обогащение и изготовление топлива) по производству топливных сборок<sup>7</sup> для введения в реактор и конечную стадию топливного цикла по обращению с отработавшим ядерным топливом (включая хранение, переработку и захоронение отходов).

#### *Начальная стадия топливного цикла*

39. Существует устоявшийся и эффективный рынок в отношении различных услуг в области начальной стадии топливного цикла. Большая часть деятельности осуществляется в рамках долгосрочных контрактов, но существует и спотовый рынок.

40. Добыча урановой руды ведется в 18 странах, причем 90% мирового объема добычи приходится на 7 стран<sup>8</sup>. В настоящее время 40% потребностей в уране покрывается за счет вторичных поставок – находящегося на хранении урана или бывшего военного материала – и рециклированных материалов. Благодаря этому удавалось удерживать цены на уран на низком уровне, но в последнее время в ожидании роста спроса и сокращения объема вторичных поставок цена существенно увеличилась (за 5 лет примерно в 10 раз). Рост цен стимулирует также увеличение мощностей рудников и активизацию разведочных работ на уран, что в потенциале ведет к снижению цен на него. Разведанных ресурсов урана, находящихся в земле, достаточно для удовлетворения спроса на существующем ныне уровне в течение почти 100 лет.

41. Получаемый в ходе горной добычи материал посредством процесса, называемого конверсией, преобразуется в химический концентрат, используемый во всей отрасли, как правило в UF<sub>6</sub>. Более 90% мировых производственных мощностей расположено в шести странах<sup>9</sup>, а мировые мощности по конверсии урана в настоящее время вдвое превышают потребности. Низкообогащенный UF<sub>6</sub>, пригодный для изготовления топлива, рассматривается на рынке как сырье.

42. Имеющихся обогатительных мощностей достаточно для удовлетворения спроса в ближайшем десятилетии. На смену более старым предприятиям, использующим газодиффузионную технологию, приходят заводы, работающие по центрифужным технологиям, энергопотребление которых ниже. В ходе подготовки к ожидаемому увеличению спроса идет строительство заводов во Франции и в США.

43. Топливная сборка, являющаяся главным энерговыделяющим компонентом реактора, – это продукт с весьма особенной технологией, связанный со значительными аспектами интеллектуальной собственности. Кроме того, сама топливная сборка является одной из составляющих общей безопасности на заводе, и в отношении нее необходим всесторонний процесс утверждения лицензии. Топливные сборки от различных поставщиков не могут легко заменять друг друга, хотя многие энергопредприятия периодически меняют поставщиков для поддержания конкуренции. Основные изготовители топлива являются также основными поставщиками АЭС или тесно связаны с ними. Наибольшими мощностями по изготовлению топлива располагают Германия, Российская Федерация, США и Франция, но изготовление топлива осуществляется по крайней мере еще в семи других странах, часто на основе лицензии от одного из основных поставщиков.

---

<sup>7</sup> В большинстве реакторов используется низкообогащенный уран с обогащением от 2% до 5%. В некоторых (PHWR) установках обогащенный уран не используется.

<sup>8</sup> Австралия, Казахстан, Канада, Намибия, Нигер, Российская Федерация и Узбекистан.

<sup>9</sup> Канада, Китай, Россия, Соединенное Королевство, США и Франция.

### *Конечная стадия топливного цикла*

44. Некоторые страны рассматривают отработавшее топливо в качестве отходов, подлежащих захоронению как высокоактивные отходы (ВАО). Другие же рассматривают его в качестве ресурса для переработки и потенциального повторного использования. В настоящее время существует рынок переработки и производства смешанного ураново-плутониевого оксидного (МОХ) топлива, но не существует рынка хранения или захоронения.

45. Однако в рамках обеих стратегий отработавшее топливо сначала хранится в бассейне реактора, а затем в отдельных хранилищах на площадке реактора или в центральной установке. Хотя большая часть топлива хранится в водных бассейнах, в настоящее время получает все более широкое распространение подход, состоящий в использовании модульных сухих хранилищ, таких как контейнеры или хранилища камерного типа. Продолжительность ожидаемого времени хранения зависит от того, когда можно будет осуществлять перевозку данного топлива для переработки или захоронения. Предусматриваемое время хранения в большинстве стран – несколько десятилетий.

46. В настоящее время около 15% всего отработавшего топлива перерабатывается для извлечения и рециклирования урана и плутония. Переработка осуществляется в Российской Федерации, Соединенном Королевстве, Франции и Японии, и некоторая часть топлива PHWR перерабатывается в Индии. Существующие производственные мощности по переработке используются всего лишь примерно на 50% из-за неопределенностей в отношении будущего использования переработанного материала. Повторное использование урана и плутония (в качестве МОХ) в настоящее время осуществляется в основном на LWR, однако для того, чтобы добиться максимальной степени использования урановых ресурсов за счет замкнутого топливного цикла, в ряде стран активно рассматривается вопрос о внедрении быстрых реакторов или других передовых систем. Замыкание топливного цикла может также привести к снижению радиотоксичности отходов. В настоящее же время большое количество переработанного материала содержится в хранилищах.

47. Вне зависимости от того, прошло ли топливо переработку, будут оставаться некоторые отходы высокого уровня активности и долгоживущие отходы, которые будут нуждаться в надежном захоронении. Во многих случаях после переработки получаемые отходы отправляются в страну, где использовалось топливо. В настоящее же время, как и в случае отработавшего топлива, этот материал содержится в хранилищах.

## **В.5. Обращение с радиоактивными отходами и снятие с эксплуатации**

48. Радиоактивные отходы образуются на различных стадиях топливного цикла и могут иметь форму жидких, газообразных или твердых радиоактивных веществ с широким спектром уровней активности. В зависимости от уровня их активности, обращения с ними в будущем и их захоронения они классифицируются как отходы низкого, среднего или высокого уровня активности. Обработка, кондиционирование и долгосрочное хранение всех видов отходов – это отработанные технологии, и обычно они осуществляются на тех ядерных установках, где были произведены отходы. Периоды хранения в 50 лет или более не являются чем-то необычным. Это позволяет проявлять гибкость при принятии решений о захоронении.

49. Захоронение низко- и среднеактивных отходов (НСАО) осуществляется в промышленных масштабах в нескольких государствах-членах, и среди технических экспертов считается общепризнанным, что применяемые при этом технологии отвечают требованиям безопасности. Тем не менее, есть несколько стран с действующими АЭС, которые пока не смогли определиться в отношении выбора площадки и строительства установки для захоронения НСАО, в первую очередь из-за негативного восприятия политическими кругами и общественностью.

50. Среди технических экспертов широко распространено мнение, что главным методом окончательного захоронения ВАО и отработавшего ядерного топлива вероятно будет захоронение в глубоких геологических хранилищах. Хотя таких действующих хранилищ в настоящее время нет, США, Финляндия, Франция и Швеция довольно далеко продвинулись в их разработке. Опыт показывает, что для подготовки площадки для геологических хранилищ и их сооружения требуется несколько десятилетий, – и вряд ли до 2020 года хоть одно из них начнет функционировать.

51. После того, как энергетические реакторы достигнут конца своего срока эксплуатации, они должны сниматься с эксплуатации. Поскольку некоторые части реакторов являются радиоактивно загрязненными, их демонтаж должен производиться контролируемым образом и с принятием мер в отношении радиоактивных отходов. Время демонтажа зависит от нескольких факторов, например от соображений радиационной защиты, наличия финансовых средств и наличия установок для захоронения. По имеющимся у Агентства статистическим данным, на настоящее время остановлено 117 энергетических реакторов. Из них 10 были полностью демонтированы, причем площадки, на которых они находились, были переданы для использования без ограничений, а 32 находятся в процессе демонтажа перед конечной передачей площадок в пользование. 17 реакторов были частично демонтированы и подвергнуты безопасной консервации для долгосрочного хранения, а еще 34 находятся в стадии демонтажа перед долгосрочной консервацией. На остальных реакторах ведется подготовка к снятию с эксплуатации, включая удаление отработавшего топлива и дезактивацию. Образующиеся в результате снятия с эксплуатации отходы являются отходами низкого и среднего уровня активности, и осуществлять манипуляции с ними и их захоронение следует соответствующим образом. В отношении некоторых крупногабаритных компонентов успешно применялись специальные подходы, такие как захоронение целиком.

## В.6. Промышленные мощности

52. Количество находящихся в стадии строительства АЭС достигло максимального уровня в 233 в 1979 году, а в течение последних 15 лет их количество находится на уровне 30-40 (см. рис. В-6 ниже). В течение приблизительно последних 25 лет корректировка в отрасли ядерных поставок осуществлялась путем консолидации. Задаются вопросы о том, имеется ли достаточное количество мощностей для удовлетворения краткосрочного спроса, если оправдаются прогнозы в отношении высоких темпов развития ядерной энергетики.

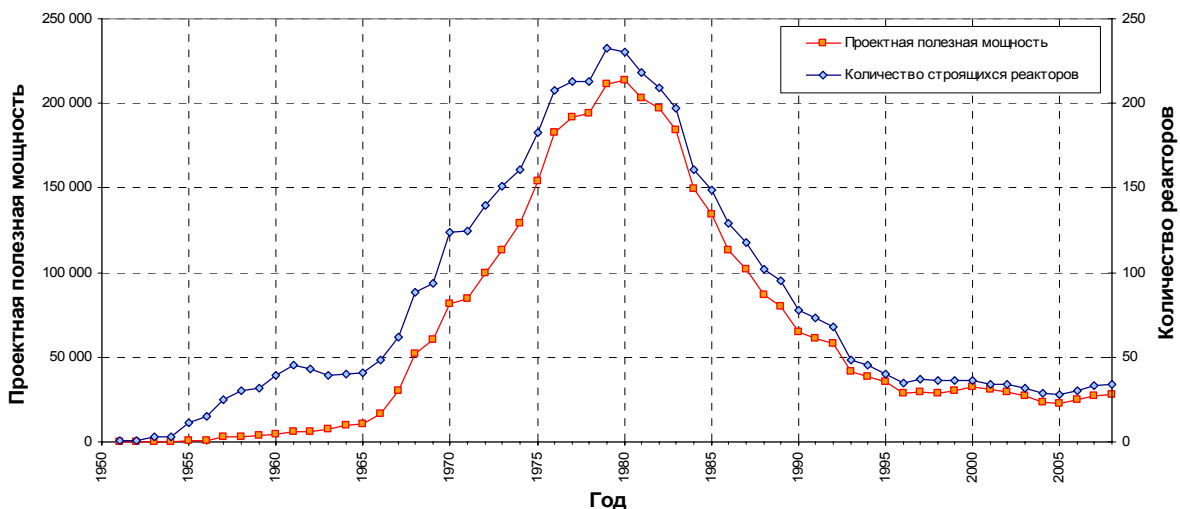


РИС. В-5. Количество и общая мощность реакторов, находящихся в стадии строительства, 1951-2008 годы



53. В период пика строительства крупные компании – поставщики ядерных систем были в Германии, Канаде, Российской Федерации, Соединенном Королевстве, США, Франции, Швейцарии, Швеции и Японии. Сегодня поставщики ядерных систем базируются в Индии, Канаде, Китае, Республике Корея, Российской Федерации, США, Франции и Японии. Существуют и другие потенциальные поставщики, имеющие проектные наработки, такие как Аргентина и Южная Африка, но число проектировщиков имеющих в настоящее время ядерных систем парогенерации убавилось до небольшой группы, в которой они все теснее сотрудничают друг с другом, например в рамках сотрудничества между "Арева" и "Мицубиси", "Дженерал электрик" и "Хитати", а также "Тосиба" и "Вестингауз".

54. Аналогичное изменение произошло среди инженеров-архитекторов<sup>10</sup>. Количество компаний, имеющих недавний опыт управления строительством полномасштабной АЭС, сократилось из-за отсутствия заказов, особенно в Северной Америке и Европе. Многие компании, которые были ведущими организациями, работавшими в ядерной отрасли в 80-х годах прошлого века, полностью отошли от деловой деятельности в ядерной области, объединились с другими компаниями, работающими в ядерной сфере, или переориентировали свою деловую активность на деятельность, связанную со снятием с эксплуатации и обращением с отходами, где в течение нескольких последних лет наблюдается активизация деятельности. В результате потенциалом управления строительством полномасштабной АЭС стала обладать более узкая группа компаний и меньшее число стран. С другой стороны, наблюдаемый в Индии, Китае и Республике Корея рост ядерного потенциала, происходящий за счет подготовки по многим специальностям своего собственного персонала, дает возможность этим странам вносить дополнительную лепту в удовлетворение мировых потребностей в квалифицированных кадрах по строительству ядерных объектов.

55. Есть определенные основания для озабоченности в отношении способности отрасли удовлетворять спрос на основные комплектующие (такие как корпуса высокого давления, основные поковки), которые могут поставляться с производственных мощностей, расположенных в Китае, Республике Корея, Российской Федерации, Франции, Чешской Республике и Японии. Так например, энергопредприятия США уже разместили заказы на основные комплектующие для АЭС, но их утверждение, благодаря чему можно было бы выдерживать график строительства путем обеспечения поставок этих комплектующих без задержек, пока что не состоялось. Чтобы оправдать растущие ожидания в отношении увеличения числа новых АЭС, необходимо расширять производственные мощности. Возможно, это уже происходит. Китай объявил, что он обладает потенциалом для производства тяжелого оборудования для шести реакторов большой мощности в год, хотя этого едва хватает для удовлетворения его собственных потребностей.

## **В.7. Неэлектрические применения**

56. Большая часть энергии в мире потребляется для получения тепла и для нужд транспорта. В настоящее время ядерная энергия используется для неэлектрических применений лишь в очень ограниченных масштабах. Наглядно подтвержден опыт опреснения морской воды с использованием ядерной энергии, и этот опыт эксплуатации таких установок в мире составляет почти 200 реакторо-лет. Централизованное теплоснабжение представляет собой снабжение теплом и горячей водой через систему распределения, осуществляемое, как правило, в режиме комбинированного производства, когда сбросное тепло, образующееся в процессе выработки

---

<sup>10</sup> Инженер-архитектор обычно отвечает за управление проектом, закупки, инженерно-техническую разработку проекта, монтаж, пуск в эксплуатацию, контроль качества и контроль за сроками и расходами в ходе строительства и запуска в эксплуатацию.

электроэнергии, используется в качестве источника централизованного теплоснабжения. В нескольких странах (Болгарии, Венгрии, Российской Федерации, Румынии, Словакии, Украине, Швейцарии и Швеции) для централизованного теплоснабжения используется тепло, поступающее от АЭС. Что касается ядерного производства водорода, то программы научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ существуют в США, Японии и других странах, но промышленной эксплуатации не ведется.

## **С. Перспективы дальнейшего использования ядерной энергии**

57. Во многих странах в последнее время отмечается рост ожиданий, связанных с использованием ядерной энергии. Оценку соответствующих перспектив можно дать как по числу стран, которые в настоящее время уже эксплуатируют АЭС, так и по числу стран, изучающих вопрос о внедрении ядерной энергетики. Ниже приводится также информация о тех факторах, которые потенциально способны повлиять на позицию стран по вопросу о применении ядерной энергии, о международных прогнозах относительно дальнейшего использования ядерной энергии и о возможностях неэлектрических применений ядерной энергии.

### **С.1. Перспективы в странах, уже использующих ядерную энергетику**

58. В 30 странах, которые уже эксплуатируют АЭС, доля производимой на них электроэнергии в масштабах страны составляет от 78% во Франции до 3% в Индии и 2% в Китае. Ожидается, что дальнейшее развитие ядерной энергетики в мире будет зависеть главным образом от стран, которые уже используют ядерную энергетику. Как указывается ниже, низкий и высокий прогнозы Агентства относительно ядерной энергии расходятся как в части общих установленных мощностей в тех 30 странах, где ядерная энергетика уже используется, так и в части увеличения числа стран, обладающих ядерной энергией. Что касается установленных мощностей, то при высоком прогнозе их увеличение в глобальном масштабе связано, прежде всего, с развитием ядерной энергетики в тех 30 странах, которые ее уже используют, в особенности в Индии, Китае и других дальневосточных странах, а также в Российской Федерации, странах Европы и Северной Америки.

59. В таблице С-1 приведен обзор доступной информации, позволяющий судить о перспективах ядерной энергетики в 30 странах, где она уже используется. В ней учтены выступления представителей государств-членов на Генеральной конференции 2007 года, а также иные публичные выражения их позиции. Согласно этим данным основное расширение существующих ядерных программ в настоящий момент наблюдается в Азии, где ожидается самый высокий рост энергопотребления. Прогнозируется, что многие страны Европы и Северной Америки также приступят к расширению своих ядерных программ, хотя новое строительство в них пока практически не ведется.

60. В таблице С-1 все 30 стран разбиты по группам, что позволяет судить о возможных дальнейших планах каждой из 30 стран, использующих ядерную энергетику.

Таблица С-1. Позиция стран, эксплуатирующих АЭС

Описание группы	Число стран
Намерены постепенно выводить АЭС из эксплуатации по мере достижения ими конца жизненного цикла или согласованного уровня совокупной энерговыработки	6
Намерены согласиться с предложениями о строительстве новых АЭС, но не планируют стимулировать данный процесс	5
Намерены поддержать ввод новых АЭС	6
Поддерживают строительство новой АЭС	4
Поддерживают программу строительства новых АЭС	9

## С.2. Перспективы в странах, изучающих вопрос о внедрении ядерной энергии

61. Согласно данным, приведенным в таблице С-2, за последние два года примерно 43 государства-члена выразили желание изучить возможность внедрения ядерной энергетики, представив МАГАТЭ запросы на участие в проектах технического сотрудничества<sup>11</sup>.

Таблица С-2. Позиция стран, не имеющих АЭС

Описание группы	Число стран
Не планируют внедрения АЭС, но заинтересованы в изучении вопросов, связанных с ядерно-энергетической программой	16
Изучают возможность реализации ядерной программы для удовлетворения потребностей в энергии и с высокой долей вероятности приступят к ее осуществлению	14
Активно готовятся к возможной реализации ядерно-энергетической программы, но не приняли окончательного решения	7
Приняли решение о внедрении ядерной энергетики и начали подготовку соответствующей инфраструктуры	4
Готовы объявить конкурс среди подрядчиков на строительство АЭС	1
Разместили заказ на строительство АЭС	
Ведут строительство новой АЭС	1

62. В одной из стран, Исламской Республике Иран, ведется строительство первой АЭС. В 12 странах ведется активная подготовка к внедрению ядерной энергетики, а еще 38 стран проявили интерес к возможности строительства АЭС.

63. Из 51 страны, проявившей интерес к внедрению ядерной энергетики, 17 расположены в азиатско-тихоокеанском регионе (от Ближнего Востока до Тихого Океана), 13 – в африканском регионе, 11 – в Европе и 9 – в Латинской Америке.

<sup>11</sup> Кроме того, к изучению возможности внедрения ядерной энергетики проявили интерес еще порядка 10 стран, но ими не были представлены официальные запросы на оказание технической помощи.

64. В целом, данные, приведенные в таблицах С-1 и С-2, соответствуют тенденциям, нашедшим отражение в высоких и низких прогнозах Агентства: иными словами, в прогнозах относительно будущего ядерной энергетики сохраняется значительная доля неопределенности; основной прирост в сфере ядерной энергетики будет связан с расширением ее использования в странах с развитой ядерной энергетикой, а не за счет стран, приступающих к реализации ядерных программ; при этом согласно высокому прогнозу к 2030 году первые АЭС будут введены в эксплуатацию примерно еще в 20 странах, а согласно низкому – лишь в 5.

### **С.3. Региональное сотрудничество**

65. В некоторых регионах разработаны планы по совместному введению новых АЭС в эксплуатацию. Прибалтийские государства планируют реализацию регионального проекта на Игналинской площадке в Литве. Государства – члены Совета по сотрудничеству стран Залива также изучают возможность реализации ядерной программы на основе регионального подхода. Аргентина и Бразилия – страны, обладающие собственными ядерными программами, – планируют развивать сотрудничество в ядерной сфере, включая разработку модельной концепции АЭС для обеих стран и, возможно, для других государств региона.

### **С.4. Потенциальные стимулы для внедрения ядерной энергетики**

66. "Растущие ожидания" – эти слова наилучшим образом подходят для того, чтобы охарактеризовать современные перспективы ядерной энергетики в мире, с его быстро растущим спросом и все более высокими ценами на энергию, обеспокоенностью, связанной с безопасностью энергопоставок, и обостряющимися экологическими проблемами. Рост ожиданий в отношении развития ядерной энергетики связан с целым рядом факторов, в том числе такими как:

- растущие потребности в энергии;
- безопасность энергоснабжения;
- экологические озабоченности и ограничения;
- рост и нестабильность цен на органические виды топлива;
- повышение относительной экономической конкурентоспособности ядерной энергии;
- все более длительный опыт развития ядерной энергетики и высокие показатели в этой сфере;
- интерес к современным видам ядерно-энергетических применений.

67. В данном разделе не только рассматриваются все эти факторы, которые потенциально способны повлиять на рост ядерной энергетики в целом, но и отмечается, что в разных условиях относительная привлекательность ядерной энергетики будет различной. В целом, ядерная энергетика является более привлекательной в условиях, когда отмечаются быстрый рост спроса на энергию, дефицит или дороговизна иных ее источников, а также в случае, если приоритет отдается безопасности энергоснабжения или сокращению объемов загрязнения воздуха и выбросов парниковых газов (ПГ), и при наличии возможностей для долгосрочного финансирования.

#### *Цены на органическое топливо*

68. Согласно данным, приведенным Международным энергетическим агентством (МЭА) в *Мировом энергетическом обзоре – 2007*, в 2005 году доля угля в общемировом производстве электроэнергии составляла 40%, природного газа – 20%, гидроэнергии – 16%, ядерной энергии – 15%, нефти – 7%, иных видов возобновляемых источников энергии, помимо

гидроэнергии, – 2%. В соответствии с прогнозами доля нефти в производстве электроэнергии должна сократиться, а угля и природного газа – возрасти. В краткосрочной и среднесрочной перспективе они станут главной альтернативой ядерной энергетике. Цены на уголь нестабильны, и в период с 2003 года по 2006 год их рост в различных регионах мира составил от 50 до 125 процентов. Аналогичным образом, цены на газ за тот же период возросли почти на 130%. Подобные изменения являются одной из причин роста ожиданий, связанных с ядерной энергетикой. Цены на уран в последние годы также возросли и носят нестабильный характер. Однако разница заключается в том, что доля стоимости урана в общих затратах на производство электроэнергии ниже, чем доля стоимости газа или угля. Двукратный рост цен на топливо означает увеличение затрат на выработку электроэнергии на 35-45% для электростанций, работающих на угле, и на 70-80% для электростанций, работающих на природном газе. В то же время при двукратном росте цены на уран увеличение затрат на выработку электроэнергии оставит всего 5-10% от текущего уровня цен.

### *Энергетическая безопасность*

69. Обеспокоенность в связи с безопасностью энергоснабжения имела огромное значение для Франции и Японии, когда они приступили к расширению своих ядерных программ в условиях нефтяного кризиса 70-х годов прошлого века. Она остается одним из аргументов, которые и сегодня используются в странах, изучающих вопрос о внедрении ядерной энергетике. Так например, в Соединенном Королевстве вопрос о безопасности энергоснабжения сыграл значительную роль в переоценке энергетической ситуации в стране и стал одним из основных факторов, приведших к пересмотру отношения к ядерной энергии в последние два года.

70. Кроме того, ядерная энергия обладает двумя особенностями, которые позволяют говорить о дальнейшем расширении ее применения. Уран как основное топливо поставляется различными странами-производителями, и он требуется в небольших количествах, что облегчает создание его стратегических запасов. На практике же тенденция последних лет заключается в отказе от накопления стратегических запасов в пользу безопасности поставок, основу которых составляет диверсифицированный и эффективно функционирующий рынок урана и топливных услуг. Однако страны, которые считают это необходимым, как и прежде имеют возможность при относительно низких затратах создать стратегические резервы топлива в объеме, достаточном для обеспечения работы АЭС в течение нескольких лет.

### *Окружающая среда*

71. При использовании ядерной энергии для выработки электроэнергии отсутствуют какие бы то ни было выбросы, снижающие качество местного воздуха, приводящие к региональному подкислению или иным образом усугубляющие изменение климата. В рамках полной ядерно-энергетической цепи – от добычи ресурса до захоронения отходов, включая сооружение реактора и установки, – выбрасывается такое же количество углеродного эквивалента на киловатт-час, как и при использовании ветровой или гидроэнергетики. Ядерную энергию все чаще называют позитивной технологической альтернативой иным источникам энергии, производящим ПГ. После вступления Киотского протокола в силу в феврале 2005 года низкий уровень выбросов ПГ, характерный для ядерной энергетике, стал приносить осязаемую экономическую выгоду. Среди девяти технологий, смягчающих негативные последствия при производстве электроэнергии, оценку которых произвела Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), именно ядерная энергия обладает самым значительным смягчающим потенциалом и занимает второе место (после гидроэнергетики) по наименьшей стоимости затрат на смягчение. При этом следует отметить, что даже в случае реализации наиболее масштабных программ по глобальному развитию ядерной энергетике для стабилизации уровня выбросов ПГ в международных масштабах одного лишь развития ядерной энергетике окажется недостаточно.

### Показатели работы и безопасности АЭС

72. В последние годы отмечается значительное улучшение показателей работы и безопасности АЭС, которые сохраняются на высоком уровне<sup>12</sup>, к тому же атомные электростанции сумели доказать свою прибыльность при должной эксплуатации. Подтверждением этому служит повышение глобального коэффициента эксплуатационной готовности и снижение числа незапланированных остановов реактора<sup>13</sup>. Однако многие операторы в состоянии улучшить оба этих показателя, что должно привести к дальнейшему повышению общей надежности. Хорошие показатели безопасности работы в последние два десятилетия, а также связанный с этим рост прибыльности и прогнозируемые дальнейшие улучшения привели к росту ожиданий, связанных с ядерной энергетикой.

## С.5. Прогнозы развития ядерной энергетики

73. В силу приведенных выше факторов в последние годы отмечается общее повышение прогнозов развития ядерной энергетики, которые регулярно публикуются рядом организаций.

74. С 1981 года Агентство ежегодно публикует прогнозы относительно использования энергии, электроэнергии и ядерной энергетики в международном масштабе<sup>14</sup>. Эти оценки готовятся в тесном взаимодействии и сотрудничестве с рядом международных, региональных и национальных организаций и международных экспертов по статистике и прогнозам в области энергетики. В таблице С-3 приведены самые последние прогнозы относительно производственных мощностей АЭС с разбивкой по регионам мира. Согласно низкому прогнозу производственные мощности АЭС возрастут с 372 ГВт (эл.) в 2007 году до 473 ГВт (эл.) в 2030 году. А в соответствии с высоким прогнозом они достигнут 748 ГВт (эл.).

Таблица С-3. Оценка мощностей АЭС по производству электроэнергии (ГВт (эл.))

Регион	2007 год	2010 год		2020 год		2030 год	
		Низкий прогноз	Высокий прогноз	Низкий прогноз	Высокий прогноз	Низкий прогноз	Высокий прогноз
Северная Америка	113,2	113,5	114,5	121,4	127,8	131,3	174,6
Латинская Америка	4,1	4,1	4,1	6,9	7,9	9,6	20,4
Западная Европа	122,6	119,7	121,3	92,1	129,5	73,9	150,1
Восточная Европа	47,8	48,2	48,3	72,1	94,7	81,2	119,4
Африка	1,8	1,8	1,8	3,1	4,5	4,5	14,3
Средний Восток и Южная Азия	4,2	7,6	10,1	12,5	24,3	15,9	41,5
Юго-Восточная Азия и Тихий океан	0	0	0	0	1,2	1,2	7,4
Дальний Восток	78,5	81,3	83,1	129,2	151,8	155,7	219,9
<b>Всего в мире</b>	<b>372,2</b>	<b>376,3</b>	<b>383,1</b>	<b>437,4</b>	<b>541,6</b>	<b>473,2</b>	<b>747,5</b>

75. Согласно представленным в таблице С-3 данным, самый значительный прирост ядерных мощностей прогнозируется в дальневосточном регионе. Значительный рост также ожидается в регионе Среднего Востока и в Южной Азии, включая Индию. Регион с самым высоким уровнем неопределенности, т.е. самой значительной разницей между показателями высокого и

<sup>12</sup> Обзор ядерной безопасности за 2007 год, документ GOV/2008/2, 24 января 2008 года.

<sup>13</sup> World Association of Nuclear Operators (WANO), *2006 Performance Indicators*, 2007.

<sup>14</sup> International Atomic Energy Agency (IAEA), *Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2030*, Reference Data Series No. 1, 2008.

низкого прогнозов – это Западная Европа. Хотя в высоком прогнозе говорится о появлении к 2030 году примерно 20 новых стран, использующих ядерную энергию, основное увеличение ядерных мощностей в глобальном масштабе связано с развитием ядерной энергетики в тех 30 странах, где она уже используется. Низкий прогноз также рассчитывался с учетом того, что к 2030 году первые АЭС могут быть введены в эксплуатацию еще примерно в пяти новых странах.

76. Прогнозы Агентства за последние несколько лет претерпели изменения. В частности, высокий прогноз относительно темпов прироста установленных мощностей АЭС в период с 2020 года по 2030 год повысился в два раза по сравнению с прогнозами 2001 года, что стало отражением роста оптимизма в отношении ядерной энергии в некоторых регионах. Низкий прогноз 2001 года указывал на сокращение установленных мощностей по мере постепенного вывода АЭС из эксплуатации без их замены. Сегодня же даже низкий прогноз указывает на дальнейший незначительный прирост установленных мощностей.

77. В прочих исследованиях также прогнозируется рост установленных мощностей АЭС.

78. В Мировом энергетическом обзоре (МЭО) Международного энергетического агентства ОЭСР также содержатся регулярно обновляемые прогнозы развития ядерной энергетики. Однако вместо высоких и низких прогнозов, которые использует Агентство, в МЭО используется базовый сценарий. Зачастую в нем также публикуются и альтернативные сценарии. В базовом сценарии прогнозируется изменение спроса и предложения на энергию при условии сохранения текущей политики. Поэтому сценарий развития ядерной энергетики зачастую близок к низкому прогнозу Агентства. В последние годы отмечается тенденция в сторону незначительного увеличения прогнозов, и в недавно опубликованном "сценарии альтернативной политики" МЭА, подразумевающим, что для решения проблем, связанных с энергобезопасностью и изменением климата, будут предприняты дополнительные меры, прогнозы развития ядерной энергетики на 2030 год на 25% выше, чем в базовом сценарии<sup>15</sup>.

79. В других прогнозах отмечается широкий разброс мнений относительно масштабов дальнейшего использования ядерной энергии. Всемирная ядерная ассоциация раз в два года публикует прогнозы мощностей АЭС в виде высокого, низкого и базового сценария. Разброс между опубликованными в 2007 году обновленными наибольшими и наименьшими показателями на 2030 год, составляющими 285 и 730 ГВт (эл.), соответственно, значительно больше, чем между высоким и низким прогнозами МАГАТЭ, и может указывать как на снижение, так и на удвоение ядерных мощностей.

80. В 2000 году МГЭИК опубликовал подборку из 40 сценариев, посвященных общим объемам выбросов парниковых газов на период до 2100 года. В этих сценариях приводятся совершенно разные прогнозы относительно будущего ядерной энергетики. Согласно большинству из них доля ядерной энергетики в общемировом объеме первичного энергоснабжения должна возрасти с нынешних 6-7% до 10-40%. В докладе МГЭИК также содержится вывод о том, что доля ядерной энергетики в общем производстве электроэнергии во всем мире к 2030 году потенциально может достичь 18%. Эти цифры сопоставимы с высоким прогнозом Агентства на тот же год.

---

<sup>15</sup> International Energy Agency (IEA), *World Energy Outlook 2007*, Paris, 2007.

### *Неопределенность в прогнозах*

81. Как видно из приведенной выше информации, в прогнозах относительно дальнейшего использования ядерной энергетики сохраняется широкий разброс. Существует несколько вопросов, которые могут повлиять на реализацию ядерно-энергетических программ в будущем и, как следствие, на точность прогнозов развития ядерной энергетики.

- Ядерная энергетика всегда вызывала более оживленные политические споры, чем альтернативные ей виды источников энергии. На такие альтернативные ядерной энергетике источники энергии, как природный газ, уголь, гидроэнергетика, нефть и возобновляемые источники энергии, никогда не распространялись запреты или политика постепенного свертывания мощностей, схожие с теми, которые были приняты некоторыми странами в отношении ядерной энергетики.
- Дорогостоящие начальные этапы в структуре затрат на АЭС, высокие процентные ставки и их нестабильность делают ядерную энергетику менее привлекательной сферой предпринимательства, чем иные отрасли энергетики.
- Дорогостоящие начальные этапы в структуре затрат в ядерной энергетике также означают, что любые регулирующие задержки при строительстве в ядерной энергетике обходятся дороже, чем в иных отраслях энергетики. В странах, где процедуры лицензирования в последние годы оставались относительно не апробированными, регулирующие риски, связанные с ядерной энергетикой, в перспективе могут обойтись инвесторам дороже, чем в иных отраслях энергетики.
- Характер, охват и действенность обязательств по сокращению выбросов ПГ также скажутся на развитии ядерной энергетики.
- Ядерная энергетика – это глобальная отрасль промышленности, для которой характерно хорошо отлаженное международное сотрудничество, и, как следствие, последствия любой аварии, где бы она ни произошла, отражаются на всей отрасли в целом.
- Аналогичным образом, ядерный терроризм *чреват* намного более тяжелыми последствиями, чем террористический акт в отношении других видов топлива.
- Хотя АЭС саму по себе нельзя отнести к основным источникам риска распространения, обеспокоенность в связи с этой проблемой может повлиять на общественное и политическое восприятие ядерной энергетики.
- Наличие высокоактивных радиоактивных отходов также характерно лишь для ядерной энергетики. Если какая-либо из наиболее развитых программ создания хранилищ (т.е. в США, Финляндии, Франции и Швеции) столкнется с серьезными проблемами, то это может привести к непропорциональным по своему масштабу последствиям для всей ядерно-энергетической отрасли.

### **С.6. Ожидания, связанные с неэлектрическими применениями ядерной энергии, и их потенциал**

82. Ядерная энергетика также может использоваться для теплоснабжения (или комбинированного тепло- и электроснабжения) целого спектра отраслей промышленности (таких как бумажная и химическая промышленность, производство удобрений и нефтепереработка), производства энергоносителей (водорода) или расширения использования ресурсов органического топлива (путем ожижения угля или добычи нефти из битуминозных песков). Однако согласно приведенным на рисунке С-1 данным, большинство современных



реакторов (LWR) не в состоянии обеспечить достаточную температуру паро- или теплоснабжения для внедрения подобных дополнительных применений. Для этого необходимо развивать использование высокотемпературных реакторов и соответствующих материалов; более подробно этот вопрос рассматривается в разделе F ниже.

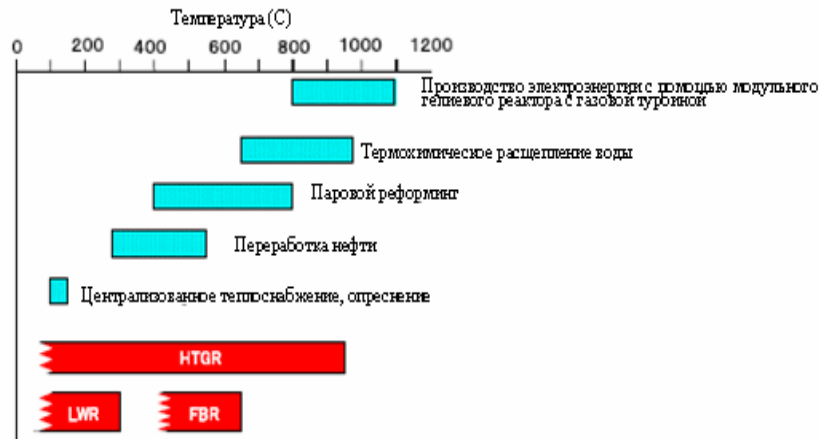


РИС. С-1. Рабочие температуры и требования к технологическому теплу

#### Опреснение

83. В настоящее время ядерное опреснение используется лишь в незначительном числе стран. Согласно прогнозам, приведенным в докладе ООН о состоянии водных ресурсов мира, к 2025 году число людей, испытывающих нехватку или дефицит воды, может возрасти до 3,5 млрд. человек. Как следствие, потребность в опреснительных системах может стать одним из стимулов расширения использования ядерной энергетики в странах Ближнего Востока или Африки, испытывающих дефицит питьевой воды. В настоящее время опреснительные установки для производства подпиточной воды действуют на 10 АЭС в Японии, несколько демонстрационных проектов реализует Индия, а Пакистан, Республика Корея и Российская Федерация разрабатывают опытно-конструкторские и демонстрационные проекты. Другие страны изучают различные процессы с точки зрения их технической и экономической обоснованности.

#### Транспорт

84. Транспорт является одним из основных источников выбросов ПГ. Более широкое использование ядерной энергетики в сфере транспорта позволило бы получить значительные результаты в этом направлении. Ядерная энергетика способна внести более весомый вклад в производство электроэнергии, которая используется в автомобилях с гибридным и электрическим двигателями, а также в производство водорода (см. раздел E.3 ниже).

## **D. Проблемы в связи с развитием ядерной отрасли**

### **D.1. Основные вопросы и тенденции в связи с развитием ядерной отрасли в краткосрочной перспективе**

#### **D.1.1. Безопасность и надежность**

85. Безопасность и надежность имеют основополагающее значение для обеспечения эффективности ядерно-энергетической программы. Необходимо проявлять осмотрительность и бдительность в отношении эксплуатации АЭС и подготовки к их сооружению. Любые неполадки на станции, существенная задержка с осуществлением проектов или снижение строгости норм как в странах, эксплуатирующих АЭС, так и в странах, приступающих в будущем к развитию ядерной энергетики, могут самым серьезным образом сказаться на расширении использования ядерной энергии во всем мире. Поэтому важное значение имеют усилия по сокращению издержек и сроков, о чем говорится в разделе E.1.1.

#### **D.1.2. Экономическая конкурентоспособность и финансирование**

86. Капиталоемкость АЭС выше, чем у других крупных электростанций. В рамках общей стоимости производства электроэнергии на АЭС затраты на привлечение капитала компенсируются более низкими и более стабильными затратами на топливо во время эксплуатации. На капиталовложения обычно приходится примерно 60% общей стоимости производства электроэнергии на АЭС. Поскольку в период сооружения АЭС на капитал необходимо платить проценты, на конкурентоспособности ядерной энергетики сразу же сказываются задержки в строительстве до ввода станций в эксплуатацию, связанные с вопросами лицензирования или правовыми вопросами, техническими проблемами или наличием экспертного потенциала, оборудования и компонентов.

87. Еще один вопрос, оказывающий в краткосрочной перспективе воздействие на конкурентоспособность ядерной энергетики, - это стоимость материалов. С начала 2007 года стоимость основных материалов, таких как сталь или цветные металлы, возросла на 50-100% в зависимости от местоположения, качества, количества и т.д. Азиатские страны с быстроразвивающейся экономикой потребляют сырьевые материалы и поднимают цены на сталь, бетон и другие материалы. Хотя с этими же ограничениями сталкиваются и другие типы электростанций, последствия их для АЭС могут оказаться непропорционально более значительными вследствие того, что основная доля связанных с ними затрат производится на начальном этапе. К другим краткосрочным факторам, сказывающимся на экономической конкурентоспособности ядерной энергетики в некоторых странах, относится негативное влияние задержек, обусловленных внедрением нового регулирующего порядка комплексного лицензирования и восстановлением отрасли после десятилетий стагнации. Другие экономические риски связаны с этапом эксплуатации, в том числе стоимость топлива, степень регулирования рынка электроэнергии, надежность и эффективность работы станций.

88. Экономическая эффективность ядерной энергетики зависит от национальных условий. На экономическую конкурентоспособность влияют стоимость капитала, правила регулирования, наличие и стоимость альтернативных источников энергии, уровень энергозатрат и экономическое обоснование конкретного энергетического проекта. Предполагаемые затраты на производство электроэнергии на новых АЭС (включая расходы на управление станцией, ее эксплуатацию и топливо) весьма различны (отличаясь друг от друга в два раза) и составляют в разных странах примерно от 30 долл./МВт·ч почти до 70 долл./МВт·ч. Для сравнения, затраты на производство электроэнергии на электростанциях, работающих на газе, составляют

примерно 40-65 долл./МВт·ч. В большинстве стран, использующих в настоящее время ядерную энергетику, прогнозируемые будущие затраты на производство электроэнергии на АЭС ниже соответствующих затрат на электростанциях, работающих на газе или угле. Согласно прогнозам ОЭСР/АЯЭ в 7 из 10 рассмотренных стран затраты на производство электроэнергии на АЭС будут на 10 и более процентов ниже аналогичных затрат на электростанциях, работающих на угле, а в 9 странах они будут на 10 или более процентов ниже аналогичных затрат на электростанциях, работающих на газе<sup>16</sup>.

89. Одна из особенностей ядерной энергетики – необходимость значительных затрат после прекращения производства электроэнергии и получения доходов для оплаты снятия реакторов с эксплуатации и обращения с отработавшим топливом и радиоактивными отходами. По оценкам, на затраты на снятие с эксплуатации приходится 10-15% капитальных затрат АЭС. Примерно столько же составляют общие затраты на обращение с отходами до их окончательного захоронения в действующем хранилище. В ядерной отрасли используются самые разные механизмы и схемы для оценки этих затрат и обеспечения наличия необходимых средств тогда, когда они потребуются. Как правило, эти затраты относятся к эксплуатационным затратам, и средства собираются операторами в период, когда на станции производится электроэнергия. Гарантированное финансирование программ обращения с отходами и отработавшим топливом – это важный экономический аспект производства электроэнергии на АЭС и важная составляющая общей безопасности и физической безопасности ядерной программы.

90. Внешнее преимущество ядерной энергетики – очень низкий показатель выбросов ПГ – имеет в настоящее время несущественное экономическое значение для инвесторов, но ситуация может измениться, если ядерная энергетика будет включена в механизмы, устанавливающие ограничения таких выбросов или облагающие их налогами. Экономическая конкурентоспособность ядерной энергетики в ближайшем будущем повысится, если она будет учитываться в мировых механизмах торговли углеродом, связанных с сокращением выбросов ПГ.

### **D.1.3. Общественное восприятие**

91. На общественное восприятие ядерной энергетики влияет беспокойство вопросами безопасности, распространения и обращения с отходами. После ядерных аварий на АЭС "Три-Майл-Айленд" и Чернобыльской АЭС общественность была обеспокоена не только в связи с опасностью радиации для населения и окружающей среды, но и в связи с оперативностью поступления имеющейся информации и ее точностью. По-прежнему определенную роль в общественном восприятии ядерной энергетики играет беспокойство по поводу распространения и ядерного терроризма.

92. Общественное восприятие зависит также от многих факторов, характерных непосредственно для того или иного общества, таких как положение страны в области энергоснабжения, национальный опыт в сфере использования ядерной энергии и национальное восприятие вопросов охраны окружающей среды. Изменение общественного восприятия ядерной энергии частично объясняется успешным использованием ядерной энергии на протяжении последних 20 лет, а также представлением о том, что ядерная энергия может внести существенный вклад в борьбу с глобальным потеплением. Укреплению общественного доверия может также способствовать опыт успешного снятия с эксплуатации и обращения с

---

<sup>16</sup> OECD/Nuclear Energy Agency (OECD/NEA), *Projected Costs of Generating Electricity: 2005 Update*, Paris, 2005.

отходами. В некоторых странах на общественное восприятие могут оказывать сильное влияние отсутствие практических и доступных альтернатив и доводы о том, что ядерная энергетика внесла важный вклад в повышение уровня жизни в других странах.

93. Для любой страны, рассматривающей возможность использования ядерной энергетике или уже ее развивающей, открытая связь со всеми заинтересованными сторонами (руководством, общественностью, СМИ и соседними странами) по всем вопросам, связанным с ядерной энергетикой (выгоды, риски, политические и правовые обязательства), имеет важнейшее значение для укрепления доверия и уверенности в отношении ядерно-энергетической программы.

#### **D.1.4. Людские ресурсы**

94. Наличие людских ресурсов – серьезнейшая проблема для расширения и развития ядерной энергетике. Перед ядерной отраслью стоит задача нанять и обучить большое число квалифицированных специалистов только для замены очень опытных сотрудников, выходящих на пенсию. Для содействия запланированному расширению или реализации новых ядерно-энергетических программ потребуются дополнительные ресурсы. В своей совокупности – это масштабные задачи.

95. Для стран, приступающих к разработке ядерной программы, проверенный способ получения необходимых навыков лицами, которые будут заниматься эксплуатацией и обслуживанием первых станций, состоит в приобретении опыта работы на существующих установках, использующих аналогичную технологию. Именно в рамках такого практического обучения и опыта передаются знания и культура безопасности, необходимые в ядерно-энергетической отрасли. В условиях выхода на пенсию большого числа специалистов в период запланированного расширения ядерно-энергетических программ серьезной проблемой может стать обеспечение необходимых людских ресурсов, обладающих соответствующим опытом для выполнения поставленных задач.

96. Большинство отраслевых руководителей согласны с необходимостью тщательного планирования кадрового обеспечения отрасли. Вместе с тем совсем не обязательно иметь все необходимые кадры до начала строительных работ, поскольку за годы сооружения станции будет время для подготовки большей части требуемых специалистов, не являющихся ядерщиками.

#### **D.1.5. Обращение с отработавшим топливом и отходами**

97. При планировании расширения или внедрения ядерной энергетике следует учитывать необходимость обращения с новым или дополнительным отработавшим ядерным топливом и низко- и среднеактивными отходами (НСАО) и следует разработать политику и стратегию его осуществления и финансирования.

98. Обращение с отработавшим топливом и окончательное захоронение радиоактивных отходов регулярно становятся проблемой на пути развития ядерной энергетике. Хотя отработавшее топливо и НСАО с технической точки зрения могут безопасно храниться длительное время, некоторым странам, прежде чем приступить к расширению использования ядерной энергетике, возможно, потребуется определиться с вариантом постоянного захоронения отходов. Обращение с НСАО и долгосрочное хранение НСАО и отработавшего топлива – это зрелые технологии, равно как и захоронение НСАО. Тем не менее опыт показывает, что могут возникнуть трудности с обеспечением общественной поддержки сооружения установки для захоронения НСАО.

99. В зависимости от экономических условий отработавшее ядерное топливо либо перерабатывается для повторного использования, либо считается отходами. В ходе переработки плутоний и уран отделяются от отходов в целях рециклирования в качестве смешанного оксидного топлива (МОХ). Остающиеся высокоактивные отходы (ВАО) подлежат надежному захоронению. В настоящее время лишь некоторые страны перерабатывают и рециклируют свои отходы (закрытый топливный цикл). Другие страны предпочли не заниматься переработкой по экономическим соображениям и вследствие обеспокоенности по поводу вопросов распространения или охраны окружающей среды в связи с выделением плутония. В этих странах топливо удаляется в установку для геологического захоронения по истечении 30-40 лет промежуточного хранения (однократный топливный цикл). Большинство же стран, имеющих АЭС, заняли выжидательную позицию. В последнее время по соображениям устойчивости (более полное использование ресурсов) возрос интерес к замкнутому топливному циклу. Усовершенствованная переработка может также упростить окончательное захоронение остающихся ВАО.

100. В целях повышения эффективности и снижения обеспокоенности по поводу вопросов распространения изучаются международные или многонациональные подходы в отношении конечной стадии топливного цикла. Они включают создание многонациональных хранилищ, лизинг и возврат топлива и предоставление услуг по переработке.

101. Кроме того, необходимо также рассматривать вопросы будущего снятия с эксплуатации ядерных реакторов и обращения с радиоактивными отходами, образующимися в процессе снятия с эксплуатации. Технология снятия с эксплуатации имеется и является зрелой.

#### **D.1.6. Перевозка**

102. Увеличение во всем мире числа стран, имеющих действующие реакторы, приведет к росту общего объема перевозки урана, свежего и отработавшего топлива и отходов. Перевозка свежего топлива будет расширяться пропорционально росту производства электроэнергии и увеличится почти на 20% по низкому прогнозу Агентства и на 85% по высокому прогнозу. Увеличение объема перевозки отработавшего топлива и отходов прогнозировать сложнее, поскольку оно будет связано с национальной политикой в отношении переработки и другими факторами. В ближайшем будущем с открытием завода по переработке в Роккасё в Японии и прекращением действия договоров на переработку иностранного топлива в Соединенном Королевстве и Франции число трансграничных перевозок отработавшего топлива скорее всего сократится по сравнению 90-ми годами прошлого века. В более долгосрочной перспективе в условиях расширения переработки и рециклирования такие перевозки, по всей видимости, возрастут.

103. За последние несколько лет Агентство отметило увеличение числа случаев отказов выполнять перевозки радиоактивного материала, главным образом радиоактивных источников для медицинских или промышленных целей, но также урана и свежего ядерного топлива независимо от вида транспорта. Агентство собирает дополнительную информацию об этой тенденции и создало руководящий комитет для дальнейшего изучения ее последствий. Отказы не затронули перевозку отработавшего топлива и отходов, которая обычно осуществляется специальными партиями, но она становится объектом протестов общественности, организованных теми, кто выступает против использования ядерной энергии.

### **D.1.7. Риски распространения и физическая ядерная безопасность**

104. Хотя гражданские АЭС сами по себе не связаны с более высоким риском распространения, более широкое использование ядерного материала может увеличить риск переключения на немирное использование или террористические цели. Распространение ядерной технологии и существование международных террористов может также усилить представление о возросшем риске.

105. В результате международному сообществу, возможно, придется рассмотреть задачи, связанные с совершенствованием контроля за чувствительными элементами ядерного топливного цикла (например, использование многонациональных подходов к ядерному топливному циклу), усилением международной поддержки системы укрепленных гарантий Агентства и активизацией совместного принятия международных мер в области физической безопасности.

106. Развитие ядерной энергетики потребует осуществления дополнительной деятельности по гарантиям, но объем работы по проверке, выполняемой Агентством, вряд ли будет увеличиваться пропорционально, если государства согласятся принять меры по повышению прозрачности. Деятельность по проверке все больше основывается на информации. С увеличением числа установок, приближающихся к концу своего жизненного цикла, все более серьезной становится задача осуществления проверки на этапах остановки и снятия с эксплуатации. Затраты на проверку новой реакторной технологии и типов установок топливного цикла можно уменьшить за счет разработки и внедрения технологий, которые отвечают целям гарантий и позволяют осуществлять эффективную и действенную проверку.

107. Уязвимость материала во время перевозки – это один из аспектов, который может потребовать принятия дополнительных мер в случае увеличения объема перевозки реакторного топлива. В этой связи потребуются пересмотреть документ INFCIRC/225 "Физическая защита ядерного материала и ядерных установок" и включить в него дополнительные положения о перевозке.

### **D.1.8. Создание инфраструктуры в новых ядерных странах**

108. Создание надлежащей инфраструктуры для учета всех соответствующих вопросов при внедрении ядерной энергетики – задача, имеющая важнейшее значение, особенно для стран, планирующих сооружение первой АЭС. Инфраструктура включает обеспечение ядерной программы на протяжении всего ее жизненного цикла правительственными, правовыми, регулирующими, управленческими, техническими, людскими и прочими ресурсами. Она охватывает широкий круг вопросов – от физической передачи электроэнергии, перевозки материала и сырья на площадку, самой площадки и специальной установки для обращения с радиоактивными отходами до законодательной и регулирующей базы и необходимых людских и финансовых ресурсов. Короче говоря, инфраструктура в данном контексте включает все виды деятельности и механизмы, необходимые для разработки и осуществления ядерной программы<sup>17</sup>. Это касается ядерно-энергетической программы, планируемой как для производства электроэнергии, опреснения морской воды, так и для любых других мирных целей.

---

<sup>17</sup> В публикации Агентства "Рубежи развития национальной инфраструктуры ядерной энергетики" (*Milestones in the Development of a National Infrastructure for Nuclear Power*) (Серия изданий МАГАТЭ по ядерной энергии № NG-G-3.1) перечисляются 19 вопросов, которые должны быть учтены в национальной инфраструктуре.

109. Правительственные организации, энергопредприятия, промышленные организации и регулирующие органы в стране, разрабатывающей или расширяющей ядерно-энергетическую программу, - все они играют соответствующую роль в создании национальной ядерной инфраструктуры. Правительства стран-экспортеров и поставщики могут также играть определенную роль в качестве заинтересованных сторон в оценке адекватности национальной инфраструктуры до поставки ядерного оборудования и материала. Создание экспертного потенциала у этих организаций – это ключевой аспект, который необходимо решить на начальном этапе разработки ядерно-энергетической программы.

110. Необходимо тщательно спланировать создание всех элементов национальной ядерной инфраструктуры. Вместе с тем совсем не обязательно создавать всю инфраструктуру до начала разработки ядерно-энергетической программы, поскольку инфраструктура должна создаваться постепенно в соответствии с разработкой программы.

#### **D.1.9. Взаимосвязь между энергосистемами и реакторной технологией**

111. Размер, качество, стабильность и взаимосвязанность энергосистем – эти вопросы должны учитываться странами, использующими в настоящее время ядерную энергетику, но особенно теми, кто делает первые шаги в ядерной области. Максимальная мощность нового энергоблока любого типа, по широко распространенному мнению, не должна превышать 10% мощности энергосистем, чтобы не допустить возникновения проблем в точках сопряжения с энергосистемами. Взаимосвязанные энергосистемы повышают общую мощность. Уменьшить риск нестабильности могут системы защиты, изолирующие части энергосистемы во время перепадов напряжения.

112. Многие страны, заинтересованные в сооружении АЭС, имеют небольшие или изолированные энергосистемы. Из стран, выражающих заинтересованность в развитии ядерной энергетики, в 20 мощность энергосистем менее 5 ГВт (эл.), которая согласно 10-процентной рекомендации слишком мала для того, чтобы к ней можно было подключить какой-либо реактор ныне имеющихся конструкций. Связанные с энергосистемами вопросы могут ограничить выбор технологии для 28 стран, мощность энергосистем которых менее 10 ГВт (эл.). Конструкции мощностью менее 600 МВт (эл.) имеются на рынке в ограниченном количестве, хотя многие конструкции находятся в процессе разработки. Совершенствование технологий реакторов малой мощности, благодаря которому удастся повысить их рентабельность и уменьшить зависимость от стабильности и надежности энергосистем, расширит выбор стран с небольшими энергосистемами. Очень небольшие реакторы с характеристиками, делающими их полностью независимыми от энергосистем, могут также представлять интерес в плане их применения в условиях изолированности.

#### **D.2. Основные вопросы, связанные с долгосрочным развитием ядерной отрасли**

113. Для повышения долгосрочного вклада ядерной энергии в устойчивое развитие необходим прогресс в проектировании реакторов и топливных циклов. Цель устойчивого развития – обеспечение справедливости внутри стран, в их отношениях друг с другом и в положении поколений посредством комплексного решения задач роста, охраны окружающей среды и повышения благосостояния. Устойчивость можно рассматривать в четырех взаимосвязанных, но различных ракурсах или измерениях: социальном, экономическом, экологическом и институциональном. Чтобы добиться этого в рамках ядерно-энергетической системы, задача повышения устойчивости рассматривается в контексте прогресса в области безопасности, экономической эффективности, устойчивости с точки зрения распространения, отходов, окружающей среды, использования ресурсов, физической безопасности и инфраструктуры.

### **D.2.1. Эффективное использование имеющихся ресурсов**

114. Согласно последним оценкам глобальных запасов урана, опубликованным ОЭСР/АЯЭ и МАГАТЭ в 2008 году, установленные традиционные ресурсы урана составляют 5,5 млн. тонн. Это соответствует почти 100 годам потребления на нынешнем уровне. Хотя это и высокий показатель по сравнению с другими минеральными ресурсами, важная задача состоит в улучшении использования запасов урана, т.е. в повышении производства энергии на тонну добытого урана. Одновременно можно ожидать, что расширение разведки приведет к увеличению запасов урана.

115. Определенного улучшения (повышения производства энергии максимум в два раза) можно добиться на реакторах нынешнего поколения посредством уменьшения содержания урана-235 в хвостах установок по обогащению, повторного использования урана и плутония, извлеченных из отработавшего топлива, и увеличения глубины выгорания топлива.

116. Одна из мер по повышению эффективности использования имеющихся ресурсов – внедрение реакторов на быстрых нейтронах и соответствующих топливных циклов. При многократном рециклировании производство энергии на тонну урана может возрасти почти в 60 раз по сравнению с нынешними легководными реакторами. Для эксплуатации в промышленных масштабах могут быть также разработаны инновационные реакторы, которые будут использовать ториевое топливо, в результате чего увеличится число используемых в мире источников ядерного топлива.

117. Помимо эффективного использования урановых и ториевых ресурсов следует стремиться и к действенному использованию конструкционных материалов, например стали. Некоторые конструкции эволюционных реакторов предусматривают технические решения, которые прямо или косвенно обеспечивают экономию материалов и соответствующее повышение конкурентоспособности. К числу таких решений относятся: увеличение проектного срока эксплуатации, повышение эффективности использования тепловой энергии в рамках цикла преобразования энергии, снижение потребления стали, компактная планировка станции. В более долгосрочной перспективе эффективному использованию ресурсов может также способствовать рециклирование радиоактивных конструкционных материалов со снятых с эксплуатации ядерных реакторов.

### **D.2.2. Разработка инновационных конструкций реакторов**

118. Вторым основным вопросом, связанным с долгосрочным развитием ядерной отрасли, касается разработки инновационных конструкций реакторов. В разделе E.1.2 рассматривается вопрос о разработке инновационных конструкций крупных энергетических реакторов. Инновации по продлению возможной эксплуатации ядерно-энергетических установок включают увеличение рабочих температур и, соответственно, температур на выходе. Эти инновации реализовываются посредством разработки высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов и принятия мер по повышению температуры на выходе в водоохлаждаемых реакторах, включая разработку сверхкритических водоохлаждаемых реакторов. Инновации, являющиеся ответом на рост заинтересованности в применении ядерной энергетики в сферах, где требуются небольшие реакторы, касаются разработки реакторов, которые могут функционировать в рамках небольших энергосистем или изолированно. Хотя заинтересованность заметно растет, неясно, каким будет рынок для реакторов такой мощности. Кроме того, для применения в отдаленных или изолированных районах разрабатываются также реакторы, которые могут перевозиться или являются мобильными.



### **D.2.3. Инновации в области топливного цикла**

119. Параллельно с разработкой инновационных реакторов необходимо в долгосрочной перспективе разрабатывать и соответствующие установки топливного цикла. К ним относятся усовершенствованные установки по переработке, которые могут обрабатывать топливо инновационных реакторов и могут выделять плутоний и младшие актиниды для рециклирования, а также технологии изготовления таких видов топлива.

120. Внедрение инновационных реакторов и расширение деятельности по рециклированию приведет к более активному обращению с чувствительным с точки зрения распространения материалом и может тем самым увеличить потребности в области гарантий. Был предложен ряд инновационных подходов к урегулированию данного вопроса, включая обеспечение многостороннего характера чувствительных установок топливного цикла, т.е. установок по обогащению и переработке. Другие возможные варианты включают систему, при которой некоторые страны предоставляют услуги по поставке свежего топлива для реакторов и возвращению отработавшего топлива. Возвращаемое топливо станет таким образом ресурсом для рециклирования в реакторах на быстрых нейтронах и может в долгосрочной перспективе иметь важное значение. Использование рециклированного материала может также усилить обеспокоенность в отношении обеспечения безопасности и физической безопасности при перевозке.

121. Расширение использования замкнутых топливных циклов может также изменить ситуацию в отношении окончательного захоронения высокоактивных отходов (ВАО). После удаления плутония и младших актинидов радиотоксичность и тепловая нагрузка ВАО снизятся, что позволит повысить вместимость хранилищ за счет более компактного размещения упаковок с отходами. Обсуждаются также возможные преимущества международных или региональных хранилищ; вместе с тем при организации таких хранилищ по-прежнему возникают проблемы, связанные с необходимостью обеспечить политическую и общественную поддержку.

## **Е. Развитие реакторной технологии и технологии топливного цикла**

### **Е.1. Развитие технологии ядерных реакторов и вспомогательных технологий**

122. Большинство существующих в настоящее время передовых конструкций АЭС представляют собой эволюционные усовершенствования предыдущих конструкций. Выгода этого заключается в сохранении апробированных проектных характеристик и сведении к минимуму, таким образом, технологических рисков. Для этих эволюционных конструкций обычно не требуется проводить значительные дальнейшие НИОКР или проверки соответствия техническим требованиям.

123. Инновационные конструкции, с другой стороны, включают радикальные концептуальные изменения в подходах к разработке или конфигурации системы по сравнению с существующей практикой. Для инновационных конструкций, вероятно, потребуется делать более значительные инвестиции в НИОКР, а также строить опытные или демонстрационные установки.

### Е.1.1. Эволюционное развитие

124. Рост в ближайшей перспективе использования ядерной энергетики будет основываться, главным образом, на эволюционных конструкциях. Эволюционные конструкции включают учет опыта эксплуатации во взаимодействии человека и машины, обеспечение надежности компонентов, повышение экономических показателей и безопасности. Поскольку часть этой системы уже апробирована, то самое большое, что требуется эволюционным конструкциям – это инженерные испытания и проверки соответствия техническим требованиям. Примерами широко используемых элементов эволюционной конструкции для повышения экономических показателей являются:

- упрощенные конструкции (см. рисунок Е-1: пример реактора BWR)
- повышенная мощность реактора
- сокращение графика строительства, что приводит к уменьшению финансовых затрат, накапливающихся без уравнивающей прибыли
- стандартизация и серийное строительство, позволяющее распространять фиксированные затраты на несколько блоков
- повышение производительности при изготовлении оборудования, осуществление инженерно-технических работ и строительства на местах
- строительство нескольких блоков на одной площадке
- самостоятельность и местное участие

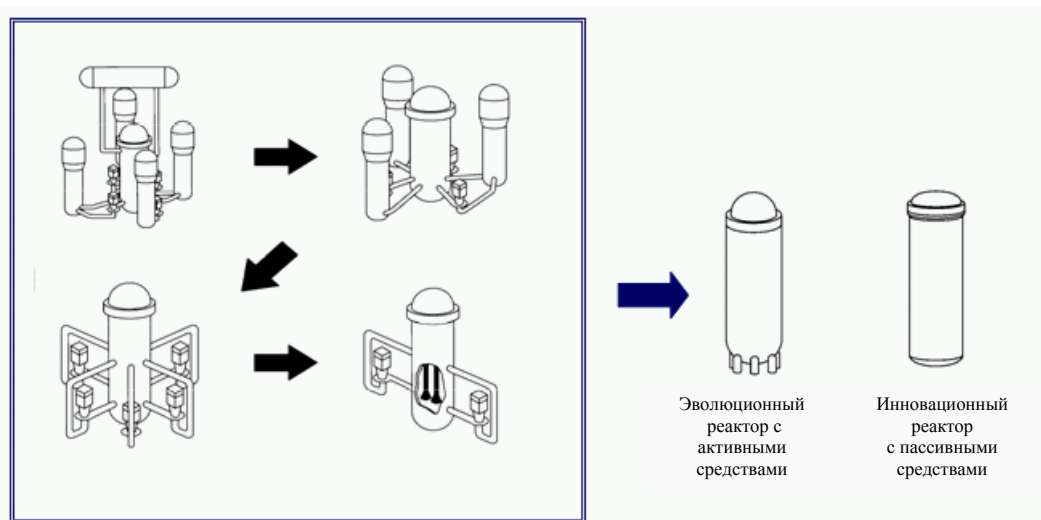


РИС. Е-1. Пример эволюции конструкции реактора BWR

125. Помимо улучшенных экономических показателей, некоторые средства широко используются для повышения безопасности и надежности эволюционных конструкций посредством уделения более пристального внимания внешним рискам и достижениям в области испытаний и инспекций, а также применению вероятностной оценки безопасности (ВОБ). При разработке эволюционных конструкций повышенное внимание уделяется также взаимодействию человека и машины, в том числе улучшению проектирования щитов управления и станции для облегчения технического обслуживания. Системы КИП и СУЗ также обновляются с целью использования цифровых систем.

*Легководные реакторы (LWR)*

126. Усовершенствованные конструкции реакторов LWR разрабатываются в нескольких странах.

127. В Китае была разработана отечественная конструкция реактора PWR мощностью 1000 МВт (эл.). Китай планирует завершить строительство этого энергоблока мощностью 1000 МВт (эл.) к 2013 году.

128. Во Франции и Германии компания AREVA разработала проект европейского реактора с водой под давлением мощностью 1600 МВт (эл.), который удовлетворяет требованиям европейских энергокомпаний. Первый реактор EPR - "Олкилуото-3" в Финляндии - находится в стадии строительства, и, как ожидается, его коммерческая эксплуатация начнется в 2012 году. Кроме того, компания "Электрисите де Франс" начала строительство EPR в Фламанвиле и его завершение ожидается приблизительно к 2012 году. Компания AREVA подписала контракт на поставку двух установок с EPR на площадку Тайшань в Китае, которая, как планируется, должна войти в строй в 2014 году. Компания AREVA работает также над вариантом реактора EPR, который бы удовлетворял требованиям США.

129. Япония осуществляет непрерывное развертывание установок с усовершенствованным реактором с кипящей водой (ABWR) мощностью 1356–1385 МВт (эл.), включая его вариант, полностью работающий на MOX-топливе, в Охме. В настоящее время рассматривается вопрос о выдаче лицензии на применение усовершенствованного реактора с водой под давлением новой конструкции (APWR) мощностью 1538 МВт (эл.) в энергоблоках Тусруга-3 и 4.

130. В Республике Корея осуществляется строительство усовершенствованного варианта корейской стандартной АЭС (KSNP) с оптимизированным энергетическим реактором (OPR) мощностью 1000 МВт (эл.) в энергоблоках Шин-Кори 1 и 2, начало коммерческой эксплуатации которых запланировано на 2010 год и 2011 год. Первые энергоблоки с реакторами APR-1400 мощностью 1450 МВт (эл.), разработанными Корейской компанией по гидро- и ядерной энергетике (KHNP) с учетом опыта KSNP с более высоким уровнем мощности, находятся в стадии строительства на площадках Шин-Кори 3 и 4, и завершение этого строительства запланировано на 2013 год и 2014 год.

131. В Российской Федерации компания "Атомэнергопроект" также переходит от использования реакторов ВВЭР-1000 к реакторам ВВЭР-1200 и ВВЭР-1500. Два реактора ВВЭР-1000 строятся в настоящее время в Индии и начало их коммерческой эксплуатации запланировано на 2009 год. Национальная электрическая компания (НЭК) Болгарии подписала контракт с российской компанией "Атомстройэкспорт" на строительство двух энергоблоков с реакторами ВВЭР-1000 на площадке "Белене". Существуют также планы построить в Российской Федерации к 2020 году 17 энергоблоков с реакторами ВВЭР-1200.

132. Российское Опытно-конструкторское бюро машиностроения (ОКБМ) разработало проект плавучей или наземной комбинированной АЭС. Строительство первой опытной комбинированной станции, размещенной на барже, на борту которой установлены два реактора типа КЛТ-40С (имеющих мощность 70 МВт (эл.) и вырабатывающих определенное количество тепловой энергии для комбинированного производства), было начато в апреле 2007 года с целью его завершения к 2010 году.

133. В США конструкции реакторов AP-1000 и ABWR были сертифицированы Комиссией по ядерному регулированию США (КЯР) и в настоящее время рассматривается вопрос о сертификации конструкции экономичного упрощенного реактора с кипящей водой (ESBWR) (1520 МВт (эл.)), реактора US-EPR (1600 МВт (эл.)) и реактора US-APWR (1700 МВт (эл.)). В настоящее время КЯР рассматривает вопрос о применении комбинированной лицензии (КОЛ)

ко всем этим усовершенствованным конструкциям, за исключением US-APWR. Компания "Вестингауз" подписала с китайской Государственной корпорацией по ядерной энергетике и технологии (ГКЯЭТ) контракт на поставку четырех станций с реакторами AP-1000 (по два энергоблока в каждой на площадках "Саньмэнь" и "Хайян"), при этом первая станция войдет в эксплуатацию в конце 2013 года.

134. Среди других реакторов LWR малой и средней мощности типичными эволюционными конструкциями являются: реактор AP-600 и интегральная конструкция реактора IRIS компании "Вестингауз", США; реактор ВВЭР-640 компаний "Атомэнергопроект" и "Гидропресс", станция ПАЭС-600 ОКБМ и реакторная установка ВК-300 российского Научно-исследовательского и конструкторского института энерготехники (НИКИЕТ); концепции конструкций упрощенного BWR (HSBWR) и ABWR (HABWR) компании "Хитати" в Японии; а также реактор NP-300 фирмы "Текникатом", Франция. Были предложены также многие другие концепции конструкций, большинство из которых являются эволюционными, но некоторые имеют инновационные характеристики. Однако к настоящему времени ни одна из этих разработок не вышла за рамки этапа проектирования.

#### *Тяжеловодные реакторы (HWR)*

135. В Канаде компания "Атомик энеджи оф Кэнада лимитед" (АЭКЛ) разрабатывает усовершенствованный реактор CANDU, в котором малообогащенный уран используется для компенсации легкой воды в качестве теплоносителя первого контура.

136. В конструкции индийского реактора HWR мощностью 540 МВт (эл.) учтен опыт разработки отечественных конструкций энергоблоков мощностью 220 МВт (эл.), и в Тарапуре началась коммерческая эксплуатация двух энергоблоков мощностью 540 МВт (эл.). Индия проектирует также эволюционный реактор HWR мощностью 700 МВт (эл.), а также усовершенствованный тяжеловодный реактор, в котором используется тяжеловодный замедлитель с кипящим легководным теплоносителем в вертикальных напорных каналах и который оптимизирован для использования ториевого топлива и имеет пассивные средства безопасности.

#### *Газоохлаждаемые реакторы (GCR)*

137. В некоторых странах были построены и эксплуатируются прототипные и демонстрационные установки GCR с гелиевым охладителем, в которых для производства электроэнергии используется паротурбинный преобразователь, работающий по циклу Ренкина. В Российской Федерации, США, Франции, Южной Африке и Японии прилагаются значительные усилия для разработки газотурбинного высокотемпературного реактора с прямым циклом, который является перспективным с точки зрения высокого теплового КПД и стоимости производства электроэнергии. В Южной Африке было завершено проектирование демонстрационного модульного реактора с шаровыми твэлами (PBMR) мощностью 165 МВт (эл.), и его строительство, как ожидается, начнется в 2009 году. В Китае разработка реактора HTR-PM (высокотемпературного газоохлаждаемого модульного реактора с шаровыми твэлами) мощностью 200 МВт (эл.) с непрямым (паротурбинным) циклом вступает в основную стадию проектирования с целью завершения строительства демонстрационной установки HTR-PM приблизительно к 2013 году.

#### *Реакторы с жидкометаллическим теплоносителем*

138. Со времени начальной стадии разработки ядерных реакторов была создана серия экспериментальных и прототипных быстрых реакторов (первый быстрый реактор достиг критичности в 1946 году). В результате проектирования и эксплуатации быстрых реакторов с натриевым теплоносителем, таких, как прототипный быстрый реактор (PFR) мощностью

270 МВт (эл.) в Соединенном Королевстве, прототипный реактор Phénix во Франции, реакторная установка БН-350 в Казахстане, демонстрационная установка БН-600 в России, реактор на быстрых нейтронах в Мондзю в Японии и установка промышленной мощности Superphénix во Франции (если назвать только крупные), был накоплен базовый опыт, превышающий 300 реакторо-лет. Эволюция быстрых реакторов с жидкометаллическим теплоносителем продолжается в процессе строительства Индией на ее площадке в Калпаккаме быстрого реактора с натриевым теплоносителем мощностью 500 МВт (эл.), которое должно быть завершено в 2010 году. В Индии планируется строительство еще четырех быстрых реакторов такой же мощности. Российская Федерация также продолжает строительство реакторной установки БН-800, которое должно быть завершено к 2012 году.

139. Более подробную информацию о состоянии быстрых реакторов можно получить в соответствующем дополнении к документу *"Обзор ядерных технологий – 2008"*.

### **Е.1.2. Будущие инновации**

140. Главными факторами, влияющими на развитие ядерно-энергетических систем нового поколения в XXI веке, будут: экономика, безопасность, устойчивость с точки зрения нераспространения и защита окружающей среды, включая улучшение использования ресурсов и сокращение образования отходов. Многие будущие инновации будут сосредоточены на системах на быстрых нейтронах, которые могут производить больше делящегося материала в форме плутония-239, чем они потребляют. Быстрые нейтроны в быстрых реакторах также обеспечивают возможность использовать или преобразовывать некоторые долгоживущие радиоизотопы, в результате чего сокращается нагрузка на окружающую среду вследствие обращения с высокоактивными отходами. Сложность этих особенностей дает определенное объяснение, почему эти системы находились на различных стадиях разработки в течение более 50 лет и продолжают развиваться и выдвигать инновационные концепции.

141. Помимо разработок, которые можно получить в результате осуществления инновационной деятельности, направленной на повышение эффективности топлива, существуют другие вопросы, поощряющие рассмотрение инновационных концепций. Они включают высокотемпературные применения и проектирование изолированных или удаленных мест нахождения.

142. Конкретные подходы к инновационным разработкам, применение которых может привести к повышению эффективности, безопасности и устойчивости с точки зрения нераспространения, среди прочих выгод, включают:

- использование долговечного топлива с весьма большой глубиной выгорания
- усовершенствование оболочки твэлов и компонентных материалов
- использование альтернативного теплоносителя для повышения безопасности и эффективности
- внедрение надежных систем, сохраняющих работоспособность при отказе отдельных элементов
- высокотемпературное преобразование энергии по циклу Брайтона
- проектирование ториевого топлива

143. Для внедрения инноваций, подобных этим, требуется проведение обширных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также испытаний. Ввиду ее ресурсоемкости значительная часть инновационной работы проводится в настоящее время в рамках международного или двустороннего сотрудничества.

## **Е.2. Развитие технологии ядерного топливного цикла и вспомогательных технологий**

### **Е.2.1. Развитие технологии ядерного топливного цикла**

144. Современная технология ядерного топливного цикла является надлежащей и полностью поддерживает производство ядерной энергии в настоящее время. Тем не менее, как и во всех технических областях, на всех этапах топливного цикла осуществляются новые разработки, которые еще больше повысят экономическую привлекательность и сократят риски с точки зрения безопасности, физической безопасности и распространения, а также озабоченности по поводу окружающей среды. В качестве примера можно привести развитие более эффективной и менее энергоемкой технологии обогащения.

145. Топливо, используемое в современных реакторах, непрерывно совершенствуется с целью обеспечения возможности повышения внутриреакторных показателей и увеличения глубины выгорания, т.е. улучшения использования урана. Для рециклирования переработанного урана и, в особенности, плутония в качестве МОХ-топлива требуется изготовление топлива, которое предполагает дистанционное манипулирование и увеличение доз облучения нынешнего персонала, а также необходимость усиления радиологической защиты.

146. В области перерабатывающей технологии, которая была разработана в 1960-х годах, проектируется оборудование с целью повышения чистоты продукции, уменьшения образования отходов и усиления контроля над распространением. Изучаются процессы, в рамках которых чистый плутоний не выделяется для рециклирования, а всегда смешивается с другим материалом, ураном или продуктами деления, что повышает устойчивость с точки зрения нераспространения.

147. Принципы захоронения ВАО и отработавшего топлива, в том числе в глубинных геологических хранилищах и в окружении многочисленных барьеров, хорошо признаны на международном уровне. В настоящее время осуществляются опытно-конструкторские работы с целью исследования подходящих площадок, проведения оценок безопасности и внедрения технологии герметизации и захоронения.

### **Е.2.2. Будущие инновации**

148. В разделе Е.1.2. были изложены различные тенденции развития инновационных реакторов. Для каждой из этих систем потребуется применить свой конкретный подход к топливному циклу. Конкретные типы реакторов будут иметь специально для них предназначенное ядерное топливо, для чего потребуется соответствующий уровень развития технологии и изготовления топлива, например, путем использования более высоких концентраций плутония.

149. Для внедрения систем быстрых реакторов потребуется переработка и рециклирование. В настоящее время разрабатываются усовершенствованные технологии переработки, которые могут выдерживать более высокие уровни облучения топлива быстрых реакторов и более короткие периоды охлаждения. Это включает усовершенствованные процессы мокрой обработки на основе технологии, используемой в настоящее время, а также новые сухие процессы, такие как пирохимическая обработка.

150. С целью снижения долгосрочной радиотоксичности и тепловой нагрузки ВАО, остающихся после переработки, в настоящее время разрабатываются новые технологические процессы, в рамках которых выделяются долгоживущие радионуклиды, например, младшие актиниды, такие как америций и кюрий. Выделенный материал может быть уничтожен путем сжигания (трансмутации) в топливе быстрых реакторов. Проводятся также исследования в области выделения цезия и стронция с целью снижения тепловой нагрузки отходов. Дополнительная информация о развитии усовершенствованных систем переработки содержится в соответствующем дополнении к документу "Обзор ядерных технологий – 2008".

151. Внедрение усовершенствованных систем рециклирования также окажет важное воздействие на окончательное захоронение ВАО. Хотя захоронение в глубинных геологических формациях будет, вероятно, по-прежнему требоваться, тепловая нагрузка может быть уменьшена, что увеличит емкость хранилища, поскольку плотность упаковки в большинстве случаев определяется тепловой нагрузкой. Будет снижена также долгосрочная радиотоксичность, что могло бы упростить проектирование хранилищ и повысить признание общественностью.

### **Е.3. Неэлектрические применения**

#### *Опреснение морской воды и централизованное теплоснабжение*

152. Увеличивается спрос на питьевую воду. Электроэнергия или пар, вырабатываемые на АЭС, уже используются для опреснения и не требуют значительных разработок для более широкого применения.

#### *Производство водорода и технологическое тепло*

153. Япония, США и другие государства исследуют способы производства водорода из воды посредством электролитических, термохимических и гибридных процессов. Значительная часть работы сосредоточена на высокотемпературных процессах, для которых требуются более высокие температуры (>750°C), чем те, что могут быть достигнуты в водоохлаждаемых реакторах. Усовершенствованные реакторы, такие как сверхвысокотемпературный газоохлаждаемый реактор (VHTGR), могут вырабатывать тепло с этими температурами. Первая демонстрация производства водорода с использованием газоохлаждаемых реакторов не ожидается вплоть, приблизительно, до 2015 года в Японии и до 2020 года в США. Этот высокотемпературный пар мог бы также применяться к производственным процессам в отраслях промышленности, где потребляется большое количество тепла. Актуальность применений водорода и технологического тепла будет зависеть от разработки реакторов с целью достижения высоких температур пара, а также от экономических показателей альтернативных вариантов. Развитие событий в долгосрочной перспективе в настоящее время остается неясным.

## **Г. Сотрудничество, связанное с расширением использования ядерной энергии и техническим развитием**

154. Международный форум "Поколение IV" (МФП) представляет собой группу из 11 членов<sup>18</sup>, которая занимается разработкой ядерно-энергетических систем нового поколения, обладающих преимуществами в сферах экономики, безопасности, надежности и устойчивости; их коммерческое развертывание запланировано на 2030 год. Было отобрано шесть систем и подготовлена дорожная карта технологий, на основе которой будет осуществляться НИОКР. К этим системам относятся:

- газоохлаждаемый реактор на быстрых нейтронах;
- реактор с жидкометаллическим теплоносителем - свинцовым сплавом;
- реактор с натриевым жидкометаллическим теплоносителем;
- сверхкритический водоохлаждаемый реактор;
- сверхвысокотемпературный газоохлаждаемый реактор;
- реактор на солевых расплавах.

155. США выступили с инициативой создания Глобального партнерства в области ядерной энергии (ГЯЭП), целью которого является расширение использования ядерной энергии в условиях укрепления физической безопасности и режима нераспространения. С технологической точки зрения деятельность ГЯЭП сосредоточена на замкнутом топливном цикле с использованием технологии переработки без выделения плутония, а ее международный компонент представлен рабочими группами по развитию инфраструктуры и по оказанию надежных топливных услуг. По состоянию на май 2008 года, в ГЯЭП насчитывается 21 партнер и 3 международные организации-наблюдателя<sup>19</sup>. Кроме того, еще девять стран принимают участие в ее работе в качестве наблюдателей.

156. В 2006 году Российская Федерация выступила с инициативой по развитию глобальной инфраструктуры ядерной энергетики (ГИЯЭ), первым шагом в рамках которой стало создание Международного центра по обогащению урана в Ангарске. В качестве партнеров выступают Армения и Казахстан. Целью ГИЯЭ является обеспечение доступа всех заинтересованных стран к атомной энергии при надлежащем соблюдении требований режима нераспространения.

157. Что касается безопасности, то в рамках пилотного проекта Многонациональной программы оценки проектов (МДЕП) по обмену информацией о сертификации конструкции предпринимаются усилия по повышению эффективности процесса сертификации конструкции. На последующих этапах осуществления МДЕП планируется провести унификацию кодов, норм безопасности и целей, стоящих перед регулирующими органами стран, в которых осуществляются крупные ядерно-энергетические программы. Процесс международной сертификации конструкции, в рамках которого регулирующий орган на основании установленных норм выдает закупающей стране сертификат конструкции, подтверждающий ее качество и эксплуатационные характеристики, будет содействовать расширению и развитию ядерной энергетики.

---

<sup>18</sup> Членами являются Аргентина, Бразилия, Канада, Республика Корея, Соединенное Королевство, США, Франция, Швейцария, Южная Африка, Япония и Евратом.

<sup>19</sup> Партнерами ГЯЭП являются Австралия, Болгария, Венгрия, Гана, Иордания, Италия, Казахстан, Канада, Китай, Республика Корея, Литва, Польша, Российская Федерация, Румыния, Сенегал, Словения, Соединенное Королевство, Соединенные Штаты Америки, Украина, Франция и Япония. МАГАТЭ, МЭА и МФП присвоен статус постоянных наблюдателей.