



60 лет

IAEA Атом для мира и развития

# Совет управляющих Генеральная конференция

GOV/INF/2017/12-GC(61)/INF/8

17 августа 2017 года

Общее распространение

Русский

Язык оригинала: английский

## Для служебного пользования

Пункт 18 предварительной повестки дня Конференции  
(GC(61)/1 и Add.1)

# Международное состояние и перспективы ядерной энергетики – 2017

*Доклад Генерального директора*

## Резюме

- В резолюции GC(50)/RES/13 Генеральной конференции Секретариату было предложено представлять на двухгодичной основе начиная с 2008 года всеобъемлющий доклад о международном состоянии и перспективах ядерной энергетики. В резолюции GC(60)/RES/12 Генеральной конференции, выпущенной в сентябре 2016 года, Секретариату было предложено в дальнейшем, начиная с 2017 года, издавать доклад "Международное состояние и перспективы ядерной энергетики" на четырехлетней основе, с тем чтобы повысить его значимость и сделать этот доклад одним из базовых документов Международной конференции 2017 года на уровне министров "Атомная энергетика в XXI веке". Настоящий доклад подготовлен во исполнение резолюции GC(60)/RES/12.



# Международное состояние и перспективы ядерной энергетики – 2017

*Доклад Генерального директора*

## **А. Введение**

1. В настоящее время в 30 странах мира эксплуатируется 447 ядерных энергетических реакторов и в 15 странах ведется сооружение 60 реакторов<sup>1</sup>. В конце 2016 года установленная мощность АЭС достигла 392 гигаватт (электрической мощности) (ГВт (эл.)), что на сегодняшний день является рекордным показателем. Доля возобновляемых энергоресурсов продолжает увеличиваться, но главным источником энергоснабжения по-прежнему остается органическое топливо, в особенности уголь.

2. Многие государства-члены по-прежнему считают ядерную энергетику проверенной, чистой, обеспечивающей возможность диспетчерского управления и экономичной технологией, которая, как ожидается, будет играть все более важную роль в укреплении энергетической безопасности и смягчении последствий изменения климата. Такой вывод был сделан также на Международной конференции на уровне министров "Атомная энергетика в XXI веке"<sup>2</sup>, которая была проведена Агентством в 2013 году в Санкт-Петербурге, Российская Федерация. С тех пор в мире произошло два важных события, заставивших по-новому взглянуть на потенциальную роль ядерной энергетики в глобальном энергобалансе: принятие целей в области устойчивого развития и вступление в силу Парижского соглашения об изменении климата. За Агентством по-прежнему признается ведущая роль в содействии мирному использованию ядерных технологий, разработке норм безопасности и руководств по физической безопасности, а также в содействии международному сотрудничеству и усилиям по повышению глобальной ядерной безопасности, физической безопасности и укреплению системы гарантий.

3. По прогнозам Агентства, общемировая установленная мощность АЭС при высоком сценарии вырастет по сравнению с уровнями 2016 года на 42% в 2030 году, на 83% в 2040 году и на 123% в 2050 году. Согласно низкому сценарию, она упадет на 12% в 2030 году и на 15% в 2040 году, а в 2050 году вернется к нынешним уровням. В создании ядерной энергетики

---

<sup>1</sup> По состоянию на 1 июля 2017 года. Чтобы показать условия, от которых зависят перспективы развития ядерной энергетики в ближайшем и более отдаленном будущем, в настоящий доклад включены основные моменты из "Обзора ядерных технологий – 2017" (документ GC(61)/INF/4), в котором детально описано состояние ядерной энергетики на 31 декабря 2016 года.

<sup>2</sup> Эта конференция стала продолжением конференций на уровне министров, состоявшихся в Париже, Франция, в 2005 году и в Пекине, Китай, в 2009 году. Следующая конференция на уровне министров по этой теме пройдет в Абу-Даби, Объединенные Арабские Эмираты, с 30 октября по 1 ноября 2017 года.

заинтересованы 28 стран. В 13 из 30 стран, уже эксплуатирующих атомные электростанции (АЭС), сооружаются новые энергоблоки либо активно завершается сооружение ранее приостановленных объектов, а в 16 странах имеются планы или предложения в отношении строительства новых реакторов.

## **В. Ядерная энергетика сегодня**

### **В.1. Меняющиеся условия**

4. Национальные и международные стратегии, конъюнктура рынка и технологические процессы, формирующие условия, в которых конкурирует ядерная энергетика, постоянно меняются. В данном разделе описаны важные изменения, происшедшие со времени публикации документа "Международное состояние и перспективы ядерной энергетики – 2014" (GOV/INF/2014/13-GC(58)/INF/6).

#### **В.1.1. Международные инициативы**

5. 4 ноября 2016 года вступил в силу новый международный договор по проблеме климата, принятый сторонами Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата в декабре 2015 года в Париже. Цель Парижского соглашения состоит в существенном сокращении объемов антропогенных (т. е. вызванных деятельностью человека) выбросов парниковых газов (ПГ), с тем чтобы удержать рост среднемировой температуры на отметке менее 2°C по сравнению с доиндустриальными показателями или даже менее 1,5°C, в зависимости от дальнейших научных данных. Подразумевается, что цели Соглашения будут достигнуты с течением времени за счет повышения совокупной и индивидуальной значимости определяемых на национальном уровне вкладов, реализация которых будет подчинена обязательному циклу: до тех пор пока общемировая температура не стабилизируется, страны должны каждые пять лет проводить оценку достигнутых результатов и представлять план принятия все более значимых мер борьбы с изменением климата. Три четверти общемировых выбросов ПГ составляют выбросы в энергетическом секторе, внутри которого наибольшее увеличение объемов выбросов приходится на электроэнергетику. Ядерная энергетика, будучи низкоуглеродной технологией, способна внести значительный вклад в решение проблемы изменения климата.

6. 1 января 2016 года вступили в силу 17 целей в области устойчивого развития (ЦУР), закрепленные в Повестке дня в области устойчивого развития на период до 2030 года, которая была принята в сентябре 2015 года на саммите Организации Объединенных Наций. Придя на смену целям развития тысячелетия (ЦРТ), ЦУР подразумевают, что все страны, независимо от уровня их дохода, на протяжении следующих 15 лет активизируют усилия для искоренения нищеты во всех ее формах, борьбы с неравенством и решения проблем, связанных с изменением климата. Это неразрывно связано с реализацией стратегий, предусматривающих экономический рост и удовлетворение социальных потребностей, в том числе в области образования, здравоохранения, социальной защиты и занятости, наряду с решением проблемы изменения климата и охраной окружающей среды. В то время как в ЦРТ энергетика включена не была, в системе ЦУР она признана одним из основных направлений деятельности, подтверждением чего является ЦУР 7: "Обеспечение доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех".

7. Разработанный Международным энергетическим агентством (МЭА) сценарий удержания роста температуры на уровне 2°C призван не допустить наиболее пагубных последствий изменения климата. В докладе 2017 года "Развитие экологически чистой энергетики", подготовленном МЭА в 2017 году, рекомендуется существенно увеличить масштабы применения ядерной энергетики. В нем отмечается, что в 2016 году совокупный объем введенных в действие генерирующих мощностей ядерной энергетики составил 10 ГВт (эл.), что является наивысшим показателем с 1990 года. Вместе с тем в докладе указано, что для достижения целевых показателей "сценария 2°C" необходимо до 2025 года увеличивать генерирующие мощности на 20 ГВт (эл.) ежегодно. В 2015 и 2016 годах в сфере энергетики было отмечено существенное смещение инвестиций с органического топлива на низкоуглеродные технологии. Вместе с тем, хотя в 2015 году объем инвестиций в генерацию электроэнергии на АЭС достиг 21 млрд долл. США, в инициативы по обеспечению энергоэффективности было вложено 221 млрд долл., а в освоение возобновляемых источников энергии – 313 млрд долл.

8. В подготовленной Всемирной ядерной ассоциацией (ВЯА) публикации "Harmony" ("Гармония") – концепции генерации электроэнергии в будущем – предусматривается, что в структуру энергопроизводства будут входить самые разнообразные низкоуглеродные технологии, задействованные таким образом, чтобы преимущества каждой из них использовались в максимальной степени, а минусы, наоборот, сводилось к минимуму. ВЯА установила следующий целевой показатель: к 2050 году 25% электроэнергии во всем мире должно вырабатываться на АЭС, для чего с учетом таких факторов, как вывод из эксплуатации старых реакторов и рост спроса на электроэнергию, потребуется соорудить новые АЭС совокупной мощностью приблизительно 1000 ГВт (эл.). Для достижения этой цели необходимо, чтобы в мировой ядерной отрасли действовали одинаковые для всех правила, применялись единые процессы регулирования и эффективная парадигма безопасности.

9. В 2015 году Агентство по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития (АЯЭ/ОЭСР) приступило к реализации инициативы "Ядерные инновации – 2050" (NI2050). Ее цель состоит в создании дорожной карты по наиболее приоритетным программам научных исследований и объектам инфраструктуры, необходимым для поддержки потенциальной роли ядерной энергии в низкоуглеродной энергетике будущего. Работа по линии инициативы NI2050 будет разделена на три этапа – анализ, разработка дорожной карты и реализация – и будет завершена в 2017 году.

10. В 2015 году МАГАТЭ и Международное агентство по возобновляемым источникам энергии (ИРЕНА) подписали соглашение об основах сотрудничества в области энергетического планирования, направленного на повышение эффективности и результативности соответствующей деятельности по созданию потенциала. В соглашении установлен ряд направлений взаимодействия, включая обмен информацией, данными и методологией, участие в учебных мероприятиях и сотрудничество в проведении предметных исследований.

### **В.1.2. Тенденции развития технологий**

11. К настоящему времени в 7 государствах-членах разработано свыше 17 конструкций и технологий усовершенствованных водоохлаждаемых реакторов. Подобные усовершенствованные конструкции уже доступны на коммерческом рынке и могут быть внедрены немедленно или в ближайшем будущем, при этом свыше 30 таких реакторов уже строятся. При разработке конструкций этих реакторов преследовалась одна и та же цель – повысить показатели безопасности, работоспособности и надежности при одновременном улучшении экономической конкурентоспособности реакторов за счет технических усовершенствований. К другим факторам, способствующим успешному внедрению

усовершенствованных реакторов, относятся лицензируемость новых конструкций, готовность системы регулирования, строительные технологии и управление строительством, наличие системы поставок и надежное финансирование проекта.

12. Существенных результатов удалось добиться также в разработке конструкций и технологий реакторов малой и средней мощности или малых модульных реакторов (PMCM/MMR). Эти модульные реакторы нового поколения способны вырабатывать до 300 МВт (эл.) электроэнергии. Системы и компоненты PMCM/MMR изготавливаются в заводских условиях, а сами реакторы по мере возникновения спроса могут доставляться на места в виде отдельных модулей, благодаря чему достигается экономия за счет серийного производства и сокращаются сроки строительства. Такие реакторы позволяют адаптировать производство энергии к широкому диапазону потребителей и применений, включая замену стареющих электростанций на органическом топливе. Поскольку для PMCM/MMR необходим меньший размер потенциальной зоны аварийного планирования и требуется меньший объем воды для охлаждения, они могут использоваться там, где невозможно разместить крупные АЭС. Во всем мире насчитывается около 50 конструкций и концепций PMCM/MMR, часть которых, как считается, может быть внедрена отраслью уже в ближайшем будущем, и несколько стран, как имеющих ядерно-энергетические программы, так и приступающих к развитию ядерной энергетики, занимаются исследованиями и разработками в сфере PMCM/MMR. В период с 2018 по 2020 годы планируется ввести в коммерческую эксплуатацию PMCM/MMR трех разных типов, находящиеся на завершающих стадиях строительства, – в Аргентине (CAREM), Китае (HTR-PM)<sup>3</sup> и Российской Федерации (КЛТ-40). Ожидается, что эксплуатация первой серии коммерческих PMCM/MMR начнется в период с 2025 по 2030 годы.

13. Для некоторых стран реальную перспективу для обеспечения долгосрочной устойчивости ядерной энергетики в будущем открывают быстрые реакторы. В Российской Федерации в 2016 году к энергосети на полной мощности был подключен быстрый реактор с натриевым теплоносителем БН-800, а в Индии в 2017 году планируется ввести в эксплуатацию прототип быстрого реактора-размножителя. На разных стадиях находятся программы создания быстрых реакторов и соответствующего топливного цикла и в ряде других стран.

14. Возможности для самых разнообразных не связанных с выработкой электроэнергии высокотемпературных применений (например, нефтехимические предприятия, термохимическое производство водорода и прочие промышленные применения), которые могут в значительной степени способствовать сокращению объема выбросов диоксида углерода (CO<sub>2</sub>), открывают высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы (HTGR). Китай, который в скором времени планирует ввести в эксплуатацию свой первый HTGR, недавно подписал соглашение о сотрудничестве в подготовке технико-экономического обоснования строительства HTGR в Саудовской Аравии. Польша в рамках проекта, которому оказывают поддержку ЕС, Республика Корея, США и Япония по линии совместной инициативы PRIME, рассматривает возможность демонстрации когенерации на промышленном объекте с применением HTGR.

## **В.2. Современное состояние ядерной энергетики**

15. В 2016 году на всех АЭС мира было выработано 2476 тераватт-часов (ТВт·ч) электроэнергии, что на 91 ТВт·ч меньше среднегодового показателя за первые 10 лет XXI века. Это сокращение обусловлено главным образом снижением выработки вследствие окончательного и временного останова реакторов в Японии, а также окончательного останова

---

<sup>3</sup> HTR-PM – высокотемпературный модульный реактор с шаровыми твэлами.

реакторов в Германии и США, которые частично скомпенсированы увеличением генерации в Китае и других странах.

16. В левой части рис. 1 показано географическое распределение 447 ядерных энергетических реакторов, которые эксплуатируются в 30 странах мира. Лидерство в коммерческом использовании ядерной энергетики по-прежнему принадлежит промышленно развитым странам. Совершенно другое положение складывается со строящимися АЭС (правая часть рис. 1): из 60 строящихся новых реакторов во всем мире 39 находятся в быстроразвивающихся странах Азии. С 2000 года в регионе начато сооружение 85 из 105 реакторов и подключено к энергосетям 63 из 78 новых реакторов. В 2015 и 2016 годах во всем мире к энергосети было подключено 20 новых реакторов, что представляет собой наивысший показатель с 1980-х годов.

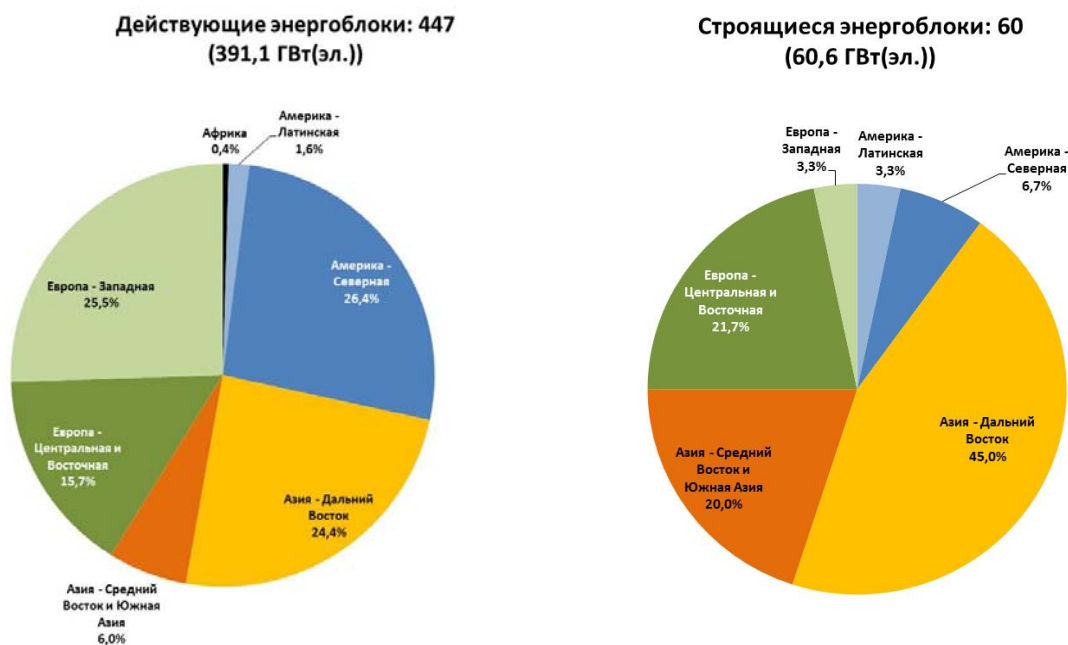


РИС. 1. Действующие ядерные энергетические реакторы (слева) и строящиеся ядерные реакторы (справа) мира по состоянию на 1 июля 2017 года. Источник: информационная система МАГАТЭ по энергетическим реакторам.

17. Доля ядерной энергетики в общем объеме мирового производства электроэнергии сокращалась десятый год подряд, упав в 2015 году почти до 11%. Вместе с тем за счет ядерной энергии по-прежнему обеспечивается около трети мирового низкоуглеродного производства электроэнергии. Вследствие сознательно проводимой политики продолжался быстрый рост удельного веса энергии ветра, солнца и биомассы в общем объеме генерации, однако основным топливом для выработки электроэнергии остается органическое топливо, в особенности уголь (см. рис. 2). Хотя на новые возобновляемые источники энергии (к которым относятся ветровая, солнечная и геотермальная энергия, но не гидроэнергетика) уже приходится больший совокупный объем установленной мощности, чем на ядерную энергию, ввиду присущего им непостоянства в работе их доля в фактическом производстве электроэнергии составляет менее одной трети объема, производимого на ядерных установках.

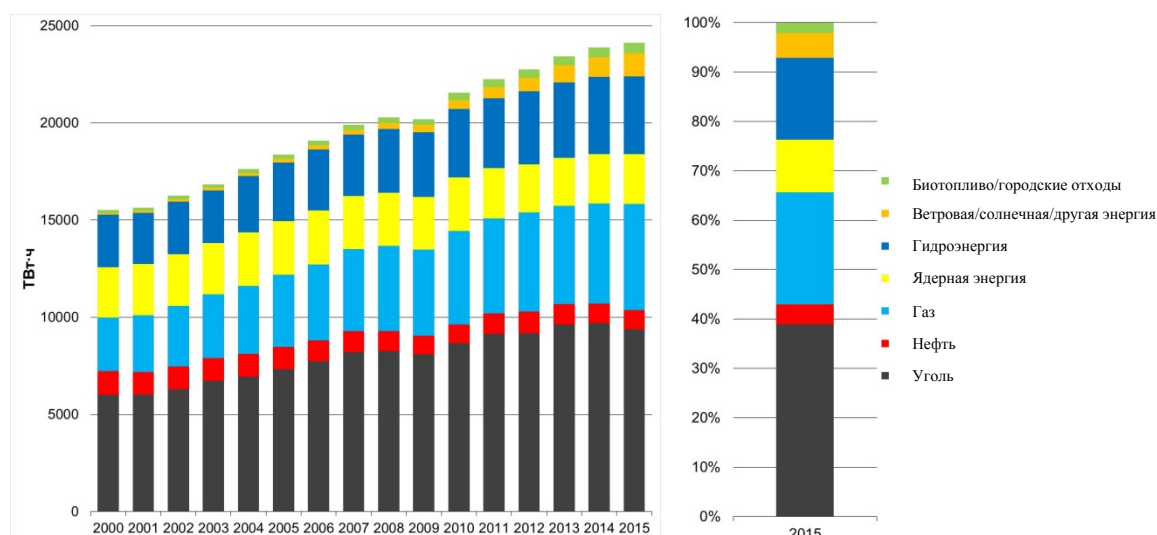


РИС. 2. Глобальное электроснабжение по видам топлива, 2000–2015 годы. Источник: адаптированные данные МЭА и компании "BP".

18. Спрос на электроэнергию в развивающихся странах приближается к показателям промышленно развитых стран и, вероятно, превысит их значительно раньше 2020 года. В отличие от регионов со стагнирующим спросом быстрый рост спроса в этих странах, как правило, дает толчок развитию всех имеющихся в данном районе и пригодных к использованию возможностей генерации, в том числе ядерной энергетики. На рис. 3 показано смещение объемов мирового производства электроэнергии от стран, входящих в ОЭСР, к странам, не являющимся ее членами.



РИС. 3. Доля в мировом производстве электроэнергии стран, входящих в ОЭСР, и стран, не являющихся ее членами, 2000-2015 годы. Источник: адаптированные данные МЭА и компании "BP".

19. До недавнего времени ядерная энергетика весьма неплохо переносила переход от регулируемого рынка электроэнергии к либерализованному (конкурентному) рынку. АЭС зарекомендовали себя конкурентоспособными и низкочувствительными предприятиями – во многом благодаря тому, что высокие первоначальные капиталовложения полностью окупались, и операторам оставалось нести лишь расходы на эксплуатацию и топливо, довольно низкие по сравнению с затратами на производство электроэнергии из органического топлива. Такая экономичность явилась главной причиной, по которой предприятия обращались за продлением



лицензий, модернизировали системы безопасности и наращивали мощность. Вместе с тем в последние годы ряд организаций-владельцев/операторов объявили о планах преждевременной остановки некоторых АЭС с действующими лицензиями на эксплуатацию или АЭС, лицензии на эксплуатацию которых вполне можно было продлить. Во многих случаях основной причиной этих преждевременных остановов называлось снижение конкурентоспособности: низкие цены на природный газ, особенно в США, обусловленные быстрым ростом добычи сланцевого газа, коренным образом изменили экономическую картину энергопроизводства.

20. Отработавшее топливо накапливается в объеме приблизительно 7000 тонн тяжелого металла в год. В большинстве своем оно содержится в приреакторных хранилищах мокрого типа, однако в последние годы существенно увеличился объем топлива, перемещаемого в сухие внереакторные хранилища, – теперь его доля составляет приблизительно 25% от всего топлива, находящегося на хранении. Больше всего отработавшего топлива на сухом хранении находится в Канаде и США. Основные предприятия по переработке находятся во Франции, Соединенном Королевстве и Российской Федерации, и, несмотря на планируемые в 2018 году и около 2020 года остановки двух предприятий в Селлафилде, Соединенное Королевство, ожидается, что общемировые мощности по переработке останутся на прежнем уровне. Новые предприятия по переработке планируют соорудить Китай и Российская Федерация, а в Японии в ближайшем будущем ожидается ввод в эксплуатацию завода в Роккасё.

21. Как любое промышленное предприятие, по окончании эксплуатационного периода АЭС выводится из эксплуатации. К настоящему времени были окончательно остановлены либо выводятся из эксплуатации 162 ядерных энергетических реактора; 19 из них уже полностью выведены из эксплуатации. Окончательно остановлены либо выводятся из эксплуатации свыше 150 установок ядерного топливного цикла; полностью выведены из эксплуатации 127 установок. По мере накопления опыта безопасной эксплуатации период эксплуатации зачастую продлевается.

## **С. Перспективы ядерной энергетики**

### **С.1. Планы в странах, рассматривающих вопрос о создании ядерной энергетики, создающих или расширяющих ядерно-энергетические программы**

22. В таблице 1 указаны планы расширения ядерно-энергетических программ<sup>4</sup> в 30 странах, где в настоящее время эксплуатируются АЭС, причем 13 из них сооружают новые энергоблоки либо завершают ранее приостановленные строительные работы. В 16 странах, эксплуатирующих АЭС, имеются планы или предложения по созданию новых реакторов.

---

<sup>4</sup> На основе заявлений государств-членов на 60-й очередной сессии Генеральной конференции в сентябре 2016 года и на других открытых форумах по состоянию на июль 2017 года.

ТАБЛИЦА 1. Положение дел в странах с действующими АЭС

Категория	Страны
Строят новый(ые) энергоблок(и)	Аргентина, Бразилия, Индия, Китай, Пакистан, Республика Корея, Российская Федерация, Словакия, США, Украина, Финляндия, Франция, Япония
Ведут строительство нового(ых) блока(ов) и имеют планы/предложения по строительству дальнейших	Индия, Китай, Пакистан, Республика Корея, Российская Федерация, США, Финляндия, Япония
Не ведут строительство блоков, но имеют планы/предложения по строительству нового(ых) блока(ов)	Армения, Венгрия, Исламская Республика Иран, Канада, Румыния, Соединенное Королевство, Чешская Республика, Южная Африка
Твердая политическая линия на отказ от строительства новых блоков	Бельгия, Испания, Швейцария <sup>5</sup>
Твердая политическая линия на закрытие существующих блоков	Германия

23. В настоящее время 28 государств-членов<sup>6</sup> рассматривают возможность разработки ядерно-энергетических программ, строят соответствующие планы или приступают к их реализации, но еще не подключили к энергосети первую АЭС. В таблице 2 они разделены на пять групп по степени развития инфраструктуры на основе подхода, описанного в документе Агентства "Milestones" ("Основные этапы")<sup>7</sup>. Еще 20 стран (последняя строка таблицы 2) проявляют интерес к ядерной энергетике, участвуют в некоторых мероприятиях Агентства, связанных с ядерной инфраструктурой, и проводимых при поддержке Агентства проектах технического сотрудничества в области энергетического планирования.

24. Со времени выпуска последнего доклада в 2014 году Беларусь и Объединенные Арабские Эмираты (ОАЭ) продвинулись в деле строительства своих первых АЭС, а четыре страны приняли решение отложить или отменить планы развития ядерной энергетики. Несколько стран Африки продвинулись в осуществлении планов после проведения в них миссии Агентства по комплексной оценке ядерной инфраструктуры (ИНИР). Некоторые страны, такие как Бангладеш и Турция, отдали распоряжения о строительстве своих первых АЭС и запустили процессы лицензирования площадки и строительства. Другие, такие как Египет и Иордания, находятся в стадии обсуждения контрактов, либо, как Гана, Кения, Нигерия, Польша, Саудовская Аравия и Судан, вскоре примут обоснованные решения или будут готовы к заключению контрактов, хотя в некоторых случаях на национальном уровне еще не принято решений, свидетельствующих о широкой политической поддержке.

<sup>5</sup> На референдуме в Швейцарии, прошедшем в мае 2017 года, примерно 58,2% участников проголосовали за запрет строительства новых АЭС. Действующие станции, на которых сейчас вырабатывается 34% электроэнергии страны, разрешено эксплуатировать до тех пор, пока это считается безопасным.

<sup>6</sup> На основе текущих проектов Агентства по оказанию помощи в развитии инфраструктуры ядерной энергетики, а также заявлений государств-членов на 60-й очередной сессии Генеральной конференции в сентябре 2016 года и на других открытых форумах по состоянию на июль 2017 года.

<sup>7</sup> Имеется в виду подход, описанный в документе "Milestones in the Development of a National Infrastructure for Nuclear Power" ("Основные этапы развития национальной инфраструктуры ядерной энергетики") (IAEA Nuclear Energy Series No. NG-G-3.1 (Rev. 1)).

ТАБЛИЦА 2. Положение дел в странах, не имеющих действующих АЭС

<b>Положение дел в стране</b>	<b>Число стран</b>
Начали сооружение первой АЭС	2
Отдали распоряжение о строительстве первой АЭС	2
Приняли решение, ведут подготовку инфраструктуры	5
Активно готовятся, но окончательного решения не приняли	7
Рассматривают возможность реализации ядерно-энергетической программы	12
Проявили интерес к ядерной энергетике	20

25. Все "новички", т.е. страны, впервые приступающие к развитию ядерной энергетики, взяли на вооружение подход, изложенный в документе "Milestones" ("Основные этапы"), и скрупулезно выполняют шаги, необходимые для решения всех 19 инфраструктурных задач. Поэтому среди государств-членов растет спрос на помощь со стороны Агентства, особенно в плане систематической, комплексной экспертизы ядерно-энергетической инфраструктуры на предмет соответствия нормам безопасности и другим руководящим материалам Агентства, призванную выявить пробелы и разработать надлежащие планы их ликвидации. Одной из самых популярных среди новичков ядерной отрасли услуг по экспертизе, предлагаемых Агентством, является услуга ИНИР, появившаяся в 2009 году. К настоящему времени проведено уже 22 такие миссии, в ходе которых 16 государств-членов получили помощь в оценке стадии развития их ядерной инфраструктуры и воспользовались рекомендациями международных экспертов о ее дальнейшем совершенствовании. Таким образом, в этих государствах-членах были созданы условия для рассмотрения возможности создания ядерно-энергетической инфраструктуры, ее развития и оценки на основе целостного, согласованного подхода с уделением пристального внимания вопросам безопасности, физической безопасности, гарантий и устойчивости. Южная Африка, одна из эксплуатирующих АЭС стран, также признала пользу приглашения миссии ИНИР прежде, чем будут составляться планы расширения энергетической системы. Кроме того, Агентство оказывало поддержку в других формах, включая подготовку документов о менеджменте финансовых рисков, связанных с новыми проектами строительства АЭС.

26. В 2018 году ОАЭ планируют ввести в эксплуатацию первый в стране ядерный реактор, а к 2020 году – еще три энергоблока. За ними последует Беларусь – еще одна страна, продвинувшаяся в реализации этапа 3: в 2019 и 2020 годах она введет в строй первые два энергоблока. Агентство впервые предлагает провести миссию ИНИР этапа 3, посвященную оценке готовности к вводу в эксплуатацию первой АЭС. Миссии ИНИР, проводимые по просьбе того или иного государства-члена, позволяют его правительству получить общую комплексную картину, включая обобщенные выводы всех профильных миссий или экспертиз, проводившихся до миссии ИНИР. Таким образом, миссии ИНИР этапа 3 обеспечивают окончательную оценку готовности всей инфраструктуры к вводу в строй и эксплуатации.

27. На рис. 4 дана общемировая картина потенциального приращения мощностей в государствах-членах, которые впервые приступают к осуществлению ядерно-энергетических программ, к 2030 году. Для сравнения взято приращение мощностей, о котором было объявлено, и то, которого следует ожидать при консервативном варианте осуществления планов государств-членов.

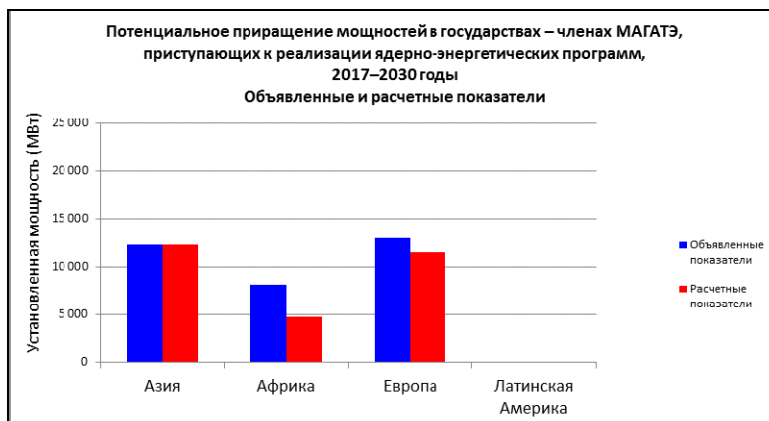


РИС. 4. Общемировая картина потенциального приращения мощностей в государствах-членах, приступающих к развитию ядерной энергетики, к 2030 году

## С.2. Прогнозы будущего роста и их толкование

28. Ежегодно Агентством публикуются<sup>8</sup> прогнозы глобального развития ядерных генерирующих мощностей: низкий и высокий. В их подготовке принимают участие авторитетные эксперты со всего мира; они учитывают все действующие реакторы, возможное продление лицензий, запланированные остановы и проекты строительства, которые реально могут быть осуществлены в ближайшие несколько десятилетий. Они рассчитывают будущие ядерные генерирующие мощности по каждому проекту в отдельности, оценивая их осуществимость на основе допущений, исходя из которых строятся низкий и высокий прогнозы. В настоящем разделе кратко излагаются результаты рассмотрения обоих прогнозов по принципу "снизу вверх"; затем они интерпретируются с учетом замечаний, содержащихся в предыдущих разделах настоящего доклада.

### С.2.1. Низкий прогноз

29. Низкий прогноз предполагает сохранение нынешних тенденций с небольшими изменениями в политике, касающейся ядерной энергетики. При этом не предполагается, что будут достигнуты все национальные плановые показатели развития ядерной энергетики. Это "консервативный, но вероятный" сценарий.

30. Согласно низкому прогнозу 2017 года, глобальная мощность ядерной энергетики уменьшится с 392 ГВт (эл.) в конце 2016 года до 345 ГВт (эл.) к 2030 году, за этим последует новое уменьшение до 332 ГВт (эл.) к 2040 году и восстановление до нынешних уровней к 2050 году<sup>9</sup>. Общемировые показатели отражают разнонаправленные региональные тенденции.

<sup>8</sup> Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050 (Reference Data Series No. 1), 2017 edition, будут опубликованы в сентябре 2017 года.

<sup>9</sup> В прогнозах учтены все имеющиеся мощности, которые классифицированы государствами-членами как "действующие", независимо от того, эксплуатируются они в настоящее время или временно остановлены. В 2016 году значительная часть мощностей Японии находилась в состоянии временного останова.

Значительное сокращение мощностей ожидается в Северной Америке, а также северной, западной и южной частях Европы; в Африке и на западе Азии прогнозируется лишь небольшое увеличение. При этом существенный рост прогнозируется в регионе, охватывающем центральную и восточную часть Азии, где к 2050 году ожидается увеличение мощностей ядерной энергетики на 43%.

31. Возраст более чем половины из 447 действующих в настоящее время реакторов превышает 30 лет. Согласно низкому прогнозу, до 2050 года чистого роста установленной мощности не произойдет; это, однако, не означает отсутствия нового строительства. На самом деле даже при низком сценарии к 2050 году будут установлены новые ядерно-энергетические мощности в объеме примерно 320 ГВт (эл.), компенсирующие потери вследствие вывода реакторов из эксплуатации, хотя и не всегда в одних и тех же регионах.

### **С.2.2. Высокий прогноз**

32. Высокий сценарий предполагает сохранение нынешних темпов роста экономики и спроса на электроэнергию, причем особенно активный рост прогнозируется на Дальнем Востоке. Кроме того, во многих странах ядерная энергетика утвердится в качестве экономически эффективного средства смягчения последствий изменения климата<sup>10</sup>.

33. В соответствии с высоким прогнозом мировой объем ядерно-энергетических мощностей достигнет 554 ГВт (эл.) к 2030 году, 717 ГВт (эл.) к 2040 году и 874 ГВт (эл.) к 2050 году. Мощности будут увеличиваться во всех регионах, причем наибольший рост будет наблюдаться в регионе, включающем в себя центральную и восточную часть Азии, где к 2030 году объем мощностей увеличится более чем в два раза, к 2040 году – в 2,9 раза, а к 2050 году – примерно в 3,5 раза по сравнению с нынешним уровнем. В регионе Северной Америки к 2050 году мощности несколько уменьшатся, а в регионе, включающем в себя северную, западную и южную части Европы, сначала также уменьшатся, а к 2050 году вырастут до 120 ГВт (эл.), несколько превысив нынешний уровень 113 ГВт (эл.).

34. Несмотря на повышение энергоэффективности, глобальный спрос на электроэнергию увеличивается, в основном за счет стран с формирующейся рыночной экономикой; среди них будут и страны, приступающие к осуществлению новых или расширению уже существующих ядерно-энергетических программ. Этим странам могут особенно пригодиться технологии "электромобильности", использование которых позволит отказаться от применения органического топлива на транспорте, избежав выбросов углерода и загрязнения воздуха.

### **С.2.3. Сравнение высокого и низкого прогнозов**

35. С 2010 года в ежегодных прогнозах Агентства неуклонно снижаются показатели общего объема ядерных генерирующих мощностей. Вместе с тем в долгосрочной перспективе у отрасли сохраняется высокий потенциал. На рис. 5 объем мощностей по состоянию на 2016 год сопоставляется с различными прогнозируемыми параметрами; при сопоставлении отчетливо видно, что перспективы ядерной энергетики характеризуются серьезной неопределенностью. Нынешние планы создания реакторов, представленные в разделе С.1, соответствуют диапазону этих прогнозов. В соответствии с низким прогнозом удельный вес АЭС в мировом производстве электроэнергии снизится с нынешнего уровня (примерно 11%) до 7,8% в 2030 году, 6,2% в 2040 году и 6% к 2050 году. В то же время в абсолютном выражении рост мирового объема ядерной электрогенерации, пусть и весьма умеренными темпами, но

---

<sup>10</sup> См. *Climate Change and Nuclear Power 2016* (IAEA, Vienna, 2016).

продолжается. При этом в Азии даже при низком сценарии энергопроизводство на АЭС растет более активными темпами, сообразно общей динамике роста электроэнергетики.

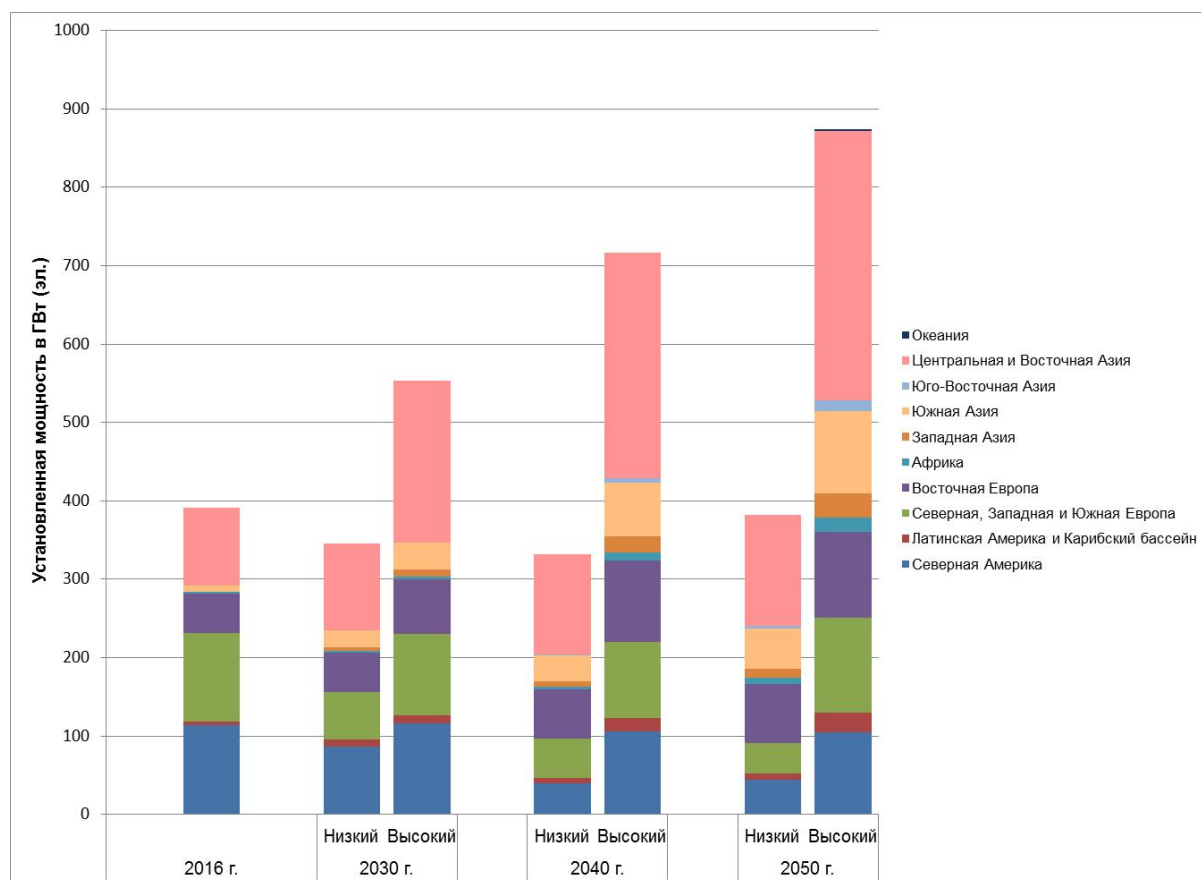


РИС. 5. Низкий и высокий прогнозы роста установленной ядерной мощности по регионам, подготовленные Агентством в 2017 году (ГВт (эл.))

36. В соответствии с высоким прогнозом расчетный удельный вес ядерной энергетики в мировом производстве электричества повысится с нынешнего уровня (11%) до 12,4% в 2030 году, 13,4% в 2040 году и 13,7% в 2050 году. Предположения об увеличении доли ядерной энергетики базируются на данных о росте энергетического сектора в развивающихся странах. Согласно высокому прогнозу, в мире появится 30-35 новых реакторов, которые, как ожидается, будут подключаться к энергосети ежегодно, начиная примерно с 2025 года. В последний раз такие темпы подключения были зафиксированы в 1984 году, когда к сети было подключено 33 новых реактора. Нынешний мировой производственный потенциал (главным образом в отношении изготовления тяжелых поковок) оценивается в 30-34 реактора в год. Главные сдерживающие факторы относятся не к производству, а к возможности заручиться политической поддержкой, монетизировать преимущества ядерной энергетики (такие как низкий уровень выбросов углерода, энергетическая безопасность, создание рабочих мест) перед другими видами производства электроэнергии и эффективнее информировать инвесторов и население о сопутствующих выгодах и рисках. Другими словами, для подключения 33 реакторов к 2025 году начинать действовать необходимо уже сегодня.

37. По состоянию на 1 января 2015 года годовой объем производства урана, составляющий 55 975 тонн, обеспечивал примерно 99% ежегодных потребностей реакторов, а оставшаяся часть удовлетворялась за счет урана, добытого ранее. Ресурсная база урана считается более чем достаточной для удовлетворения прогнозируемого спроса до 2030 года. В то же время для

удовлетворения спроса по высокому сценарию потребуются своевременные инвестиции, которые позволят начать разработку этих ресурсов и обеспечить их готовность к производству ядерного топлива.

## **D. Существенные факторы**

38. В настоящем разделе рассматриваются некоторые факторы, которые могут иметь значение для определения того, к какому прогнозу – низкому или высокому – будут тяготеть тенденции в будущем.

### **D.1. Безопасность**

39. Безопасность ядерных установок имеет решающее значение для будущего ядерной энергетики, поскольку без высоких показателей безопасности сложно ожидать позитивного отношения общественности к этому виду энергетики.

40. После аварии на АЭС "Фукусима-дайти" и принятия в 2011 году Плана действий МАГАТЭ по ядерной безопасности Агентство, его государства-члены и профильные организации начали принимать меры для укрепления ядерной безопасности во всем мире. Особый акцент был сделан на безопасности АЭС в условиях экстремальных природных явлений, а также на связанных с ней вопросах топливного цикла, обращения с радиоактивными отходами и радиационной безопасности. В глобальном масштабе прогресс в области ядерной безопасности позволил повысить эффективность глубокоэшелонированной защиты, нарастить потенциал в плане аварийной готовности и реагирования и лучше поставить дело защиты людей и окружающей среды от ионизирующих излучений.

41. Агентство проводит пересмотр своих требований безопасности с целью учета уроков аварии на АЭС "Фукусима-дайти". Число обращений государств-членов к Агентству с просьбой провести независимую экспертизу или предоставить консультативные услуги, как и запросов о содействии в разработке программ лидерства и менеджмента для обеспечения безопасности и в создании потенциала, продолжает расти.

42. Деятельность, связанная с закупками, сильно влияет на безопасность. За последние годы в ядерной отрасли было принято множество мер для решения проблем, связанных с использованием контрафактных, поддельных и подозрительных изделий. Для безопасной и экономичной эксплуатации ядерных установок необходимы инженерно-техническое обеспечение закупок и эффективная система поставок, включающая процессы контроля и обеспечения качества.

### **D.2. Финансирование и субсидирование**

43. При развертывании и расширении национальных ядерно-энергетических программ возникают потребности в финансировании различных задач, например создания и обеспечения работы национального регулирующего органа и формирования механизмов финансирования для выполнения обязательств, относящихся к конечной стадии топливного цикла, таких, как вывод из эксплуатации и обращение с отходами. Ответственность за это лежит в основном на государственных органах. Агентство предоставило поддержку в этой области нескольким государствам-членам, в том числе посредством проведения национальных семинаров-практикумов в Беларуси, Иордании и Турции.

44. Финансирование ядерных проектов представляет определенные трудности, учитывая высокую капиталоемкость таких проектов и как следствие – их чувствительность к процентным ставкам, а также факторы неопределенности. Было разработано несколько возможных моделей финансирования, позволяющих устранить некоторые из таких факторов неопределенности, особенно риски рыночного характера, с которыми стороны, реализующие проекты и финансирующие их, сталкиваются на этапе эксплуатации станции. Эти риски, которые могут привести к отсутствию возможности реализовывать произведенную станцией электроэнергию по адекватной цене, могут быть особенно высоки на либерализованных рынках электроэнергии. Их можно снизить за счет договоренностей – возможно, при поддержке правительства страны, в которой расположена станция, – о полном или частичном выкупе производимой станцией электроэнергии по гарантированной фиксированной цене. Подобные договоренности сыграли ключевую роль в реализации таких проектов, как АЭС "Аккую" (Турция), АЭС "Хинкли-Пойнт С" (Соединенное Королевство), АЭС "Олкилуото" и "Ханхикиви" (Финляндия).

45. Такие договоренности эффективны в плане обеспечения финансирования проектов, поскольку снижают рыночные риски, но малоприменимы для снижения рисков, характерных для ядерных проектов на более ранних стадиях жизненного цикла, а именно связанных со срывом сроков строительства и перерасходом средств. Чтобы иметь возможность увеличить долю относительно недорогих заемных средств в структуре финансирования проекта, важно, чтобы проект был "безрисковым" с точки зрения кредиторов. Достигается это разными способами: например, принимающее правительство предоставляет кредиторам прямые суверенные гарантии, либо продавцы парогенератора для АЭС входят в проект на правах акционеров. Последний вариант был реализован в рамках проекта "Барака" в ОАЭ: Корейская электроэнергетическая корпорация приобрела 18% акций компании "Барака Уан"; по тому же сценарию Государственная корпорация по атомной энергии "Росатом" приобрела 34% акций в проекте "Ханхикиви" в Финляндии.

### **D.3. Рынки электроэнергии и политика в ядерной сфере**

46. Глобальный энергетический рынок после 2014 года характеризуется следующими основными явлениями: падение цен на природный газ, стремительное появление крупных мощностей по выработке возобновляемой энергии, смещение спроса на электроэнергию от стран, входящих в ОЭСР, к странам, не являющимся ее членами, а также отсутствие внятных ориентиров по цене CO<sub>2</sub>.

47. Парижское соглашение (см. раздел В.1.1) может позитивно сказаться на развитии ядерной энергетики, если ее потенциал в качестве низкоуглеродного источника электроэнергии получит более широкое признание. Некоторые страны считают проблему изменения климата достаточным аргументом в пользу того, чтобы продолжать эксплуатацию АЭС, которые в иных условиях были бы закрыты по экономическим причинам, либо одним из аргументов в пользу строительства новой станции. В долгосрочной перспективе позитивную роль могут также сыграть пятилетние обзоры определяемого на национальном уровне вклада по Парижскому соглашению и важное значение, которое придается в Соглашении инновациям, поскольку совершенствование конструкции реакторов позволит улучшить положение дел как в области безопасности, так и в том, что касается обращения с радиоактивными отходами. Со временем передовые технологии могут стать коммерчески доступными для включения в структуру энергопроизводства с низкой долей углерода. Однако для перехода от существующих технологий к технологиям следующего поколения необходимо наличие парка эксплуатируемых реакторов.



48. По прогнозам МЭА, для достижения целей Парижского соглашения (см. раздел В.1.1) может потребоваться увеличение современных мощностей ядерной энергетики по меньшей мере вдвое к 2050 году. Реализуемые на рынках электроэнергии меры стимулирования, поддерживающие все типы низкоуглеродных решений, включая ядерную энергетику, будут играть ключевую роль в снижении уровня неопределенности применительно к инвестициям в ядерную энергетику, что будет способствовать своевременному наращиванию мощностей для смягчения последствий изменения климата. В то же время должны получить признание такие преимущества ядерной энергетики, как гарантированность поставок, надежность и предсказуемость. Эти факторы приобретают особую важность в условиях повышенной волатильности рынков электроэнергии, связанной с появлением различных технологий получения возобновляемой энергии с переменным характером выработки, например ветровой и солнечной энергии. Следующие примеры из области политики подчеркивают роль рынков электроэнергии в развитии ядерной энергетики: в Соединенном Королевстве механизм контрактов на маржевую разницу гарантирует определенный уровень цен на электроэнергию; действующие в штате Нью-Йорк, США, нормы экологичности электроэнергии поощряют отсутствие выбросов в ядерной энергетике специальными льготами; в Мексике поставлена цель к 2024 году обеспечить выработку 35% электроэнергии в стране за счет низкоуглеродных источников (к которым относится и ядерная энергетика), и в рамках усилий по достижению этой цели проводятся ежегодные аукционы. В отсутствие эффективных мер поддержки схем долгосрочного финансирования темпы развития ядерной энергетики могут снизиться, что поставит под угрозу эффективность усилий по смягчению последствий изменения климата.

49. Поскольку энергетика теперь является самостоятельным ключевым направлением в рамках ЦУР (см. раздел В.1.1), преимущества ядерной энергетики в контексте устойчивого развития могут стать более явными. Роль ядерной энергетики в вопросах устойчивости стала предметом существенных разногласий, касающихся соотношения ее преимуществ, таких, как низкоуглеродная выработка электроэнергии, и опасений, связанных с риском аварий и воздействием на окружающую среду и здоровье человека процессов обращения с радиоактивными отходами. Агентство провело сравнительный анализ характеристик ядерной энергетики в сравнении с альтернативными источниками электроснабжения и с учетом ЦУР применительно к экономическим, социальным и экологическим составляющим устойчивого развития. С учетом широкого спектра показателей был сделан вывод о том, что ядерная энергетика может считаться надежным источником энергии, который может играть роль в диверсификации энергоснабжения и способствовать повышению его устойчивости и бесперебойности.

#### **D.4. Инновации: усовершенствованные реакторы и топливные циклы**

50. Наблюдается возрождение интереса к передовым альтернативным конструкциям твэлов, которые повышают эффективность работы реактора и снижают вероятность повреждения топлива и выделения водорода при авариях. Некоторые из таких новых твэлов могут применяться на уже эксплуатируемых и на строящихся реакторах. Также в разработке находится несколько твэлов усовершенствованной конструкции для новых систем реакторов и их топливных циклов.

51. Быстрые реакторы не будут играть решающей роли до 2050 года, но могут стать значимым фактором позднее, особенно если в целях обеспечения устойчивости потребуются минимизация отходов (их объема и продолжительности существования) и эффективное использование ресурсов урана.

52. Использование ядерной энергии для комбинированного производства тепла и электроэнергии, а также для утилизации теплоотходов открывает возможности для выхода на рынки неэлектрических применений. Это позволит повысить эксплуатационный КПД и получить экономические выгоды. В качестве альтернативы традиционным системам генерации тепла, работающим на органическом топливе, ядерные когенерационные установки позволят сократить выбросы диоксида углерода. Когенерационные установки также способны поддерживать системы переменной выработки электроэнергии непостоянными возобновляемыми источниками энергии, переключаясь между выработкой электроэнергии и другими режимами. Таким образом, ядерная энергетика может вносить вклад в общий рынок энергопроизводства в дополнение к генерации электроэнергии.

53. В нескольких государствах-членах, накопивших более 750 реакторо-лет опыта эксплуатации, успешно демонстрируются низкотемпературные применения. В этих случаях горячая вода и пар генерируются для применения при рабочих температурах ниже 200°C (целлюлозно-бумажные комбинаты, центральное теплоснабжение и опреснение). В будущем станет возможным использование усовершенствованных АЭС с реакторами на иных теплоносителях, помимо воды, для высокотемпературных применений. Ввод в эксплуатацию первого HTGR в Китае может стимулировать более активное строительство реакторов такого типа. Такие реакторы также могут использоваться для более широкого спектра высокотемпературных применений, не связанных с электроэнергией.

54. Коммерческое внедрение РМСМ, сулящих большие преимущества странам с небольшими энергосетями, слаборазвитой инфраструктурой и ограниченными инвестиционными возможностями, а также хорошо подходящих для специализированных применений (удаленные районы, использование технологического тепла, опреснение), также может повлиять на будущее ядерной энергетике (см. раздел В.1.2).

## **D.5. Обращение с отходами**

55. Убедительный прогресс в проектировании и создании пунктов захоронения высокоактивных отходов (ВАО) коренным образом повлияет на политическое и общественное признание ядерной энергетике. Наиболее благожелательное отношение общества характерно для стран, в которых имеются ясные стратегии обращения с отходами и наглядно продемонстрирован прогресс в создании действующих пунктов захоронения ВАО.

56. В подавляющем большинстве случаев проблема безопасного и эффективного захоронения радиоактивных отходов продолжает успешно решаться по всему миру. В остальных случаях, применительно к небольшим объемам ВАО и отработавшего ядерного топлива несколько стран активно работают над созданием пунктов захоронения. В ноябре 2015 года была выдана первая лицензия на строительство пункта глубокого геологического захоронения отработавшего ядерного топлива "Онкало" в Финляндии, и в декабре 2016 года было начато строительство. В июне 2016 года Шведское управление по радиационной безопасности одобрило заявку на получение лицензии для строительства на АЭС "Форсмарк" пункта глубокого геологического захоронения отработавшего ядерного топлива. Во Франции готовится заявка на получение лицензии для строительства пункта глубокого геологического захоронения средне- и высокорadioактивных отходов "Сижео".

57. Несколько заинтересованных государств-членов продолжают обсуждение многонациональных подходов к безопасному захоронению отработавшего ядерного топлива и высокорadioактивных отходов. К принятию обязательств по строительству конкретных объектов эти переговоры пока не привели, но готовность открыто взаимодействовать по этому вопросу говорит о наличии потенциально больших выгод.

58. Вывод объектов из эксплуатации позволяет готовиться к будущему использованию площадки для строительства новой электростанции или даже для промышленных или иных нужд, не связанных с использованием радиоактивных материалов. Теперь, когда шаги и технологии, применяемые при выводе объектов из эксплуатации, близки к промышленной зрелости, грамотный подход к завершению жизненного цикла АЭС также становится важным фактором, влияющим на будущее ядерной энергетики.

## **D.6. Создание потенциала**

59. К числу наиболее серьезных трудностей, стоящих перед ядерным сообществом, относится поиск и удержание подготовленного персонала для формирования высококвалифицированной рабочей силы, обслуживающей ядерные установки на всех этапах жизненного цикла. Особенно остро стоит проблема утраты экспертных знаний и человеческого капитала по завершении строительства новых станций, поскольку такие проекты редки и между ними часто проходит много лет (это не относится к Китаю, Республике Корея, Российской Федерации и Японии). Чтобы сделать профессиональную подготовку, обучение и развитие потенциала в ядерной сфере более доступными для новых поколений специалистов как в странах-новичках, так и в странах, где ядерная энергетика уже функционирует, применяются инновационные подходы, такие, как цифровое и комбинированное обучение.

60. Агентство продолжает объединять профессиональные сообщества в рамках сетевых и региональных механизмов. Организованные Агентством Школа управления ядерными знаниями и Школа управления в области ядерной энергии расширяют охват аудитории: в дополнение к занятиям, регулярно проводимым в Италии (совместно с Международным центром теоретической физики в Триесте), Японии и ОАЭ, в 2016 году учебные занятия этих школ проводились в Российской Федерации и Южной Африке.

61. Использование и доступность исследовательских реакторов не теряют актуальности как практический компонент обучения студентов и специалистов в ядерной области. Отвечая на запросы государств-членов, за последнее время Агентство разработало целый ряд схем и возможностей для создания и сохранения профессионального потенциала с использованием исследовательских реакторов, среди которых – курсы практического обучения, инструменты удаленного обучения, такие, как осуществляемый Агентством проект реакторной интернет-лаборатории и схема взаимопомощи, известная как международные центры передового опыта МАГАТЭ на базе исследовательского реактора (ИСЕРР).

62. Большим спросом пользуются модули электронного обучения, разработанные для конкретной аудитории, например для представителей стран, приступающих к развитию ядерной энергетики, и специалистов-практиков по обращению с радиоактивными отходами, выводу из эксплуатации и восстановлению окружающей среды.

## **D.7. Социальная приемлемость**

63. Для будущего ядерной энергетики ключевое значение имеет социальная приемлемость. Она во многом зависит от восприятия общественностью преимуществ и рисков, связанных с ядерной энергетикой, но также и от преимуществ и рисков, характерных для безъядерных альтернатив. Сильнее всего на социальную приемлемость по-прежнему влияют опасения по поводу радиационных рисков, обращения с отходами, безопасности и распространения.

64. Залогом успешного и безопасного внедрения ядерной энергетики стало участие заинтересованных сторон в разработке соответствующей политики и принятии инвестиционных решений, особенно тех, которые потенциально затрагивают безопасность. Их

участие необходимо при выработке национальной позиции в странах-новичках и при выборе площадок для строительства новых ядерных объектов и пунктов захоронения ВАО. Оно также способствует укреплению и сохранению доверия к компетентности и эффективности регулирующих органов.

65. Своевременная коммуникация и участие общественности в проектах ядерной энергетики способствуют лучшему пониманию этой проблематики и увеличивают шансы на принятие информированных положительных решений заинтересованными лицами. Прозрачные процессы на основе всестороннего участия на всех этапах ядерно-энергетической программы имеют решающее значение для принятия справедливых и последовательных решений, а также для максимально полной реализации потенциала ядерной отрасли.