



Значение атомной энергетики в современном мире



Андрей Кузьмин,
генеральный директор
Объединенного
института
энергетических и
ядерных исследований –
Сосны НАН Беларуси,
кандидат физико-
математических наук,
доцент

По состоянию на начало 2024 г. в 32 странах мира в эксплуатации находятся 412 реакторов установленной мощностью 370,17 ГВт (э), а также 25 – суммарной мощностью около 21,2 ГВт (э), эксплуатация которых временно приостановлена. В стадии сооружения – 59 энергоблоков на 61,2 ГВт (э). Приблизительно 90% действующих мощностей приходится на реакторы с легководным замедлителем и теплоносителем, около 6% – тяжеловодным, 2% – легководные реакторы с графитовым замедлителем и около 2% – газоохлаждаемые. Кроме того, эксплуатируются две АЭС с реакторами на быстрых нейтронах и жидкометаллическим теплоносителем [1, 2].

Лидерами по числу эксплуатируемых энергетических реакторов являются США (92 энергоблока), Франция (56), Китай (54) и Российская Федерация (37). Наибольшее число строящихся станций находится в Китайской Народной Республике (20) и Индии (8). При этом лидером по числу энергоблоков АЭС, сооружаемых за рубежом, является Россия. Портфель зарубежных заказов Госкорпорации «Росатом» включает 33 блока на разных стадиях реализации. В 2023 г. успешно введен в эксплуатацию второй блок Белорусской АЭС. Помимо этого, в Российской Федерации сооружаются 3 энергоблока, включая инновационный опытно-демонстрационный с реактором на быстрых нейтронах БРЕСТ-ОД-300. По данным МАГАТЭ, на начало 2023 г. в разных странах планировалось строительство еще 69 энергетических реакторов общей установленной мощностью более 60 ГВт (э) [1, 2].

Белорусская атомная электростанция [3] на 2400 МВт построена по российскому проекту «АЭС-2006», относящемуся

к поколению «3+». Благодаря ее работе Беларусь занимает 3-е место в рейтинге стран Европы по дешевизне электроэнергии [4, 5].

Ежегодно АЭС всего мира производят около 2500 ТВт-ч электроэнергии, что составляет приблизительно 10% общемировой электрогенерации и примерно треть мирового производства низкоуглеродной электроэнергии. Атомная энергетика может удовлетворить растущий спрос на электроэнергию и неэлектрические применения энергии на период до 2050 г. в рамках концепции перехода к устойчивой низкоуглеродной энергетике [6, 7].

Согласно пессимистичному прогнозу, на период до 2030 г. установленная мощность нетто АЭС в мире сначала будет постепенно снижаться, а затем к 2050 г. вернется к уровню 371 ГВт (э). В соответствии с оптимистичным сценарием, к 2030 г. мощность возрастет до 496 ГВт (э) и к 2050 г. – до 715 ГВт (э). Эти цифры демонстрируют увеличение установленной мощности АЭС по сравнению с текущими уровнями на 25% к 2030 г. и на 80% – к 2050 г. К середине века доля атомной энергетики в общемировом производстве электроэнергии составит порядка 6% для низкого прогноза и 12% – для высокого (по сравнению с достигнутым на сегодня значением порядка 10%). Большая разница между этими цифрами обусловлена неопределенностью, связанной с заменой большого числа реакторов, вывод из эксплуатации которых запланирован на период до 2030 г. и позднее, в особенности в Северной Америке и Европе.

Ожидается, что рост мощностей атомной энергетики в краткосрочной и долгосрочной перспективе будет происходить преимущественно в Азии, где строятся

35 реакторов. Там же находятся 61 из 74 новых реакторов, подключенных к энергосетям в период с 2005 г., и началось комбинированное производство тепла и электроэнергии на двух реакторах типа AP1000, недавно введенных в эксплуатацию в Китае. Ядерная когенерация позволит существенно повысить их экономическую эффективность.

В 2019 г. на нужды неэлектрических применений атомной энергии 71 ядерным энергетическим реактором по всему миру (14 в Азии и 57 в Европе) было произведено 2146,72 ГВт-ч тепловой мощности в электрическом эквиваленте. Из числа этих реакторов 10 использовались для целей опреснения (48,01 ГВт-ч вырабатываемой мощности), 56 – для централизованного теплоснабжения (1870,6 ГВт-ч) и 32 – для выработки тепла для технологических нужд (1248,01 ГВт-ч) [1].

Свыше 2/3 действующих блоков АЭС находятся в эксплуатации более 30 лет. Порядка 1/6 мировой ядерной генерации вырабатывается ядерными энергетическими реакторами, находящимися в строю уже более 40 лет [8]. На начало 2024 г. средний возраст эксплуатируемых реакторов составляет 32 года [9]. Практически на всех АЭС имеются программы по обеспечению долгосрочной эксплуатации и управлению старением. Проявляется общая тенденция продления сроков работы АЭС во всем мире. Затраты на обоснование безопасности и технические меры по реализации указанной опции (продление эксплуатации на 10–20 лет) малы по сравнению с выгодой от производства и продажи электроэнергии, что обуславливает высокую экономическую эффективность и привлекательность для инвестиций.

Согласно последним экономическим оценкам, опубликованным Всемирной ядерной ассоциацией, атомная энергия конкурентоспособна по стоимости с другими формами производства электроэнергии, за исключением случаев, когда имеется прямой доступ к дешевым ископаемым ресурсам. Расходы на топливо для АЭС незначительны, хотя капитальные затраты выше, чем для угольных электростанций, и намного больше, чем для газовых электростанций. Системные расходы (сети передачи и распределения) на атомную энергетiku, а также на угольную и газовую генерацию намного ниже, чем на возобновляемые источники энергии [10].

Результаты оценки относительной стоимости новых генерирующих станций, использующих различные технологии, в решающей степени зависят от их местоположения. Уголь был и, вероятно, останется экономически привлекательным в таких странах, как Китай, США и Австралия, до тех пор, пока выбросы углерода будут бесплатными. Во многих местах природный газ также является конкурентоспособным в производстве электроэнергии в режиме базовой нагрузки, особенно при эксплуатации парогазовых установок. АЭС дороги в строительстве, но относительно дешевы в эксплуатации. Во многих местах атомная энергия конкурирует с энергией, вырабатываемой при сжигании ископаемого топлива. Затраты на удаление радиоактивных отходов и вывод из эксплуатации АЭС обычно полностью включаются в эксплуатационные расходы. Если также принять во внимание социальные, медицинские и экологические капиталовложения на ископаемые виды топлива,

конкурентоспособность атомной энергетики повышается [6, 11].

Растет интерес к реакторам малой и средней мощности и малым модульным реакторам (ММР), особенно в отдаленных местах и в странах с небольшими электросетями. В то же время ожидается, что в ближайшие 30 лет увеличение будет происходить в основном за счет усовершенствованных водоохлаждаемых реакторов большой мощности, что позволит быстро нарастить потенциал для производства низкоуглеродной энергии в рамках борьбы с изменением климата. В этой связи в ядерной отрасли необходимо решить ряд проблем, в частности сократить затраты и повысить уровень стандартизации для достижения большей конкурентоспособности, а также обеспечить доступ к финансированию на тех же условиях, что и для других поставщиков низкоуглеродной энергии.

ММР представляют собой усовершенствованные реакторы с электрической мощностью, как правило, не превышающей 300 МВт (э), отдельные элементы, узлы и системы которых изготавливаются в заводских условиях и затем транспортируются на площадку размещения атомной станции для установки в виде готовых модулей. Подобные проекты разрабатываются с использованием всего накопленного опыта в области реакторных технологий и включают все основные типы реакторов: водоохлаждаемые, высокотемпературные газоохлаждаемые, на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем, жидкосолевые, а также различные варианты конструкции микрореакторов.

Ключевыми конкурентными преимуществами ММР являются безопасность, экономиче-

ская доступность и эффективность, маневренность, гибкость в удовлетворении нужд широкого круга пользователей и применений, возможность замены устаревших энергоблоков, работающих на ископаемом топливе, в том числе для производства тепловой энергии и пара. Такие реакторы предназначены для нишевых рынков электроэнергии или для работы в энергосистемах, где ядерные реакторы большой мощности невозможно применять по техническим или экономическим соображениям. ММР могут обеспечить когенерацию тепла, производство водорода, опреснение воды, работу в небольших изолированных электросетях отдаленных и автономных районов, а также создание гибридных ядерно-возобновляемых энергетических систем. Благодаря модульной технологии реакторы нацелены на экономию за счет серийного выпуска и более короткого времени сооружения. Ожидается, что ММР, готовые к развертыванию в ближайшем времени, будут иметь параметры безопасности, сопоставимые или превышающие показатели больших энергетических реакторов эволюционной конструкции. Занимая меньшую площадь, ММР более гибки в размещении и позволяют адаптировать их к энергетическим потребностям региональных или промышленных кластеров. Модульность и расширенные функции безопасности делают такие реакторы привлекательными для отраслей и стран с небольшими размерами энергосистемы и практически не требуют опыта эксплуатации атомных электростанций. Разрабатываются и внедряются ММР, как правило, «под ключ» по принципу «включай и работай». Возможность их размещения в отдаленных, автономных

населенных пунктах расширяет доступ таких сообществ к экологически чистой электроэнергии и теплу [12].

Учитывая вышесказанное, для Республики Беларусь в обозримой перспективе использование ММР может стать заслуживающим внимания вариантом реализации планов по сооружению второй АЭС на территории страны наряду с усовершенствованным водоохлаждаемым реактором большой мощности. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. NUCLEAR POWER REACTORS IN THE WORLD // Reference Data Series No.2, 2023 Edition. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. – Vienna, 2023.
2. PRIS. Power Reactor Information System // <https://pris.iaea.org/pris/home.aspx>.
3. О размещении и проектировании атомной электростанции в Республике Беларусь: Указ Президента Республики Беларусь от 15 сентября 2011 г. № 418 // ЭТАЛОН ONLINE / Информационно-поисковая система. – Минск, 2023.
4. Строительство Белорусской АЭС завершено // Энергетическая стратегия. 2023. №6 (96).
5. Белорусская атомная электростанция // www.belta.by/infographica/view/beloruskaja-atomnaja-elektrostantsija-35869/.
6. Кузьмин А.В. Научное сопровождение развития атомной энергетики в Республике Беларусь / А.В. Кузьмин, А.А. Михалевич, С.Н. Сикорин. – Минск, 2023.
7. World Nuclear Performance Report 2023 // World Nuclear Association. July 2023, Report No. 2023/001.
8. Обзор ядерных технологий: материалы Генеральной конф. МАГАТЭ // Вена, март 2020 г.
9. World Nuclear Power Status // <https://www.worldnuclearreport.org/>.
10. Economics of Nuclear Power // <https://world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power.aspx>.
11. Projected Costs of Generating Electricity / International Energy Agency (IEA), Nuclear Energy Agency (NEA), Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) // 2020 Edition. NEA No. 7531. Paris, 2020.
12. ADVANCES IN SMALL MODULAR REACTOR TECHNOLOGY DEVELOPMENTS 2022 Edition // A Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS), IAEA, Vienna, 2022.