

Усовершенствованные реакторы в развивающихся странах. Взгляд из Китая

Во многих странах энергетические потребности стимулируют развитие атомной энергетики

Кван Джихай

В результате изучения положения в атомной энергетике в настоящее время и тенденций ее развития в будущем в мире, включая поддерживаемую МАГАТЭ стратегию развития атомной энергетики в развивающихся странах, выявляется определенное стремление к созданию нового поколения атомных электростанций с улучшенной экономикой, ее простой конструкцией и более эффективным использованием пассивных средств безопасности. Побудительным моментом в этой области представляются не только конкуренция промышленно развитых стран на рынке ядерной электроэнергии, необходимость решения проблемы принятия обществу ядерной энергии, но и облегчение задачи строительства атомных электростанций в развивающихся странах в следующем столетии.

Статистика показывает, что темпы роста энергетических потребностей в развивающихся странах намного выше, чем в промышленно развитых государствах. Ввиду ограниченности энергетических ресурсов многие развивающиеся страны приступили к осуществлению программ развития атомной энергетики и заинтересованы в реализации этих программ. Выполняя свою задачу в содействии расширению мирного использования ядерной технологии, МАГАТЭ прилагает усилия в поисках путей оказания помощи развивающимся странам в применении ядерной энергии. Одним из направлений этих усилий является начатый в 1983 г. проект малых и средних энергетических реакторов (МСЭР).

По проекту МСЭР было проведено широкое исследование, четко определившее потребности развивающихся стран, внедряющих атомную энер-

гетику, и большой потенциальный рынок для использования атомной энергии в этих странах. В исследовании были указаны также основные трудности и препятствия для развития атомной энергетики.

МАГАТЭ стремится убедить поставщиков из развитых стран в необходимости освоения этого нового рынка. Однако до начала 80-х гг. атомная промышленность развитых стран не проявляла к нему большого интереса, так как их больше привлекали спрос на энергию и заказы на их собственных рынках. В этом национальном коммерческом соревновании единичная мощность реакторных установок становилась все больше и больше. При мощности атомных электростанций в 1000 МВт_{эл.} и выше вопрос об их строительстве становился для многих развивающихся стран очень трудным просто из-за ограниченных возможностей энергосетей. Появилась очевидная необходимость в реакторах типа МСЭР. Однако пожелания развивающихся стран относительно возможности приобретения таких реакторов по определенной цене и с определенным сроком строительства не учитывались.

Пожалуй, есть определенная логика в том, что поставщики сомневаются в реальности рынка для атомных электростанций в развивающихся странах. Эти страны едва ли могут позволить себе инвестиции в атомную электростанцию, даже если ее стоимость основывается на той же специальной стоимости, по которой определяется цена крупных станций и которая является сравнительно небольшой с точки зрения промышленных стран. Но дело в том, что, если реактор МСЭР является просто уменьшенным вариантом аналогичного крупного реактора, то, по закону подобия он должен быть намного дороже и, следовательно, неприемлемым.

В связи с изменением положения на рынке атомных электростанций в промышленных странах, вызванным снижением темпов роста потребления энергии и проблемой принятия обществом атомной энергетики, поставщики начинают обращать большее внимание на развивающиеся страны. В 1985 г. МАГАТЭ собрало информацию о 23 различ-

Г-н Кван Джихай – директор Юго-западного центра исследований и разработок по реакторной технологии (SWCR) в Китайской Народной Республике. В 1984–1987 гг. был научным консультантом Постоянного представительства Китая при МАГАТЭ.

ных концепциях конструкции реакторов МСЭР с различной степенью готовности и испытанности. Но, хотя интерес и поддержка развитых стран обнадеживают, основная проблема не решена.

Появление усовершенствованных реакторов

У развивающихся стран много причин для проявления интереса к усовершенствованным реакторам:

- Наибольший интерес для развивающихся стран представляют те из усовершенствованных реакторов, которые основываются на испытанной технологии, но включают новые конструкционные концепции, такие как применение принципов пассивной безопасности, строительство небольшими модулями и т.д., и не включают более сложную или новую технологию. Основными особенностями таких реакторов должны быть простота и удобство строительства, эксплуатации и ремонта.

- Воплощая новые конструкционные концепции, усовершенствованные реакторы не соблюдают закон подобия в отношении специальной стоимости. Специальная стоимость небольших и средних установок не может быть выше стоимости крупных установок. Если специальная стоимость атомной электростанции мощностью 600 МВт_{эл.} будет такой же, как и стоимость станции на 1000 МВт_{эл.}, то тогда должна быть линейная зависимость общей стоимости станции от ее размеров. Если бы это было так, то в ядерной области наступил бы исторический поворотный момент, а для развивающихся стран это явилось бы приятным известием.

- Повышенная на основе пассивных средств безопасность усовершенствованных реакторов может стать в развитых странах ключевым моментом в смягчении проблемы принятия общественностью атомной энергетики. Повышенная безопасность имеет еще большее значение для развивающихся стран, поскольку их инфраструктуры беднее. Естественна озабоченность относительно настоящего поколения атомных электростанций, к строительству, эксплуатации и ремонту которых предъявляются строгие требования. Но если бы атомные электростанции такого типа строились и эксплуатировались в развивающихся странах, то вероятность крупных аварий была бы значительно выше. Если бы произошла авария, то развитие применения ядерной энергии было бы поставлено под вопрос во всем мире. В атомной энергетике „авария, случившаяся где-то, это авария везде“.

Развивающиеся страны ждут скорого появления и коммерсализации новых типов усовершенствованных реакторов. Можно предположить, что в следующем столетии усовершенствованные реакторы МСЭР будут приняты во многих развивающихся странах.

Атомная энергетика в Китае

В последние десятилетия электроэнергетика в Китае развивалась быстрыми темпами. За 34 года (1952–1986 гг.) генерирующие мощности возросли более, чем в 60 раз, т.е. в среднем увеличивались ежегодно на 12,9 %. Но даже при таких темпах роста нехватка в электроснабжении составила от

45 x 10⁹ до 50 x 10⁹ кВт·ч каждый год, а в мощностях – более 12 ГВт_{эл.}. Предполагается, что электрогенерирующие мощности будут возрастать по меньшей мере на 9 ГВт_{эл.} в год и к концу столетия составят в целом 230 ГВт_{эл.}. Из них свыше 140 ГВт_{эл.} дадут электростанции на угле, потребление которого на производство электроэнергии достигнет 4 x 10⁹ тонн в год. До 2000 г. добыча угля планируется на уровне 13 x 10⁹ тонн в год, но из них лишь 3 x 10⁹ тонн в год будут использоваться для производства электроэнергии в этот период. Но даже с учетом увеличения мощностей в гидроэлектростанциях нехватка электричества в Китае в конце столетия будет значительной.

До начала 80-х гг. население и государственные органы Китая сомневались в необходимости развития атомной энергетики. В настоящее время реализм привел к обратному мнению. Неравномерное распределение гидроресурсов в стране, загрязнение окружающей среды энергетикой на угле, проблемы транспортировки, недостаточная добыча угля и невозможность удовлетворить возрастающую потребность в энергии в промышленных районах юго-восточного побережья привели китайских энергетиков и государственные органы к мысли о необходимости развития в Китае атомной энергетики. Однако надежда на ее быстрое развитие связывается с использованием усовершенствованных реакторов.

Программа по атомной энергетике Китая предусматривает ввод к концу этого столетия атомных электростанций общей мощностью 6–7 ГВт_{эл.}.

Принятое решение о том, что реакторы PWR будут основным типом энергетических реакторов, и в качестве первого шага планируется построить несколько реакторов PWR по 600 МВт_{эл.}, используя стандартный проект и постепенно увеличивая собственное участие в их строительстве с тем, чтобы сократить его стоимость. По экономическим соображениям Китай предполагает перейти на реакторы PWR мощностью 1000 МВт_{эл.} в будущем. Но этот вопрос еще обсуждается.

Несмотря на крупные аварии на АЭС Три Майл Айленд и в Чернобыле, Китай открыто заявил, что его решимость осуществить программу по атомной энергетике остается неизменной. В Китае почти не сомневаются в безопасности атомных электростанций, базирующихся на современной ядерно-энергетической технологии, и антиядерные настроения не столь велики, как в западных странах. Однако более глубокий анализ показывает, что ядерная безопасность ляжет тяжелым бременем на развитие атомной энергетики в Китае. Китайские политические деятели вполне сознают значение ядерной безопасности и то, что забота о ней ложится на китайский народ и международное сообщество. Поэтому основное внимание уделяется накоплению опыта, необходимости сотрудничества с другими странами и централизованному и унифицированному руководству со стороны центрального правительства. Было решено, что развитие атомной энергетики не может осуществляться так смело, как это имело место в Китае с другими остро необходимыми отраслями промышленности. Речь идет о понятной и мудрой политике.

Самым важным фактором, возникающим в связи с приданием ядерной безопасности большого значения, будет ее общее влияние на экономи-

ческие аспекты атомной энергетики. Поскольку в настоящее время в АЭС включаются все более сложные технические средства безопасности и системы защиты, требования к строительству, эксплуатации, ремонту и руководству атомными электростанциями стали более строгими и продуманными. Кроме того, должно быть обеспечено детальное планирование и готовность на случай крупных, хотя и очень маловероятных, аварий. Это явилось причиной увеличения стоимости современных ядерных установок. Капитальные затраты на угольные электростанции в Китае невелики, а на атомные электростанции поднимутся, по-видимому, до неприемлемых уровней. Это мешает государственным органам более энергично развивать атомную энергетику. Некоторые экономисты указывают на то, что, если бы капитальные затраты на атомную электростанцию превышали лишь в два раза затраты на угольную электростанцию такого же размера (речь идет о китайских условиях), атомная энергетика развивалась бы в Китае быстро.

Программа усовершенствованных реакторов в Китае

В 1986 г. китайский Юго-западный центр исследований и разработок по реакторной технологии детализировал программу разработок усовершенствованного реактора PWR и создал специальную исследовательскую группу для изучения состояния и тенденций развития передовой технологии для этого типа реактора и для разработки концептуального проекта атомной электростанции с усовершенствованным реактором мощностью 600 МВт_{эл.} для Китая (AC-600). Семь основных требований к этому проекту:

- Капиталовложения в AC-600 будут примерно на 20 % меньше, чем на стандартную станцию с PWR на 600 МВт_{эл.} (ST-600), которая будет строиться в Киншане, Китай.
- Коэффициент использования должен быть выше 85 %.
- Время строительства станции – 4–5 лет.
- Время действия станции – 60 лет.
- Период топливного цикла – 18 месяцев.
- Доза профессионального облучения на станции должна составлять 50–100 бэр/год.
- Частота расплавления активной зоны – менее $1,5 \times 10^{-6}$ на реактор в год.

Для достижения этих целей определены три главных направления исследований: активная зона усовершенствованного реактора, системы пассивной безопасности, упрощение конструкции. В конструкции AC-600 будут использованы следующие основные технические средства:

- Контроль сдвига нейтронного спектра будет использован для продления периода топливного цикла по меньшей мере на 13 % при сокращении в активной зоне максимально избыточной реактивности и повышении безопасности реактора.
- Плотность линейного энерговыделения топливных элементов в активной зоне составит 22,26 киловатт на метр, что примерно на 25 % меньше, чем в активной зоне реактора ST-600.
- Активная зона будет содержать гадолиновый сгораемый яд в целях дальнейшего уменьшения

максимально избыточной реактивности и критической концентрации бора при негативном коэффициенте температуры в увеличивающейся активной зоне. Это повысит безопасность реактора и упростит его системы и компоненты.

- Для уменьшения интегрального потока нейтронов на стенке корпуса и продления времени действия станции до 60 лет будет использоваться радиальный рефлектор нейтронов, состоящий на 80 % из стали и на 20 % из воды, и более крупный корпус реактора под давлением диаметром 4,3 метра.

- Два основных герметизированных насоса охлаждения реактора с моторами будут прикреплены к каждой головке канала парогенераторов. Станет возможным снижение на 25 % номинальной мощности активной зоны путем естественной циркуляции, обеспечивающей охлаждение ввиду уменьшения сопротивления первого контура и большего вертикального расстояния между парогенератором и активной зоной реактора.

- Аварийный резервуар с питающей водой объемом 25 м³ и аварийный воздушный охладитель с площадью теплопередачи 700 м² соединятся со вторичной стороной парогенератора каждого контура для образования пассивной аварийной подсистемы отвода остаточного тепла. Естественная циркуляция, охлаждающая 50 % номинальной мощности потока первого контура и 3,5 % – второго контура, позволяет отводить из реактора тепло радиоактивного распада во время остановки станции.

- Два резервуара с подпиточной водой объемом 2 x 40 м³ и два аккумулятора с водой объемом 2 x 40 м³ могут автоматически ввести в реактор борированную воду без каких-либо активных насосов при аварии с потерей теплоносителя. Реактор AC-600 будет использовать активное впрыскивание под слабым давлением и рециркуляционную систему в целях надежного выполнения функции безопасности аварийной системой охлаждения активной зоны.

- В качестве эффективного средства долговременного отвода тепла из противоаварийной оболочки реактора будет применяться пассивная система ее охлаждения.

Применение указанных технических средств должно привести к значительному упрощению систем и компонентов реактора. Например, число вентиляторов для систем безопасности реактора AC-600 сокращается почти на 70 %, приборов – на 50 %, а насосов – на 80 % (по сравнению со сравнимыми системами реактора ST-600). В связи с этим предполагается, что капитальные затраты на реактор AC-600 сократятся по меньшей мере на 15 %.

По предварительным расчетам общая стоимость AC-600 может быть на 25 % меньше стоимости ST-600. AC-600 – очевидное свидетельство того, что упрощение систем, сокращение числа компонентов и использование законов природы могут сделать строительство станции более легким, ее эксплуатацию более простой, а системы более надежными. Частота расплавления активной зоны, рассчитанная для AC-600, оказалась в 100 раз меньше, чем у ST-600, т.е. надежность AC-600 также значительно выше.

Предварительные результаты изучения концептуальной конструкции AC-600 очень обнадежива-