

УДК 621.039+621.3.026

ЗАДАЧИ, ПРОБЛЕМЫ И ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Сидоренко В.А. (НИЦ «Курчатовский ин-т», г. Москва)

Направленность действующей программы развития ядерной энергетики нашей страны — мощные базовые электростанции, объединенные в региональные и единую энергосистему. Необходимость решения региональных хозяйственно-экономических задач, ограниченность межсистемных связей, особенности действующего парка энергоисточников требуют формирования в общем топливно-энергетическом комплексе страны сектора региональной ядерной энергетики с широким диапазоном единичных мощностей ядерных источников.

В настоящей статье предлагается рассматривать три сектора энергопотребления и соответственно энергоснабжения:

локальный — изолированный от энергосистем страны и других энергоисточников сектор энергоснабжения из одного источника и одного или нескольких потребителей;

местный (или районный) — централизованный сектор энергоснабжения, изолированный от единой энергосистемы России и состоящий из нескольких источников и потребителей;

региональный — централизованный сектор энергоснабжения из сбалансированных по мощности источников и потребителей и имеющий связь с единой энергосистемой России (как правило, в пределах одного субъекта Федерации).

В соответствии с предложенной классификацией ядерный энергоисточник следует соотносить с одним из трех секторов энергопотребления: локальный, местный и региональный, рассматривая три сектора энергетики и три группы реакторов: для локального, местного и регионального энергоснабжения. Границы единичной мощности энергоисточников обозначенных секторов, естественно, размыты, и условно можно обозначить следующий диапазон электрической мощности, МВт: локальный 1—20, местный 20—100, региональный 100—700.

Предметом обсуждения в статье являются локальный и местный секторы. Кардинальными в развитии этих секторов являются наличие реальной потребности на внутреннем и внешнем рынках в размерах, оправдывающих такое развитие, и технико-экономическая привлекатель-

ность ядерного энергоисточника по сравнению с возможными альтернативами как для производителя, так и для потребителя.

Важным и даже более значимым является общественное признание гарантий приемлемой безопасности ядерных энергоустановок. Этот фактор определяет необходимость достаточной наглядности и прозрачности тех решений, которые формируют технико-экономическую привлекательность ядерной энергоустановки для потребителя. В центре проблемы — три кардинальные особенности такого энергоисточника: дорогая установка (в удельных показателях даже «очень дорогая»), высокая технология, установка обладает всеми элементами ядерной и радиационной безопасности.

Параллельно с анализом рынка, выявлением рационального мощностного ряда установок необходимо сформулировать возможные специфические ограничивающие требования безопасности и экологии, в результате будут сформированы целевые рамки задачи, организующие ее решение. Обозначим факторы, определяющие технико-экономическую привлекательность ядерного энергоисточника. Очевидно, что эти факторы взаимосвязаны, проявляются все одновременно, они имеют значение как для производителя, так и для потребителя, но в практическом плане для формирования этого сектора энергетики важна их приемлемость для производителя, прежде всего при сравнении с альтернативными энергоисточниками:

потребительские свойства — характеристики выдаваемой энергии и продукции (электричество, тепло, опресненная вода и др.), обеспеченность топливом (средства и способы доставки, необходимость складских запасов, надежность поставки и др.), надежность работы, режимы и диапазоны изменения режимов, заботы и проблемы, сопровождающие эксплуатацию (характер и масштаб отходов, средства обращения с отходами);

экономические показатели — начальные вложения, постоянные, отложенные расходы, себестоимость продукции;

необходимая инфраструктура — кадры (способ обеспечения при сооружении и эксплуатации, квалификация, численность), техническое обеспечение на стадии сооружения, техническое обслуживание при эксплуатации.

При априорно подразумеваемой массовости, по крайней мере, достаточно масштабной серии производства выбранного энергоисточника неизбежными условиями внедрения в эти секторы энергообеспечения являются создание и успешная эксплуатация демонстрационной установки. Это влечет за собой принципиальную проблему: ее финансирование. Государственная поддержка представляется неизбежной, а возможность и масштаб частного инвестирования будут определяться, в первую очередь, технико-экономической привлекательностью всего проекта.

За прошедшие десятилетия накоплен разнообразный опыт создания объектов малой энергетики и разработки новых предложений, что формирует поле для выбора оптимальных технических вариантов для решения конкретных задач. Напомним установки, которые были созданы и эксплуатировались.

С 1961 по 1966 г. на площадке ФЭИ в Обнинске работала транспортабельная электростанция электрической мощностью 1500 кВт ТЭС-3 с водо-водяным реактором. Все оборудование (реакторная установка, турбогенератор, пульт управления и др.) было размещено на четырех самоходных гусеничных (танковых) платформах с утепленными кузовами вагонного типа. Это преследовало цель предельно сократить объем строительно-монтажных работ на месте ее использования.

В 1961—1963 гг. была спроектирована, изготовлена, смонтирована на площадке НИИАРа в Димитровграде и выведена на проектные параметры (тепловая мощность 5 МВт, электрическая — 750 кВт) установка АРБУС (арктическая блочная установка) с реактором, в котором теплоносителем и замедлителем нейтронов служила органическая жидкость (использовались гидростабилизированный газойль, гидротерфенил и дитоллилметан). В режиме АЭС установка проработала 789 эф. сут. После реконструкции с 1979 г. она работала в режиме выработки тепла.

Одновременно с демонстрационной установкой АРБУС был изготовлен второй комплект, который предназначался для эксплуатации на станции Молодежная в Антарктиде. На осно-

ве этой разработки по заказу Министерства цветных металлов была спроектирована атомная котельная для обеспечения теплом золотого прииска «Многовершинный» в Хабаровском крае с двумя реакторами тепловой мощностью по 15 МВт. Однако эти проекты не были реализованы.

На основании опыта первой АЭС в Обнинске и энергоблоков Белоярской АЭС (АМБ-1, -2) были разработаны и последовательно пущены в составе Чаун-Билибинской энергосистемы в 1974—1976 гг. четыре блока Билибинской АТЭЦ электрической мощностью по 12 МВт, эксплуатация которых продолжается.

В период с 1976 по 1985 г. была разработана ядерная энергетическая установка с диссоциирующим теплоносителем на основе четырехоксида азота (N_2O_4) тепловой мощностью около 5 МВт и полезной электрической 630 кВт. Комплекс передвижной атомной станции «Памир» с этой установкой располагался на автомобильных транспортных средствах: полуприцепы МАЗ, тягачи, автомобили КраЗ с прицепами и др. Время развертывания энергоустановки на специально подготовленной площадке составляло 6 ч, время приведения станции в транспортное состояние — около 30 ч. В 1985 г. были начаты испытания первого опытного образца, которые прекратились в 1988 г.

В 1981 г. в ИАЭ им. И.В. Курчатова была пущена и работает до сих пор опытная ядерно-энергетическая установка «Гамма» с саморегулируемым водо-водяным реактором тепловой мощностью 220 кВт, термоэлектрическим методом преобразования тепловой энергии в электрическую и электрической мощностью 6,6 кВт.

Проектные проработки ядерных энергоустановок малой мощности, начатые в середине 1950-х гг., продолжались с различной интенсивностью все последующие десятилетия. Промежуточный отбор перспективных предложений был проведен по инициативе Ядерного общества России в 1991 г. на конкурсе «АСММ-91», где был представлен 21 проект. Назовем шесть проектов, выделенных в приоритетную группу.

В диапазоне единичной тепловой мощности до 10 МВт — проект «Елена» с водо-водяным реактором и термоэлектрическим преобразователем на основе опыта установки «Гамма». Мощность, отдаваемая в систему теплоснабжения, до 3 МВт, электрическая мощность — до

70 кВт с продолжительностью работы на первоначальной загрузке до 25 лет.

В диапазоне тепловой мощности 10—50 МВт три установки:

атомная станция теплоснабжения на базе реакторной установки «Рута» с низкотемпературным водо-водяным реактором бассейнового типа тепловой мощностью 10—70 МВт;

АТЭЦ с блочной транспортабельной установкой «Ангстрем» на базе созданной для подводной лодки ЯЭУ на быстрых нейтронах со свинцово-висмутовым теплоносителем;

плавучая АТЭЦ с двумя блоками реакторной установки водо-водяного типа АБВ-6 единичной тепловой мощностью 38 МВт, электрической 6 МВт.

В диапазоне тепловой единичной мощности более 50 МВт:

АТЭЦ-80 с интегральным водо-водяным реактором и естественной циркуляцией теплоносителя электрической мощностью 80 МВт и отпуском тепла до 140 Гкал/ч;

плавучая АТЭЦ с двумя блоками реакторной установки водо-водяного типа КЛТ-40 электрической мощностью по 35 МВт (модернизированный вариант реакторной установки, разработанной для ледоколов).

По результатам рассмотрения вопросов региональной энергетики на научно-технических советах Росатома в 2007 г. в секторах энергоблоков малой мощности были выделены проектные проработки установок КЛТ-40 (в плавучем исполнении), «Елена», АБВ-6, СВБР-10 («Ангстрем»), «Рута» и «УниTERM» (разработка последних лет с водо-водяным интегральным саморегулируемым реактором в диапазоне электрической мощности 3—12 МВт).

Следует констатировать, что проводившиеся в течение десятилетий многочисленные технико-экономические исследования, разработки различных конструктивных разновидностей ядерных реакторов для малой энергетики, подтверждавшие ее необходимость и осуществимость, так и не продвинули распространение ядерных энергоисточников в этот, казалось бы, очевидный сектор потребления. Исключением явилось создание Билибинской АТЭЦ, но нельзя считать, что ее опыт подтвердил целесообразность широкой реализации в изолированных северных районах атомных станций по модели стационарной установки с сооружением на мес-

те. Скорее, этот опыт показал тупиковость такого направления.

Анализируя причины такого развития событий в прошедшие годы, можно сделать вывод, что причины находятся не в сфере принципиальных научно-технических и конструкторских решений, а в области организации, инфраструктуры эксплуатации и обслуживания, ответственности и владения ядерными установками, требующими высокой квалификации и формирующими особые требования обеспечения безопасности. В частности, было бессмысленно создавать в Минцветмете самостоятельную инфраструктуру для эксплуатации атомной котельной на золотоносном прииске. С учетом этого понимания в начале 1990-х гг. было принято принципиальное решение: для реальной демонстрации достоинств ядерных энергоисточников в отдаленных изолированных районах сосредоточиться на атомной электростанции на плавучем средстве (барже), сооружаемой полностью на заводе, перемещаемой к потребителю на достаточно длительный срок, возвращаемой в соответствии с технологическим циклом на завод для ремонта и замены топлива (при нескольких находящихся в обращении однотипных установках) и полностью находящейся во владении и обслуживании специализированной эксплуатирующей организации, которая предоставляет потребителю на определенных условиях необходимую энергию. В качестве ядерной установки для такой плавучей АЭС (АТЭЦ) была выбрана энергоустановка атомных ледоколов КЛТ-40, показавшая высокий уровень надежности и безопасности при эксплуатации. Препятствием для быстрой реализации (в течение 4 лет) оказался экономический кризис, из-за чего в последнее время было дважды изменено место первоочередной привязки этой установки. В то же время первоначальное место реализации в районе порта Певек имело значение для оптимального решения проблемы дальнейшей судьбы Билибинской АЭС, которая и сегодня стоит на повестке дня.

Произошедшая задержка повлекла за собой проблему ограничения использования для гражданских целей урана обогащением более 20%. Это потребовало изменения проекта и разработки нового топлива. Вместе с общей задержкой проекта и происходящими процессами в экономике это привело к резкому удорожанию проекта, что, в свою очередь, породило критику и со-

мнения в экономической целесообразности и востребованности всего направления ядерных энергоисточников на плавучих средствах.

Центральная целевая задача этого проекта — практическая проверка и демонстрация самого выбора оптимальных решений в малой энергетике. Работа должна быть доведена до логического конца в любых условиях. Полезным оказался и практический опыт в оценке некоторых разработок.

Применение органического теплоносителя. При работе реактора с органическим теплоносителем на поверхности твэлов образуются нерастворимые отложения коксового типа. На основании обширного комплекса исследований были выбраны и практически обоснованы способы очистки активной зоны, что позволило успешно эксплуатировать установку АРБУС. Однако необходимость проведения таких поддерживающих операций в условиях изолированного энергоисточника с приоритетными требованиями к надежности его функционирования предопределило закрытие этого технологического направления.

Применение диссоциируемого теплоносителя. Испытания ядерной установки принципиально подтвердили возможность реализации идей, заложенных в проект. Однако конструктивно-проектные достоинства использования диссоциируемого рабочего тела проявляются прежде всего в характеристиках турбинной установки. Как теплоноситель для реакторной установки это вещество не давало каких-либо качественных преимуществ перед другими известными теплоносителями. В то же время специалисты традиционной энергетики не проявили энтузиазма к его внедрению вместо турбин на водяном паре, принимая во внимание и негативные факторы использования. Направление естественным образом было закрыто.

Отдельного замечания заслуживает существующая многие годы специфическая цель создания и внедрения необслуживаемых ядерно-энергетических установок небольшой мощности для локальных потребителей. Примером такого решения могла бы быть установка «Елена». При исходном условии создания — экономической и потребительской оправданности достаточной серии подобных установок системно-организационная сторона проекта должна решаться так же, как в варианте применения плавучих стан-

ций: при полной ответственности владельца — специализированной эксплуатирующей организации. Дополнительно к этому обслуживание установки предъявит особые требования к реализации подобного технического решения. Для особо высокого уровня надежности и безопасности таких установок можно считать неизбежными создание и постоянную сопровождающую эксплуатацию в центре технологического обеспечения представительного натурного образца. Аналогичная практика осуществляется при работе космических установок. Такой подход влечет за собой цепь дополнительных финансовых проблем у эксплуатирующей организации и инвестора, особенно в начальном периоде внедрения этой линии малой энергетики.

Рассматривая автономные необслуживаемые ядерные установки, следует ответственно отнестись к опыту применения радиомаяков на морских транспортных трассах. В результате тривиального варварства и вандализма эти установки превратились в опасный источник радиоактивного загрязнения окружающей среды. Возникла задача заменить их более экологичными, в частности, солнечными батареями, эффективно работающими в условиях полярной ночи.

При обосновании развития малой ядерной энергетики появляется необходимость переходить в область непростых оптимизационных системных задач, иногда очень наглядных в своей постановке:

непрофессиональный или квалифицированный персонал высокотехнологичной энергоустановки при вахтовом способе обслуживания;

засорение бескрайнего Севера или система обращения с ядерным и высокоактивным топливом и др.

В концентрированном виде можно сформулировать ответы на ключевые вопросы, которые способствовали бы созданию системы ядерной энергетики малой мощности в топливно-энергетическом комплексе России:

задачи — обеспечение привлекательности ядерно-энергетической технологии как для потребителя, так и для производителя;

проблемы — необходимость целенаправленной государственной поддержки и наличия частных инвесторов в условиях высокой капиталоемкости, долговременности вложений с высоким уровнем риска;

возможности — наличие достаточного потенциала необходимых реакторных технологий и машиностроения.

Основным направлением практических действий должно быть признание приоритетности создания сектора ядерной энергетики малой мощности, формулирование целевых параметров (сроки создания, масштаб, мощностной ряд и др.) и принятие исполнительных решений.