

Генеральная конференция

GC(65)/INF/11
20 августа 2021 года

Общее распространение

Русский
Язык оригинала: английский

Шестьдесят пятая очередная сессия

Пункт 15 предварительной повестки дня
(GC(65)/1 и Add.1)

Сообщение Председателя Международной группы по ядерной безопасности (ИНСАГ) от 8 июля 2021 года

8 июля 2021 года Генеральный директор получил письмо Председателя ИНСАГ Ричарда Месерва, в котором излагается взгляд последнего на актуальные новые проблемы безопасности. Настоящим вышеупомянутое письмо распространяется для сведения Генеральной конференции.

ИНСТИТУТ НАУКИ КАРНЕГИ

Ричард А. Месерв
Почетный президент
rmeserve@carnegiescience.edu

8 июля 2021 года

Уважаемый Генеральный директор Гросси,

Обращаюсь к Вам в своем качестве Председателя Международной группы по ядерной безопасности (ИНСАГ). Как предусмотрено ее кругом ведения, ИНСАГ готовит «рекомендации и высказывает мнения относительно актуальных новых проблем безопасности» для МАГАТЭ и других сторон. Находясь на посту Председателя, я традиционно стремился выполнять эту обязанность не только путем представления различных докладов ИНСАГ, но также посредством ежегодного письма. Настоящее послание представляет собой ежегодное письмо за текущий год. Мои предыдущие письма размещены на сайте ИНСАГ по адресу: <http://goto.iaea.org/insag>.

Основное внимание в этом письме будет уделено растущему интересу к инновационным проектам усовершенствованных реакторов и необходимости принятия соответствующих мер теми государствами-членами, которые планируют внедрять эти технологии. Ядерная энергия является важным инструментом, который помогает решить проблему изменения климата, а усовершенствованные реакторы могут обеспечить большую выгоду по сравнению с существующими установками с точки зрения выработки безуглеродной электроэнергии в масштабах, необходимых для реагирования на экзистенциальные проблемы, связанные с изменением климата. МАГАТЭ активно занимается вопросами, касающимися возможного перехода отрасли на усовершенствованные реакторы. Государствам-членам следует воспринимать это письмо как настоятельный призыв удвоить свои усилия по созданию необходимого потенциала для преодоления возникающих в связи с этим трудностей.

Многие страны реагируют на угрозу изменения климата, обещая радикально сократить выбросы углекислого газа к 2050 году или ранее. Это потребует настоящей революции в производстве энергии, а сам переход должен быть начат за много лет до намеченного срока. Учитывая, что атомные электростанции (АЭС) предполагают долгосрочные инвестиции и многолетние сроки проектирования, строительства и включения в энергосистему, у нас нет лишнего времени на то, чтобы подготовиться к изменившимся мировым реалиям.

В мире эксплуатируется около 440 ядерных реакторов, обеспечивающих около 10 процентов генерации всей электроэнергии и около 30 процентов безуглеродной электроэнергии. Большинство из них — это легководные реакторы (LWR), которые используют в качестве замедлителя и теплоносителя обычную воду. Хотя в предстоящие годы, несомненно, по-прежнему будет делаться упор на существующие и новые проекты LWR, наблюдается возобновление интереса к инновационным проектам усовершенствованных реакторов. В некоторых из этих реакторов используются другие теплоносители (газ, жидкий металл или расплавы солей), другие замедлители и, во многих случаях, применяются упрощенные, пассивные или иные инновационные средства обеспечения их основных функций безопасности. Некоторые реакторы рассчитаны на работу со спектром быстрых нейтронов (LWR предполагает энергетический спектр тепловых нейтронов). Некоторые из них используют топливо с более

Генеральному директору Гросси
МАГАТЭ

высокой степенью обогащения и отличной от топлива для LWR химической и физической формой. Некоторые способны работать при более высоких температурах, что позволяет улучшить термодинамическую эффективность и предполагает более широкие возможности применения технологического тепла. В отличие от ряда существующих проектов LWR, в которых элементы, связанные с безопасностью, выполнены в виде дополнений к реакторной установке, у таких перспективных установок, за счет того, что функции безопасности интегрированы в базовый проект, уровень безопасности может быть повышен.

Кроме того, в предлагаемых новых проектах в большей степени, по сравнению с существующими установками, реализуются достижения в области проектирования, материаловедения, компьютерных технологий и современных цифровых систем контроля и управления.

На фоне того, что существующие электростанции на базе LWR, которые строились в последние годы, как правило, обеспечивают мощность порядка 1 ГВт (эл.) на энергоблок, предлагаемые проекты усовершенствованных реакторов могут быть рассчитаны на разные диапазоны мощности. Многие конструкции — так называемые «малые модульные реакторы» (ММР) — предусматривают выходную мощность от 50 МВт (эл.) до примерно 300 МВт (эл.), а полностью укомплектованная электростанция может включать в себя несколько таких модулей с общим пунктом управления. Некоторые поставщики продвигают также конструктивные решения «микрореакторов», имеющих выходную мощность 1–20 МВт (эл.), которые могут обеспечивать надежное энергоснабжение в удаленных районах или в чрезвычайных ситуациях.

Поставщики технологий, которые делают ставку на усовершенствованные реакторы, заявляют о ряде их преимуществ. Они рассчитывают на то, что новые проекты будут способны производить электрическую энергию по более низкой цене за кВт ч, и тем самым ядерная энергогенерация станет более конкурентоспособной по сравнению с другими вариантами. Действительно, если ядерной энергетике отведена более важная и существенная роль в борьбе с изменением климата, есть все основания полагать, что ей следует добиваться улучшения экономических показателей. Предполагается, что более низкие затраты могут быть достигнуты в результате серийного заводского изготовления (тем самым дорогостоящие строительные работы на месте сводятся к минимуму), модульного строительства и стандартизации, а также применения передовых строительных методов и упрощенных конструкций. Кроме того, поскольку многие такие проекты предполагают гораздо меньшую мощность, для некоторых владельцев общие капитальные затраты на их реализацию могут оказаться более контролируемыми. Следует также учитывать, что меньшая мощность может быть особенно востребована в странах с небольшими региональными энергосетями. (Согласно общему правилу, ни одна электростанция не должна производить более 10% от всей мощности сети, чтобы имелась возможность останавливать ее для перегрузки топлива или по соображениям безопасности без серьезных перебоев в энергоснабжении.)

Многие страны, которые переходят к производству электроэнергии без выбросов двуокиси углерода, планируют опираться в основном на возобновляемые источники энергии, используя в качестве резерва ядерную энергию, возможности по аккумулярованию энергии и, возможно, генерацию на базе органического топлива, предполагающую улавливание и хранение двуокиси углерода. В этих изменившихся условиях усовершенствованные реакторы могут выглядеть привлекательно, особенно если выйдут на конкурентоспособную стоимость в расчете на кВт ч. Некоторые из усовершенствованных реакторов обеспечивают больший диапазон мощности в режиме следования за нагрузкой, и таким образом помогают компенсировать прерывистый характер генерации с помощью возобновляемых источников. Кроме того, в тех случаях, когда возобновляемая энергия доступна в избытке, мощность АЭС может быть перенаправлена на производство водорода (для использования в качестве синтетического топлива или в качестве

энергоаккумулирующего вещества), опреснение, централизованное теплоснабжение или промышленные применения. За счет того, что режимы эксплуатации некоторых усовершенствованных реакторов предполагают более высокие температуры, можно рассчитывать на более широкие возможности по реализации этого потенциала универсальности.

МАГАТЭ организует различные мероприятия, направленные на поиск решения тех или иных проблем, которые неизбежно будут возникать в связи с усовершенствованными реакторами, однако и самому ядерному сообществу (регулирующим органам, операторам, поставщикам, подрядчикам, производителям оборудования, организациям технической поддержки, организациям по стандартизации и архитектурно-инженерным организациям) необходимо искать решение стоящих перед ним задач. Реальность такова, что, учитывая особую привлекательность ММР для стран-новичков, перед последними, которые, возможно, окажутся в первой волне стран, начавших применять эти передовые технологии реакторов на практике, будет стоять целый комплекс особых задач.

К числу таких задач можно отнести следующие:

Ядерная безопасность. По сравнению с существующими, все усовершенствованные проекты обладают значительными преимуществами в плане безопасности. Многие конструкции таких реакторов имеют активную зону с меньшим содержанием радионуклидов (и, следовательно, более низкие параметры источника выброса в случае аварии), а некоторые рассчитаны на использование усовершенствованных видов топлива, которые по сравнению с существующим на данный момент топливом, используемым в LWR, могут выдерживать гораздо более высокие температуры до момента отказа. Другие конструкции реакторов способны работать при почти атмосферном давлении, что позволяет исключить высокое давление, как при работе LWR, вследствие которого при аварии может произойти выброс обломков и радионуклидов, и тем самым позволяет снизить потребность в мощных трубопроводах, корпусах высокого давления и конструкциях защитной оболочки. Многие из усовершенствованных конструкций основаны на пассивных системах безопасности, т. е. системах, которые для достижения целей безопасности используют гравитацию, естественную конвекцию или градиенты давления, а не насосное оборудование, автоматические клапаны и электропитание переменным током. Предполагается, что усовершенствованные реакторы будут в меньшей степени, чем существующие, зависеть от принятия оперативных мер и вмешательства человека для обеспечения безопасности, что позволит смягчить стратегию нормативного регулирования, которая предусматривает дублирование средств безопасности для компенсации отказов, связанных с человеческим фактором. Если эти различные изменения будут реализованы, потенциально они обеспечат значительные преимущества в плане безопасности, а также позволят упрощать конструкцию реакторов таким образом, чтобы снижать затраты. Однако для обоснования того, что такие системы эффективны в различных обстоятельствах, при которых имеется зависимость от них, потребуется тщательный анализ, подкрепленный данными испытаний и расчетов при помощи аттестованных кодов и средств моделирования.

Усовершенствованные реакторы также могут порождать и новые проблемы в сфере безопасности. Например, те конструкции, в которых для достижения требуемой общей мощности используется несколько модулей, потребуют тщательного изучения на предмет возможных взаимодействий между модулями во время переходных режимов и аварий. Быстрые реакторы с натриевым теплоносителем потребуют анализа химических реакций «натрий-вода» и «натрий-воздух» и защиты от последствий таких реакций. Применительно к реакторам на солевых расплавах потребуется тщательное рассмотрение вопросов коррозии и возможного застывания солевого расплава в трубопроводах. Следует отметить, что инновационные конструкции реакторов могут предусматривать режимы отказов и аварийные последовательности, которые являются принципиально новыми и, следовательно, трудно

определяемыми. Регулирующий орган должен быть готов к преодолению значительных трудностей с точки зрения обоснования безопасности усовершенствованного реактора и корректировке соответствующих нормативных требований, которые в настоящее время ориентированы на технологию LWR, с учетом этих отличающихся технологий. В то же время не менее важно будет обеспечить достаточные возможности глубоководной защиты и баланс между требованиями по предотвращению аварий и смягчению их последствий.

Физическая безопасность. Как отмечалось выше, большинство существующих реакторов не были спроектированы в первую очередь с учетом соображений физической безопасности, однако по мере усиления террористических угроз системы физической безопасности в процессе эксплуатации подвергались существенной модернизации. Существует как возможность, так и необходимость того, чтобы соображения физической безопасности учитывались сразу же в проекте новой АЭС. Во многих современных проектах активная зона реактора размещается ниже поверхности земли, что повышает способность конструкции противостоять диверсиям, например, путем атаки с использованием самолета. Применение пассивных систем безопасности, более компактной активной зоны, устойчивого к авариям топлива и более широкое внедрение автоматизации (что позволяет уменьшить риски, связанные с инсайдерской угрозой) — все это имеет потенциал для укрепления физической безопасности. Аналогичным образом, за счет того, что соображения физической безопасности учитываются при планировке объектов станции, также может быть снижена уязвимость жизненно важных зон. Основная идея заключается в том, что при оценке нового проекта вопросы ядерной и физической безопасности должны рассматриваться в совокупности, чтобы обеспечить надлежащее достижение целей в обеих этих областях. Важность укрепления взаимосвязи между вопросами ядерной и физической безопасности будет подчеркнута в предстоящем докладе, подготавливаемом совместно ИНСАГ и АдСек (Консультативной группой по вопросам физической ядерной безопасности). См. также доклад ИНСАГ «Взаимосвязь между безопасностью и физической безопасностью на атомных электростанциях» (2010) (INSAG-24).

Гарантии. Многие из усовершенствованных реакторов рассчитаны на использование топлива с обогащением по U-235 до 20%, что значительно выше наиболее распространенной в настоящее время степени обогащения порядка 5%. Такое изменение степени обогащения должно сопровождаться более строгими требованиями в плане физической безопасности и режима гарантий. Что не менее важно, некоторые проекты усовершенствованных реакторов предполагают переработку отработавшего топлива для того, чтобы привести его в стабильную химическую форму для последующего хранения и утилизации или для повторного использования в реакторе. Любая подобная переработка потребует специальных мер контроля за соблюдением гарантий, так как необходимо удостовериться в том, что не будет иметь места переключение пригодного для оружейного применения материала на военные цели. И как и в предыдущем случае, гарантии должны рассматриваться в качестве одного из аспектов проектирования наряду с ядерной и физической безопасностью.

Топливо. Во многих усовершенствованных реакторах предусматривается использование новых видов топлива или, как в случае некоторых реакторов на расплавах солей, даже использование топлива, растворенного в жидкосолевым теплоносителе. Все виды топлива должны демонстрировать определенный уровень устойчивости к авариям и в то же время соответствовать различным нормативным характеристикам, например, в части удержания продуктов деления и совместимости между оболочкой топлива и теплоносителем. Кроме того, в некоторых усовершенствованных реакторах предусматривается использование переработанного топлива или даже ториевых топливных циклов. Так как могут быть доступны лишь ограниченные данные о характеристиках новых типов топлива, возникает необходимость в получении соответствующих данных для обоснования безопасности.

Аварийное планирование/выбор площадки. В интересах защиты населения от воздействия радионуклидов в случае аварии существующие атомные электростанции с реакторами LWR часто располагаются в отдаленных местах. Поставщики некоторых усовершенствованных реакторов полагают, что для их проектов может быть оправдано смягчение таких требований по выбору площадки. Они утверждают, что данные проекты являются достаточно безопасными либо что последствия аварии будут достаточно незначительными, в силу чего представляется обоснованным изменение нынешнего подхода к выбору площадки. Действительно, такое смягчение абсолютно необходимо для того, чтобы реализовать некоторые из предлагаемых сегодня вариантов применения реакторов. Например, некоторые из поставщиков планируют, что спроектированные ими реакторы будут использоваться для выработки технологического тепла с высокими температурами для промышленного применения, при этом требуется, чтобы реактор находился в непосредственной близости от установки, потребляющей это технологическое тепло (например, химического завода). Соответственно, должно быть продемонстрировано, что происходящие на соседнем объекте события или аварии не нарушат безопасность реактора. Некоторые поставщики ММР также допускают то, что их проекты могут развертываться в качестве замены для установок аналогичной мощности, работающих на органическом топливе, что позволит с выгодой использовать уже имеющиеся системы электропередачи и близлежащие ресурсы охлаждающей воды. Многие такие станции на органическом топливе расположены вблизи городских районов или посреди них. Для того чтобы определить будущий спектр экономических возможностей, доступных для таких реакторов, потребуется тщательно и заблаговременно изучить вопросы выбора подходящей площадки и аварийного реагирования с учетом ожидаемых характеристик безопасности усовершенствованных реакторов.

Международная торговля. Многие из поставщиков, несомненно, рассчитывают на международные продажи. Действительно, с учетом ожидаемой экономии, которая может быть достигнута в результате серийного производства, неотъемлемой частью их бизнес-планов могут стать существенные объемы продаж за рубеж. Например, предполагается, что особенно привлекательным решением для развивающихся стран могут стать ММР, поскольку общие затраты на них должны находиться в более контролируемых пределах, чем затраты на реакторы гигаваттной мощности типа SMR, при этом показатели их мощности могут быть более уместны для небольших энергосетей, к чему следует также добавить все обещанные преимущества в плане безопасности, сооружения в более сжатые сроки и снижения эксплуатационных расходов. Вместе с тем существует и опасность того, что для удовлетворения лицензионных требований каждой страны, в которую поставляется та или иная установка, может потребоваться адаптация или модификация конструкции. Очевидно, что следствием этого может стать увеличение стоимости и ухудшение перспектив внедрения в международном масштабе.

Хотя МАГАТЭ и АЯЭ предпринимают значительные усилия по согласованию лицензионных требований, чтобы иметь возможность реализовать все обещания в отношении усовершенствованных реакторов, этой проблеме необходимо уделять постоянное внимание. Следует также наладить тесные связи между страной-поставщиком и страной-получателем на техническом и нормативно-регулирующем уровне. См. доклад ИНСАГ «Лицензирование первой атомной электростанции» (2012) (INSAG-26).

Отходы. Как ожидается, многие усовершенствованные реакторы будут иметь увеличенные топливные циклы и производить меньше отработавшего топлива, чем существующие реакторы LWR. В то же время, как было отмечено в одном из недавних ежегодных писем, прогресс в решении проблемы захоронения отработавшего топлива крайне незначителен, и большинство стран, располагающих сегодня ядерными реакторами, четкой стратегии захоронения не имеют. См. Ежегодное письмо ИНСАГ об оценке положения дел, 2019 год. Сложности с захоронением будут только возрастать, поскольку в новых местах будет появляться все больше реакторов.

Неспособность решить эту проблему подрывает перспективы использования ядерной энергии в тот момент, когда она наиболее востребована, поскольку те, кто разделяет озабоченность по поводу ядерных энергетических технологий, могут вполне обоснованно ссылаться на ситуацию с отходами как на основание для отказа от ядерной энергии. Вопрос накопления отработавшего топлива и высокоактивных отходов все равно потребует решения, и в данной связи не может быть никакого оправдания для промедления.

Материалы. Некоторые из усовершенствованных реакторов, ввиду характерной для них агрессивной химической среды, высоких температур или облучения конструкционных материалов быстрыми нейтронами, могут создавать проблемы в плане выбора материалов. Для преодоления этих проблем следует рассматривать возможность применения новых материалов — новых оболочек топлива, новых сплавов и т. п. Однако новые материалы должны быть испытаны, чтобы гарантировать их технические характеристики. Существует необходимость в быстром решении вопросов, касающихся получения требуемых данных испытаний, на основании которых использование этих материалов может быть разрешено.

Цифровые системы контроля и управления. В целях повышения безопасности за счет использования технологий, позволяющих уменьшить требования к операторам и вероятность человеческих ошибок, а также сократить количество задействованного на пункте управления персонала, во многих проектах усовершенствованных реакторов широко используются средства автоматизации. В связи с этим должны быть решены вопросы нормативного регулирования, связанные с обеспечением надежности таких систем, а также технические вопросы, связанные с новыми видами теплоносителя, топлива и систем безопасности. Кроме того, учитывая, что цифровым системам и искусственному интеллекту уделяется все больше внимания, в силу различных недавних событий возрастает важность укрепления кибербезопасности.

Признание со стороны общественности. Во многих странах идея сделать ставку на ядерную энергетику не находит признания у общественности из-за опасений, связанных с этой технологией. Для того чтобы ядерная энергетика могла быть воплощена в жизнь, необходимо признать эту ситуацию и найти способы ее преодоления. Ядерная отрасль обязана в открытом и понятном формате обсуждать вопросы ядерной безопасности и давать ответы на обоснованно возникающие вопросы и сомнения. Для выстраивания отношений общественного доверия потребуются откровенное и прозрачное признание проблем, связанных с ядерной энергетикой, а также сбалансированная оценка ее издержек и выгод.

Резюмируя сказанное выше, необходимо отметить, что все еще остается немало сложностей, которые необходимо будет преодолеть для того, чтобы усовершенствованные реакторы могли сыграть важную роль в контексте борьбы с изменением климата. МАГАТЭ делает все от себя зависящее. Поскольку проекты инновационных усовершенствованных реакторов отличаются технологическим разнообразием, МАГАТЭ работает над созданием нейтральной с точки зрения технологий нормативной базы обеспечения ядерной безопасности, физической безопасности и гарантий, что позволит облегчить разработку согласованных норм безопасности. Однако, как упоминалось в этом письме, всему ядерному сообществу еще предстоит проделать большую работу, и любые задержки в решении имеющихся проблем будут лишь ограничивать возможность для ядерной технологии внести свой своевременный вклад в преодоление угрозы изменения климата.

ИНСАГ продолжит отслеживать многие направления деятельности, связанные с перспективами усовершенствованных реакторов, и будет периодически выпускать свои рекомендации, если того потребуют обстоятельства. А пока что, просьба обращаться ко мне во всех случаях, когда ИНСАГ может предложить свою помощь в этом или в других вопросах.

Мое почтение.

Искренне Ваш,

[Подпись]

Ричард А. Месерв

Копии: ЗГД Лиди Эввар
членам ИНСАГ