

УДК 621.039.003

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ НА АЭС

Лапян Я.Г.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Кравченко В.В.

Атомная энергетика – сфера деятельности человечества, широко развитая во всем мире. Преимущества атомной энергетике по сравнению с другими видами получения энергии являются очевидными. Высокая мощность и низкая итоговая себестоимость энергии «мирного атома» открыли огромные перспективы для развития атомной энергетике и строительства атомных электростанций.

Основное преимущество атомной энергетике – ее рентабельность. Она складывается из многих факторов – низкая зависимость от транспортировки топлива, использование ядерного топлива без процесса горения и выбросов в атмосферу вредных веществ и парниковых газов, запасы урана при текущем уровне потребления являются практически неисчерпаемыми.

Воздействие АЭС на окружающую среду начинается с момента возведения, продолжается при эксплуатации и даже по ее окончании. На территории расположения станции и за ее пределами следует предусматривать возникновение следующих негативных влияний:

- загрязнение радионуклидами;
- ионизирующее излучение при выводе станции из эксплуатации с нарушением правил демонтажа и дезактивации;
- изъятие земельного участка под строительство и обустройство санитарных зон;
- химическое воздействие АЭС – выбросы в водные бассейны, атмосферу и на поверхности почв;
- изменение рельефа местности, вред популяциям местных животных;
- уничтожение растительности из-за строительства.

В настоящее время атомные электростанции планируются, строятся и работают таким образом, чтобы и персонал, и население были уверены в защищенности от вредных излучений. На АЭС третьего и последующих поколений вероятность серьезной аварии, способной вызвать выбросы значительного количества радиоактивных продуктов в атмосферу, будет постоянно снижаться из-за внедрения различных защитных мероприятий и систем безопасности [1].

На всех объектах атомной энергетике реализуется широкий комплекс технических и организационных мероприятий, направленных на минимизацию неблагоприятного радиационного воздействия на человека и окружающую среду.

Развиваются инновационные технологии, строятся планы развития, чтобы продвигать ядерную энергетике для удовлетворения потребностей страны в энергии, окружающей среде и национальной безопасности.

Топливо TRISO

Способность реактора эффективно вырабатывать энергию существенно зависит от состава и конфигурации его топливной системы. Ядерная тепловыделяющая сборка состоит из сотен тысяч урановых таблеток, уложенных друг на друга и заключенных в трубы, называемые топливными стержнями или топливными штифтами, которые затем объединяются в различные геометрические конфигурации.

Существует множество конструктивных соображений относительно состава материала и геометрической конфигурации различных компонентов, составляющих ядерную топливную систему. Будущие проекты для топлива и сборки или упаковки топлива будут способствовать более чистой, дешевой и безопасной ядерной энергии.

Сегодняшний процесс разработки и испытания новых топливных систем требует значительных ресурсов и времени. Процесс производства топлива, испытания его в реакторе и оценки его производительности может занять много лет, включать в себя множество этапов регулирования и быть довольно дорогостоящим. Область, в которой основное внимание уделяется топливу, предназначена для разработки трехмерных, мультифизических моделей с высоким разрешением и симуляций для прогнозирования развития и производительности топливных систем, что поможет сократить некоторые из этих временных и стоимостных соображений.

TRISO расшифровывается как TRi-структурное топливо с изотопными частицами.

Каждая частица TRISO состоит из ядра урана, углерода и кислорода. Ядро заключено в три слоя из углеродных и керамических материалов, которые предотвращают выброс радиоактивных продуктов деления. Частицы невероятно маленькие (размером с маковое зерно) и очень прочные [2].

Они могут быть изготовлены в виде цилиндрических шариков или шариков размером с бильярдный шар, называемых «галькой», для использования в реакторах с высокой температурой газа или с охлаждением расплавленной солью.

Топливо TRISO структурно более устойчиво к нейтронному облучению, коррозии, окислению и высоким температурам (факторы, которые наиболее влияют на характеристики топлива), чем традиционное реакторное топливо.

Каждая частица выступает в качестве своей собственной системы сдерживания благодаря своим слоям с тройным покрытием. Это позволяет им сохранять продукты деления при любых условиях реактора.

Проще говоря, частицы TRISO не могут плавиться в реакторе и могут противостоять экстремальным температурам, которые значительно превышают порог современного ядерного топлива.

Топливо TRISO было впервые разработано в Соединенных Штатах и Соединенном Королевстве в 1960-х годах на основе топлива из диоксида урана. В 2002 году Министерство энергетики сосредоточило свое внимание на улучшении топлива TRISO с использованием топливных ядер из оксикарбида урана и повышении его эффективности облучения и методов производства с

целью дальнейшей разработки современных высокотемпературных газовых реакторов.

В 2009 году это улучшенное топливо TRISO установило международный рекорд, достигнув максимального выгорания 19% во время трехлетних испытаний в Национальной лаборатории Айдахо. Это почти вдвое в три раза превышает выгорание, которого могут достичь нынешние легководные виды топлива, что демонстрирует его долговечность.

Затем облученное топливо подвергалось более 300 часам испытаний при температуре до 1800°C. Эти тесты превысили прогнозируемые наихудшие аварийные условия для высокотемпературных газовых реакторов и показал отсутствие минимального повреждения частиц с полным удержанием продукта деления.

Малые модульные ядерные энергетические реакторы

Существует большой интерес к небольшим и более простым установкам для выработки электроэнергии из ядерной энергии и для технологического тепла.

В течение следующих 15 лет усовершенствованные малые модульные реакторы (СМР) могут изменить представления о надежной, чистой и доступной ядерной энергетике. Вместо того, чтобы развиваться, ученые и инженеры пошли на маленькие мини-реакторы, которые примерно в три раза меньше типичной атомной электростанции.

Этот интерес к малым ядерным энергетическим реакторам обусловлен как желанием уменьшить влияние капитальных затрат, так и обеспечить электроэнергию вдали от крупных энергосистем.

Малые модульные реакторы (СМР) определяются как ядерные реакторы эквивалентные 300 МВт или меньше, сконструированные по модульной технологии с использованием модульного изготовления на заводе, что обеспечивает экономию при серийном производстве и короткие сроки строительства. Это определение Всемирной ядерной ассоциации тесно связано с определениями МАГАТЭ и Института ядерной энергии США.

В целом небольшие реакторы могут значительно снизить финансовый риск, связанный с полномасштабными установками, потенциально позволяя небольшим реакторам эффективно конкурировать с другими источниками энергии. Ожидается, что современные малые реакторы для производства электроэнергии будут иметь более простую конструкцию, экономию серийного производства, короткие сроки строительства и снижение затрат на размещение. Большинство из них также предназначены для обеспечения высокого уровня пассивной или неотъемлемой безопасности в случае неисправности. Также многие из них предназначены для размещения ниже уровня земли, что обеспечивает высокую устойчивость к террористическим угрозам [3].

Это означает, что большая часть техники для обеспечения безопасности, включая отвод тепла в больших реакторах, не требуется в малых реакторах. Поскольку во многих ситуациях малые реакторы предусматривают замену установок, работающих на ископаемом топливе, необходимая зона аварийного планирования должна иметь радиус не более 300 м.

Благодаря своим небольшим размерам и модульности SMR могут быть почти полностью встроены в контролируемую заводскую настройку и установлены модуль за модулем, что повышает уровень качества и эффективности конструкции.

Конструкция малого модульного реактора:

- компенсатор давления (держит охлаждающую жидкость реактора под высоким давлением, чтобы она не кипела);
- насосы охлаждающей жидкости реактора (циркулируют охлаждающую жидкость реактора);
- парогенератор (преобразует воду во вторичном контуре в пар для приведения в действие турбины, вырабатывающей электричество);
- стержни управления (используется для контроля мощности ядерного реактора, включая реакцию выключения);
- ядро («сердце» реактора – где энергия выделяется в результате ядерного деления).

Малые модульные реакторы чрезвычайно гибки. Их можно увеличивать или уменьшать, чтобы удовлетворить потребности в энергии и помочь в местах, где более крупные заводы не нужны. SMR также могут быть использованы для помощи в замене или переоснащении вышедших из эксплуатации электростанций или для дополнения существующих электростанций топливом с нулевым уровнем выбросов.

Их небольшой размер и функции пассивной безопасности предоставляют их странам с меньшими энергосетями и меньшим опытом использования ядерной энергии.

Размер, эффективность конструкции и системы пассивной безопасности (требующие меньшей избыточности) могут привести к более легкому финансированию по сравнению с более крупными станциями.

Более того, достижение «экономии серийного производства» для конкретной конструкции SMR еще больше сократит затраты.

Всемирная ядерная ассоциация перечисляет следующие особенности SMR:

- небольшая мощность и компактная архитектура и, как правило (по крайней мере, для систем снабжения ядерным паром и связанных с ними систем безопасности) использование пассивных концепций. Таким образом, предотвращение аварий меньше зависит от систем активной безопасности и дополнительных насосов, а также от сети переменного тока;
- компактная архитектура обеспечивает модульность производства (на заводе), что также может способствовать внедрению более высоких стандартов качества;
- пониженная мощность приводит к уменьшению срока службы источника, а также к уменьшению радиоактивного запаса в реакторе (реакторы меньшего размера);
- потенциал для размещения на подземных (подземных или подводных) участках реакторной установки, обеспечивающей

большую защиту от природных (например, сейсмических или цунами в зависимости от местоположения) или техногенных (например, от удара самолета) опасностей;

- более низкие требования к доступу к охлаждающей воде - поэтому подходит для отдаленных регионов и для конкретных применений, таких как добыча полезных ископаемых или опреснение;

- возможность удаления реакторного модуля или вывода из эксплуатации в конце срока службы.

Оценка, которую провело МАГАТЭ в 2009 году в рамках его программы «Инновационные ядерные энергетические реакторы и топливный цикл» (ИНПРО), позволила сделать вывод о том, что к 2030 году во всем мире может быть запущено 96 небольших модульных реакторов.

Технология Multi-D Белорусской АЭС

Строительство Белорусской атомной электростанции стало основным проектом, который в будущем существенно повлияет на структуру энергосистемы. При строительстве Белорусской АЭС ставка делается на технологии завтрашнего дня, а каждый этап работ проводится под строгим контролем. В конечном итоге это должно гарантировать высокую безопасность эксплуатации станции. Инновационные решения в области проектирования, строительства и эксплуатации атомных электростанций представлены при поддержке госкорпорации «Росатом». Более 80 российских и белорусских предприятий и организаций участвуют в работе.

Технология Multi-D является инновационной разработкой АО «Нижегородская инжиниринговая компания «Атомэнергопроект». Для возведения таких сложных промышленных объектов необходима цифровая модель объекта, в которую будут наглядно интегрированы все данные о нем. В результате этого, возможность дублирования или несовпадения данных сведена к нулю. В виртуальной среде формируются детальные графики работ. Весь процесс сооружения станции с помощью технологии Multi-D может быть смоделирован еще на стадии проектирования. При этом передовая технология инжиниринга позволяет управлять проектом не только на стадиях проектирования и строительства, но и непосредственно во время эксплуатации. При необходимости ее элементы могут быть использованы и при выводе объекта из эксплуатации.

Превращать проект в осязаемое сооружение позволяет технология полевого инжиниринга. Это и есть изюминка технологии – «вынуть» атомную станцию из компьютера и организовать работу подрядных организаций на предоставленной площадке.

Еще одно преимущество инновационного инжиниринга – возможность получить все необходимые данные прямо на стройплощадке. Сделать это можно с помощью мобильного приложения или инфокиоска.

Также Multi-D предлагает систему контроля персонала. Где, кто и в какое время работал на определенном участке - умная система автоматически будет собирать все эти данные. При внедрении системы контроля персонала могут

использоваться встраиваемые в каски датчики и индивидуальные карточки доступа.

Разрабатываются 3D-модели Белорусской АЭС и рабочие задания по строительным работам (недельно-суточное планирование). Кроме того, с помощью Multi-D можно будет воссоздавать кинематику оборудования и визуализировать рабочий процесс. Основными характеристиками 3D-моделей станут их точность и высокая степень детализации, что позволит оптимально использовать имеющиеся ресурсы. Наиболее удобно работать с ними в студии визуального моделирования. После ввода атомной станции в строй этот импровизированный кинотеатр можно использовать для обучения персонала, проведения курсов повышения квалификации.

В рамках внедрения Multi-D в проект Белорусской АЭС идет работа над порталом, где будет собрана вся необходимая информация для поставщиков. С запуском этого портала полезным инструментом станет система штрихкодирования. Поставщик после заключения договора наносит на товар и прилагаемые к нему документы специальный штрихкод, который впоследствии помогает заказчику контролировать его поступление, оперативно проводить инвентаризацию и получать стоимость информации о товаре [4].

Сроки строительства и объекта тоже также можно контролировать с помощью технологии Multi-D.

Таким образом, мы рассмотрели инновационные направления в области ядерного топлива, ядерных энергетических реакторов и технологий разработки, строительства и контроля всей станции. Все эти технологии предназначены для использования на АЭС и разработаны для решения актуальных проблем ядерной энергетики.

Частицы TRISO не плавятся в реакторе и противостоят экстремальным температурам, которые значительно превышают порог современного ядерного топлива.

Малые модульные ядерные энергетические реакторы уникальны своими размерами, эффективностью конструкции и системой пассивной безопасности.

Технология Multi-D – инновационное решение в области проектирования, строительства и эксплуатации атомных электростанций, которое сводит к нулю возможность дублирования или несовпадения данных.

Такое всестороннее развитие атомной энергетики ведет к повышению уровня ее безопасности и усилению международного сотрудничества для использования наивысших достигнутых стандартов.

Литература

1. Андреев, В.А. Расчет состава облученного ядерного топлива реакторов ВВЭР: методические указания / В.А. Андреев. – Северск: СТИ НИЯУ МИФИ, 2013. – 25 с.
2. Радиационные характеристики облученного топлива: Справочник / В.М. Колобашкин, П.М. Рубцов, П.А. Ружанский, В.Д. Сидоренко. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 384 с.
3. D.K. Trubey, New Gamma-Ray Buildup Factor Data for Point Kernel Calculations: ANS-6.4.3 Standard Reference Data, NUREG/CR-5740, 1991.
4. Беспалов, В.И. Лекции по радиационной защите: учебное пособие / В.И. Беспалов. – 3-е изд., испр. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 348 с.