

ИННОВАЦИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

Савкин А.Н.

Научный руководитель ассистент кафедры экономики и международного
бизнеса горно-металлургического комплекса Шишкина Н.А.

Сибирский федеральный университет

Ядерные системы IV поколения предполагают улучшения в четырех областях: устойчивое развитие, конкурентоспособность в промышленных масштабах, безопасность (надежность) и защита от несанкционированного распространения.

В течение последних нескольких десятилетий реакция ядерного деления успешно доказала важность своей роли в качестве источника энергии. Стратегия «Климат и энергия» Европейского Союза касается всех первичных источников энергии (тепловых, ядерных, возобновляемых), с акцентом на энергосбережение. Предполагается, что ядерная энергетика сохранит свою роль в снижении потребления углеводородных ресурсов, несмотря на то, что в долгосрочной перспективе (до 2100 года) можно ожидать появления доминирующих возобновляемых источников энергии.

С IV поколением ядерной технологии термин «реактор» заменяется более корректным термином «система», что включает в себя как непосредственно сам реактор, так и переработку (рециклирование) ядерного топлива. Такие новые системы должны обладать более высокими эксплуатационными показателями, чем предыдущие поколения, в области обеспечения устойчивого развития, конкурентоспособности, безопасности и надежности, а также защиты от распространения, оправдывая использование в их отношении выражения «технологический прорыв». Некоторые из них будут производить электроэнергию, а другие также вырабатывать тепло (температуры 400-900°C) для использования в различных промышленных целях – в нефтехимии, выработке синтетического топлива, газификации биомассы, производстве водорода из воды, стекла или цемента. Более низкие температуры (100-300°C) могут применяться для обессоливания морской воды и производства удобрений.

Некоторые системы IV поколения будут работать на нейтронах быстрого спектра. Их способность к воспроизводству делящегося материала в сочетании с передовыми технологиями деления и трансмутации открывают большие возможности. Их ядерное топливо будет устойчиво к очень высоким температурам и обеспечит удержание всех актинидов. В результате их топливный цикл будет полностью замкнутым. По этой причине новые системы особенно эффективно обеспечат устойчивое развитие, благодаря образованию минимальных объемов отходов (выжиганию всех актинидов).

Системы IV поколения обеспечат оптимальное использование природных ресурсов и надежность энергоснабжения. Слабой стороной существующих ядерных технологий является их ограниченная способность к использованию энергетического потенциала уранового топлива. Тепловые реакторы I и II поколений используют изотоп урана, который составляет лишь менее 1% общего количества урана, встречающегося в природе. Реакторы-размножители способны использовать значительную часть энергетического потенциала, недоступного тепловым легководным реакторам, в результате чего из того же исходного количества урана может быть произведено в 50 раз больше энергии. Такие реакторы способны преобразовывать ^{238}U в делящийся ^{239}Pu даже интенсивнее, чем сами поглощают делящийся материал (свойство, называемое «размножением»). Кроме того, они могут использовать топливо с очень низким содержанием урана, соответствующим руде.

Образование отходов будет минимальным. Недостатком открытого топливного цикла, предусматривающего захоронение отработавшего ядерного топлива без переработки, является объем, уровень радиотоксичности и остаточное тепловыделение ОЯТ.

По прогнозным оценкам на ближайшие несколько десятилетий, к 2060 году накопится настолько значительное количество требующего захоронения ОЯТ, что это станет неприемлемым для человеческого общества. Эта проблема, однако, была частично решена в странах, где принято решение о промышленной переработке ОЯТ с целью извлечения плутония (замкнутый ядерный цикл с частичным рециклированием), – Франции, Великобритании, России, Японии и Индии.

Передовые технологии деления и трансмутации являются предметом многочисленных исследовательских проектов, выполняемых в рамках развития систем IV поколения. Ядерно-химические технологии позволяют выполнять разделение отработавшего топлива на различные составляющие в зависимости от их дальнейшего использования или требований к захоронению.

Анализ ядерно-энергетического цикла показывает, что он производит такое же количество парниковых газов, что и гидроэлектроэнергетика, то есть ничтожно мало. В Европейском Союзе треть электроэнергии вырабатывается на АЭС, благодаря чему предотвращается образование объема CO_2 , примерно равное выбросам от всех автомобилей во всех странах ЕС (около 200 млн автомашин и 900 млн т CO_2 ежегодно).

Основная часть внешних издержек на производство электроэнергии на АЭС (например, страхование, обращение с РАО, вывод из эксплуатации) закладывается в стоимость электроэнергии, в отличие от станций, работающих на иных видах топлива. Постоянные затраты на производство ядерной энергии довольно высоки (значительные первоначальные капиталовложения), но переменные расходы небольшие ввиду низкой стоимости топлива. Цена самого урана мало влияет на итоговую стоимость электроэнергии, и общая стоимость выработки одного Мвт/ч на АЭС существенно ниже, чем на станциях других типов, особенно если принять во внимание образование CO_2 .

Легководные реакторы II и III поколений характеризуются сравнительно низкой температурой теплоносителя на выходе из активной зоны – около 300°C , что ограничивает их тепловой КПД (около 30% для традиционных легководных реакторов). Ожидается, что системы IV поколения будут обладать гораздо более высоким тепловым КПД. При применении других теплоносителей возможно достижение значительно более высоких температур: $400\text{--}600^\circ\text{C}$ для CO_2 , $500\text{--}700^\circ\text{C}$ для жидких металлов (натрий, свинец) и $700\text{--}900^\circ\text{C}$ для гелия. Напомним, что температура теплоносителя на выходе из активной зоны 900°C соответствует тепловому КПД до 44%, то есть приблизительно на треть выше, чем у традиционных легководных реакторов.

В качестве источника энергии для низкоуглеродной экономики будущего – так называемого постнефтяного общества – перспективен водород. Он может стать ключевым альтернативным источником энергии, действительно надежным и обеспечивающим максимально возможную защиту окружающей среды. Некоторые системы IV поколения могут оказаться единственными чистыми технологическими решениями, обладающими достаточной энергоемкостью для производства значительных объемов водорода из воды, с сопутствующим производством электроэнергии. На сегодняшний день существуют две такие технологии: цикл термохимического разложения воды (TCWSC, минимально необходимая температура – 750°C) и высокотемпературный электролиз водяного пара (HTES, 700°C).

Для систем IV поколения остается основополагающим принцип глубокоэшелонированной защиты со значительными запасами безопасности (стандарты МАГАТЭ). Он относится к детерминистическим принципам, что означает выполнение систематического анализа заданных исходных событий и их последствий (проектных аварий). Однако, как показал опыт, для более полного учета неопределенностей, которые неотъемлемо присущи инновационным системам IV поколения, подход к обоснованию их безопасности должен носить смешанный, детерминистически-вероятностный характер, обеспечивая тем самым общую гомогенность и согласованность проекта.

В современной атомной промышленности системы обеспечения безопасности, в целом, имеют активный характер, то есть их действие зависит от работы электрических и механических приводов различного оборудования, например датчиков, арматуры, насосов, аккумуляторов, теплообменников и систем внутреннего энергопотребления. Реакторы III и IV поколений оснащены более эффективными системами безопасности. В некоторых из них системы безопасности являются пассивными, что намного более эффективно, надежно и экономично.

Общепромышленная надежность взаимосвязана с безопасностью, о чем свидетельствуют показатели эффективности Всемирной ассоциации организаций, эксплуатирующих АЭС (WANO). Коэффициент использования установленной мощности в ядерной энергетике составляет 90%, что намного превышает аналогичные показатели любых других методов производства электроэнергии. Это делает ядерную энергетику наиболее надежным способом производства электричества в любое время года.

IV поколение (2040 год): технологический прорыв для обеспечения потребностей в энергии. Некоторые страны ЕС активно работают над развитием систем IV поколения. Так, в середине 2009 года была выдана рекомендация по приоритетности исследований реакторных систем с натриевым теплоносителем в качестве средства выжигания актинидов. Во Франции принято решение о начале работ на демонстрационном реакторе ASTRID (Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration).

В январе 2006 года, после консультаций с Великобританией, Францией, РФ, Японией и Китаем, США запустили проект GNEP (Глобальное партнерство в ядерной энергетике), целью которого является ограничение доступа к чувствительным технологиям (главным образом обогащению, производству и переработке ядерного топлива) и укрепление международного режима нераспространения.

Форум GIF (the Generation IV International Forum) был создан в 2001 году. Сегодня он насчитывает 10 активных участников – это США, Канада, Франция, Япония, ЮАР, Южная Корея, Швейцария, Евратом, Китай и Российская Федерация.

В 2002 году по результатам рассмотрения более 100 различных проектов были выбраны шесть инновационных ядерных систем (в том числе инновационных ядерных циклов). Участники GIF также согласовали планы дальнейших действий по каждой из шести систем, предусматривающие три этапа общей продолжительностью несколько десятилетий:

- этап научного обоснования – от 5 до 15 лет;
- этап проработки (концептуальный проект) – от 5 до 10 лет;
- демонстрационный этап (технический проект и подготовка к промышленной реализации) – от 3 до 6 лет.

Договоренности в рамках GIF охватывают только первые два этапа. Реализация заключительного демонстрационного этапа будет осуществляться в рамках отдельных

соглашений между участниками GIF, поскольку он считается слишком близким к промышленной эксплуатации.

Реализуется также еще одна международная инициатива, дополняющая GIF – Международный проект по инновационным ядерным реакторам и топливным циклам (ИНПРО), запущенный МАГАТЭ в 2000 году (его завершение запланировано на 2050 год). ИНПРО ориентируется на нужды «конечных пользователей» (потребителей) инновационных систем, в то время как проект GIF направлен на организацию международных исследований (поставщиков и разработчиков).

В 2002 году форум GIF приступил к организации научного сотрудничества между заинтересованными странами-участниками в области проработки шести ядерных систем нового поколения. Были выбраны три системы, работающие на нейтронах быстрого спектра, одна на тепловых нейтронах и две системы, позволяющие работать как в быстром, так и в тепловом спектрах:

- SFR – реактор на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем и замкнутым ядерным циклом, обеспечивающим эффективное обращение с актинидами и воспроизводство делящегося материала (Япония, США, Франция, Евратом, Южная Корея, Китай и Россия);
- LFR – реактор на быстрых нейтронах со свинцовым или свинцово-висмутовым жидкометаллическим теплоносителем и замкнутым ядерным циклом (переговоры между Евратомом и Южной Кореей; США, Япония и Россия – в качестве наблюдателей);
- GFR – реактор на быстрых нейтронах с гелиевым теплоносителем и замкнутым ядерным циклом (Франция, Евратом, Япония, Швейцария);
- VHTR – высокотемпературный реактор с графитовым замедлителем, гелиевым теплоносителем и открытым урановым топливным циклом (США, Япония, Франция, Канада, Южная Корея, Швейцария, Евратом, Китай; в 2010 году ожидается присоединение ЮАР);
- SCWR – высокотемпературный реактор с водным теплоносителем под высоким давлением, работающий выше термодинамической критической точки воды (Евратом, Канада, Япония; Южная Корея в качестве наблюдателя);
- MSR – генерирует энергию за счет реакции деления при надтепловом спектре, с циркуляцией теплоносителя и топлива в виде смеси расплавленных солей и полным выжиганием актинидов (переговоры между Евратомом, Францией и США; Россия в качестве наблюдателя).
- создание общих инструментов для удовлетворения указанных потребностей и реализации видения (ECVET).

В будущей низкоуглеродной экономике (постнефтяном обществе, переход к которому ожидается после 2040 года), реакция ядерного деления наверняка продолжит играть важную роль в удовлетворении энергетических потребностей человечества, особенно за счет способности к совместному производству тепла и электричества, что и предлагается для систем IV поколения. Совместное производство тепла и электричества будет необходимо для выработки водорода без сопутствующих выбросов парниковых газов. В более общем случае ядерная технология IV поколения обеспечит экономически эффективное и безопасное максимальное использование энергетического потенциала природных ресурсов (благодаря размножению делящегося материала), оптимальное обращение с ядерными отходами (рециклирование всех актинидов и незначительные выбросы парниковых газов) и минимальные риски распространения.

В настоящее время во всем мире готовятся научные обоснования и испытания различных систем IV поколения. Достижение конечной цели – реализации

промышленной системы IV поколения – намечено на 2040 год, хотя никто не может точно предположить, когда отрасль и инвесторы будут готовы к принятию твердых, часто сложных решений по началу строительства таких инновационных систем. Принятие таких решений зависит не только от наличия научных обоснований и соответствующего технологического уровня, но и от текущей экономической и политической обстановки.

Работая над обоснованием и внедрением систем IV поколения, необходимо постоянно помнить о необходимости применения самых строгих критериев, с соблюдением требований как отрасли, так и общества, включая устойчивое развитие, конкурентоспособность, безопасность и надежность, защиту от распространения и физическую защиту.