

Что нового в современной атомной стратегии

Академик Олег Фиговский

Ядерные технологии развиваются во многих странах и, прежде всего в Китайской Народной республике. В этой статье я расскажу о некоторых из них, опубликованных в последние полгода.

Так издание South China Morning Post (SCMP) со ссылкой на статью, опубликованную в журнале Scientia Sinica Technologica, сообщило, что китайские инженеры создали прототип ядерного двигателя космического корабля для полетов на Марс.



Фото ядерного двигателя, разработанного китайскими учеными / © Chinese Academy of Sciences

Прототип ядерного ракетного двигателя мощностью 1,5 мегаватта уже испытали — правда, без ядерного топлива, он снабжался энергией от внешнего источника. Главной целью тестов была проверка системы отвода тепла. В развернутом виде двигательная установка достигает высоты 20-этажного здания. Однако для вывода ее на орбиту, где, по-видимому, будет собираться корабль для полетов на Марс, устройство будет компактно складываться в контейнер, а его масса не превысит восьми тонн. Поэтому двигатель сможет поместиться под стандартный обтекатель штатных ракет-носителей. Прототип

ядерного ракетного двигателя мощностью 1,5 мегаватта уже испытали — правда, без ядерного топлива, он снабжался энергией от внешнего источника.

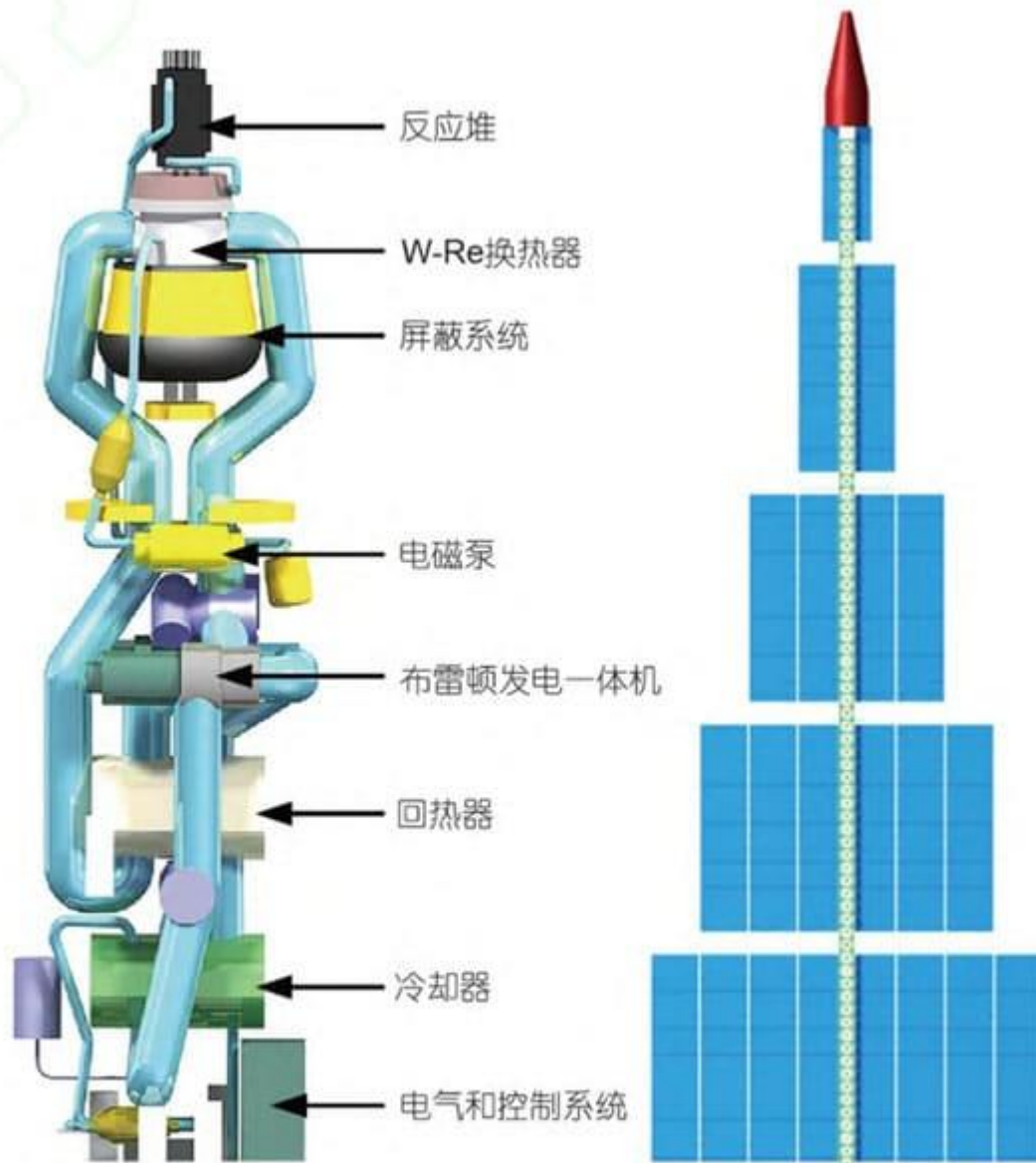


图 2 (网络版彩图) 锂冷却反应堆系统结构图

Figure 2 (Color online) Structure of the lithium-cooled nuclear reactor.

Главной целью тестов была проверка системы отвода тепла от литиевого реактора. По оценкам китайских специалистов, их разработка компактнее аналогичного двигателя, который проектируют в NASA, при этом в семь раз мощнее. Инженеры считают, что полет до Красной планеты на корабле с ядерным двигателем займет примерно три месяца, тогда как полет Starship Илона Маска

растянется на семь месяцев.

Руководитель государственной корпорации «Роскосмос» Юрий Борисов заявил, что Россия и Китай рассматривают возможность строительства атомной электростанции на поверхности Луны в 2030-х годах. «Сегодня серьезно рассматриваем проект, где-то на рубеже 2033–2035 годов доставку и монтаж на лунной поверхности вместе с нашими китайскими коллегами энергетической установки», — сказал Юрий Борисов во время Всемирного фестиваля молодежи в Сириусе. Глава госкорпорации объяснил, что только за счет ядерной энергетики можно будет обеспечить постоянное функционирование и работу будущей лунной станции. Интересно, что создание энергетической установки будет выполняться в автоматическом режиме — технологические решения, необходимые для миссии, по словам Борисова, практически готовы. Стоит отметить, что на практике строительство АЭС в таком режиме пока не удавалось и на Земле, поэтому подобна операция на Луне, где пока проблемы и с простой автоматической посадкой, на практике может столкнуться с большими проблемами.

Строительство малых модульных реакторов (ММР) для атомных электростанций может заметно ускориться благодаря изобретению британской компании Sheffield Forgemasters. Ее инженеры смогли сварить бак ядерного реактора за 24 часа вместо обычных 12 месяцев. Проведенная демонстрация возможностей — важный этап для атомной энергетики Великобритании, которая долгие годы находилась в упадке и выпускала реакторы только для атомных подводных лодок, пары опытных электростанций и производства ядерного топлива. Модульные реакторы могут повысить эффективность атомной энергетики, превратив АЭС из масштабного долгосрочного и дорогостоящего проекта в то, что под силу выпускать в рамках одной фабрики. В отличие от существующих больших реакторов, ММР имеют стандартизированные размеры и не требуют большой площади и невероятно дорогих строительных работ, их можно производить массово, собирать в блоки по мере роста спроса и легко модернизировать. Минусов тоже хватает. Один из них — отсутствие отработанной технологии производства баков ядерных реакторов, которые изолируют ядро от внешней среды. Традиционными технологиями варить такой контейнер

приходится больше года.

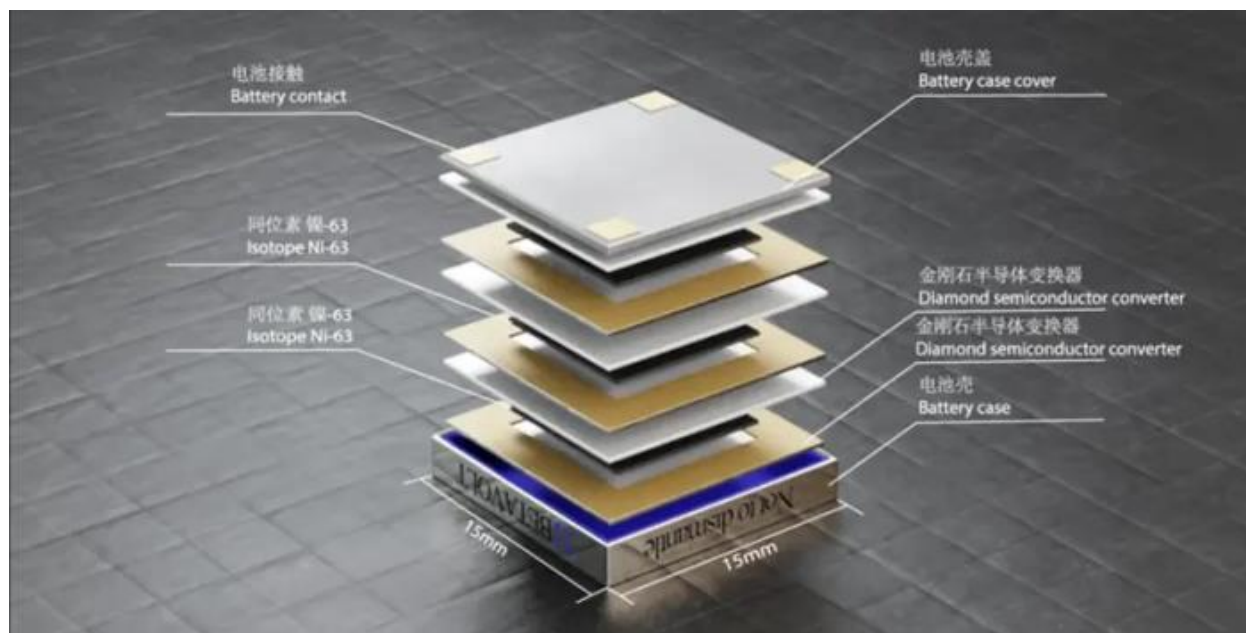


Специалисты Sheffield Forgemasters предложили альтернативный метод «локальной электронно-лучевой сварки» (LEBW). Этот революционный метод соединяет два куска металла с помощью процесса высокоэнергетического плавления мощной электронной пушкой в условиях локального вакуума. LEBW плавит и скрепляет компоненты друг с другом с эффективностью 95% и высоким коэффициентом высоты к ширине. В результате компания смогла выполнить сварку бака диаметром три метра с толщиной стенок 200 мм без каких-либо дефектов и высоких затрат. Вдобавок, сварочная машина продемонстрировала инновационную технику начала и завершения сварочного процесса.

Четвероногий робот завершил первый успешный тест на радиационную защиту на крупнейшей экспериментальной площадке Европейской организации по ядерным исследованиям (ЦЕРН). Инженеры ЦЕРН представили четвероногого робота CERNquadbot, который сможет проникать в труднодоступные помещения экспериментальных установок на Большом адронном коллайдере. Устройство прошло испытания на проверку радиационной безопасности территории северной лаборатории. В ЦЕРН уже использовали колесных роботов для контроля и сбора информации о состоянии приборов экспериментов. Но старые роботы были гусеничными и не могли свободно перемещаться по всей территории детектора. Четырехногий робот сможет перемещаться по загроможденной и неровной местности. На земле лежат большие пучки незакрепленных проводов и труб, которые скользят и перемещаются, что делает их непроходимыми для колесных роботов и трудными даже для людей. Совместно с группой радиационной защиты мы провели исследование, подтверждающее концепцию, в этой области. Никаких проблем не возникло: робот был полностью стабилен на протяжении всей проверки, – Крис МакГриви, инженер ЦЕРН. Роботы-собаки, оснащенные передовыми алгоритмами управления, могут отслеживать условия окружающей среды и оперативно обнаруживать аномалии, такие как утечки воды или пожара, а также другие инциденты, такие как ложные тревоги. Все это может существенно повлиять на работу машин в пещерах и туннелях, отмечают инженеры.

Представители китайского стартапа Betavolt утверждают, что разработали инновационный аккумулятор на ядерной энергии. Изобретение, предположительно, сможет обеспечивать питанием различные устройства в течение 50 лет без подзарядки. В компании из Пекина утверждают, что их батарея, построенная по принципам атомной энергетики, — это первый в своём роде источник питания такого типа и столь миниатюрный. Компактности добились, поместив 63 ядерных изотопа в корпус меньше монетки. Технология преобразует энергию от распадающихся изотопов в электричество. Чтобы окончательно убедиться в успехе, батарею на ядерной энергии Betavolt подвергают испытаниям. Дальнейшие планы изобретателей — массовое производство таких элементов для коммерческого использования. Стартап планирует предложить подобные источники питания на атомной энергии для аэрокосмической отрасли, для применения в оборудовании с искусственным интеллектом, медицинских приборах, микропроцессорах, миниатюрных роботах, смартфонах, беспилотных летательных аппаратах и так далее.

Технология инновационной батареи обещает малую массу, длительный срок службы, высокую плотность энергии и работу при температурах от -60 до 120 градусов Цельсия. Модульная конструкция позволит объединить несколько таких батарей для повышения подачи электроэнергии для автомобилей.



Предвидя возражения относительно радиации, в Betavolt утверждают, что их элемент питания безопасен, так как не выдаёт внешнего излучения. Если это подтвердится, то батарея на изотопах могла бы послужить даже кардиостимулятором. После распада радиоактивные изотопы в батарейке становятся стабильным, не излучающим изотопом меди, якобы безвредным для окружающей среды. Если всё действительно так, да ещё и работает в точности, как заявлено, то речь идёт о выдающемся прогрессе в области энергетики.

Новшество выглядит как способное произвести революцию в электронике. Повторимся: речь о бесперебойной работе до полувека без подзарядок и без снижения ёмкости батареи.

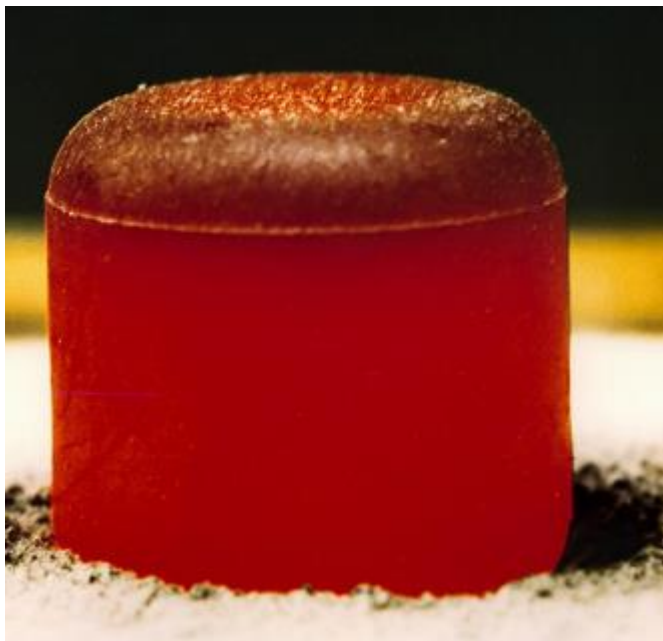
Несколько лет назад Национальное аэрокосмическое агентство США объявило, что возобновляет свою ядерную программу по разработке космических двигателей. В 2023 году оно выбрало первую концепцию бимодальной ядерной двигательной установки, использующей «цикл возбуждения волнового ротора», которая должна будет сократить время полетов на Марс до 45 дней. Теперь же в агентстве определились с подрядчиком для создания атомного двигателя, с помощью которого можно будет исследовать соседние звездные системы и собирать образцы с межзвездных объектов. У NASA грандиозные планы по освоению космоса на ближайшее десятилетие. Агентство планирует отправить несколько астробиологических миссий на Венеру и Марс для поиска следов внеземной жизни. Это произойдет одновременно с пилотируемыми полетами на Луну (впервые со времен «Аполлона»). Еще есть планы по отправке роботизированных миссий к спутникам Юпитера и Сатурна — на Европу и Титан, а также к другим похожим мирам, где может существовать подледный океан, а значит, и экзотические формы жизни.

Для достижения этих и других целей NASA запустило программу NASA Innovative Advanced Concepts (NIAC). Агентство ежегодно выбирает революционные концепции в области аэронавтики и космонавтики, а после финансирует их разработку. Например, в этом году выбор пал на беспилотники на солнечных батареях, биореакторы, световые паруса, астробиологические эксперименты и концепцию тонколистового изотопного ядерного двигателя (TFINER), предложенную Джеймсом Бикфордом (James Bickford) — старшим научным сотрудником американской некоммерческой научно-исследовательской организации Charles Stark Draper Laboratory. В документах NASA отмечается, что такая установка необходима для «реализации нескольких миссий следующего поколения, для которых требуются высокие скорости; с помощью обычной современной ракетной техники такие скорости получить невозможно». Речь идет о запуске солнечно-гравитационного телескопа, который будет использовать гравитационную линзу Солнца (как усилитель) для наблюдения объектов на поверхности далеких экзопланет, а также о миссии по исследованию межзвездных объектов.

В последние десятки лет более всего на слуху два типа атомных установок для космоса: ядерно-тепловые двигатели (NTP) и электроядерные установки (NEP), которые могут обеспечить нужную тягу и необходимую маневренность. Однако, по словам Бикфорда, такие установки громоздкие, тяжелые и дорогие. «Напротив, мы предлагаем недорогую и более легкую альтернативу — тонколистовой ядерно-изотопный двигатель, использующий энергию распада радиоактивных изотопов. Эта установка будет обладать достаточными возможностями для сближения с быстро движущимися межзвездными объектами и последующего возвращения образцов с них. С ее помощью, можно будет изучать соседние звездные системы. Кроме того, наша

технология позволит перенаправлять гравитационно-солнечную обсерваторию таким образом, чтобы во время одной миссии можно было наблюдать множество важных целей», — пояснил <https://www.universetoday.com/165258/nasa-invests-in-new-nuclear-rocket-concept-for-the-future-of-space-exploration-and-astrophysics/> Бикфорд.

В основе концепции тонколистового изотопного ядерного двигателя лежит технология светового паруса, только в установке будут применять тонкие листы радиоактивного изотопа торий-228 толщиной около 10 микрометров (0,01 миллиметра). Для создания тяги будет использоваться импульс продуктов распада изотопа. Торию-228 свойственен альфа-распад, период его полураспада равен 1,9 года. Торий — радиоактивный металл, который присутствует в большинстве горных пород и почв. По оценкам геологов, его запасы на Земле в три-четыре раза превышают запасы урана. По словам ученых, космическому аппарату потребуется 30 килограммов тория-228, распределенного на площади более 250 квадратных метров, что создаст тягу, необходимую для развития скорости свыше 150 километров в секунду. Для сравнения, зонд NASA Parker Solar Probe, который использует комплект двигателей, работающих на гидразине, удается развить скорость до 163 километров в секунду. Однако такая скорость по большей части обусловлена гравитационным маневром на орбите Венеры и притяжением Солнца. Бикфорд объяснил главное преимущество его установки: конструкция основана на известной физике и известных материалах. При этом, в отличие от технологии светового паруса, новый двигатель позволит космическому аппарату легко маневрировать в космосе и эффективно менять траекторию полета.



Таблетка диоксида плутония-238, раскаленная докрасна вследствие значительного энерговыделения в условиях термической изоляции./ © Los Alamos Laboratory

Инженер отметил, что, помимо листов тория-228, можно применять листы актиния-227 или других изотопов с более длительным периодом полураспада. Это позволит развить более высокую скорость. Еще можно использовать распад изотопа тория-233, в результате которого образуется уран-232, что приведет к увеличению производительности двигательной системы примерно на 500 процентов. Предлагаемая технология откроет для NASA много возможностей в космосе, кроме того, с ее помощью можно будет выполнять сразу несколько космических задач, подчеркнул ученый. Тонколистовой изотопный ядерный двигатель Джеймса Бикфорда не первая подобная установка, на которую обратило внимание NASA. В 2023 году в рамках программы NASA Innovative Advanced Concepts агентство выбрало двухрежимную ядерную силовую установку с роторно-волновым двигателем, предложенную профессором Райаном Госсе (Ryan Goss) из Университета Флориды (США). Эта конструкция, в теории, должна будет поднять тягу до уровня проекта NERVA, при более высоком удельном импульсе. Такие параметры много выше, чем у современных химических ракетных двигателей. По мнению Госсе, его разработка потенциально позволит долететь до Марса за 45 дней. Это сократит общее время миссий до нескольких месяцев и снизит основные риски, связанные с полетами на Красную планету, включающие невесомость, и, в меньшей степени, солнечную бурю.

Китайские ученые нашли способ эффективного получения сырья для ядерных реакторов из морской воды при помощи электричества. Команда специалистов разработала электрод, способный захватывать уран в процессе электрохимической реакции. Новый метод как минимум в три раза быстрее существующих, добавок, не боится примесей, а значит — пригоден для практического применения в промышленных масштабах. В Китае строится больше АЭС, чем в любой другой стране мира, но запасы урана в стране незначительны, поэтому приходится полагаться на импорт. Возможность получать этот тяжелый металл из океана может иметь огромное значение для независимости КНР и всемирной энергетической структуры в целом. С тех пор как в начале 40-х Энрико Ферми построил первый атомный реактор в Чикаго, уран стал важнейшим элементом для энергетики и других отраслей промышленности. Добывают его в месторождениях, запасы которых не бесконечны. Одним из альтернативных источников урана является океан, в котором, по оценкам ученых, содержится около 4,5 млрд тонн этого элемента — почти в тысячу раз больше, чем в месторождениях.

Однако получить уран из морской воды чрезвычайно сложно ввиду очень низкой концентрации этого элемента — примерно 3,3 части на миллиард — и наличия мешающих ионов в сложной морской среде. Трудоемкость такой задачи можно сравнить с извлечением грамма соли из 300 000 литров пресной воды. Решением ученых из Северо-восточного педагогического университета в Чанчуне стал электрод, состоящий из углеродного волокна, покрытого двумя мономерами. В результате реакции полимеризации в материале возникли микроскопические неровности и углубления — так называемая пористая ароматическая решетка. Она превращает ионы урана в урановые соединения, а пористая структура

волокон помогает улавливать ионы урана. Новый электрохимический метод получения урана обеспечивает больший объем производства и втрое большую скорость экстракции по сравнению с более традиционным методом физико-химической адсорбции. Испытания в водах залива Бохайвай Желтого моря показали, что за 24 дня электроды в состоянии извлечь 12,6 мг урана на грамм материала. При этом по прошествии этого срока электрод еще мог продолжать работу. Несмотря на присутствие в соленой воде мешающих ионов металлов, он сохранял стабильность на протяжении нескольких циклов. Ученые объясняют это изменением напряжения в электродах, которое отталкивает несвязанные ионы.

Ключевое положение «обычной» химии — на протяжении веков — предполагало, что свойства химических элементов неизменны. В начале XX века стало ясно: это не так, ведь радий (и не только) может превращаться в другие элементы. Так в 1910 году появился термин «радиохимия». Она с самого начала была сконцентрирована на изучении химической природы и свойств радиоэлементов, а также продуктов их распада. Не менее важным оказалось изучение радиационных эффектов, которые эти элементы вызывают в тех или иных средах. Начало XXI века поставило радиохимию в совершенно особое положение. На первый план в мире вышла экологическая повестка — и низкоуглеродная генерация энергии. При этом уровень потребления энергии с годами продолжает активно расти, что приводит к необходимости развития мощных источников энергии, не зависящих от климатических и региональных особенностей.

Попытки вести безуглеродный переход за счет ВЭС и СЭС предпринимают постоянно, но они чреваты существенным ростом цен на электроэнергию. А вот атомная генерация расти не спешит, что дополнительно подстегивает энергетическую инфляцию. В такой ситуации ключевой задачей радиохимии сегодня стало отсутствие «отложенных решений» — всех этих «хвостохранилищ», технологических водоемов в роли временных хранилищ радиоактивных отходов (РАО), длительного хранения отработавшего ядерного топлива и тому подобного. При таком подходе необходимо не только обосновать безопасность долговременного (а иногда вечного) захоронения отходов жизненного цикла атомной энергетики, но и создать новые технологии, позволяющие обеспечить это захоронение без значительного увеличения стоимости конечного продукта. Почему все это оказалось столь важно? Объем радиоактивных отходов атомной энергетики действительно невелик: в тоннах или кубометрах он на порядки меньше, чем, например, у угольной энергетики, и еще меньше, если пересчитать объем отходов на единицу выработанного электричества. Скажем, угольная отрасль в России оставила только золошлаковых отходов более полутора миллиардов тонн (сегодня они уже занимают сотни квадратных километров). Хотя их регулярно сносит ветром на близкую жилую застройку (а микрочастицы от ископаемых топлив в целом убивают сотни тысяч человек в год), это не вызывает заметного общественного резонанса. Следовательно, устойчивое ее развитие требует полного решения вопроса РАО.

Длительное время предлагалось — а в США все еще предлагается — пойти по линии наименьшего сопротивления: глубоко в устойчивых горных породах захоранивать в контейнерах и отработавшее ядерное топливо, и другие виды РАО. Минусы такого подхода принципиальны: он просто передает решение проблем ядерной энергетики будущим поколениям. Кроме того, блокирует достаточно эффективное использование ядерного топлива. Если килограмм уранового топлива для типичного реактора пропустить через один рабочий цикл, он даст примерно 0,6 миллиона киловатт-час. Если же суметь выделить из «отработки» ценные компоненты и использовать их снова, то из одного килограмма урана за много циклов можно получить в 30–40 раз больше тепловой (а в итоге и электрической) энергии, чем сейчас. Разумеется, это верно только при определенных условиях. В обычных реакторах на тепловых нейтронах делится только уран-235. Он за один цикл выжигается примерно на 60–70%, то есть при втором обороте экономия составит в лучшем случае 30–40%. Так о каких условиях идет речь? Замкнутый ядерный цикл имеет смысл, если рассматривать как топливо не только уран, но и плутоний. Тогда становится возможным использование всего природного урана, а не лишь 0,7% (содержание U-235 в уране из руды). Ведь уран-238, которого в природной руде 99,3%, в условиях ядерного реактора захватывает нейтроны и становится плутонием. В результате ядерных реакций в топливе АЭС происходит накопление продуктов деления и активации, что приводит к росту его радиоактивности — и превышает радиоактивность урана, извлеченного из руды.

Британская компания Rolls-Royce представила макет концептуальной модели космического микро-реактора на Британской космической конференции в Белфасте. Результатом совместного проекта компании и британского космического агентства должны стать легкие и безопасные реакторы, которые будут генерировать то 10 МВт энергии. Макет показывает базовую конструкцию микро-реактора в разрезе, включая то, что выглядит либо как топливные стержни, либо как часть системы теплопередачи. Проектируемое устройство представляет собой реактор, который работает от реакций ядерного деления. Это тот же принцип, который используют существующие атомные реакторы на Земле. Для работы реактора будут использоваться трехкомпонентное изотропное (TRISO) топливо, которое содержит три слоя углеродных и керамических материалов. Такие частицы размером с бильярдный шар заменяют классические топливные стержни. Урановое ядро запечатано внутри слоев углерода и керамики. Это безопаснее стержней, и позволяет использовать более простую систему

охлаждения газа.



Mock-up of the Rolls-Royce lunar micro-reactor

Мобильные микро-реакторы, которые можно безопасно перевозить по железной дороге, по морю и отправлять на ракетах в космос, изменят многие индустрии, считают в Rolls-Royce. Помимо поддержки работы исследовательских баз на Луне, их можно будет использовать для замены ископаемого топлива в промышленности, для снабжения сил обороны и аварийных бригад. В компании отмечают, что финансирование от британского космического агентства позволило разработать ключевые технологии, которые делают микро-реакторы реальностью. Но создание рабочего прототипа требует больше времени. По планам компании, готовый микро-реактор отправится на Луну в следующем десятилетии.

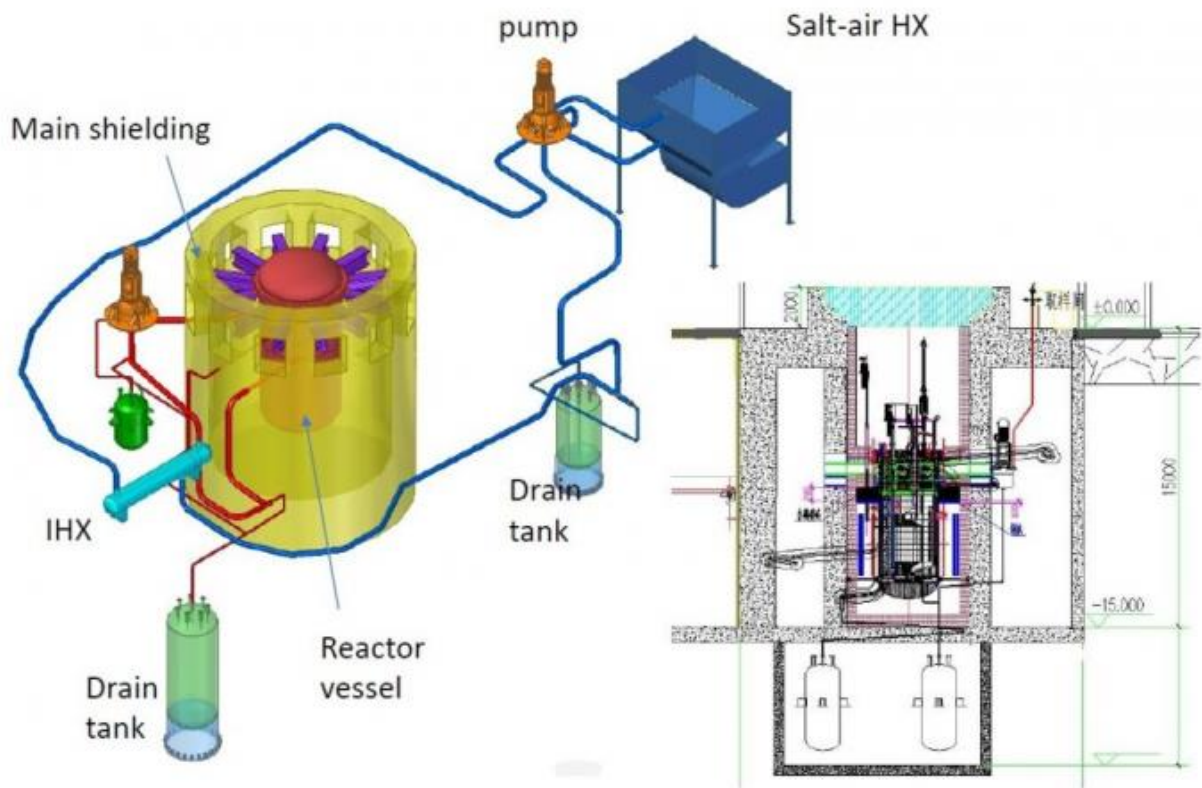
На проходящей в Шанхае выставке Marintec China 2023 государственная китайская верфь заявила о намерении построить самый большой в мире атомный контейнеровоз (на 24 тысячи стандартных контейнеров). Необычной чертой 400-метрового гиганта должен стать реактор такого типа, который до сих пор никому не удавалось заставить работать штатно. Верфь, о которой идет речь, — часть Китайской государственной судостроительной корпорации. С учетом того, что КНР сегодня — лидер мирового судостроения с большим отрывом (отобрав это место у Японии), проект находится в руках крупнейшего игрока отрасли. Контейнеровоз

будет оснащен ториевым реактором на расплаве солей. Хотя такие системы и называют «ториевыми», в действительности сам торий в реакторах не делится: вместо этого торий-232 захватывает один нейтрон от другого изотопа и становится ураном-233, а уже тот делится, поэтому может работать как ядерное топливо. Причины тяги КНР к торию можно понять: страна не располагает собственной развитой урановой индустрией и вынуждена покупать топливо за рубежом (например, в России). Хотя китайцы строят быстрые натриевые реакторы (тоже с помощью России), закрыть нарабатываемым там плутонием потребности даже сухопутной атомной индустрии не выйдет еще долго. А свои месторождения тория у Китая есть. Однако на практике у этого цикла есть существенные сложности: если на уране-235 до загрузки в реактор можно спокойно спать (он радиационно безопасен), то уран-233, напротив, сильно излучает еще до загрузки в реактор. Пока полноценного ториевого цикла нет ни в одной стране, да и экспериментальный ториевый реактор (небольшой мощности) на планете только один.

Китайская судостроительная компания делает особый упор на то, что ее реактор будет жидкосолевым — то есть, несмотря на высокие температуру и КПД, в его корпусе будет низкое давление, что повышает безопасность. Даже в случае серьезного инцидента реактор просто самозаглушится (соль стечет в ловушку), после чего ториесодержащая соль застынет, став безопасной. В остальном технических деталей о проекте мало: судно с таким реактором будет развивать скорость более 20 узлов, а в длину приближаться к 400 метрам. Его вместимость оценивают в 24 тысячи эквивалентов 20-футового стандартного контейнера.

Вероятнее всего, в основу судового реактора положат то, что сейчас отработывают в экспериментальном китайском реакторе TMSR-LF1, лицензия на эксплуатацию которого была выдана летом 2023 года. В этом реакторе используют соль на основе фтора, бериллия и лития-7. В ней растворены фториды урана и, в перспективе, тория (пока не ясно, добавлен ли он туда уже, или это случится в будущем). Реализация проекта выглядит непростой: принципиально новый реактор требует многих лет на отработку и доводку. Однако сообщается, что классификационное общество DNV выдало принципиальное одобрение проекта. Из этого следует, что китайцы планируют строить такое судно в обозримом будущем.

Сама постройка атомного контейнеровоза — часть всеобщей моды на снижение углеродного следа. В Европе планируют создавать контейнеровозы на аммиаке. Атомный проект на этом фоне выглядит более зрелым: аммиачные суда не могут иметь большую дальность, да и топливо для нихкратно дороже солярки, используемой в судоходстве сегодня. Вдобавок они усиливают парниковый эффект еще больше обычных судов. Атомоходы, напротив, имеют неограниченную дальность и не слишком большие удельные расходы на топливо (если судно эксплуатируют постоянно). Но неопределенность с технической зрелостью ториевого реактора мешает оценить, получится ли у китайского государства реализовать эти преимущества на практике



Общая схема TMSR-LF1, китайского уран-ториевого экспериментального реактора тепловой мощностью в два мегаватта.

Большинство действующих ядерных реакторов мира по уровню безопасности, устойчивости и эффективности относятся ко второму поколению. Атомная электростанция «Шидаовань» стала первой в мире АЭС, запустившей реактор четвертого поколения после 168 часов непрерывных испытаний. Разработчики утверждают, что в случае внезапного сбоя или внешнего вмешательства этот реактор не расплавится. Реакторы четвертого поколения способны работать при более высоких температурах, чем большинство современных АЭС, что позволяет им вырабатывать и электричество, и водород. Кроме того, они оставляют меньше отходов и устойчивее в случае аварий. С их помощью Китай и мир в целом смогут «стать углеродно-нейтральными», заявил Чжан Цзои, главный конструктор реактора. Высокотемпературный атомный реактор с газовым охлаждением HTR-PM был разработан специалистами Университета Цинхуа в качестве более безопасной альтернативы реакторам с водным охлаждением. Использование гелия в качестве теплоносителя позволяет также строить АЭС вдали от водоемов и прибрежных районов.

Установка, активная фаза работ над которой началась в 2012 году, состоит из двух реакторов на тепловых нейтронах по 250 МВт и парогенератора на 200 МВт. Как сообщает Китайская национальная ядерная корпорация, более 93% материалов, которые были использованы в его строительстве, отечественного

происхождения. Водород, полученный на АЭС «Шидаовань», будет использоваться как топливо и сырье для промышленности. Поскольку при его производстве нет эмиссии углекислого газа, такой водород считается «зеленым», то есть более предпочтительным. Вскоре примеру «Шидаовань» могут последовать и другие атомные станции КНР с реакторами четвертого поколения. В провинции Фуцзянь ведется строительство опытного реактора с натриевым охлаждением. Его должны подключить в 2025 году. Особенность такой установки в том, что она может повторно использовать отработанное урановое топливо.

Создаётся впечатление, что Китай стремится стать мировым лидером и в атомных технологиях.
