

# Инструменты нового поколения позволяют быстрее и эффективнее выводить из эксплуатации ядерные реакторы после тяжелых аварий

Наяна Джаяраджан

Уже через несколько дней после самого мощного землетрясения, когда-либо зарегистрированного в Японии, стало очевидно, что энергоблоки с 1 по электростанции (АЭС) «Фукусима-дайти» будут остановлены навсегда. 11 марта 2011 года огромные волны вызванного землетрясением цунами прорвали береговые защитные сооружения Японии, включая периметр АЭС, причинив значительный ущерб. Наводнение вывело из строя аварийные генераторы, что привело к перегреву ядерного топлива в трех реакторных установках и частичному расплавлению активных зон. Из-за утечки водорода на АЭС также произошло несколько взрывов, которые повредили здания и привели к выбросу радиоактивных материалов. Из префектуры Фукусима были эвакуированы более 150 000 человек, часть ее территории была объявлена властями запретной зоной. Однако даже после того, как острая фаза вызванного цунами кризиса была пройдена, предстояло решить не менее сложную задачу — вывод из эксплуатации сильно поврежденной станции.

Вывод из эксплуатации ядерной установки после тяжелой аварии сопряжен со многими сложностями и, по сравнению с выводом из эксплуатации после планового останова, часто требует применения особых подходов, методов и практик. Важнейшей проблемой является обеспечение радиационной безопасности при проведении всего комплекса работ. Одно из самых ответственных направлений работы при выводе из эксплуатации поврежденного реактора — это удаление отработавшего и поврежденного топлива.

При аварии на АЭС «Фукусима-дайти» часть ядерного топлива расплавилась и попала в нижние секции защитной оболочки реакторных зданий первого, второго и третьего энергоблоков. Из-за высокого уровня радиации внутри защитной оболочки люди не могли добраться до зоны вблизи реактора. Специалисты столкнулись с серьезной проблемой: как удалить поврежденное топливо, если его точное местонахождение неизвестно?

В этом им помог метод картирования с помощью мюонов космических лучей, который впервые был применен более шестидесяти лет назад и с тех пор используется в различных областях, от картирования внутренней поверхности вулканов и древнеегипетских пирамид до обнаружения ядерных материалов в транспортных контейнерах. Мюонные детекторы обнаруживают и отслеживают проходящие через

материалы высокоэнергетические субатомные частицы, фиксируя изменения в их траектории для определения плотности материала. Ядерные материалы, такие как уран и плутоний, обладают очень высокой плотностью и, следовательно, относительно легко определяются с помощью этих устройств.

На АЭС «Фукусима-дайти» была установлена аппаратура для регистрации потока мюонов космических лучей, что позволило оценить местоположение и состояние обломков топлива в активных зонах реакторов. В 2015 году японские эксперты разработали модифицированный метод, позволяющий обнаруживать обломки размером всего около 30 сантиметров. Этот метод был использован для анализа состояния поврежденного топлива в реакторе первого блока АЭС «Фукусима-дайти» — что стало важным предварительным условием для начала вывода из эксплуатации.

Это лишь один из многих примеров того, как инновационные технологии применяются для решения уникальных и непредвиденных задач, связанных с выводом из эксплуатации и восстановлением окружающей среды после аварии.

«Последствия аварии всегда непредсказуемы, и существующая организационная и техническая инфраструктура, а также имеющиеся технологии могут оказаться непригодными или недостаточными для удовлетворения требований по ликвидации последствий аварии. Часто при выводе из эксплуатации поврежденных ядерных объектов технические подходы и соответствующее оборудование разрабатываются для каждого конкретного случая, — поясняет Владимир Михаль, эксперт МАГАТЭ по вопросам вывода из эксплуатации, который был одним из руководителей проекта по документированию и анализу процесса вывода из эксплуатации и реабилитации поврежденных ядерных установок («Международный проект по управлению выводом из эксплуатации и реабилитацией поврежденных ядерных установок»), так называемый проект ДАРОД). — Во многих случаях, как в примере с мюонным картированием, эти технологии нашли более широкое применение не только в области вывода из эксплуатации, но и в других отраслях».

Другим ярким примером является сооружение нового безопасного конфайнмента над реакторным зданием четвертого энергоблока Чернобыльской АЭС на Украине

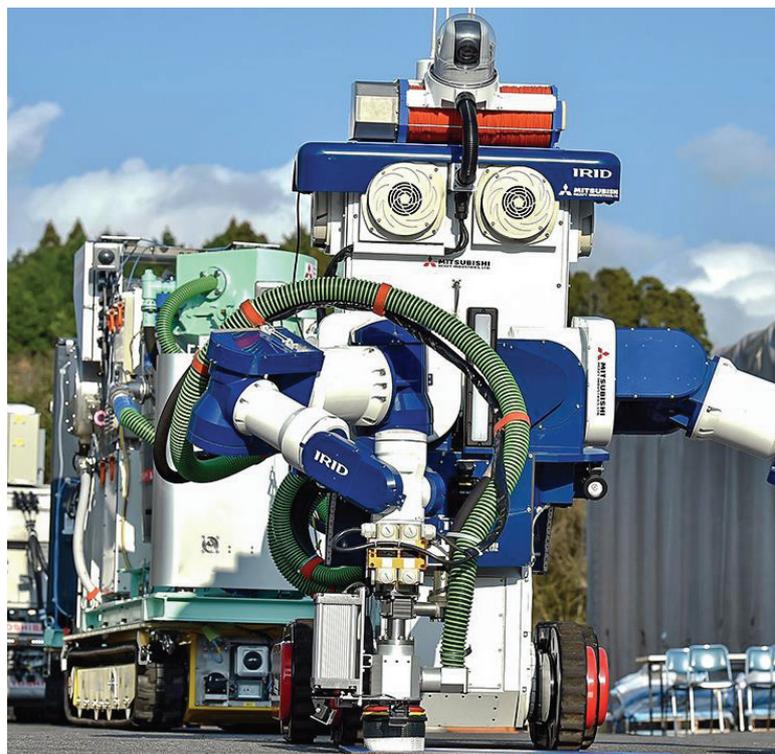
в период с 2016 по 2019 год. Конфайнмент, который заменил временный объект «Укрытие», построенный после аварии 1986 года, является самым большим наземным передвижным сооружением в мире. Он рассчитан на столетний срок службы и может выдержать ветер ураганной силы. Новый конфайнмент возводился примерно в 180 метрах к западу от поврежденного четвертого энергоблока. При его строительстве и последующем перемещении использовались самые современные методы строительной инженерии.

Как отмечает Валерий Сейда, исполняющий обязанности генерального директора Государственного специализированного предприятия «Чернобыльская АЭС», «новый безопасный конфайнмент не просто предотвращает попадание радиоактивного материала в окружающую среду, он будет способствовать выводу из эксплуатации в будущем». Безопасный конфайнмент сконструирован таким образом, чтобы предотвратить радиоактивное загрязнение, защитить внутренние элементы реактора и облегчить проведение работ по выводу из эксплуатации. Для решения последней задачи в конструкции конфайнмента предусмотрены два современных крана с дистанционным управлением. Они установлены непосредственно под крышей и предназначены для работ по выводу из эксплуатации четвертого энергоблока, во время которых персонал и окружающая среда будут ограждены от воздействия радиации.

На АЭС «Фукусима-дайити» было использовано хорошо зарекомендовавшее себя инженерное решение — создание подземного ограждения из замороженного грунта для предотвращения проникновения грунтовых вод на площадку и смешивания их с уже загрязненной водой внутри реакторных зданий. Путем замораживания грунтов, в результате чего они становились непроницаемыми для грунтовых вод, была сооружена стена протяженностью 1500 метров; это решение позволило уменьшить общий объем загрязненной воды, нуждающейся в очистке.

При выводе из эксплуатации сегодня применяются передовые технологии дистанционного управления и робототехники, что делает возможным проведение работ в зонах с высоким уровнем радиации. Например, на АЭС «Фукусима-дайити» роботы используются для радиационного мониторинга и измерения интенсивности излучения, проведения обследований, дезактивации и подготовки к удалению обломков топлива.

«Дистанционно управляемые роботы, оснащенные приборами для измерения/визуализации радиационного загрязнения, являются приоритетной областью исследований и разработок, поскольку помогают свести к минимуму облучение работающего на площадке персонала и систематически продвигаться вперед в процессе вывода из эксплуатации АЭС «Фукусима-дайити», — констатирует исполнительный директор Японского агентства по атомной энергии Кентаро Фунаки. Среди широкого спектра финансируемых



**Робот-дезактиватор, разработанный для обеспечения мероприятий по выводу из эксплуатации на АЭС «Фукусима-дайити»**

(Фото: Международный исследовательский институт по выводу из эксплуатации ядерных объектов (IRID), Япония)

правительством исследований и разработок г-н Фунаки особо выделяет совместные международные проекты как одно из ключевых направлений деятельности. «В настоящее время ведутся активные работы по трехмерной визуализации радиоактивных горячих пятен вблизи первого и второго энергоблоков АЭС «Фукусима-дайити». Благодаря использованию результатов национальных и международных совместных исследований был достигнут большой успех, и эти усилия будут предприниматься и в дальнейшем», — говорит он.

Использование неядерных технологий в условиях радиации сопряжено со многими проблемами, включая значительные затраты на разработку, особенно из-за наличия факторов облучения и неопределенности относительно точных условий, в которых будет работать оборудование. Однако достижения в области экранирования электропроводки и других критически важных компонентов, наряду с разработкой оборудования, устойчивого к радиации, позволяют безопасно и эффективно применять робототехнику в этих сложных условиях. Кроме того, для сканирования внутренних помещений в таких условиях среды, которые нередко исключают возможность доступа человека, применяются лазерные технологии, что обеспечивает защиту здоровья и безопасность работников. «Эти достижения значительно расширяют возможности безопасного и эффективного демонтажа объектов, поврежденных в результате тяжелой ядерной аварии, даже в условиях самой сложной обстановки», — резюмирует г-н Михаль.