

# Круглосуточный контроль за материалом под гарантиями

Венсан Фурнье

Деятельность МАГАТЭ по проверке главным образом заключается в проведении инспекций. Вместе с тем все более широкое применение получают вспомогательные технологии наблюдения, обеспечивающие круглосуточный контроль и укрепляющие таким образом действенность и эффективность гарантий МАГАТЭ.

Такое наблюдение за ядерным материалом и установками обеспечивает последовательное получение знаний и твердую уверенность в том, что материал не переключается с мирного использования. Вместо инспекторов на площадке работают камеры и датчики.

Они фиксируют продолжительные операции, такие как перегрузка топлива легководного реактора, которые могут длиться неделями. Данные о них либо передаются в МАГАТЭ в режиме реального времени по защищенному каналу, либо снимаются инспекторами во время инспектирования объектов. Это позволяет понять, соответствует ли фактическая деятельность сделанным заявлениям.

В мире установлено более 1400 камер наблюдения и 400 датчиков излучения и других детекторов, которые собирают миллионы единиц зашифрованных данных по гарантиям. Целостность материала и оборудования гарантируется более чем 23 000 установленных печатей.

## Недремлющее око

**Система наблюдения следующего поколения (СНСП)** МАГАТЭ состоит из камер, размещенных в контейнерах с индикацией вмешательства и оборудованных стойкими аккумуляторами, которые обеспечивают продолжительную работу без подключения к внешнему источнику энергии. Аутентичность и конфиденциальность данных наблюдения, полученных СНСП, обеспечивается трехуровневой криптографической защитой самих данных и многоуровневой технологией индикации физического, пассивного и активного вмешательства. Одним из главных компонентов камеры СНСП является укрепленный корпус, который благодаря механизму индикации активного вмешательства защищает важнейшие электронные компоненты и оптический датчик, а также зашифрованные данные.

Камеры могут устанавливаться в местах хранения, бассейнах выдержки отработавшего топлива и рядом с ними, а также во всех транзитных точках, через которые может проходить ядерный материал. Камеры могут оснащаться объективом типа “рыбий глаз”, делающим панорамные снимки. Они снимают по одному кадру с определенными интервалами, которые в зависимости от целей проверки могут составлять от одной секунды до десяти и более минут. Например, на обогатительных установках камеры делают снимки чаще, а на складах — реже. “Предположим, на складе монтируют кран для перегрузки материала. Такую подозрительную деятельность можно заметить даже при нечастой съемке”, — говорит Габор Хадфи, начальник Группы МАГАТЭ по гарантийному наблюдению.

По его словам, поккадровая съемка в ряде случаев уместнее непрерывной: заряд аккумулятора расходуется экономнее, а обрабатывать и анализировать полученные изображения проще, чем видеоматериалы.

Сначала данные наблюдения подготавливаются к изучению с помощью специального программного обеспечения, определяющего движение. Затем инспектора сличают эти данные с параметрами нормального функционирования объекта и заявленных операций на нем.



## Дистанционная радиационная проверка

Камеры наблюдения определяют только движение, но не уровень излучения. Поэтому МАГАТЭ устанавливает автономные системы неразрушающего анализа с детекторами нейтронного и гамма-излучения и датчиками температуры, потока и других параметров. “После установки в определенных местах они обеспечивают характеризацию и проверку ядерного материала, контроль движения отработавшего топлива, круглосуточный сбор и передачу зашифрованных данных”, — говорит Тьерри Поше, начальник Группы автономных систем мониторинга МАГАТЭ.

Эти системы можно смонтировать в местах, где из-за сильного излучения не могут находиться инспектора. По словам Поше, более чем в 40 странах установлено примерно 160 таких систем, содержащих в общей сложности 700 детекторов и датчиков. Так, на обычном энергетическом корпусном тяжеловодном реакторе CANDU устанавливается примерно два десятка датчиков.

В зависимости от типа объекта — завод по обогащению, реактор, хранилище отработавшего топлива или установка по его переработке — используется та или иная конфигурация автономной системы. Чтобы отследить движение ядерного материала на объекте, собранные данные радиационного мониторинга часто анализируют с привязкой к данным видеонаблюдения: по изображениям инспектор может, не посещая объект, понять, что вызвало изменение уровня излучения.

**Интегральный монитор топлива VXi** отслеживает и подсчитывает, сколько топлива выгружается из активной зоны корпусных тяжеловодных реакторов, в том числе реакторов типа CANDU. В таких реакторах пучки твэлов меняют несколько раз в сутки. Детекторы нейтронного и гамма излучения, входящие в систему мониторинга, отслеживают весь путь этих пучков: загрузку, перемещение в активной зоне и выгрузку в бассейн выдержки отработавшего топлива.

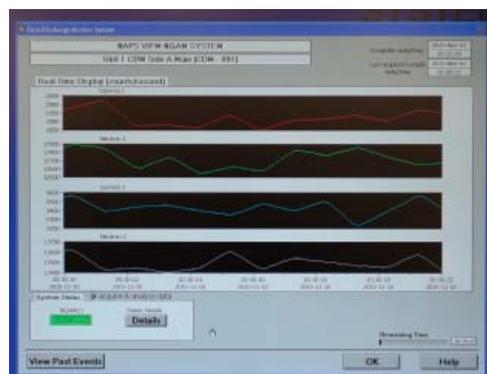
Примерно через пять лет выдержки в таком бассейне твэлы готовы к перевозке в хранилище. Обычно оно находится в нескольких километрах от реакторной площадки. Перед перевозкой отработавшие твэлы перекалывают в специальные контейнеры, на которых монтируется **мобильный блок системы нейтронных детекторов (МБСНД)**; он измеряет уровень излучения и подтверждает его неизменность в течение всей перевозки. Это устройство — один из элементов системы детектирования нейтронов, способное до восьми недель собирать и хранить информацию без перезарядки аккумулятора.

По поступлении в хранилище МБСНД снимают, а содержимое контейнера перегружают в бункер. Перед этим **на входе в бункер** устанавливается **монитор гамма-излучения**; его гамма-детекторы позволяют отслеживать процесс загрузки. Это устройство соединено с блоком хранения данных. Параллельно ему в системе работает камера наблюдения, собирающая дополнительную информацию обо всех движениях в процессе перегрузки.

## Мониторинг мощности исследовательских реакторов

Для мониторинга мощности исследовательских реакторов используются специальные системы.

**Усовершенствованный термогидравлический монитор мощности** применяется для мониторинга выходной мощности исследовательских реакторов путем измерения температуры и расхода воды в реакторном контуре теплоносителя. Если рассчитанная на основе такого мониторинга мощность превышает определенный порог, инспектор может начать расследование, чтобы определить, соответствует ли режим работы реактора заявленному. Превышающая заявленную тепловая выходная мощность может указывать, что на реакторе производится плутоний, а значит имеется риск распространения.





## Переработка

Во время ядерной переработки отработавшего уранового топлива из облученного ядерного топлива извлекают делящийся плутоний. Этот переработанный плутоний рециклируется в ядерное MOX топливо для тепловых реакторов. В качестве топлива можно использовать и извлекаемый при переработке уран, составляющий основную часть отработавшего топливного материала. Наличие плутония представляет определенный риск с точки зрения распространения, поэтому на перерабатывающих заводах устанавливают автономное оборудование для отслеживания различных технологических процессов. Например, для завода по переработке в Роккасё, Япония, было спроектировано более 20 специальных систем с сотнями нейтронных и гамма-детекторов. Этот завод, один из крупнейших в мире, может ежегодно перерабатывать в топливо 800 тонн урана или 8 тонн плутония. Все собранные данные мониторинга в режиме реального времени передаются в расположенный на заводе инспекционный центр МАГАТЭ по выделенной защищенной сети.

## Отслеживание урана-235 на установках по обогащению

В 2015 году МАГАТЭ разработало монитор обогащения в режиме реального времени, предназначенный для замера уровня обогащения урана на газодиффузионных заводах. На таких заводах уран обогащают путем постепенного увеличения доли изотопов урана-235 ( $U-235$ ); состав полученного материала позволяет поддерживать цепную реакцию деления.

Монитор определяет характеристики газообразного урана (гексафторида урана,  $UF_6$ ), проходящего через технологические трубы из каскадов центрифуг завода по обогащению. В основном соединительном узле, который представляет собой детектор гамма-излучения на основе кристаллов иодида натрия, измеряется количество  $U-235$  в трубе, а датчики давления и температуры позволяют устройству определять общее количество газообразного урана. На основе этих данных устройство может рассчитывать уровень обогащения в режиме реального времени, а сами расчеты либо сохраняются в устройстве, либо передаются в Центральные учреждения МАГАТЭ. Возможна установка устройства в конфигурации, позволяющей отслеживать уровень обогащения материала, поступающего в каскады газовых обогатительных центрифуг и выходящего из них.

Все компоненты заключены в опечатанные корпуса, соединенные специальными трубками; все отверстия также опечатаны. Корпуса окрашены специальной краской, позволяющей выявить любые попытки вмешательства в работу устройства.

Впервые это устройство было применено в январе 2016 года на установке по обогащению топлива в Натанзе, Иран. Теперь МАГАТЭ планирует постепенно устанавливать мониторы обогащения в режиме реального времени на газодиффузионных заводах в других странах. Эта технология обеспечивает непрерывное измерение, что позволяет сократить объем отбора проб материала и окружающей среды и, таким образом, повысить эффективность и снизить расходы.

## Печать МАГАТЭ

Печать МАГАТЭ — это самый известный и самый часто применяемый вид оборудования для целей гарантий. Это устройство индикации вмешательства, которое несмотря на свою простоту, эффективно предупреждает несанкционированный доступ к поставленному под гарантии материалу и оборудованию МАГАТЭ, применяемому для целей гарантий. Оно обеспечивает также возможность однозначной идентификации защищенных контейнеров. Проверка печатей состоит из тщательного изучения корпуса изделия и проверки идентичности и целостности печати на предмет признаков вмешательства.

В МАГАТЭ по мере целесообразности используются разные виды печатей. Некоторые предназначены для применения под водой или в экстремальных условиях.

Более 30 лет используются одноразовые **металлические печати**: каждый год распространяется и проверяется более 16 000 таких печатей. В целях идентификации каждая печать нумеруется, а на внутренние поверхности наносится уникальная маркировка, которая дублируется перед выдачей этих печатей инспекторам. Во время инспекций печати заменяют и возвращают в Центральные учреждения МАГАТЭ для проверки их действенности и подлинности путем сверки маркировки с оригинальной.

Другие виды печатей проверяются инспекторами МАГАТЭ на местах. Например, в **печати СОBRA** есть многожильный оптоволоконный кабель, концы которого находятся внутри корпуса печати. Некоторые жилы, выбранные случайным образом, во время закрытия печати надрезают с образованием уникального оптического рисунка. Для записи этой уникальной сигнатуры используются камеры, пропускающие свет через кабель. Во время проверки инспекционное изображение сличают с установочным, чтобы определить, сохраняет ли печать идентичность и целостность. Каждый год применяется приблизительно 2000 печатей СОBRA; обычно для повышения надежности их используют вместе с металлическими печатями.

В МАГАТЭ используются также подключенные к системам видеонаблюдения электронные печати (например **электронно-оптическая система опечатывания**), которые могут обследоваться инспекторами дистанционно. Эти печати состоят из оптоволоконного контура и электронного устройства, которое постоянно отслеживает статус контура, с короткими интервалами посылая через волокно световой импульс. Время, дата и продолжительность любого размыкания и смыкания оптоволоконного контура фиксируются в зашифрованной внутренней памяти. Активные электронные печати могут использоваться в сотрудничестве с национальными компетентными органами и операторами, которым разрешено прикреплять и откреплять их. Эти изменения фиксируются, и инспектора могут сравнить их с заявленной деятельностью.

Самой новой из используемых технологий является система **лазерной съемки для проверки сохранения**. При вводе контейнеров в эксплуатацию сканеры системы,

работающие на основе технологии лазерной съемки поверхности, генерируют с высоким разрешением карту гарантийного сварного шва. Идентификация и обнаружение вмешательства обеспечиваются за счет повторного сканирования шва и сравнения новой карты с соответствующим образцом.

Фото (если автор не указан): МАГАТЭ

