

# БЮЛЛЕТЕНЬ МАГАТЭ

МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ  
Главное о МАГАТЭ | Июнь 2019 года

Читайте в интернете по адресу:  
[www.iaea.org/bulletin](http://www.iaea.org/bulletin)



## Обращение с отработавшим топливом ядерных энергетических реакторов Уроки прошлого на благо будущего

Страны, приступающие к развитию ядерной энергетики, занимаются вопросами обращения с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами, стр. 10

Строительство первого в мире объекта для безопасного захоронения отработавшего топлива, стр. 14

Учет гарантий при проектировании хранилищ отработавшего ядерного топлива, стр. 20

Также в выпуске:  
Новости МАГАТЭ



## БЮЛЛЕТЕНЬ МАГАТЭ

издается

Бюро общественной информации  
и коммуникации (ОРИС)

Международное агентство по атомной энергии

Венский международный центр

А/я 100, 1400 Вена, Австрия

Тел.: (43-1) 2600-0

iaeabulletin@iaea.org

Редактор: Миклош Гашпар

Дизайн и верстка: Риту Кенн

БЮЛЛЕТЕНЬ МАГАТЭ имеется

в интернете по адресу [www.iaea.org/bulletin](http://www.iaea.org/bulletin)

Выдержки из материалов МАГАТЭ, содержащихся

в Бюллетене МАГАТЭ, могут свободно использоваться при условии указания на их источник. Если указано, что автор материалов не является сотрудником МАГАТЭ, то разрешение на повторную публикацию материала с иной целью, чем простое ознакомление, следует испрашивать у автора или предоставившей данный материал организации.

Взгляды, выраженные в любой подписанной статье, опубликованной в Бюллетене МАГАТЭ, необязательно отражают взгляды Международного агентства по атомной энергии, и МАГАТЭ не берет на себя ответственности за них.

Фото на обложке:

Внутри первого энергоблока АЭС «Олкилуото»

(Фото: Ханну Хувила/ТВО)

Читайте наши новости на сайтах:



Миссия Международного агентства по атомной энергии состоит в том, чтобы предотвращать распространение ядерного оружия и помогать всем странам – особенно развивающимся – в налаживании мирного, безопасного и надежного использования ядерной науки и технологий.

Созданная в 1957 году как автономная организация под эгидой Организации Объединенных Наций, МАГАТЭ – единственная организация системы ООН, обладающая экспертным потенциалом в сфере ядерных технологий. Уникальные специализированные лаборатории МАГАТЭ способствуют передаче государствам – членам МАГАТЭ знаний и экспертного опыта в таких областях, как здоровье человека, продовольствие, водные ресурсы, экономика и окружающая среда.

МАГАТЭ также служит глобальной платформой для укрепления физической ядерной безопасности. МАГАТЭ выпускает Серию изданий по физической ядерной безопасности, в которой выходят одобренные на международном уровне руководящие материалы по физической ядерной безопасности. МАГАТЭ также ставит своей задачей содействие минимизации риска того, что ядерные и другие радиоактивные материалы попадут в руки террористов и преступников и что ядерные установки окажутся объектом злоумышленных действий.

Нормы безопасности МАГАТЭ закладывают систему фундаментальных принципов безопасности и отражают международный консенсус в отношении того, что можно считать высоким уровнем безопасности для защиты людей и окружающей среды от вредного воздействия ионизирующего излучения. Нормы безопасности МАГАТЭ разрабатывались для всех типов ядерных установок и деятельности, преследующих мирные цели, а также для защитных мер, необходимых для снижения существующих рисков облучения.

Кроме того, при помощи своей системы инспекций МАГАТЭ проверяет соблюдение государствами-членами их обязательств, касающихся использования ядерного материала и установок исключительно в мирных целях, в соответствии с Договором о нераспространении ядерного оружия и другими соглашениями о нераспространении.

Работа МАГАТЭ многогранна, и в ней участвует широкий круг партнеров на национальном, региональном и международном уровнях. Программы и бюджет МАГАТЭ формируются на основе решений его директивных органов – Совета управляющих, насчитывающего 35 членов, и Генеральной конференции всех государств-членов.

Центральные учреждения МАГАТЭ находятся в Венском международном центре. Полевые бюро и бюро по связи расположены в Женеве, Нью-Йорке, Токио и Торонто. В Вене, Зайберсдорфе и Монако работают научные лаборатории МАГАТЭ. Кроме того, МАГАТЭ оказывает поддержку и предоставляет финансирование Международному центру теоретической физики им. Абдуса Салама в Триесте, Италия.

# Важность надежной, безопасной и устойчивой практики обращения с отработавшим топливом

Юкия Аmano, Генеральный директор МАГАТЭ

Ядерная энергетика способна помочь человечеству в решении сразу двух ключевых проблем: обеспечить надежность энергоснабжения и ограничить выбросы парниковых газов. Сегодня в 30 странах в эксплуатации находится 451 ядерный энергетический реактор, на которые приходится более 10% всей вырабатываемой в мире электроэнергии и треть всей так называемой низкоуглеродной энергии. В ближайшие десятилетия ядерная энергия сохранит свою ключевую роль в мировой структуре низкоуглеродной электрогенерации.

Безопасная, надежная и устойчивая практика обращения с отработавшим топливом ядерных энергетических реакторов — это ключ к будущему ядерной энергетике.

Данный вопрос в равной мере касается как директивных органов, так и разработчиков технологий. В области обращения с отработавшим топливом существуют различные технические решения — от переработки и рециклирования до кондиционирования отработавшего топлива в целях глубинного захоронения в подземных хранилищах. Помимо этого, проводятся исследования по обоснованию усовершенствованных методов, таких как разделение и трансмутация, которые в перспективе способны еще больше снизить негативное воздействие радиоактивных отходов. Для реализации любой из выбранных стратегий могут потребоваться десятки лет. В то же время выделение необходимых ресурсов на эти цели часто сопряжено с трудностями.

При этом обращение с отработавшим топливом подразумевает наличие долгосрочных обязательств, а национальные стратегии должны обладать достаточной гибкостью для того, чтобы сделать возможной интеграцию новых технологий, способных укрепить и повысить эффективность, надежность, безопасность и устойчивость ядерной энергетике.

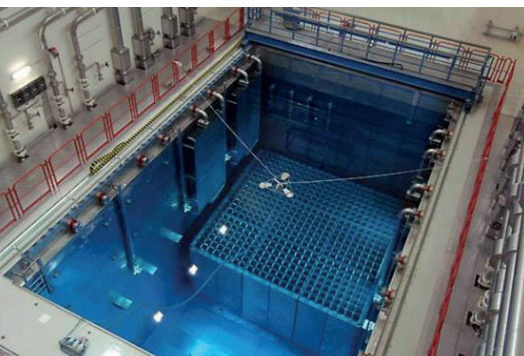
В этом выпуске Бюллетеня МАГАТЭ мы рассмотрим решения, предложенные различными странами мира. Мы разберем комплексную стратегию России, которая предусматривает развертывание на одном объекте «мокрого» и «сухого» хранилищ, установок для переработки и производства топлива, и — в конечном итоге — лаборатории по утилизации высокоактивных отходов (стр. 6). Эксперты из Франции расскажут, как обеспечивается эффективность их подхода к обращению с отработавшим топливом (стр. 8), а в статье об обращении с отработавшим топливом в

Соединенном Королевстве будут рассмотрены вопросы ядерной и физической безопасности при перевозке (стр. 12).

Мы также осветим совместный исследовательский проект Швеции и Финляндии в области создания подземных хранилищ (стр. 14). Далее мы покажем, как соображения гарантий могут учитываться при проектировании установок для обращения с отработавшим топливом (стр. 20), что облегчает работу как компании-оператору, так и инспекторам МАГАТЭ по гарантиям. И наконец, мы заглянем в будущее и обсудим подход, который могут взять за основу в вопросах обращения с отработавшим топливом страны — новички в области ядерной энергетике (стр. 10) и узнаем, как на обращении с отработавшим топливом может отразиться планируемое внедрение малых модульных реакторов в некоторых странах (стр. 11).

Организуемая в этом году в МАГАТЭ Международная конференция по обращению с отработавшим топливом ядерных энергетических реакторов под девизом «Уроки прошлого на благо будущего» принимает эстафету от предыдущей конференции по данной тематике, состоявшейся в 2015 году. Тогда делегаты особо подчеркивали необходимость в более комплексном подходе к топливному циклу и в развитии координации между основными игроками рынка и директивными органами. В этом году участники конференции, среди прочего, обсудят потенциальное влияние решений, принимаемых на начальных стадиях ядерного топливного цикла, на вопросы обращения с отработавшим топливом, а также возможности по обмену передовыми практическими наработками и опытом, накопленным в данной сфере.

МАГАТЭ продолжит оказывать помощь государствам-членам в том, что касается важных задач обращения с отработавшим топливом, предоставляя свой экспертно-технический потенциал и платформу для международного обмена. В данной связи я желаю делегатам успешного проведения конференции.



(Фото: Kernkraftwerk Gösgen-Däniken AG)



(Фото: Energy Solutions)



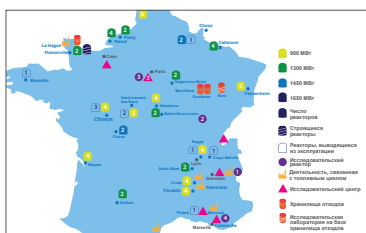
(Фото: Росатом)

**1 Важность надежной, безопасной и устойчивой практики обращения с отработавшим топливом**

**4 Жизненный цикл ядерного топлива**



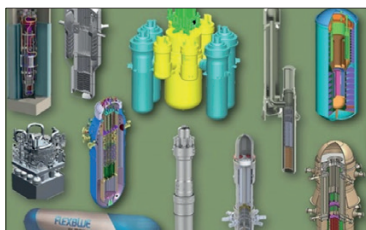
**6 Под одной крышей: комплексная стратегия России по обращению с отработавшим топливом**



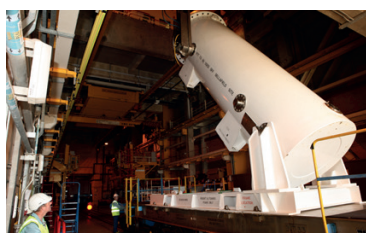
**8 Эффективность ядерного топливного цикла Франции: чему мы можем научиться?**



**10 Страны, приступающие к развитию ядерной энергетики, занимаются вопросами обращения с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами**



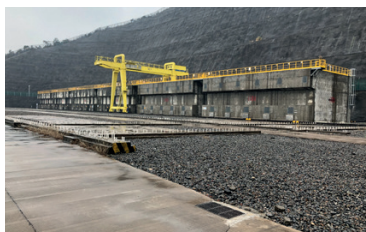
**11 Малые модульные реакторы: вызов в плане обращения с отработавшим топливом?**



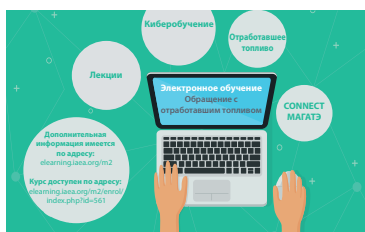
**12 Обеспечение безопасности и надежности перевозки отработавшего топлива в Соединенном Королевстве**



**14 Строительство первого в мире объекта для безопасного захоронения отработавшего топлива**



**16 Проблемы роста: стратегия Китая в области обращения с отработавшим топливом**



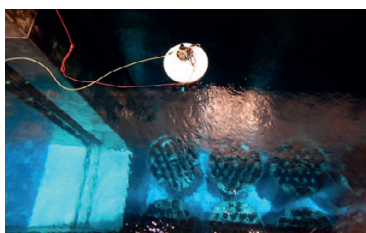
## 17 Новый курс электронного обучения, посвященный обращению с отработавшим топливом ядерных энергетических реакторов



## 18 Обращение с отработавшим топливом: четыре десятилетия исследований



## 20 Учет гарантий при проектировании хранилищ отработавшего ядерного топлива



## 22 Конструкция — победитель конкурса по робототехнике ускоряет процесс проверки отработавшего топлива

## 24 Вопросы и ответы: упрощение транспортировки и хранения отработавшего топлива ядерных энергетических реакторов

Мировой обзор

## 26 Уроки моего прошлого

— Сьюзан Пикеринг

Сегодня в МАГАТЭ

## 28 Из лаборатории на поле: индонезийские ученые создают новые сорта сельскохозяйственных культур с помощью ядерной науки

## 29 Профессионалы ядерной отрасли делятся наработками в области укрепления культуры безопасности: проект МАГАТЭ «Школа лидерства для обеспечения безопасности»

## 30 Во Вьетнаме для повышения качества пищевых продуктов используется облучение

## 31 МАГАТЭ разрабатывает новый метод отслеживания источников загрязнения воды

## 32 Публикации

# Жизненный цикл

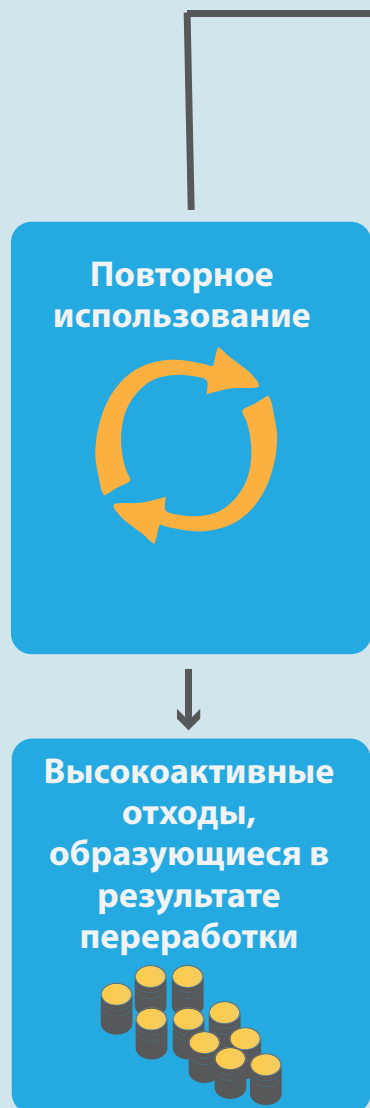
**Т**опливо, которое сегодня используется в большинстве ядерных энергетических реакторов, основано на оксиде керамического урана. Компоновка топлива и содержание в нем делящихся изотопов зависят от типа реактора. В легководных реакторах, таких как реакторы с водой под давлением и кипящие реакторы, а также в современных газоохлаждаемых реакторах используется уран, обогащенный для увеличения содержания делящегося урана-235 до 5 процентов, а в реакторах CANDU и корпусных тяжеловодных реакторах в основном используется незначительно обогащенный или природный уран с содержанием урана-235 около 0,7 процента.

Активная зона реактора с водой под давлением мощностью 1000 МВт обычно содержит от 120 до 200 тепловыделяющих сборок. Каждая тепловыделяющая сборка содержит около 500 кг оксида урана и в течение своего срока службы в активной зоне может производить около 200 млн киловатт-часов электроэнергии. В результате работы реактора такого размера образуется около 40 отработавших тепловыделяющих сборок в год, в общей сложности содержащих около 20 тонн оксида урана.

Ядерное топливо считается отработавшим, когда оно больше не может поддерживать реакцию деления. В реакторе с водой под давлением в зависимости от топлива и его расположения в активной зоне реактора для этого требуется от трех до семи лет. При извлечении из активной зоны отработавшее топливо выглядит как свежая тепловыделяющая сборка, но оно является высокорадиоактивным и горячим и должно быть охлаждено и экранировано. Оно переносится в бассейн выдержки, поскольку вода является хорошим охлаждающим и защитным материалом. По прошествии определенного времени выдержки оно в случае необходимости может быть перемещено на сухое хранение.

В наши дни по истечении надлежащего периода хранения отработавшее топливо может:

- либо рассматриваться в качестве отходов, подлежащих кондиционированию и захоронению в глубинном геологическом хранилище. Это называется открытым топливным циклом;
- либо перерабатываться для извлечения оставшегося делящегося материала, который может быть повторно использован в качестве топлива для ядерных реакторов, в результате чего образуются высокоактивные отходы, которые будут захоронены в глубинном геологическом хранилище. Это называется замкнутым топливным циклом.



# Цикл ядерного топлива

## Начальная стадия топливного цикла

Разведка и добыча урана  
Обогащение урана  
Изготовление топлива



# Под одной крышей: комплексная стратегия России по обращению с отработавшим топливом

Николь Яверт

Горно-химический комбинат (ГХК), расположенный близ сибирского города Красноярска в России, можно назвать «службой одного окна» для обращения с отработавшим топливом. На комбинате производятся манипуляции с отработавшим топливом на разных этапах, и все это делается в одном месте. Во многих странах различные виды деятельности, связанные с топливом, которое больше не является полезным, но все еще очень радиоактивно, осуществляются на разных объектах, которые порой находятся на расстоянии в сотни километров друг от друга. Российская национальная стратегия по обращению с отработавшим топливом, основанная на комплексном подходе, призвана повысить эффективность, сократить расходы и оптимизировать ядерную и физическую безопасность.

«Ядерная энергетика России продолжает развиваться и увеличивать свой вклад в общий энергобаланс страны. Поэтому нам необходимо удостовериться в том, что обращение с отработавшим ядерным топливом осуществляется надежным, устойчивым, безопасным и бесперебойным образом, — сообщила одна из разработчиков комплексного подхода Анжелика Хаперская, старший менеджер проектного офиса «Формирование системы обращения с отработавшим ядерным топливом» Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом». — Интегрированный комбинат позволит нам снизить потребность в транспортировке ядерных материалов и отходов и сосредоточиться на мерах по обеспечению ядерной и физической безопасности в одном месте, что также является более выгодным с экономической точки зрения».

Предусмотренное этим комплексным подходом репрофилирование ГХК, расположенного в 4000 км к востоку от Москвы, в центральной части Сибири, началось в 2017 году. Имеющиеся сотрудники и объекты на комбинате позволили обеспечить необходимую инфраструктуру для начала интеграции.

Раньше в России отработавшее топливо в основном хранилось и частично перерабатывалось на заводе РТ-1 Производственного объединения «Маяк» близ Екатеринбурга, примерно в 1600 км к востоку от Москвы, в западной части Сибири.

В отличие от завода РТ-1, который в основном занимается переработкой и имеет небольшую экспериментальную установку по изготовлению топлива, на ГХК уже имеются мокрые и сухие хранилища отработавшего топлива, а также установки для переработки и изготовления нового топлива для легководных и быстрых реакторов, и в конечном итоге на комбинате появится подземная исследовательская лаборатория для утилизации

высокоактивных отходов. Ожидается, что комбинат будет полностью интегрирован и введен в эксплуатацию к 2035 году.

## Упрощение процесса

На каждом этапе процесса утилизации необходимо принимать меры по обеспечению физической и ядерной безопасности в целях защиты людей и окружающей среды и сведения к минимуму риска вторжений, хищений или неправомерного использования ядерного материала.

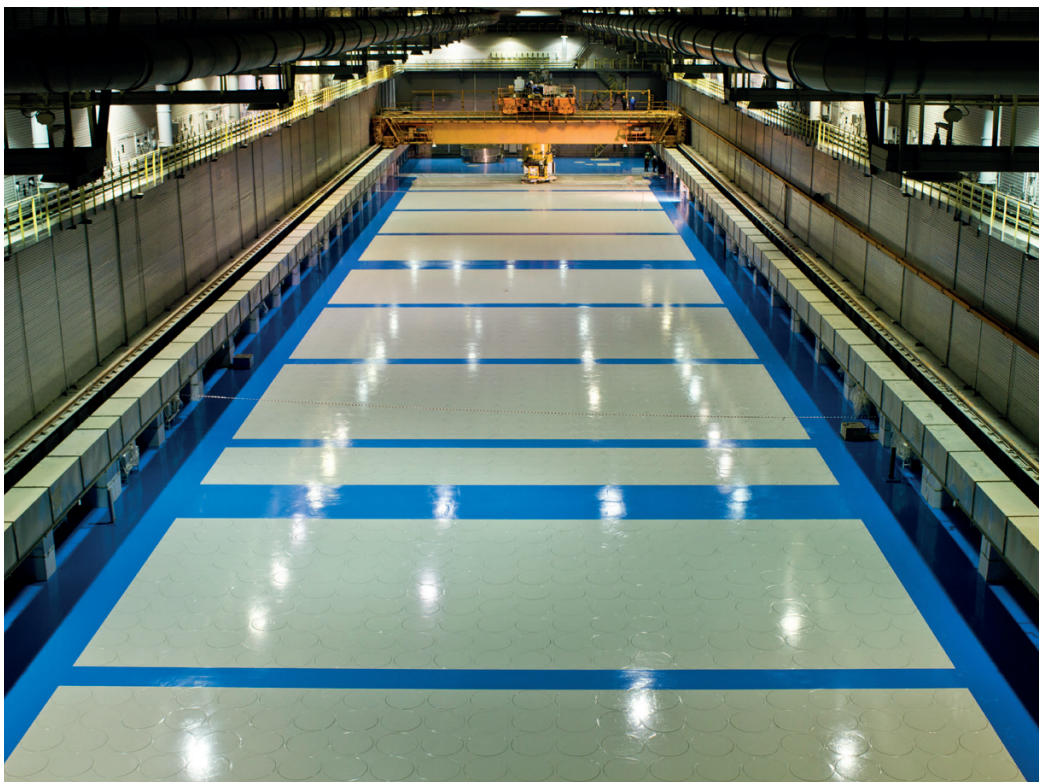
Так, отработавшее топливо обычно перевозится несколько раз: вначале с места его использования, например с атомной электростанции, а затем между объектами на различных площадках для хранения, переработки, изготовления или захоронения. При перемещении ядерного материала требуется принимать дополнительные меры по обеспечению физической и ядерной безопасности.

«Следуя комплексной стратегии, мы предпринимаем шаги по устранению рисков в области физической и ядерной безопасности, с тем чтобы защитить людей и окружающую среду. Одним из таких шагов является объединение нескольких процессов утилизации, а именно мокрого и сухого хранения, переработки и изготовления нового топлива, в рамках одного объекта — ГХК, — с тем чтобы свести к минимуму необходимость транспортировки ядерных материалов», — отметил Петр Гаврилов, генеральный директор ГХК, входящего в «Росатом».

При разработке нового подхода было крайне важно найти эффективные способы сокращения числа необходимых процессов. Эксперты ГХК, ведущих отраслевых учреждений и Российской академии наук совместно занимались отбором, тестированием и, в некоторых случаях, разработкой новых технологий, оборудования и методов, которые соответствуют нормам безопасности МАГАТЭ и руководящим материалам по физической ядерной безопасности и позволяют решать сложные научно-технические задачи.

Например, ГХК будет заниматься переработкой нового вида уран-плутониевого топлива под названием РЕМИКС. Это топливо было разработано в рамках комплексного подхода, направленного на сведение к минимуму сроков хранения отработавшего топлива и сокращение количества радиоактивных отходов, подлежащих захоронению. В отличие от других видов ядерного топлива для легководных реакторов РЕМИКС можно использовать на современных атомных электростанциях до семи раз,





**Операторский пункт на комбинате ГХК. Сотрудники контролируют автоматическую перегрузку отработавших тепловыделяющих сборок из мокрого хранилища в сухое.**

(Фото: пресс-служба ГХК)

т. е. такого ядерного топлива может хватить на весь срок службы легководного реактора на АЭС.

«Мы создаем не имеющие аналогов инновационные технологии переработки, повторного использования и разделения, а также инфраструктуру, связанную с ядерным топливным циклом. В целом мы стараемся уменьшить воздействие утилизации отработавшего топлива и содействовать устойчивому развитию в будущем, многократно перерабатывая уран и плутоний для тепловых и быстрых реакторов и снижая радиотоксичность радиоактивных отходов», — сообщила г-жа Хаперская.

### **Национальные стратегии**

В 2018 году доля атомной энергетики в общем объеме производства электроэнергии в России составила 18,4%. Ежегодно на своих атомных электростанциях, исследовательских реакторах и подводных лодках страна производит около 700 тонн отработавшего ядерного топлива. С учетом планов страны по развитию атомной отрасли, включая крупномасштабное внедрение быстрых реакторов, ожидается, что интегрированная система ГХК поможет свести к минимуму негативные последствия такого развития.

«Безопасное обращение с отработавшим ядерным топливом является одним из стратегических направлений развития атомной энергетики в России. Для нужд атомной энергетики необходимо обеспечить безопасное и экономичное хранение как старого, так и вновь произведенного отработавшего ядерного топлива, — отметил г-н Гаврилов. — Интегрированный комбинат позволит повысить эффективность и конкурентоспособность российской

атомной отрасли и сделать атомную энергетику еще более безопасной и экологичной».

Применяемый в России комплексный подход является лишь одним из примеров того, как страна может обращаться со своим отработавшим ядерным топливом. Все страны, осуществляющие ядерно-энергетические программы, имеют национальную политику и стратегии обращения с отработавшим топливом.

Национальная стратегия разрабатывается с учетом масштабов и потребностей национальной ядерной программы, которая должна вписываться в общий энергетический план страны. Хотя все стратегии отличаются друг от друга, большинство из них затрагивают технические, политические, социально-экономические аспекты и аспекты физической и ядерной безопасности на различных этапах обращения с отработавшим топливом, обеспечивая соблюдение норм безопасности МАГАТЭ и руководящих материалов по физической ядерной безопасности.

Хотя ответственность за безопасное и надежное обращение со своим отработавшим ядерным топливом несут сами страны, МАГАТЭ предоставляет технические рекомендации и помогает странам обмениваться информацией в целях разработки тщательно продуманных стратегий. Также оно делится экспертными знаниями и оказывает поддержку в подготовке кадров для осуществления этих стратегий. Кроме того, поскольку отработавшее ядерное топливо является одной из форм ядерного материала, гарантии МАГАТЭ играют одну из ключевых ролей в обеспечении того, чтобы отработавшее топливо не использовалось не по назначению и не переключалось с использования в мирных целях.

# Эффективность ядерного топливного цикла Франции: чему мы можем научиться?

Шант Крикорян

Франция является одной из стран с самой высокой долей атомной энергетики в производстве энергии: в 2018 году 58 ядерных энергетических реакторов вырабатывали во Франции почти 72% электричества. Однако вместе с этой электроэнергией французские ядерные реакторы производят значительное количество отработавшего топлива и радиоактивных отходов.

По словам французских экспертов, эффективность национальной политики Франции в отношении отработавшего топлива объясняется, помимо жесткого законодательства и наличия наделенного широкими полномочиями регулирующего органа, стандартизацией ее ядерных реакторов и осуществлением политики повторного использования отработавшего топлива. Благодаря этому достигается эффективность и безопасность при поставке топлива и сокращается негативное воздействие радиоактивных отходов.

Во Франции все действующие энергетические установки представляют собой реакторы с водой под давлением, относящиеся всего к трем стандартным типам, спроектированным «Фраматомом»: трехконтурным мощностью 900 МВт (34 реактора), четырехконтурным мощностью 1300 МВт (20 реакторов) и четырехконтурным мощностью 1450 МВт (4 реактора). Таким образом, французские ядерные энергетические реакторы имеют самую высокую степень стандартизации среди стран с большим количеством реакторов. Это также позволяет стандартизировать работу на конечной стадии ядерного топливного цикла, которая включает обращение с отработавшим топливом и отходами, вывод из эксплуатации и восстановление окружающей среды.

Для утилизации почти 1150 тонн отработавшего топлива, которое она ежегодно производит, Франция, как и ряд других стран, довольно рано приняла решение замкнуть свой национальный ядерный топливный цикл, повторно используя или перерабатывая отработавшее топливо. В результате французская атомная промышленность может обеспечить извлечение урана и плутония из отработавшего топлива для повторного использования, тем самым сокращая объем высокоактивных отходов.

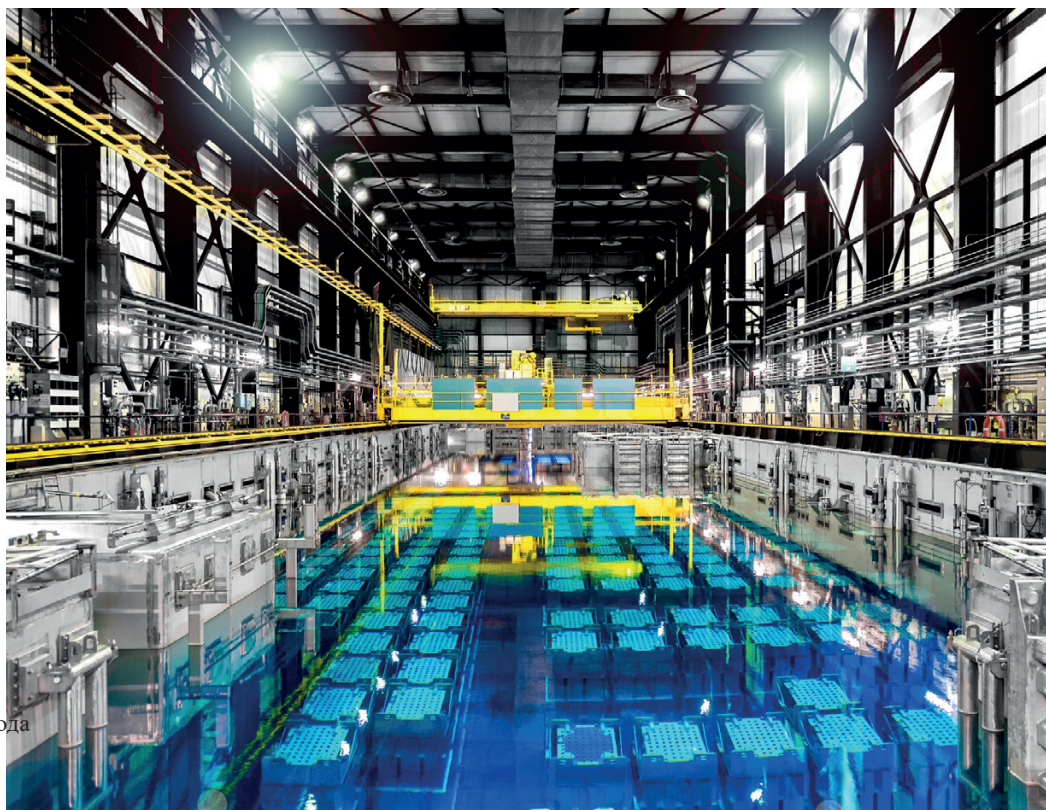
Процесс повторного использования ядерного топлива включает преобразование отработавшего плутония, образующегося в ядерных энергетических реакторах в качестве побочного продукта сжигания уранового топлива, и урана в «смешанный оксид» (МОХ), который может быть вновь использован на атомных электростанциях для производства большего количества электроэнергии.

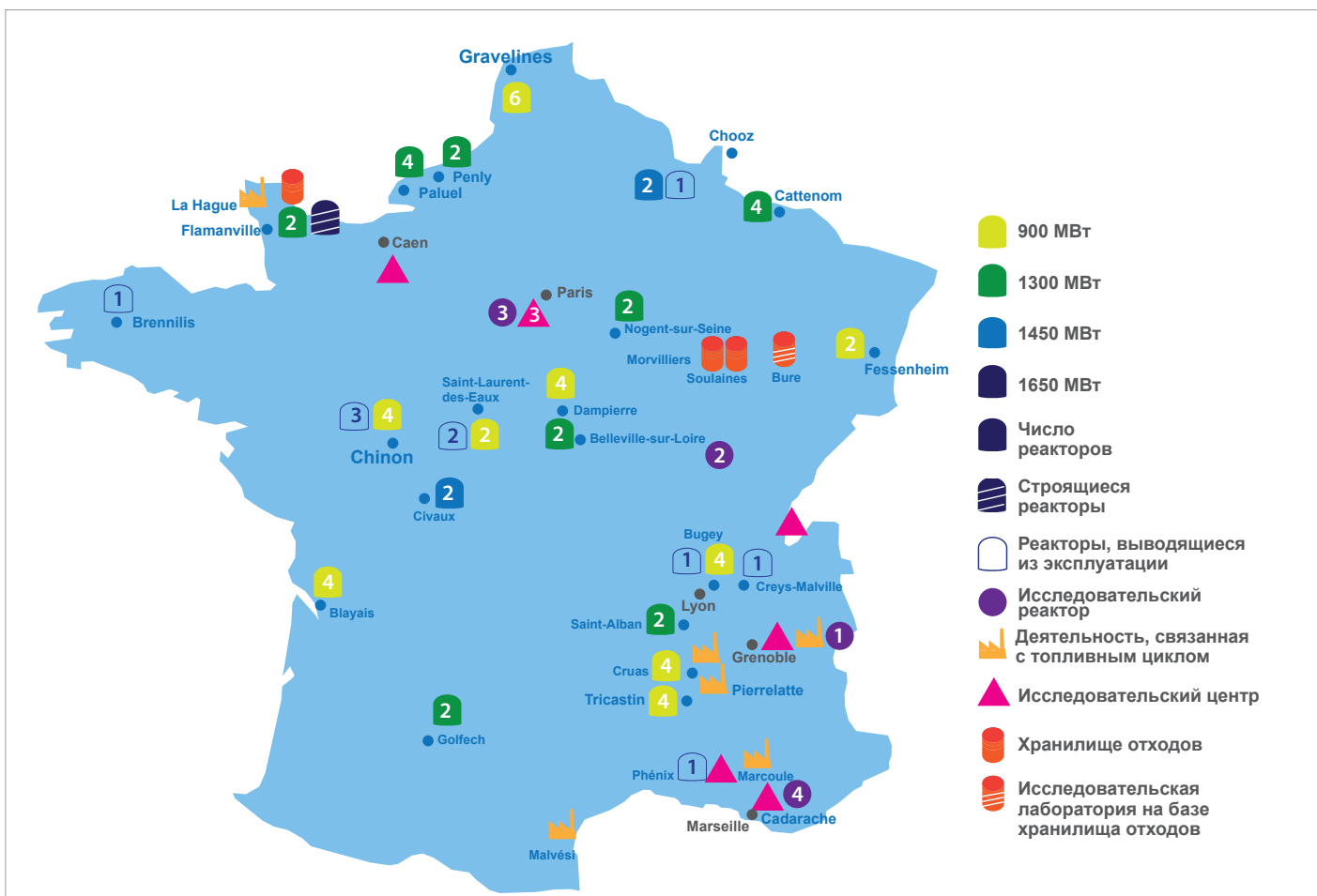
«Повторное использование отработавшего топлива является одним из основных элементов стратегии французского ядерного сектора, имеющего более чем 30-летний промышленный опыт в этой области», — отметил Дени Лепе, старший вице-президент и начальник Отдела ядерного топлива французской электроэнергетической компании ЭДФ, управляющей атомными электростанциями страны.

«Это позволяет ограничить объем материалов и свести к минимуму количество отходов, обеспечивая их безопасное кондиционирование. Эта стратегия, являющаяся одной из важных составляющих в масштабах всего производства ядерной энергии во Франции, вносит значительный вклад в достижение энергетической независимости страны».

Завод по переработке в Ла-Аг компании «Орано». С момента его ввода в эксплуатацию в 1976 году на нем было переработано более 34 000 тонн отработавшего топлива.

(Фото: «Орано»)





**Карта ядерных установок Франции**

(Источник: ЭДФ, КАЭ)

Посредством вторичной переработки можно извлечь до 96% поддающегося повторному использованию материала из отработавшего топлива. В своем 6-м национальном докладе в рамках Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами Франция сообщает, что благодаря национальной политике повторного использования отработавшего топлива стране для эксплуатации ее энергетических установок требуется на 17% меньше природного урана.

Французская компания «Орано», которая отвечает за деятельность, связанную с ядерным топливным циклом, обеспечивает топливом атомные электростанции страны и утилизирует производимые ими отходы, сообщила, что ее стратегия заключается в переработке отработавшего топлива и оптимизации энергоотдачи ядерного топлива. Переработка осуществляется на перерабатывающем заводе в коммуне Ла-Аг и на заводе «Маркуль», занимающемся производством MOX-топлива.

Со времени начала функционирования завода в Ла-Аг в середине 1960-х годов на нем было безопасным образом переработано более 23 000 тонн отработавшего топлива — этого достаточно для обеспечения работы всех ядерных реакторов Франции в течение 14 лет.

Отработавшие тепловыделяющие сборки с различных атомных электростанций перевозятся в Ла-Аг, где они хранятся в бассейне выдержки. Затем отделяются компоненты отработавшего топлива и извлекаются пригодные для повторного использования материалы. На заводе «Мелокс» плутоний смешивается с обедненным ураном для получения MOX-топлива.

По словам Джона Сервена, старшего вице-президента по маркетингу и поддержке продаж компании «Орано», эта стратегия переработки и повторного использования требует постоянной тесной координации между различными промышленными предприятиями. В их число входят предприятия, отвечающие за управление реакторами, топливным циклом и инфраструктурой утилизации и обеспечивающие слаженность работы комплексной промышленной системы.

«Это подтверждает преимущества данной стратегии: во-первых, ограничивается количество ядерных отходов; во-вторых, благодаря повторному использованию материалов экономятся урановые ресурсы; и, наконец, идет подготовка к будущему в целях укрепления энергетической независимости Франции и обеспечения устойчивости ядерной энергетики», — добавил г-н Сервен.

Управление по ядерной безопасности (АСН) Франции регулярно проводит оценку воздействия этого подхода на безопасность.

# Страны, приступающие к развитию ядерной энергетики, занимаются вопросами обращения с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами

Шант Крикорян

Все больший спрос на вырабатываемую в крупных масштабах низкоуглеродную электроэнергию побудил многие страны рассмотреть возможность использования атомной энергии для удовлетворения своих растущих энергетических потребностей. В настоящее время четыре страны, приступающие к развитию ядерной энергетики, строят девять ядерных реакторов, и одним из важных аспектов при подготовке к реализации ядерно-энергетической программы является демонстрация приверженности соблюдению международно-правовых документов, норм безопасности, руководств в области физической безопасности и атомной энергетики и требований в отношении гарантий. Кроме того, ядерно-энергетическая программа охватывает обращение с отработавшим топливом и радиоактивными отходами и их утилизацию.

По словам Михаила Чудакова, заместителя Генерального директора МАГАТЭ и руководителя Департамента ядерной энергии, странам, приступающим к развитию ядерной энергетики, таким как Бангладеш, Беларусь, Объединенные Арабские Эмираты и Турция, с самого начала реализации ядерно-энергетической программы следует решать проблему обращения с отработавшим топливом и радиоактивными отходами, которой не следует пренебрегать, поскольку она влияет на экономику и общественное признание атомной энергетики.

МАГАТЭ оказывает помощь своим государствам-членам в разработке политики в отношении отработавшего ядерного топлива. Эта помощь является составной частью общей поддержки, которую МАГАТЭ оказывает странам, приступающим к развитию ядерной энергетики, и которая состоит в предоставлении руководств, проведении миссий по комплексному рассмотрению ядерной инфраструктуры (ИНИР) и организации региональных, национальных и международных семинаров-практикумов по вопросам, связанным с развитием инфраструктуры.

Генеральный директор МАГАТЭ Юкия Аmano неоднократно призывал страны, приступающие к развитию ядерной энергетики, присоединиться к Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения

с радиоактивными отходами и ратифицировать ее. По его словам, принципы Конвенции должны находить отражение в национальной ядерной инфраструктуре на всем протяжении развития ядерной программы.

Миссии ИНИР являются важными инструментами, позволяющими оценить состояние национальной ядерной инфраструктуры и выработать рекомендации и руководства для безопасного, надежного и ответственного развития ядерно-энергетических программ.

«От строительства атомной электростанции до окончательного захоронения всех образовавшихся отходов может пройти не одно десятилетие. Поэтому важно, чтобы с самого начала имелись убедительная стратегия и технические планы, а также методы их финансирования для осуществления всех будущих мероприятий таким образом, чтобы всегда обеспечивалась физическая и ядерная безопасность и имелись необходимые ресурсы и компетенции», — подчеркнул Милко Ковачев, начальник Секции развития ядерной инфраструктуры МАГАТЭ.

До стран, приступающих к развитию ядерной энергетики, доносится следующая основная идея относительно отходов: с радиоактивными отходами необходимо обращаться таким образом, чтобы не налагать чрезмерного бремени на будущие поколения.

Что касается обращения с отработавшим топливом, то МАГАТЭ рекомендует странам, приступающим к развитию ядерной энергетики:

- обеспечить полноценное развитие инфраструктуры обращения с отработавшим топливом и радиоактивными отходами при реализации ядерно-энергетических программ. Таковую инфраструктуру лучше всего создавать, разрабатывая национальную политику в отношении отработавшего топлива и радиоактивных отходов и соответствующие стратегии;
- учитывать, что разработка и осуществление национальной политики требуют систематического, поэтапного подхода, реализуемого на протяжении нескольких десятилетий;
- создавать инфраструктуру обращения с отходами на ранних этапах планирования ядерно-энергетических программ.

# Малые модульные реакторы: вызов в плане обращения с отработавшим топливом?

Ирена Шатцис

Ученые и исследователи, занимающиеся ядерной энергетикой, говорят о малых модульных реакторах (ММР) вот уже много лет — но какие проблемы, связанные с обращением с отработавшим топливом, создаст их внедрение, ожидаемое в следующем году? По словам экспертов, это зависит от конструкции конкретного ММР и от существующей в стране практики обращения с отработавшим топливом.

ММР являются относительно небольшими и гибкими: они обладают мощностью до 300 МВт(эл.), и их производительность может изменяться с учетом спроса. Это делает их особенно привлекательными для использования в отдаленных районах с менее развитыми электросетями, а также в качестве дополнения к возобновляемым источникам энергии и для применений, не связанных с производством электроэнергии. После изготовления ММР могут быть перевезены и установлены в нужном месте, поэтому ожидается, что они будут более доступными по цене.

Во всем мире существует примерно 50 конструкций и проектов ММР, находящихся на разных этапах разработки. Три ММР в Аргентине, Китае и России находятся на завершающих этапах строительства или ввода в эксплуатацию, и все они должны начать функционировать в период с 2019 по 2022 годы.

Страны, в которых уже существуют ядерно-энергетические программы, занимаются утилизацией отработавшего топлива на протяжении десятилетий. Они приобрели большой опыт и располагают надлежащей инфраструктурой. По словам Кристофа Ксерри, директора Отдела ядерного топливного цикла и технологии обращения с отходами МАГАТЭ, для этих стран обращение с отработавшим топливом, производимым ММР, не будет представлять собой проблему, если они решат использовать ММР, основанные на существующих технологиях.

«Поскольку малые модульные реакторы такого типа будут работать на том же топливе, что и традиционные крупные атомные электростанции, с их отработавшим топливом можно обращаться так же, как и с отработавшим топливом крупных реакторов», — сообщил г-н Ксерри. Что касается основанных на новых технологиях ММР, таких как высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы, в которых используется топливо, упакованное в графитовые призматические блоки или графитовые шары, то даже для них страны с атомными электростанциями уже имеют решения, позволяющие хранить отработавшее топливо и обращаться с ним. «Они могут либо использовать

существующую инфраструктуру, либо приспособить ее к новым потокам радиоактивных отходов», — отметил г-н Ксерри.

Странам, приступающим к развитию ядерной энергетики, следует тщательно рассмотреть вопрос об обращении с отработавшим топливом и создать надлежащую инфраструктуру. Им будет необходимо это сделать, даже если они отдадут предпочтение традиционным атомным электростанциям или ММР, основанным на существующих технологиях. «Они столкнутся с дополнительными трудностями, если сделают выбор в пользу первых в своем роде или менее устоявшихся технологий, поскольку в таком случае будет иметься меньше опыта и меньше контрольных показателей для управления всем топливным циклом, — сообщил г-н Ксерри. — Решения по обращению с отработавшим топливом и радиоактивными отходами, образующимися в результате работы ММР, будут наряду с надежностью поставок топлива входить в число наиболее важных факторов, принимаемых во внимание при выборе той или иной технологии».

Некоторые конструкции ММР позволяют сократить объем задач, связанных с обращением с отработавшим топливом. Построенные соответствующим образом электростанции требуют менее частой перегрузки — каждые 3–7 лет — по сравнению с 1–2 годами для традиционных электростанций, а некоторые спроектированы таким образом, что могут работать без перегрузки до 30 лет. Однако даже в таких случаях останется некоторое количество отработавшего топлива, которое будет необходимо надлежащим образом утилизировать.

Для решения этих вопросов и оказания поддержки странам, приступающим к развитию ядерной энергетики, необходимо провести дополнительные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в области топливного цикла, связанного с некоторыми технологиями ММР. Инженеры и конструкторы имеют уникальную возможность заняться поиском решений для улучшения обращения с отработавшим топливом и радиоактивными отходами ММР на ранних этапах разработки, подчеркнул г-н Ксерри. «Такой подход поможет устранить неопределенности, связанные с конечной стадией топливного цикла, снизить затраты и добиться большего общественного признания атомной энергетики», — отметил он. В настоящее время МАГАТЭ участвует в нескольких мероприятиях, относящихся к ММР, и активизирует свои усилия по поддержке научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ государств-членов в этой области.

# Обеспечение безопасности и надежности перевозки отработавшего топлива в Соединенном Королевстве

Наталья Михайлова



Отработавшее топливо перевозится в контейнерах, специально сконструированных для того, чтобы защищать людей от их радиоактивного содержимого и выдерживать тяжелые транспортные аварии без значительных утечек.

(Foto: International Nuclear Services)

Отработавшее ядерное топливо очень радиоактивно и во время перевозки может стать объектом хищения или диверсии. Поэтому его перевозка между объектами требует тщательного планирования и выполнения множества мер по обеспечению ядерной и физической безопасности.

В Соединенном Королевстве, где действует 15 энергетических ядерных реакторов, уже несколько десятилетий безопасную и надежную перевозку отработавшего топлива как внутри страны, так и из-за рубежа обеспечивают специализированные компании, при этом совокупная дальность перевозки уже превысила 19 млн километров. По словам специалистов отрасли, залогом их успеха стали прочная нормативная база и эффективные коммуникации между заинтересованными сторонами.

В Соединенном Королевстве перевозки отработавшего топлива происходят регулярно: почти каждую неделю где-либо на территории страны осуществляется его перевозка. Основная часть отработавшего топлива из энергетических реакторов перевозится на установку в Селлафилде (Кумбрия, Англия). Значительную долю отработавшего топлива перевозит компания Direct Rail Services, которая занимается транспортировкой ядерного материала с 1995 года без единого инцидента с выбросом радиации.

«У нас есть возможности и инфраструктура для безопасной и надежной перевозки отработавшего топлива и, что самое важное, десятилетия опыта, — отметил Джон Малкерн, Генеральный секретарь Всемирного института по ядерным перевозкам (ВИЯП) — сетевой организации, представляющей коллективные интересы предприятий отрасли перевозки ядерного материала. — Этот опыт особенно ценен в контексте стран, которые приступают к реализации ядерно-энергетических программ и поэтому стремятся развивать необходимые транспортные системы».

## Развитие и поддержание надежной системы для эффективной перевозки

МАГАТЭ помогает странам разрабатывать и осуществлять стратегии перевозки, соответствующие применимым нормам безопасности МАГАТЭ. Конкретные требования безопасности по Правилам безопасной перевозки радиоактивных материалов (Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSR-6 (Rev.1)) были приняты Международной организацией гражданской авиации для перевозки по воздуху, Международной морской организацией для морских перевозок и национальными органами по контролю за наземным транспортом для автомобильных и железнодорожных перевозок.

Требования документа SSR-6 (Rev.1), опубликованного в 2018 году, предусматривают активность и

классификацию радиоактивных материалов, определение и разрешенное содержимое разных типов упаковок, эффективность конструкций упаковок и критерии испытаний каждого типа. Для каждого типа упаковки в нем определены требования: для утверждения конструкции национальными регулирующими органами до ее использования и периодически впоследствии; к документации, этикеткам и маркировке упаковок; к предельным значениям температуры внешней поверхности, излучения и загрязнения; к пределам массы груза, а также к обучению персонала.

Требования к упаковке зависят от уровня опасности материала, который будет в ней содержаться. В случае высокоопасных радиоактивных материалов, таких как отработавшее топливо, упаковка должна отвечать установленным требованиям к конструкции и рабочим характеристикам, чтобы выдерживать тяжелые транспортные аварии с ударным и огненным воздействием без значительной утечки ее содержимого. Это определяется путем тщательного испытания материала в различных ситуациях. Так, например, компания British Nuclear Fuels Limited провела серию публичных испытаний, имитирующих столкновение поезда с контейнером отработавшего топлива на скорости почти 160 км/ч. Контейнеру был причинен незначительный ущерб (см. вставку «Наука»).

«Еще один важный аспект перевозки — то, как мы убеждаем население районов, через которые перевозятся эти материалы, в том, что им ничто не угрожает. При виде контейнеров люди часто беспокоятся», — говорит Малкерн. Например, компания International Nuclear Services, занимающаяся обращением с ядерным топливом и его перевозкой, регулярно проводит встречи с местным населением и заинтересованными сторонами в городе

Барроу-ин-Фернесс — портовом городе на севере Англии, имеющем прямое железнодорожное сообщение с площадкой в Селлафилде, — чтобы рассказать о том, какие грузы она перевозит через это графство и по всему миру и насколько это безопасно.

Перевозка опасных материалов также включает предотвращение потенциальных хищений и диверсий, что требует надлежащей физической защиты не только на уровне конструкции контейнеров, но и через соответствующие процедуры обеспечения физической безопасности. По просьбе стран МАГАТЭ помогает им в разработке и обеспечении режимов физической защиты, в том числе поддерживая подготовку нормативов и проведение учений по физической безопасности перевозки. Целью таких учений является выявление потенциальных слабых мест в режиме обеспечения безопасности перевозки и внедрение необходимых улучшений.

### Планы на будущее

«В перспективе важно поощрять непосредственное вовлечение молодежи в ядерную отрасль, в частности в транспортный сектор, — говорит Малкерн. — По всему миру строятся новые электростанции, так что нам необходимо обеспечить оптимальную передачу имеющегося опыта и компетенций. Людям нужна не только информация, но и опыт осуществления перевозок, будь то отработавшего топлива или отходов, образующихся при выводе АЭС из эксплуатации, а также уверенность в правильности действий при перевозке. Нам необходимо продолжать транспортировку в соответствии с правилами и надлежащим образом сообщать о том, что мы делаем и почему это безопасно».

## НАУКА

### Перевозка отработавшего ядерного топлива

Различные типы упаковки для перевозки радиоактивного материала и функциональные требования к ним зависят от уровня опасности и условий, при которых, как ожидается, данная упаковка будет обеспечивать защитную оболочку и экранирование радиоактивного материала. Так называемые упаковки типа В используются для транспортировки материалов с высоким уровнем радиоактивности, таких как отработавшее топливо. Они рассчитаны на то, чтобы выдерживать не только температуру, вырабатываемую их радиоактивным содержимым, но и тяжелые транспортные аварии без значительной утечки содержащегося в них отработавшего топлива.

При перевозке ядерных материалов также действуют конкретные требования к этикеткам и маркировке упаковок и размещению информационных табло на перевозочных средствах, а также к документации, пределам внешнего излучения и загрязнения, эксплуатационному контролю, обеспечению качества, уведомлению и одобрению перевозок и типов упаковок.

# Строительство первого в мире объекта для безопасного захоронения отработавшего топлива

Наталья Михайлова

Вот уже несколько десятилетий в Финляндии и Швеции целенаправленно осуществляются стратегии утилизации и ведется сотрудничество в целях нахождения основанного на шведском проекте безопасного решения проблемы захоронения, и в результате в Олкилуото, Финляндия, строится первое в мире глубинное геологическое хранилище отработавшего топлива. Над созданием такого объекта также работают Швеция и ряд других стран.

После удаления отработавшего топлива из ядерных энергетических реакторов оно в течение нескольких десятилетий продолжает вырабатывать значительное количество тепла. Поэтому для охлаждения его помещают в бассейны с водой или в сухие хранилища. Бассейны выдержки и контейнеры для хранения обеспечивают целостность отработавшего топлива и отсутствие выброса радиации или радиоактивных материалов, тем самым защищая людей и окружающую среду от облучения. Однако отработавшее топливо остается высокорadioактивным в течение нескольких тысяч лет и нуждается в изоляции на протяжении нескольких сотен тысяч лет.

Когда отработавшее топливо признается отходами, одним из способов его утилизации — после того как оно перестает вырабатывать тепло — является захоронение в инженерных сооружениях на глубине нескольких сотен метров ниже уровня земли, называемых глубинными геологическими хранилищами. Цель состоит в сдерживании радиоактивности за счет герметизации отработавшего топлива, помещаемого в прочные и непроницаемые контейнеры, и его изоляции путем захоронения. Такие сооружения представляют собой систему туннелей или камер, построенных в месте, геологически пригодном для обеспечения долгосрочной безопасности захороненного материала (см. вставку «Наука»).

Строящийся в Финляндии объект основан на концепции утилизации КБС-3, разработанной Шведской компанией по обращению с ядерным топливом и отходами (СКБ) в тесном сотрудничестве с финской компанией «Посива», отвечающей за утилизацию отработавшего ядерного топлива. Метод КБС-3 заключается в герметизации отработавшего топлива, помещаемого в устойчивые к коррозии медные контейнеры, которые заделываются набухающей глиной внутри туннелей хранилища на глубине до 500 метров ниже уровня земли.

«И Финляндия, и Швеция не только делают выбор в пользу непосредственного захоронения отработавшего топлива, но и имеют аналогичные реакторы, т. е. мы производим аналогичное отработавшее топливо. Расширение прямого сотрудничества в целях проведения

различных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ отвечало нашим обоюдным интересам, — отметил Магнус Вестерлинд, старший советник СКБ. — Например, практически все, что было связано с медными контейнерами, делалось в рамках совместного опытно-конструкторского проекта».

В результате решений, принятых правительствами обеих стран в конце 1970-х и начале 1980-х годов, была внедрена политика, требующая, чтобы производители ядерных отходов также несли ответственность за их утилизацию. В Финляндии отработавшее топливо с атомной электростанции «Ловийса» до 1996 года перевозилось для переработки в Советский Союз, а затем в Россию. Когда в 1978 году правительство Финляндии выдало лицензию на эксплуатацию атомной электростанции «Олкилуото», оно указало получателю лицензии на необходимость разработать план обращения с отходами, в том числе с отработавшим ядерным топливом, подлежащим утилизации в Финляндии.

В Швеции в конце 1970-х годов владельцы электростанций вместе создали СКБ, чтобы сообща утилизировать отработавшее топливо. Это положило начало научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам в целях создания концепции утилизации, в результате чего в конечном итоге появился метод КБС-3. В 1983 году эта концепция была признана подходящей для утилизации отходов и с тех пор получила дальнейшее развитие. Было выбрано место для ее реализации, и продолжают выполняться планы по строительству.

«Одним из важных элементов практического осуществления стратегии утилизации отходов является процесс ее обзора, который проводится каждые три года, — сообщил г-н Вестерлинд. — В рамках этого процесса различным сторонам — университетам, государственным учреждениям, неправительственным организациям и муниципалитетам — предлагается высказать свои замечания относительно нашей стратегии. Это внесло значительный вклад не только в технический обзор нашей программы, но и в обеспечение того, чтобы она соответствовала политике Швеции». Он добавил, что помимо этого была проделана и продолжает проводиться большая работа по достижению и сохранению общественного признания в связи с размещением и строительством пункта захоронения отработавшего топлива.

## Строительство в Финляндии первого в мире пункта захоронения отходов

Перед тем как начать строительство пункта захоронения, компания, отвечающая за реализацию концепции, должна получить лицензию на строительство. В



Финляндии такая лицензия была выдана в 2015 году, что стало первым в мире случаем получения лицензии на строительство пункта геологического захоронения.

Место было выбрано после продолжавшейся несколько лет проверки ряда потенциальных площадок. После изучения земельного массива страны на основе геологической информации компания «Посива» продолжила определение характеристик площадки, проводя специальные исследования, включая бурение, чтобы найти геологически приемлемую среду. В рамках этого процесса «Посива» также начала переговоры с несколькими муниципалитетами относительно размещения объекта.

«При выборе площадки важнейшую роль играют общественное признание и социальные факторы, — отметил Юсси Хейнонен, директор Департамента регулирования и гарантий в области ядерных отходов Управления по радиационной и ядерной безопасности Финляндии (СТУК). — Общественное признание обусловлено доверием к исполнителю, регулирующему органу и лицам, принимающим решения. Это доверие необходимо укреплять и поддерживать».

В настоящее время «Посива» ведет строительство пункта захоронения ОНКАЛО, находящегося на глубине более 400 метров ниже уровня земли, и вскоре приступит к прокладке туннелей для захоронения. Процесс захоронения планируется начать в 2024 году.

### Прогресс в других странах

В 2011 году компания СКБ подала заявку на получение лицензии на строительство пункта захоронения в Форсмарке, в 150 км к северу от Стокгольма, которая была рассмотрена Шведским управлением по радиационной



**Пункт захоронения отработавшего топлива «Онкало», строящийся в Олкилуото, Финляндия, представляет собой особо спроектированную систему туннелей. Пункт «Онкало» также используется для определения характеристик породы, в которой он находится, что способствует разработке обоснования безопасности.**

(Фото: компания «Посива»)

безопасности (ССМ) и Судом по делам земельных ресурсов и окружающей среды. Эти органы представили правительству свои обзорные заявления для принятия окончательного решения относительно лицензии.

Финляндия и Швеция — не единственные страны, добившиеся прогресса в этой области. Во Франции заявку на получение лицензии в настоящее время готовит агентство по обращению с радиоактивными отходами «Андра». В Канаде и Швейцарии национальные агентства по обращению с отходами изучают подходящие участки, определяя характеристики площадок.

## НАУКА

### Пункты глубокого геологического захоронения

Благодаря активным исследованиям удалось определить, в каких породах можно строить глубинные геологические хранилища для изоляции радиоактивных отходов. Такие хранилища строятся в пригодных для этого геологических формациях на глубине нескольких сотен метров и проектируются таким образом, чтобы высокоактивные отходы могли находиться в них сотни тысяч лет.

Одной из основных характеристик глубинного геологического хранилища является обеспечение пассивной безопасности: это означает, что после закрытия хранилища никаких дальнейших действий человека не требуется.

Такие хранилища строятся на глубине нескольких сотен метров ниже уровня земли, что позволяет на сотни тысяч лет эффективным образом изолировать отходы от возможных пертурбаций на поверхности; в результате отходы оказываются в нединамичной среде, а не в более динамичной приповерхностной геологической среде, где условия, как правило, менее стабильны.

## Проблемы роста: стратегия Китая в области обращения с отработавшим топливом

После того как в начале 1990-х годов в Китае начался масштабный экономический рост, руководство страны стало считать ядерную энергию одним из ключевых элементов обеспечения надежного энергоснабжения и уменьшения углеродного следа. В Китае была запущена крупная ядерно-энергетическая программа, которая с течением времени становилась все шире.

В настоящее время в Китае действует 46 ядерных реакторов, общая мощность выработки электроэнергии которых составляет 45 ГВт. Они обеспечивают около 4% электроэнергии в стране. Планируется или ведется сооружение 11 новых реакторов, с учетом которых на Китай приходится 20% строящихся ядерных реакторов мира. По оценкам Китайской инженерной академии, к 2035 году мощность АЭС страны достигнет 150 ГВт, а к 2050 году — 300 ГВт.

С учетом такого роста пропорционально возрастет и объем отработавшего топлива, требующего соответствующего обращения. Поэтому Китай активно реализует свою стратегию в области ядерного топливного цикла, расширяя инфраструктуру по обращению с отработавшим топливом и радиоактивными отходами.

Китай сделал выбор в пользу политики замкнутого ядерного топливного цикла, которая предполагает хранение отработавшего топлива в приреакторных или во внереакторных хранилищах, его последующее перемещение для переработки и, в конечном итоге, использование в быстрых реакторах. Первый прототип такого реактора, китайский экспериментальный быстрый

реактор (CEFR), мощностью 65 МВт был подключен в сети в 2011 году. Он стал основой для проектирования демонстрационного быстрого реактора мощностью 600 МВт, сооружение которого идет в настоящее время и который, как ожидается, будет введен в эксплуатацию к 2023 году. Строительство первого коммерческого энергоблока мощностью 1000–1200 МВт, возможно, начнется в декабре 2028 года, а его функционирование — приблизительно в 2034 году. В соответствии с опубликованной стратегией Китая в области ядерной энергетики технологии быстрых реакторов станут основными к середине столетия.

Но пока этого не произошло, отработавшее топливо с действующих реакторов с водой под давлением (PWR) перерабатывается и из него производится смешанное оксидное топливо (MOX), которое используется в PWR. В Китае уже действует пилотный перерабатывающий завод в Ганьсу, который может перерабатывать до 200 тонн урана в год (т U/t), и в январе 2018 года Китай и Франция подписали соглашение о строительстве завода по переработке и рециклированию топлива, который будет производить MOX-топливо для PWR. В июне 2018 года «Орано» и Национальная ядерная корпорация Китая начали подготовительные работы для строительства завода по переработке отработавшего топлива мощностью 800 т U/t.

К 2050 году планируется завершить сооружение геологического хранилища для захоронения высокоактивных отходов. Завершен выбор места для создания подземной лаборатории, которая, по имеющимся планам, должна быть построена к 2026 году.

**Хранение отработавшего топлива на китайской атомной электростанции «Циньшань» До завершения строительства в Китае завода по переработке и рециклированию отработавшего ядерного топлива хранить такое топливо планируется на площадке в защищенных и вентилируемых контейнерах.** (Фото: М. Гашлар/МАГАТЭ)



# Новый курс электронного обучения, посвященный обращению с отработавшим топливом ядерных энергетических реакторов

Наталья Иванова

Чтобы дать общее представление о различных стратегиях обращения с отработавшим топливом, применяемых во всем мире, МАГАТЭ разработало онлайн-курс электронного обучения. Он является частью включающей несколько других модулей учебной программы по обращению с отработавшим топливом и радиоактивными отходами, выводу из эксплуатации и экологической реабилитации.

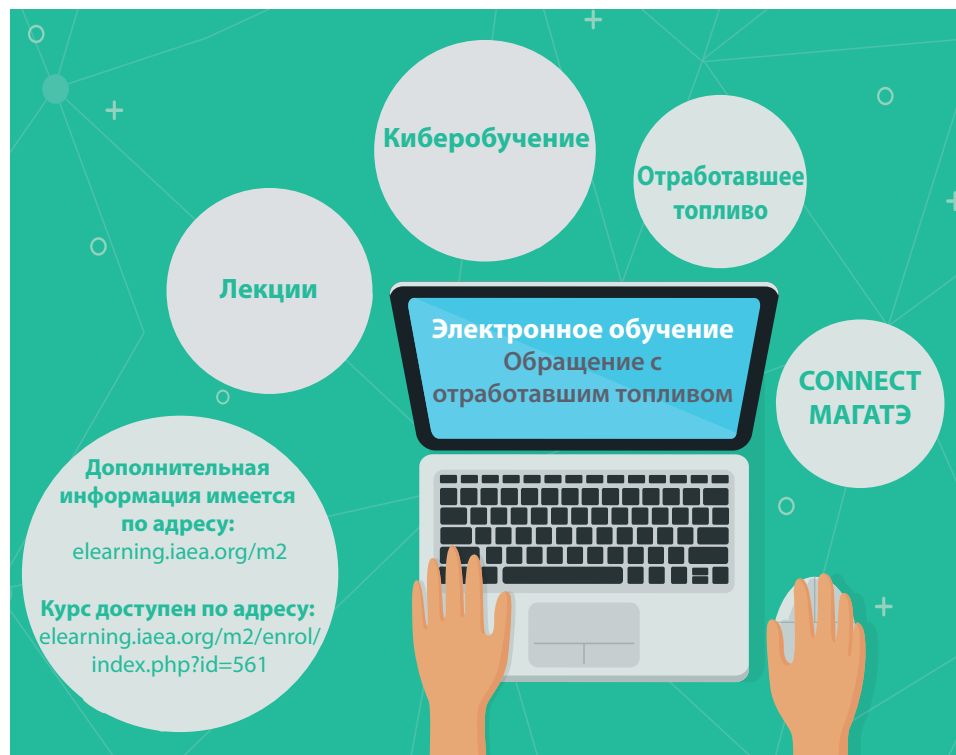
В рамках этого курса, предназначенного для специалистов-ядерщиков, новичков в данной области и студентов инженерных и научных факультетов, объясняются различные варианты обращения с отработавшим топливом и факторы, которые могут повлиять на выбор страной конкретной стратегии утилизации. На сегодняшний день это самый подробный курс, разработанный МАГАТЭ по данной тематике.

В настоящее время через Учебную киберплатформу для сетевого образования и подготовки кадров, а также через платформу CONNECT МАГАТЭ доступны 4 из 13 лекций. Остальные лекции будут загружены к началу 2020 года. Помимо английского языка они будут доступны на испанском, русском, французском и японском языках.

## Содержание курса

Первые две лекции, дающие начальное представление об обращении с отработавшим топливом, охватывают все аспекты обращения с отработавшим топливом — от момента его выгрузки из активной зоны ядерного реактора до момента, когда оно рассматривается в качестве отходов и помещается в глубинное геологическое хранилище. В этих лекциях содержится обзор различных вариантов обращения с отработавшим топливом, факторов, влияющих на выбор стратегии обращения с отработавшим топливом, и последствий выбора различных вариантов. В лекциях 3 и 4, посвященных хранению отработавшего топлива, разъясняются различные варианты и технологии — мокрые и сухие — для хранения отработавшего ядерного топлива, а также общие соображения относительно безопасности хранения отработавшего топлива, связанные с достижением основополагающей цели безопасности — защитить людей и окружающую среду от вредного воздействия ионизирующего излучения.

«Остальные лекции будут посвящены характеристикам отработавшего топлива и его транспортировке, а также технологиям переработки отработавшего



топлива и инновационным топливным циклам для реакторов IV поколения», — сообщила Ампаро Гонсалес Эспартеро, технический руководитель МАГАТЭ по обращению с отработавшим топливом.

«Техническое содержание этих лекций было разработано группой экспертов из стран с различными взглядами и стратегиями относительно обращения с отработавшим топливом. Поэтому оно очень сбалансировано и основано на фактах и цифрах», — отметила она.

Лекции начинаются с перечисления и краткой характеристики целей электронного обучения с последующим более подробным объяснением. Каждая лекция состоит из нескольких глав, что позволяет обеспечить более глубокое понимание материала. В конце каждой лекции проводится краткий тест для проверки знаний пользователей, а в небольших аудиозаписях освещаются основные моменты обучения. Модульная структура позволяет пользователям изучать темы в выбранном ими темпе. Чтобы проиллюстрировать информацию и сделать ее более доступной, в модулях используются различные медиаформаты, в том числе видеоматериалы и интерактивные упражнения. Кроме того, для улучшения понимания информации пользователи могут воспользоваться текстом повествования, дополнительными материалами и глоссарием терминов.

# Обращение с отработавшим топливом: четыре десятилетия исследований

Лаура Хиль

**Б**ум строительства атомных электростанций 1960–1970-х годов знаменовал собой выход на новый этап развития энергетики, но в то же время создал новую проблему: что делать с отработавшим топливом с АЭС? Можно ли его перерабатывать? Можно ли от него избавиться? Можно ли его хранить, и если да, то как долго и при каких условиях?

Годами специалисты искали ответы на эти вопросы. В новой публикации представлены результаты исследований в области обращения с отработавшим ядерным топливом, которые на протяжении почти четырех десятилетий велись при координирующей роли МАГАТЭ. В публикации МАГАТЭ «Behaviour of Spent Power Reactor Fuel during Storage» («Поведение отработавшего топлива ядерных энергетических реакторов во время хранения») (IAEA-TECDOC-1862) сведены данные, наблюдения и рекомендации, собранные специалистами в этой области за период с 1981 года.

«Когда мы вместе с МАГАТЭ в начале 1980-х годов начинали заниматься исследованиями в этой области, мы сознавали, что хранение отработавшего топлива, которое очень радиоактивно, ставит ряд технических и научных вопросов, — говорит Ференц Такач, управляющий директор TS Enercon, венгерской фирмы, оказывающей консультационные услуги в области инжиниринга. — Мы начали с поиска основной информации по этим вопросам с целью создать общую базу данных по странам, имеющим опыт, потому что в то время ничего подобного не было».

На заре ядерной энергетики многие страны планировали перерабатывать отработавшее топливо и таким образом максимально полно использовать свой уран. Первый этап переработки — регенерация, химический процесс, позволяющий извлечь из топлива делящийся материал, неиспользованный плутоний и уран для повторного использования в новом смешанном оксидном (MOX) топливе. Коммерческие установки по переработке сегодня действуют в России, Соединенном Королевстве и Франции.

Ряд других стран предпочли не перерабатывать отработавшее топливо, а захоранивать его. Среди них — Канада, Соединенные Штаты, Финляндия и Швеция. В этом случае отработавшее топливо безопасно размещается глубоко под землей при условиях, делающих невозможным его извлечение.

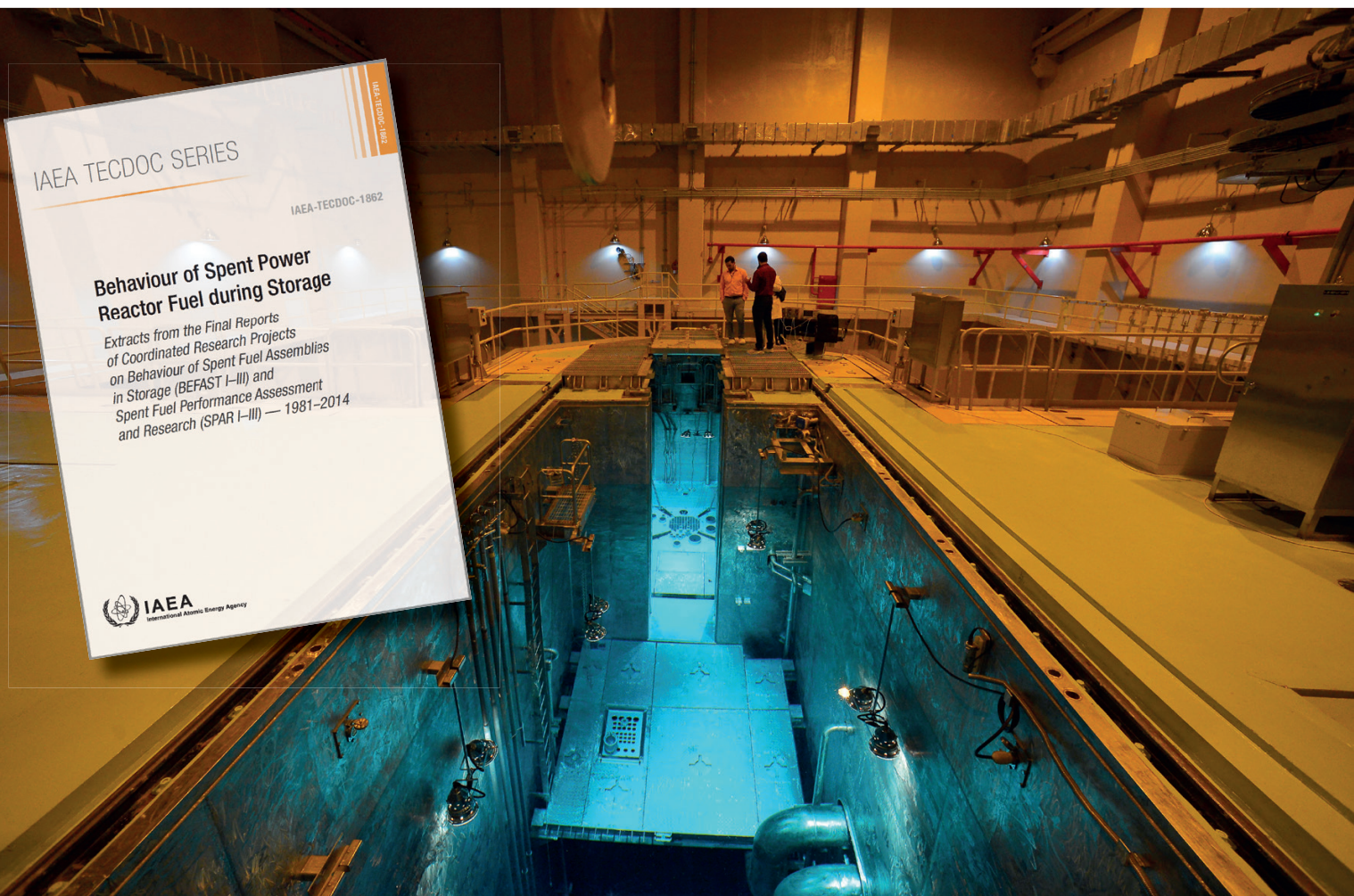
Изначально все страны планировали перерабатывать свое отработавшее топливо, либо на собственных установках, либо в других странах. Однако в 1980–1990-х годах в связи с устойчиво низкими ценами на уран и появлением вопросов к переработке с экологической точки зрения многие страны сделали выбор в пользу прямого захоронения. Затем, в начале 2000-х, привлекательность переработки снова выросла ввиду потребности в дешевой и низкоуглеродной электроэнергии и опасений относительно наличия достаточных запасов урана в долгосрочной перспективе.

Предпочтения и взгляды менялись, а власти не спешили принимать решение, в результате отработавшее топливо находилось во временных хранилищах дольше, чем планировалось.

## Исследовательский проект МАГАТЭ

В этом контексте и реагируя на то, что многие стороны стали делать выбор в пользу «промежуточного хранения», МАГАТЭ начало реализацию нескольких проектов координированных исследований (ПКИ), первый из которых был запущен в 1981 году. Эксперты из 10 стран начали изучать и обсуждать поведение отработавшего топлива во время хранения (БЕФАСТ), стараясь охватить все аспекты деятельности, связанной с хранением отработавшего топлива до того, как оно будет либо переработано, либо отправлено на захоронение. Участвующие государства предоставляли результаты своих научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по фундаментальным вопросам, связанным с хранением отработавшего топлива, и приступили к созданию базы данных, которая способствовала бы оценке технологий хранения отработавшего топлива на протяжении крайне длительных периодов времени. В 1997 году началось осуществление нового комплекса ПКИ, которые на этот раз были непосредственно направлены на оценку и исследование характеристик отработавшего топлива (СПАР).

В исследованиях в рамках проектов БЕФАСТ и СПАР приняли участие 30 организаций из 21 страны и Европейской комиссии. Участники исследований обменивались информацией, представляющей ценность для операторов установок топливного цикла, проектировщиков атомных электростанций, регулирующих органов, производителей и особенно для тех, кто разрабатывает процедуры оценки



IAEA TECDOC SERIES

IAEA-TECDOC-1862

## Behaviour of Spent Power Reactor Fuel during Storage

Extracts from the Final Reports of Coordinated Research Projects on Behaviour of Spent Fuel Assemblies in Storage (BEFAST I-III) and Spent Fuel Performance Assessment and Research (SPAR I-III) — 1981-2014



безопасности. «Каждый из нас смотрит на общую проблему под своим углом», — отмечает Такач.

Когда Такач работал в венгерской консалтинговой фирме в 1997 году, Венгрия уже более десяти лет реализовывала свою ядерно-энергетическую программу. Не имея возможности экспортировать отработавшее топливо, венгерские власти были вынуждены построить дополнительное сухое хранилище рядом с АЭС. Это было непросто, так как регулирующие органы опасались, что отработавшее топливо, все еще радиоактивное и поначалу выделявшее много тепла, будет непригодно к хранению из-за высокой температуры.

«Из-за этой неопределенности пришлось установить предельную температуру хранения отработавшего топлива, 350 градусов Цельсия, что создало дополнительные трудности для проектировщиков, — говорит Такач, отмечая, что результаты проекта МАГАТЭ оказались полезными в деле информирования регулирующих органов. — Повезло, что в то время я участвовал в ПККИ БЕФАСТ и имел возможность консультироваться с экспертом из Германии, где было накоплено гораздо больше знаний о поведении

топливных оболочек на сухом хранении при высоких температурах. Получив данные из-за рубежа, мы смогли на основе результатов коллективных исследований продемонстрировать, что наши регулирующие положения слишком строги и должны быть изменены».

На основе выводов ПККИ было подготовлено и направлено в регулирующий орган исследование; регулятор согласился с его доводами и повысил температурный предел для хранения. Это один из многих примеров того, как координируемые МАГАТЭ исследования профильных специалистов принесли пользу операторам.

«Все эти исследования позволяют нам непрерывно следить за технологиями, связанными с характеристиками отработавшего топлива, — отмечает Лора Макмэнниман, специалист МАГАТЭ по обращению с отработавшим топливом. — Эти проекты дают отличную возможность для совместной работы и исследований, поскольку предоставляют специалистам механизм для свободного обмена информацией».

Основные результаты исследований, представленных в публикации IAEA-TECDOC-1862, размещены на веб-сайте и по запросу могут быть предоставлены в печатном виде.

# Учет гарантий при проектировании хранилищ отработавшего ядерного топлива

Адем Мютлуер

Работа МАГАТЭ направлена на расширение вклада ядерных технологий в укрепление мира и процветания во всем мире, а также на обеспечение того, чтобы ядерный материал не переключался с использования в мирных целях. Гарантии МАГАТЭ как важная часть глобального режима ядерного нераспространения обеспечивают независимую проверку соблюдения государствами своих международно-правовых обязательств. В этих целях МАГАТЭ издает руководящие материалы в рамках серии документов по учету требований гарантий при проектировании (SBD), помогая тем самым проектировщикам и операторам ядерных установок учитывать на начальном этапе проектирования вопросы гарантий, относящиеся к ядерным установкам, включая хранилища отработавшего ядерного топлива.

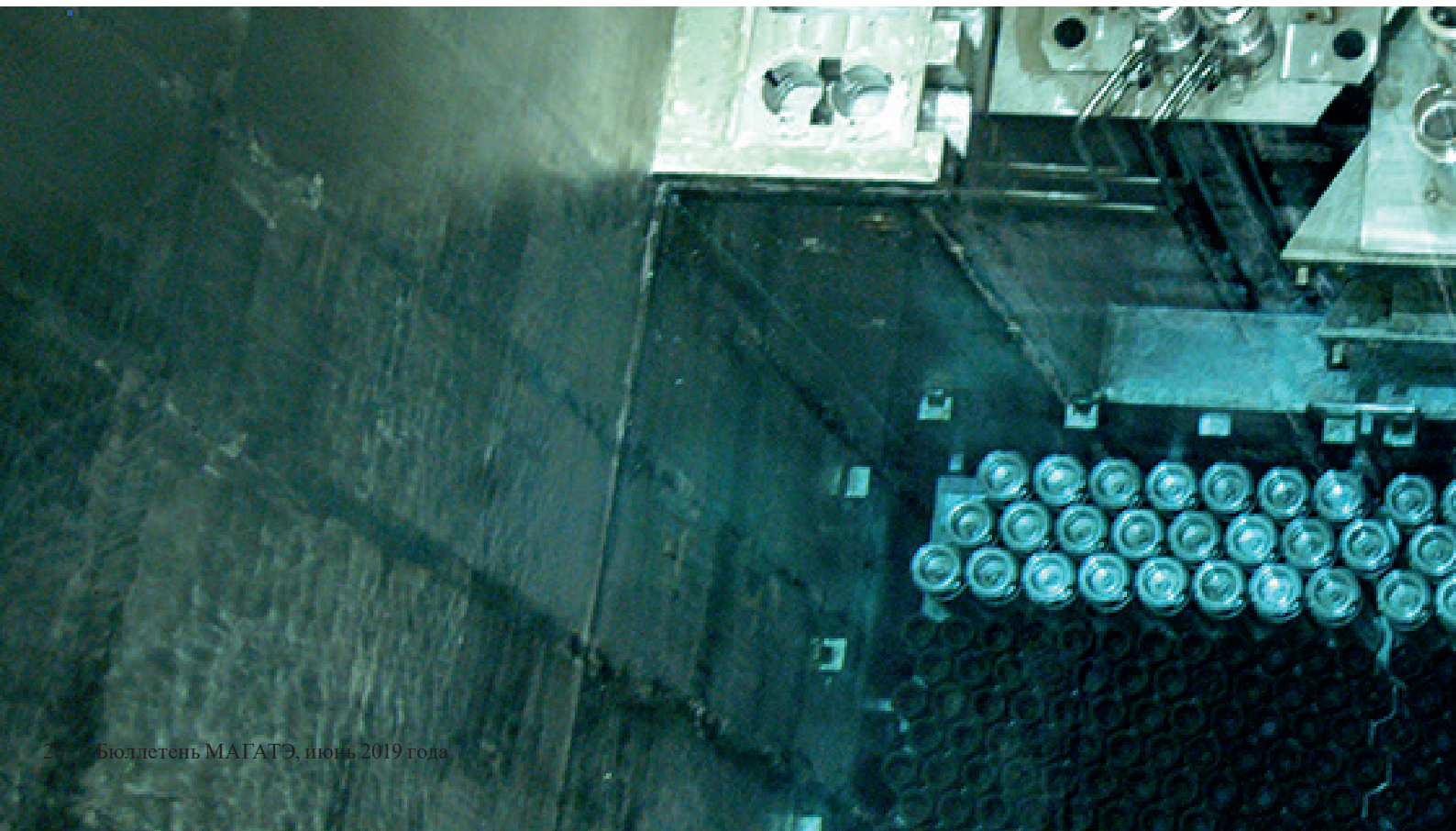
Учет требований гарантий до начала сооружения или модификации установки (концепция SBD) осуществляется на добровольной основе и направлен на повышение эффективности соблюдения действующих требований в этой области. При этом в случае реализации SBD инспекции по гарантиям могут проводиться более эффективным и результативным образом, что снижает нагрузку на оператора хранилища.

«Идея состоит в том, чтобы закладывать характеристики, способствующие осуществлению гарантий, на этапе строительства новых хранилищ отработавшего топлива, — отметил Джереми Уитлок, руководитель

Секции концепций и подходов Департамента гарантий МАГАТЭ. — Благодаря учету этих характеристик при проектировании и сооружении хранилищ отработавшего топлива осуществление гарантий может проводиться с минимальными перебоями в работе инспектируемого объекта».

Учет гарантий на начальном этапе проектирования и строительства способствует открытому диалогу между заинтересованными сторонами по вопросам эксплуатации хранилища, требований гарантий и другим смежным темам. Это дает возможность разрабатывать такие методы проверки, которые позволят минимизировать влияние осуществления гарантий на оператора без снижения результативности проводимой деятельности по гарантиям. Кроме того, такие методы позволят повысить эффективность гарантий, так как они помогают МАГАТЭ проводить деятельность по проверке оптимальным образом.

Понимание деятельности по гарантиям позволяет также более эффективно подготовиться к ожидаемой проверке с учетом соответствующих потребностей. Такая подготовка предполагает минимизацию облучения инспекторов, оптимизацию доступа к оборудованию для целей гарантий для его технического обслуживания, обеспечение возможностей для дистанционной передачи данных на площадке и смягчение последствий событий, которые могут вызывать сбои в ходе проверки.

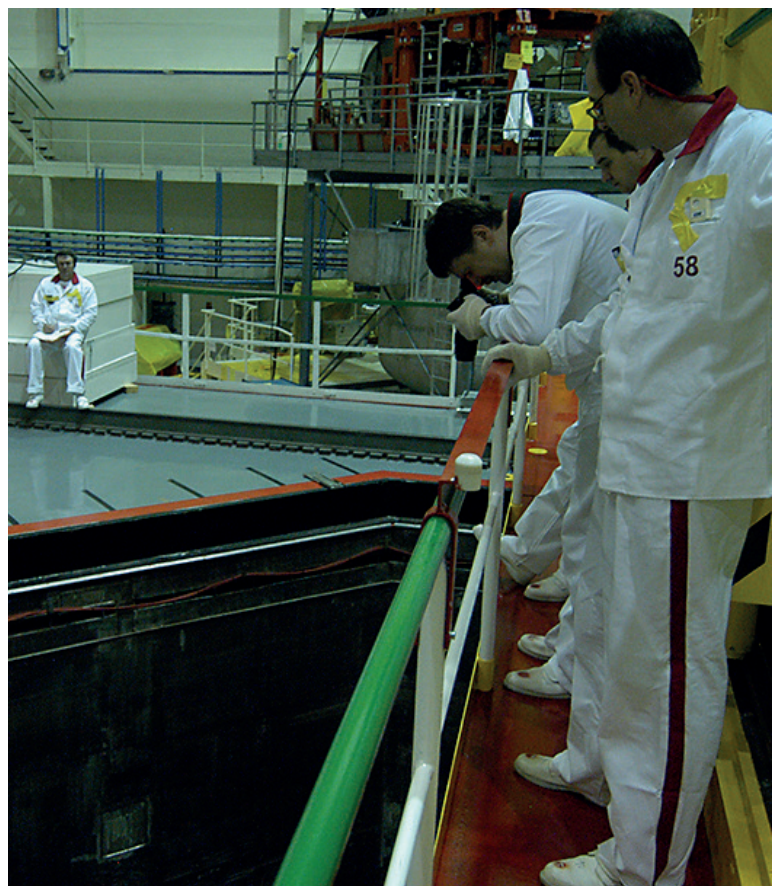


Хранилища отработавшего ядерного топлива являются одной из ключевых частей ядерного топливного цикла, и гарантии МАГАТЭ продолжают развиваться в целях преодоления соответствующих вызовов в области проверки. Применение гарантий к хранилищам отработавшего ядерного топлива — это также важная часть работы МАГАТЭ по проверке. В 2018 году гарантии применялись в отношении 82 хранилищ отработавшего ядерного топлива в более чем 25 государствах по всему миру. В них хранились около 57 000 значимых количеств ядерного материала.

При разработке проекта хранилища отработавшего ядерного топлива очень важно учитывать сроки хранения отработавшего топлива. Может потребоваться, чтобы хранилища обеспечивали возможность извлечения материала в течение длительного периода времени, например 100 лет.

«С точки зрения проектирования полезно понимать весь спектр потенциальной деятельности по гарантиям и характер ее воздействия на конструктивные особенности хранилища отработавшего топлива до принятия окончательных решений по проекту, — отметил Уитлок. — Заблаговременное планирование позволяет сделать инфраструктуру объекта гибкой, обеспечив возможность использования будущих технологических инноваций, которые могут быть полезны как для работы оператора, так и для осуществления гарантий».

Серия документов по SBD размещена на веб-сайте МАГАТЭ.



Обучение инспекторов в хранилище отработавшего ядерного топлива на атомной электростанции Моховце в Словакии. (Фото: Д. Кальма/МАГАТЭ)



# Конструкция — победитель конкурса по робототехнике ускоряет процесс проверки отработавшего топлива

Адем Мютлуер

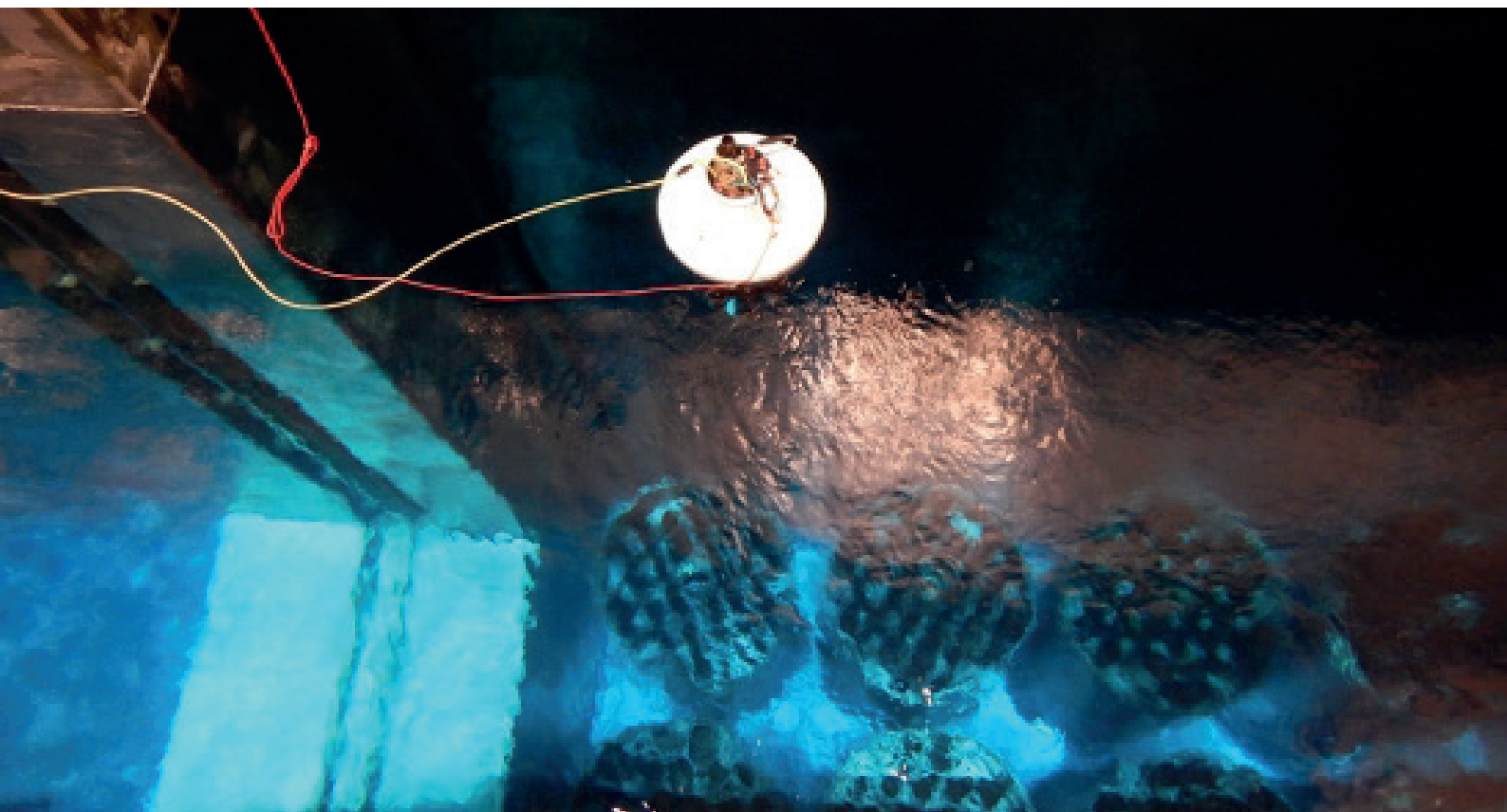
Хотя отработавшее ядерное топливо больше не может поддерживать цепную реакцию, позволяющую вырабатывать электроэнергию, оно по-прежнему содержит ядерный материал, который может быть использован для создания оружия. Вот почему проверка отработавшего топлива является одним из центральных компонентов работы МАГАТЭ в области ядерных гарантий.

Отработавшее ядерное топливо обычно хранится под водой для охлаждения. Проверка отработавшего топлива под водой — сложный и длительный процесс. Инспекторам МАГАТЭ необходимо находиться над бассейнами выдержки отработавшего топлива, чтобы иметь возможность сфотографировать отдельные отработавшие тепловыделяющие сборки, число которых может исчисляться сотнями. Было признано, что в этой области полезную роль может сыграть робототехника, и в 2017 году МАГАТЭ объявило конкурс для поиска идей и решений с использованием методов краудсорсинга, чтобы повысить эффективность проверки отработавшего топлива.

При осуществлении инспекционной деятельности на ядерных установках по всему миру инспекторами по ядерным гарантиям часто используется небольшой переносной оптический прибор — усовершенствованное устройство для наблюдения излучения Черенкова (УУНИЧ). УУНИЧ служит для подтверждения присутствия отработавшего ядерного топлива, которое после удаления из активной зоны реактора хранится под водой, куда его обычно помещают для охлаждения. Задача инспекторов — проверить соответствие количества хранящегося топлива количеству топлива, заявленному национальными компетентными органами, и убедиться, что никакая его часть не была извлечена и потенциально переключена с мирного использования.

В настоящее время инспекторам по гарантиям необходимо держать УУНИЧ, находясь на мостовом кране, закрепленном над бассейном выдержки отработавшего топлива, и в ручном режиме сквозь линзу изучать отдельные тепловыделяющие сборки. В рамках конкурса по робототехнике МАГАТЭ предложило разработать конструкцию небольшой роботизированной

**Победившее в конкурсе беспилотное надводное судно проходит проверочные испытания в реальных условиях на АЭС «Ловийса» в Финляндии.** (Фото: МАГАТЭ)





плавучей платформы, автономно передвигающейся по поверхности бассейна выдержки отработавшего топлива, внутри которой можно было бы установить недавно разработанное устройство для наблюдения излучения Черенкова нового поколения (XCVD), способное осуществлять цифровую запись. Со стабильно закрепленным в вертикальном положении XCVD беспилотное надводное судно (БНС) позволит получать в сжатые сроки более четкие изображения.

На конкурс по робототехнике было подано более 300 заявок. Из 12 отобранных для демонстрации проектов 3 прошли проверочные испытания в реальных условиях. В начале 2019 года победителем конкурса МАГАТЭ по робототехнике стало БНС, разработанное группой венгерских инженеров. Победившая конструкция была отобрана после того, как эксперты МАГАТЭ провели ее тщательную проектную и эксплуатационную оценку. «В ноябре 2018 года в ходе заключительного этапа конкурса по робототехнике проекты прошли проверочные испытания в реальных условиях в бассейне выдержки отработавшего топлива на АЭС в Финляндии, — говорит специалист по прогнозированию развития технологий Департамента гарантий МАГАТЭ Димитри Финкер. — Благодаря этому у наших экспертов была возможность по достоинству оценить каждую конструкцию и определить, какие из них отвечают операционным потребностям в области гарантий, учитывают вопросы безопасности и обеспечивают максимальное качество изображения для целей проверки». Теперь МАГАТЭ, совместно со своими государствами-членами, операторами ядерных установок и

разработчиками победившего БНС, займется окончательной доработкой проекта и обеспечением его соответствия всем применимым требованиям и регулирующим положениям. Пока же для использования БНС на местах МАГАТЭ будет необходимо получить разрешение государств-членов.

«Мы очень рады, что наша конструкция была отобрана в условиях такой острой конкуренции. Нас воодушевляет возможность внести вклад в усилия по ядерному нераспространению и важную работу МАГАТЭ по проверке, — говорит Питер Копиас, генеральный директор компании — победителя «Датастарт». — Для конкурса по робототехнике было необходимо найти творческое инженерное решение. Я рад, что наша уникальная конструкция отвечает потребностям пользователей».

Помимо конкурса по робототехнике МАГАТЭ проводит также другие конкурсы для выявления и поддержки развития перспективных технологий, которые могут оказать содействие его работе. «Обычно лишь нескольким высокоспециализированным учреждениям предлагается направлять свои предложения в ответ на официальные заявки, связанные с техническим оборудованием, которое может быть использовано в работе по гарантиям. Благодаря технологическим конкурсам МАГАТЭ свои научные решения могут представлять сотни игроков сферы технологий», — говорит г-н Финкер. Цель нового конкурса МАГАТЭ «Реконструкция и анализ томографических изображений» — совершенствование процесса проверки отработавшего ядерного топлива при помощи передовых методов обработки данных в целях анализа изображений, полученных с помощью УУНИЧ и — в перспективе — XCVD.

**Эксперты МАГАТЭ оценивают эксплуатационные характеристики проекта-победителя — беспилотного надводного судна.** (Фото: МАГАТЭ)



# Упрощение перевозки и хранения отработавшего топлива ядерных энергетических реакторов

Николь Яверт

**Х**ранение, А ТАКЖЕ перевозка высокоактивного отработавшего ядерного топлива требуют мер предосторожности и надежных мер по обеспечению физической и ядерной безопасности. До настоящего времени для хранения и перевозки отработавшего топлива с атомных электростанций в места хранения и, в конечном итоге, в места захоронения или переработки обычно использовались разные контейнеры. Есть и другой подход: использование контейнеров двойного назначения, которые подходят как для хранения, так и для перевозки, что упрощает весь процесс, делая его также дешевле и безопаснее.



Чтобы получить более подробную информацию об этих уникальных контейнерах и их роли в безопасном обращении с отработавшим ядерным топливом, ответственная редактор Бюллетеня МАГАТЭ Николь Яверт побеседовала с сотрудником Отдела перевозки и операций перед захоронением Швейцарской федеральной инспекции по ядерной безопасности (ENSI) Берндом Ройтом. Он уже восемь лет занимается проблематикой в области перевозки и хранения отработавшего ядерного топлива. Кроме того, он регулярно принимает участие в качестве эксперта в проектах МАГАТЭ, нацеленных на повышение безопасности обращения с отработавшим топливом.

**Вопрос. Поскольку отработавшее ядерное топливо представляет собой смесь радиоактивных элементов, таких как уран и плутоний, чрезвычайно важно безопасное и надежное обращение с ним. Что такое контейнеры двойного назначения и какую роль они играют в безопасном и надежном обращении с отработавшим топливом?**

**Ответ.** В области обращения с отработавшим топливом нет универсальных решений. В каждой стране используются собственные процедуры и стратегии. В некоторых странах отработавшее топливо хранится в бассейнах выдержки топлива, а в других используются

контейнерные системы или специальные здания для сухого хранения. Переработка топлива — это еще один подход, применяемый некоторыми странами.

Контейнеры двойного назначения (КДН) представляют собой один из вариантов сухого хранения и перевозки. Они спроектированы таким образом, чтобы исключить возможность выброса радиоактивного материала как в ходе хранения, так и в ходе перевозки. Хотя конкретные характеристики КДН зависят от потребностей конкретной страны в области обращения с отработавшим топливом, в целом они представляют собой большие, довольно узкие контейнеры цилиндрической формы, в которые помещают отработавшее ядерное топливо или радиоактивные отходы высокого уровня для перевозки и промежуточного хранения. КДН, как правило, делают из стали или чугуна. Они оснащены двойной, скрепляемой болтами крышкой, которая предотвращает утечку топлива, обеспечивая при этом возможность его безопасного и простого извлечения в случае необходимости.

Каждый КДН должен отвечать строгим нормам безопасности и выполнять четыре основные функции: сохранение механической целостности, отвод тепла, экранирование и контроль критичности. Учет всего перечисленного, а также необходимость соблюдения международных требований к перевозке и национальных требований к хранению значительно усложняют разработку и использование КДН. Однако после налаживания этого процесса другие этапы обращения с отработавшим топливом становятся проще.

**Вопрос. В чем заключаются преимущества КДН по сравнению с другими методами хранения?**

**Ответ.** Использование КДН устраняет потребность в некоторых дополнительных манипуляциях при обращении с отработавшим топливом. Как правило, в случае многих других вариантов на каждом этапе требуются разные контейнеры для хранения или разные объекты, что означает дополнительные перемещения топлива. При этом нередко такие контейнеры не предназначены для перевозки по дорогам общего пользования. В случае же КДН возможна загрузка топлива в контейнеры, их перевозка и размещение в местах промежуточного хранения и последующая перевозка в место окончательного хранения или переработки без необходимости перегрузки или повторной упаковки.

Поэтому это один из наиболее популярных вариантов в странах, где отработавшее топливо перевозится по дорогам общего пользования.

### Вопрос. Как МАГАТЭ участвует в разработке и использовании КДН?

**Ответ.** Конструкция КДН зависит от типа хранилища и его расположения. Это значит, что установить определенные требования, охватывающие все КДН по всему миру, не так просто, так как требуется учитывать подобные различия. МАГАТЭ ввело требования безопасности в связи с КДН и обладает возможностями для гармонизации различающихся требований в отношении хранения КДН, которые действуют в разных странах. Таким образом, когда в стране начинается производство ядерной энергии, она может ознакомиться с вспомогательными документами МАГАТЭ и решить, подходят ли ей КДН, а также получить информацию о конструкции и использовании КДН для обращения с отработавшим топливом.

Кроме того, МАГАТЭ координирует исследования в области оптимизации разработки и использования КДН. Например, в ходе совещаний МАГАТЭ обсуждается тема старения топлива, находящегося в сухом хранилище. В целом КДН рассчитаны, как минимум, на 40–50 лет использования, но сегодня все больше внимания уделяется возможности их использования в течение 100 лет и более. Для этого может потребоваться модификация существующих или новых конструкций в целях снижения потенциального воздействия долгосрочного хранения на

КДН и обеспечения того, чтобы они неизменно отвечали высоким стандартам безопасности как в ходе перевозки, так и в процессе хранения.

### Вопрос. Как вы думаете, что ждет КДН в будущем?

**Ответ.** Конструкторы КДН постоянно стремятся усовершенствовать их с учетом эволюции атомных электростанций. По мере того, как АЭС работают все дольше, растет объем отработавшего топлива. Поэтому цель состоит в том, чтобы оптимизировать конструкции КДН, максимально увеличив количество топлива, которое в них может находиться. Также предполагается использовать новые материалы, чтобы обеспечить более длительное хранение и возможность выдерживать более высокие тепловые нагрузки, так как атомные электростанции все чаще используют обогащенное топливо. Кроме того, новые модели, скорее всего, будут упрощены, их будет дешевле и легче производить. При этом все требования к перевозке и хранению будут соблюдаться.

В некоторых странах идет поэтапный отказ от использования ядерной энергии, и сегодняшнее поколение специалистов рано или поздно выйдет на пенсию. Интерес более молодого поколения к работе в этой отрасли, возможно, также снизится, но совершенно очевидно, что в будущем нам потребуются новые кадры. В этой области МАГАТЭ действительно может помочь путем организации курсов электронного обучения и обеспечения подготовки для увеличения объема знаний.

### Контейнеры двойного назначения в хранилище ZWILAG в Швейцарии.

(Фото: ZWILAG)



## Уроки моего прошлого

# Чему за 28 с лишним лет работы в сфере ядерно-энергетического топливного цикла я научилась в областях систем управления знаниями и эксплуатации ядерных установок

Сьюзан Пикеринг

Темой проводимой в 2019 году Международной конференции МАГАТЭ по обращению с отработавшим топливом ядерных энергетических реакторов являются «Уроки прошлого на благо будущего». Независимо от того, являются ли наши ядерно-энергетические программы зрелыми или новыми, наш коллективный опыт работы в области ядерной энергетики позволяет нам извлечь важные уроки, и эта конференция является идеальной площадкой для обмена таким опытом.

Для успешного осуществления ядерно-энергетических программ требуется очень много времени и ресурсов. Эти программы порождают множество проблем — как технического, так и нетехнического характера. Я занималась ядерно-энергетическим топливным циклом более 28 лет. Я сталкивалась с множеством проблем и извлекла громадное количество уроков. Позвольте мне поделиться некоторыми наблюдениями и мыслями.

Ядерно-энергетические системы имеют сложный и комплексный характер. Например, пункты захоронения представляют собой многоступенчатые системы герметизации, состоящие из формы отходов, контейнера, засыпочногo материала и вмещающей породы, и функционирование каждого элемента зависит от характеристик всех остальных. Каким образом принимаемые сегодня решения относительно хранения повлияют на будущие варианты утилизации? Может ли тот или иной контейнер для отработавшего топлива быть несовместимым с конкретным видом перевозки или концепцией/пунктом захоронения? Мы должны рассматривать эти системы, используя «пожизненный подход».

Срок службы ядерных установок может составлять многие десятилетия. В течение этого времени будут возникать вопросы, на которые должны будут давать ответы люди, не выполнявшие первоначальную работу — возможно, люди, которые даже не родились, когда эта работа была завершена! Поэтому следует как можно скорее приступить к реализации программы обеспечения качества (ОК) и управления знаниями.

Проблемы на ядерных установках часто могут быть обусловлены несовершенством таких факторов, как люди, компоненты или процедуры. Существенное воздействие на эти факторы оказывают лица, занимающие руководящие должности. Внедрить механизмы контроля в целях усиления действенности этих факторов можно с помощью эффективной программы ОК и управления знаниями. Такая программа позволит: 1) получить объективные

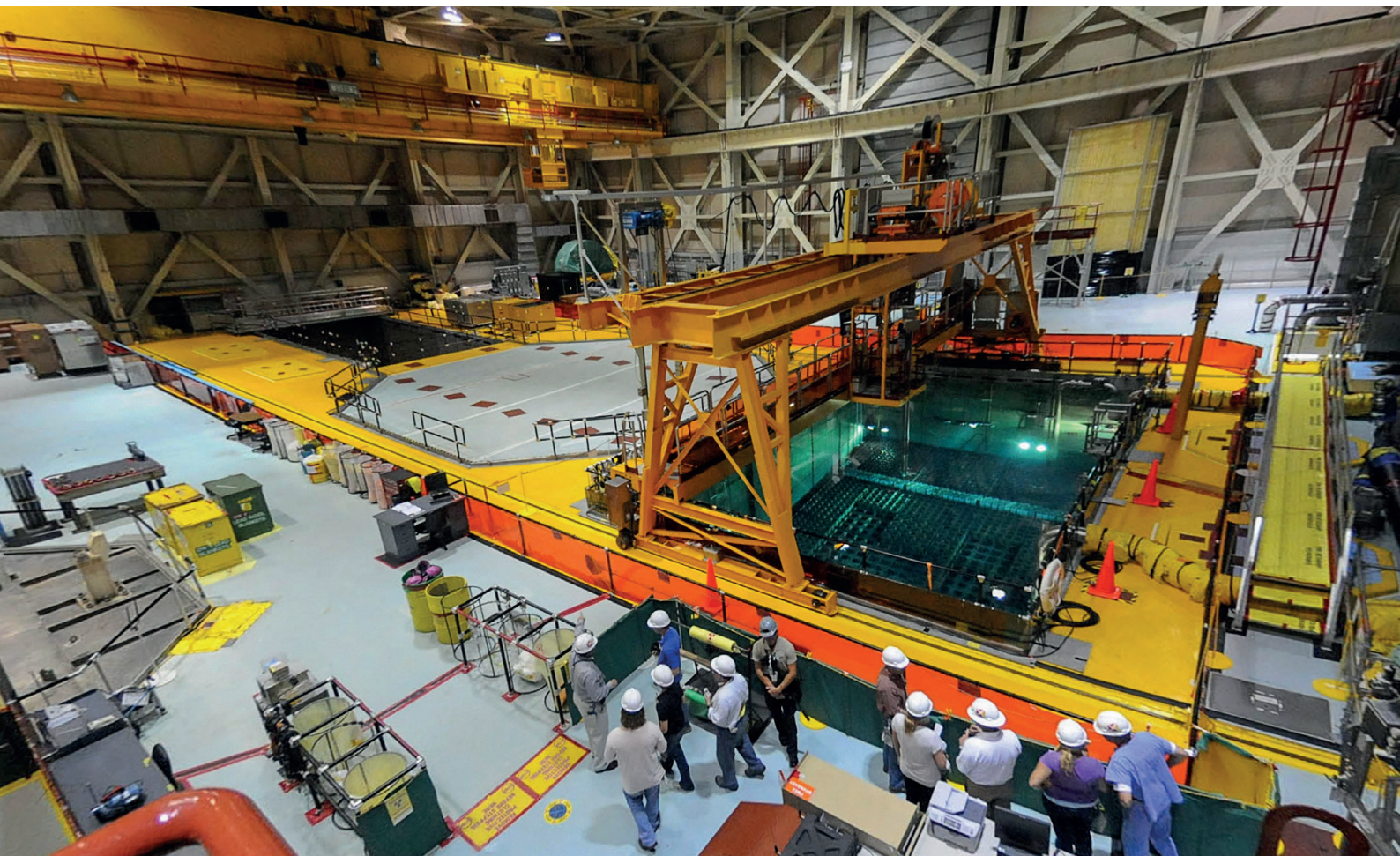
данные о квалификации персонала, 2) внедрить процедуру разрешения разногласий по профессиональным вопросам, 3) обеспечить использование оборудования и компонентов по назначению, 4) повысить согласованность путем четкого определения рабочих процессов, 5) повысить авторитет и значимость технической работы, 6) обеспечить управление знаниями на протяжении всего срока осуществления проекта и 7) обеспечить углубленное понимание проблем, связанных с проектом, и их решений. Тщательно продуманная и надлежащим образом реализованная программа ОК и управления знаниями является одним из важнейших факторов успеха.



Сьюзан Пикеринг, почетный директор Сандийских национальных лабораторий, имеет более чем 28 летний опыт проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в ядерной области в Сандийских национальных лабораториях.

По моему мнению, программа ОК и управления знаниями должна предусматривать сохранение информации, относящейся к двум широким категориям: информации, на которую распространяются традиционные стандарты (например, документация по ОК), и информации, на которую такие стандарты не распространяются (например, логика, лежащая в основе ключевых решений). Эта вторая категория информации часто упускается из виду, хотя она чрезвычайно важна для защиты ядерной установки при возникновении проблем. К примеру, фиксируется ли на ядерной установке, каким образом при проведении критически значимых работ были получены результаты и выводы? Можно ли их воспроизвести?

Ядерные системы порождают острые дискуссии. Существует множество заинтересованных сторон, которые часто придерживаются противоположных взглядов, что может быть источником конфликтов. Необходимо учитывать воздействие заинтересованных сторон, поскольку они могут влиять на лиц, ответственных за разработку политики и принятие решений. Заинтересованные стороны, как правило, стремятся к частым контактам, транспарентности и влиянию.



### Бассейн выдержки отработавшего топлива второго энергоблока на АЭС «Брансуик», США.

(Фото: Комиссия по ядерному регулированию, США)

Взаимоотношения между связанными с ядерной установкой заинтересованными сторонами важны, и для их поддержки необходимо выделять ресурсы. Сотрудничество с общественностью, заинтересованными сторонами и местными органами власти повышает вероятность успеха.

На протяжении длительного срока службы ядерной установки поддержание высокого уровня эксплуатационного мастерства может оказаться затруднительным. Давление, оказываемое в целях сокращения расходов, может повлечь за собой принятие неразумных решений. Кадровая и организационная текучесть может привести к утрате знаний. Со временем может развиться самоуспокоенность. Установки стареют и могут стать менее надежными. С годами могут возникнуть новые, непредвиденные факторы уязвимости, например в сфере кибербезопасности.

Для надлежащего управления ядерной программой чрезвычайно важно понимание риска. Как правило, авария на ядерной установке подпадает под категорию «маловероятных событий с тяжелыми последствиями». Хотя аварии случаются крайне редко, они могут иметь значительные, дорогостоящие и долговременные последствия. Системы сложны и для обеспечения надлежащего управления рисками требуют достоверных научных знаний и тщательно продуманного проектирования. Одним из основных факторов успеха является наличие технически грамотного руководства в государственном спонсоре, регулирующем органе и команде исполнителей.

Эффективным инструментом в руках руководителей является независимое рассмотрение. Оно может проводиться в форме независимой экспертизы или независимой оценки. МАГАТЭ предоставляет услуги по рассмотрению по целому ряду направлений. Во всех случаях лица, проводящие рассмотрение, должны быть квалифицированными и не зависеть от работы, являющейся объектом рассмотрения. Все мы люди и совершаем ошибки. На критических этапах и в моменты принятия решений мудрые руководители полагаются на независимую оценку, чтобы выявить проблемы тогда, когда их последствия еще не велики, а выполнение решений обходится дешевле.

Руководители всех уровней в организации должны следовать линиям поведения, способствующим формированию высокой культуры ядерной безопасности. Ежедневно и в любой ситуации они должны демонстрировать свою приверженность безопасности, поощрять положительное поведение и наказывать отрицательное поведение. Они очень хорошо понимают, что неожиданности неизбежны, и составляют планы на случай обычных и необычных событий. Они должны понимать масштабы неопределенности, риска, запаса прочности, глубокоэшелонированной защиты и способности к восстановлению функций. Важнейшим фактором успеха высокой культуры безопасности являются компетентные сотрудники. Как говорил основоположник ядерной безопасности в США адмирал Х. Дж. Риквер, «Правила не заменяют рациональное мышление».

## Из лаборатории на поле: индонезийские ученые создают новые сорта сельскохозяйственных культур с помощью ядерной науки



**Исследователи БАТАН празднуют успех выведенных при помощи облучения сортов риса.** (Фото: Национальное агентство по ядерной энергии (БАТАН))

В последние годы фермеры в Индонезии получают урожай риса, достаточный для того, чтобы накормить более 20 миллионов человек, за счет использования сортов, выведенных в рамках государственной программы мутационной селекции. Старт этой программе был дан еще в 1997 году в рамках сотрудничества с МАГАТЭ и Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных Наций (ФАО), а сегодня она переросла во всеобъемлющую партнерскую сеть, благодаря которой результаты научных исследований с использованием ядерных методов находят применение на фермерских полях.

«Ядерные технологии используются в Индонезии в самых разных сферах жизни, в том числе и в сельском хозяйстве, — говорит г-н Сурьянторо, заместитель председателя Национального агентства по ядерной энергии Индонезии (БАТАН). — Проводя исследования в области радиационно-индуцированной мутации, БАТАН улучшает качество местных сортов сельскохозяйственных культур, и эти новые и улучшенные сорта семян получают широкое распространение у населения».

После того как в 1997 году был начат первый проект по селекции растений в сотрудничестве с Объединенным отделом ФАО/МАГАТЭ по ядерным методам в продовольственной и сельскохозяйственной областях, ученые из исследовательских институтов БАТАН прошли комплексную подготовку в сфере ядерных технологий, получили новейшее оборудование, а также экспертную поддержку в рамках реализуемых МАГАТЭ проектов координированных исследований и технического

сотрудничества. Это заложило основы программы мутационной селекции растений в Индонезии.

С тех пор в рамках данной программы было выведено более 35 новых сортов сельскохозяйственных культур, в том числе сои и риса. Из созданных с помощью облучения новых сортов отбираются те разновидности, которые имеют улучшенные характеристики по сравнению с другими местными сортами, такие как более высокая урожайность, меньшие сроки вызревания, устойчивость к болезням и факторам стресса, вызываемым климатическими изменениями (см. «Мутационная селекция растений»). После селекции семена новых сортов размножают и передают фермерам.

«Важно производить больше семян, чтобы увеличить площадь культивируемых земель, — говорит ответственный работник министерства сельского хозяйства Восточной Явы А. Сидик Танойо. — Это способствует повышению производительности и увеличению доходов фермеров».

В целях содействия широкому использованию новых сортов растений на основе этой программы сформировалась всеобъемлющая партнерская сеть, которая открывает путь к выращиванию выведенных сортов в крупных масштабах. В ее основе лежит сотрудничество между исследовательскими институтами, министерствами, правительственными учреждениями, компаниями по производству семян, кооперативами фермеров, а также другими участниками рынка и экспортной торговли. Эти партнерства охватывают всю производственно-сбытовую цепочку от производства и размножения семян до их распределения и выращивания на полях.

«Эта программа, в которой участвуют многие национальные министерства и институты, а также три международных организации, работает по принципу «сверху вниз», — говорит руководитель Центра по применению изотопных и радиационных технологий БАТАН Тотти Тжипосумират. — На верхнем уровне БАТАН разрабатывает семена высшего качества, затем министерство сельского хозяйства распределяет их среди производителей семян, а министерство промышленности отвечает за передачу инноваций вниз, на уровень малого и среднего бизнеса или стартапов».

### Повышение урожая риса в стране

В настоящее время в самых разных районах страны выращиваются три из 23 созданных БАТАН новых сортов риса. Эти сорта — Бестари, Инпари сиденук и Мустабан — были отобраны в силу того, что способны за короткое время дать на 150% больший урожай риса, чем другие местные сорта. Кроме того, они более устойчивы к изменениям климата, болезням и насекомым-вредителям.

«Многие плантации в нашем районе заражены рисовой цикадкой, и я воздал хвалу Всевышнему, когда увидел здоровый рис Мустабан, не пострадавший от вредителей», — рассказывает Хамид, занимающийся производством семян в Серанге, провинция Бантен. Другой фермер — Татанг, из расположенной неподалеку деревни Касеман, — добавляет: «Нам не пришлось использовать инсектициды. Когда наши посевы риса Мустабан дали цветки, на них нигде не было клопа-щитника».

Специалисты БАТАН планируют продолжать исследования и разработки, с тем чтобы расширить ассортимент новых сортов растений и учесть отзывы фермеров в интересах дальнейшего совершенствования их характеристик. Исследования будут проводиться также в направлении оптимизации методов выращивания с учетом местной сельскохозяйственной практики, в том числе систем внесения удобрений, а также в различных условиях окружающей среды — с учетом местных почв, сильных ветров и осадков.

— Дрисс Хабудани

## Специалисты ядерной отрасли делятся наработками в области укрепления культуры безопасности: проект МАГАТЭ «Школа лидерства для обеспечения безопасности»



**Специалисты начального и среднего уровня получают навыки лидерства в сфере безопасности на сессии организованной МАГАТЭ «Школы лидерства для обеспечения безопасности».** (Фото: Х. Хиль Мартин/МАГАТЭ)

Лидерство для обеспечения безопасности и укрепление культуры безопасности в организациях требуют формирования пространства для открытого и конструктивного взаимодействия между специалистами ядерной отрасли разного профиля, отметили слушатели Школы лидерства в ядерной и радиологической областях в интересах безопасности, сессия которой проходила с 22 апреля по 3 мая 2019 года в Анкаре, Турция.

Лидерство в интересах обеспечения безопасности особенно важно в ядерной и радиологической областях, причем — ввиду присущего им сложного характера — как в повседневной работе, так и в аварийных ситуациях. Школа лидерства МАГАТЭ для обеспечения безопасности помогает специалистам ядерной и радиологической областей начального и среднего уровня вырабатывать навыки, необходимые для того, чтобы на всех этапах служебной деятельности инициативно подходить к вопросам обеспечения безопасности.

В общей сложности в этом учебном мероприятии участие приняли 29 специалистов из регулирующих органов, организаций, эксплуатирующих атомные электростанции, и технических организаций из 14 стран. Они анализировали предметные исследования, проводили учения, принимали участие в обсуждениях и слушали доклады приглашенных экспертов по ядерной и радиационной безопасности, в том числе по вопросам аварийной готовности. Сессия Школы была организована в рамках проекта технического сотрудничества

МАГАТЭ, посвященного расширению деятельности по созданию потенциала в европейских организациях по ядерной и радиационной безопасности в целях безопасной эксплуатации установок.

Слушатели отметили, что Школа предоставила им возможность обсудить то, как лучше играть роль лидера, укрепляющего безопасность, послужила источником вдохновения и предложила стратегии обеспечения такого лидерства в их учреждениях.

### Внедрение новых способов коммуникации между членами коллектива

Слушатель Школы Милияна Стелич, начальник Отдела международного сотрудничества и руководства проектами Управления радиационной и ядерной безопасности и физической безопасности Сербии, подчеркнула важность личного примера и использования конкретных инструментов для формирования эффективных групп сотрудников, ориентированных на укрепление безопасности.

«Благодаря Школе я по-новому взглянула на многое, особенно на то, как я играю роль лидера, и на взаимосвязь между результатами моей профессиональной деятельности и способностью вдохновлять подчиненных собственным примером, — говорит Стелич. — В Школе мы не только слушали доклады и лекции, но и рассматривали практические примеры, занимались в группах, играли в игры и проводили технические посещения, это позволило нам проявить лидерские качества и взять на вооружение лидерские

инструменты, которые можно использовать в повседневной работе».

«В моем отделе я хочу начать проводить мероприятия для укрепления коллектива и регулярные обсуждения практических примеров, а также применять новые лидерские инструменты для оценки эффективности работы сотрудников, — продолжает она. — В идеале я хотела бы внедрить эти новшества во всей организации, потому что я хочу, чтобы все мы более открыто взаимодействовали для формирования высокой культуры безопасности в нашей организации».

### Содействие стремлению к лидерству среди всех сотрудников

Еще один слушатель, старший советник Департамента технического законодательства и стандартов Государственного агентства по регулированию ядерной и радиологической деятельности Азербайджана Айсель Гасанова, подчеркнула важную роль целевых программ, направленных на стимулирование специалистов по ядерной безопасности, и отметила, что все сотрудники, а не только руководители, могут быть лидерами в интересах безопасности.

«Поведение лидеров сильно влияет на безопасность. Лидерство для обеспечения безопасности подразумевает стремление постоянно развиваться и служить примером для всех коллег независимо от того, являются они руководителями или нет, — говорит Гасанова. — Я работаю над повышением культуры безопасности и способствую передаче знаний от опытных коллег, вовлекаю специалистов из числа молодежи и женщин и стараюсь внедрять новые методы развития людских ресурсов по всей стране, и именно поэтому я решила принять участие в сессии Школы.

Раньше я думала, что лидером нужно родиться, но теперь понимаю, что каждый может раскрыть свой лидерский потенциал и развивать эти способности, — добавляет она. — За один день всего не построишь, но начинать нужно с четкими целями и твердым намерением достичь их».

— *Наталья Михайлова*

## Во Вьетнаме для повышения качества пищевых продуктов используется облучение



**Высокие алюминиевые ящики, заполненные пищевыми продуктами, ожидают прохождения через гамма-облучатель.** (Фото: Э. Маре/МАГАТЭ)

Каждое утро сотни коробок с замороженными морепродуктами, сушеными фруктами и овощами, средствами восточной медицины и диетическими продуктами ожидают своей очереди на складе в Хошимине, Вьетнам. Им предстоит процедура, похожая на процедуру досмотра в аэропортах, но с использованием пучков фотонов или электронов большей интенсивности. Эти товары участвуют в программе облучения пищевых продуктов, которая реализуется при поддержке МАГАТЭ в течение последних двух десятилетий.

Облучение пищевых продуктов, в зависимости от дозы, позволяет не допустить преждевременного созревания и прорастания фруктов и корнеплодов, обеспечить уничтожение паразитов и обеззараживание специй, а также ликвидировать сальмонеллу и грибки, которые могут привести к порче мяса, птицы и морепродуктов.

Этот метод впервые нашел применение во Вьетнаме в 1999 году при содействии МАГАТЭ и Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО), после чего рынок облученных продуктов стал быстро развиваться, существенно расширив возможности компаний в области экспорта продовольствия. Облучение пищевых продуктов превратилось в одну из главных опор пищевой промышленности страны, и оно вносит важный вклад в повышение ее конкурентоспособности в сельскохозяйственном секторе.

«В 1999 году мы облучали 259 тонн продовольствия в год, а к 2017 году объемы составили уже 14 000 тонн, — говорит Као Ван Тьонг, руководитель отдела электронно-лучевых технологий Центра исследований и разработок в области радиационных технологий при Вьетнамском институте атомной энергии (ВИНАГАММА). — Это свидетельствует о реальном росте спроса на нашу работу. Сегодня мы являемся одним из ведущих учреждений страны в области радиационных технологий и инициатором внедрения метода облучения пищевых продуктов».

### Внедрение гамма- и электроно-пучкового облучения

Столь значительный рост масштабов обработки стал возможным благодаря внедрению двух методов облучения. В 1999 году был введен в строй гамма-облучатель, который использует энергию ионизирующего излучения от источника, расположенного в защищенном бетонном помещении, а с 2013 года используется электроно-пучковая (ЭП) установка. В ЭП установках радиоактивный источник для облучения не используется; вместо этого облучение обеспечивается потоками высокоэнергетических электронов, генерируемых специальными устройствами, такими как линейный ускоритель электронов. При этом никакого контакта пищевых продуктов с радиоактивным материалом не происходит, а облучение применяется как для поддержания

качества продовольствия, так и для повышения его безопасности, при этом какая-либо остаточная радиоактивность отсутствует.

Хотя процесс облучения на основе и того, и другого метода происходит одинаково, каждый из них, по словам Тьонга, имеет свои отличительные и дополнительные преимущества. В гамма-облучателе используются высокие алюминиевые ящики, пригодные для размещения продуктов самого разного размера. Ящики перемещаются по камере облучения вокруг радиоактивного источника, расположенного на подвесной монорельсовой системе. Для обеспечения надлежащей обработки упакованных продуктов со всех сторон требуется два цикла облучения.

С другой стороны, в ЭП облучательной установке используются двусторонние пучки, что делает процесс облучения в три раза быстрее по сравнению с гамма-облучателем, так как продукты могут быть обработаны целиком за один цикл. Однако ЭП установка имеет ограничения по размерам и допускает обработку коробок с максимальным размером 60x30x50 см и весом 15 кг, поэтому для обработки более крупных и тяжелых продуктов необходимо использовать гамма-облучатель. Эти устройства работают параллельно и в круглосуточном режиме, останавливаясь только на период новогодних праздников во Вьетнаме.

До внедрения гамма- и ЭП облучателей проблема предотвращения порчи пищевых продуктов, таких как морепродукты, фрукты и овощи, решалась с помощью традиционных методов, включая консервирование, охлаждение и заморозку, а также использование химических консервантов. Эти методы, в силу своей меньшей эффективности, ограничивали возможности производителей отправлять свою продукцию на экспорт.

Установки для облучения были приобретены при поддержке по линии программы технического сотрудничества МАГАТЭ, в рамках которой было организовано также обучение работников и предоставлены консультации экспертов. Вьетнам — одна из 40 стран мира, которым МАГАТЭ оказывает поддержку в этой области.

**Расширение использования радиационных технологий**  
Штат сотрудников Центра ВИНАГАММА увеличился с



20 человек, работавших там на момент создания в 1999 году, до 79 в настоящее время. Помимо облечения пищевых продуктов Центр оказывает услуги по радиационной стерилизации медицинских изделий и пастеризованных пищевых продуктов, а также занимается коммерциализацией

своих научно-исследовательских разработок, таких как средства защиты растений, используемые в сельском хозяйстве, и наногели, содержащие наночастицы золота и серебра, используемые в медицине.

Кроме того, ВИНГАММА проводит исследовательские и

опытно-конструкторские работы и организует обучение в области радиационных технологий. Центр сотрудничает с международными партнерами в целях поиска путей дальнейшего совершенствования технологий облучения.

— *Эстель Марс*

«При измерении содержания биогенных веществ в воде изотопные методы показывают большую эффективность, — поясняет г-н Вассенаар, — но исторически так сложилось, что в силу соображений стоимости и доступности применять их было весьма затруднительно. Благодаря новому методу ученые могут проверять больше проб при гораздо меньших затратах и проводить крупномасштабные исследования. Думаю, что это в корне изменит сложившуюся ситуацию».

Новый метод предусматривает использование одной из форм хлорида титана — соли, при взаимодействии с которой содержащиеся в пробе воды нитраты превращаются в газ — закись азота. Содержание изотопов в этом газе может быть проанализировано с помощью масс-спектрометра или лазерного спектрометра. Существующие методы основываются на получении закиси азота с помощью генетически модифицированных бактерий или кадмия, высокотоксичного металла, в силу чего они являются весьма трудоемкими и дорогостоящими и могут применяться лишь в ограниченном количестве специализированных лабораторий.

«Этот сравнительно простой метод позволяет прийти к тем же результатам, для достижения которых обычно требовались очень сложные и дорогостоящие процедуры», — говорит Марк Альтабет — соавтор исследования, профессор кафедры океанологии и исследований эстуариев Института морских наук и технологий в Массачусетском университете, Дартмут. Стоимость анализа теперь в пять-десять раз ниже, чем раньше, а подготовка проб занимает считанные минуты.

Г-н Альтабет планирует применять этот метод для изучения влияния мер по борьбе с загрязнениями в проливе Лонг-Айленд, эстуарии на восточном побережье Соединенных Штатов, куда в прошлом попадали избыточные количества нитратов.

МАГАТЭ содействует применению ядерных и изотопных технологий для определения происхождения, возраста, качества и устойчивости водных запасов, помогая странам более эффективно управлять этим жизненно важным ресурсом.

— *Луисана Виегас*

## МАГАТЭ разрабатывает новый метод отслеживания источников загрязнения воды



**Избыточное содержание нитратов в озерах, реках и морях приводит к росту водорослей, что может провоцировать вредоносное цветение сине-зеленых водорослей. МАГАТЭ в сотрудничестве с Массачусетским университетом в Дартмуте разрабатывает инновационный метод, позволяющий отслеживать источники загрязнения воды нитратами.** (Фото: Л. Вассенаар, МАГАТЭ)

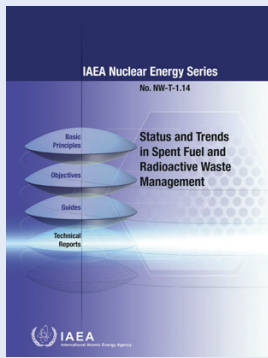
МАГАТЭ в сотрудничестве с Массачусетским университетом разработало инновационный метод, позволяющий отслеживать источники загрязнения озер, рек и морей азотом. Этот основанный на ядерных технологиях аналитический метод предоставляет ученым более дешевый, безопасный и быстрый способ определения того, вызвано ли повышенное содержание азотистых веществ загрязнениями, источниками которых является сельское хозяйство, канализационные системы или промышленные предприятия, что помогает в организации превентивных и восстановительных мероприятий. Азот — жизненно необходимый и в изобилии присутствующий на Земле элемент — является важным компонентом удобрений, которые начали широко применяться в сельском хозяйстве с середины XX века. «Одна из крупнейших общемировых проблем в области качества воды связана с тем, что человечество десятилетиями перенасыщало пахотные земли удобрениями, будь то навоз или синтетические удобрения, — говорит Леонард Вассенаар, руководитель Лаборатории изотопной гидрологии МАГАТЭ. — Все эти биогенные вещества, в особенности азот в форме нитратов, проникают в грунтовые воды и в конечном итоге попадают в реки, ручьи и озера».

Избыточное содержание нитратов увеличивает рост водорослей, что может приводить к вредоносному цветению в

поверхностных водах озер. Отмершие водоросли также могут выпадать на дно озер, создавая питательную среду для бактерий и вызывая появление так называемых «мертвых зон». «Сегодня мы все чаще становимся свидетелями заморов рыбы, когда тысячи особей всплывают на поверхность, потому что в придонных областях озер — их обычной среде обитания — из-за этого масштабного осаждения органического материала происходит обеднение воды кислородом», — продолжает г-н Вассенаар.

Удаление нитратов из воды является весьма сложной и дорогостоящей задачей, поэтому необходимы инструменты, с помощью которых можно установить источники и пути попадания азота и собрать больше информации для принятия мер по защите и восстановлению водных ресурсов.

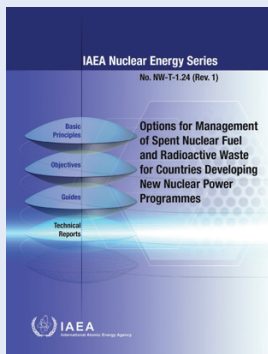
Новый метод, описание которого было опубликовано в журнале «Rapid Communications in Mass Spectrometry», позволяет измерять количество и относительную долю стабильных изотопов, характерных для содержащихся в воде нитратов. Азот имеет два стабильных изотопа, т.е. разновидности его атомов, имеющих разную атомную массу. Эти изотопы могут использоваться для установления источника происхождения веществ, поскольку их атомные массы в случае, скажем, отходов бытового происхождения или удобрений не одинаковы.



**«Status and Trends in Spent Fuel and Radioactive Waste Management» («Состояние дел и тенденции в области обращения с отработавшим топливом и радиоактивными отходами»)**

Эта публикация дает представление о положении дел в мире в области обращения с радиоактивными отходами и отработавшим топливом, в том числе освещает вопросы, связанные с накопленными объемами, программами, актуальными методами, технологиями и тенденциями. В ней приводятся результаты анализа национальных механизмов и программ в области обращения с радиоактивными отходами и отработавшим топливом, дается оценка текущих и прогноз по будущим объемам отходов и отработавшего топлива. Кроме того, в публикации рассмотрены наблюдаемые на международном и национальном уровне тенденции в этих областях.

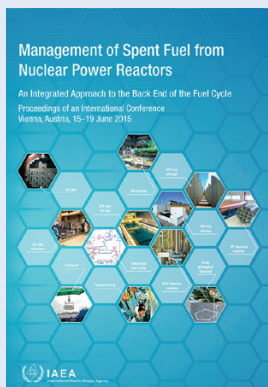
IAEA Nuclear Energy Series NW-T-1.14; ISBN: 978-92-0-108417-0; English Edition; 39.00 euro; 2018  
[www.iaea.org/publications/11173/status-and-trends](http://www.iaea.org/publications/11173/status-and-trends)



**«Options for Management of Spent Fuel and Radioactive Waste for Countries Developing New Nuclear Power Programmes» («Варианты обращения с отработавшим топливом и радиоактивными отходами для стран, разрабатывающих новые ядерно-энергетические программы»)**

В издании представлен краткий обзор основных вопросов, касающихся разработки надежной системы обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом. Страны с небольшими ядерно-энергетическими программами и страны, недавно приступившие к освоению ядерной энергетики, смогут почерпнуть из него информацию о проблемах и существующих и возможных вариантах обращения с реакторными отходами и отработавшим топливом, которые образуются в ходе эксплуатации и вывода из эксплуатации атомных электростанций.

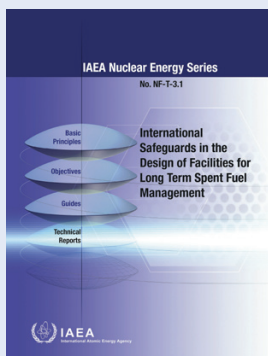
IAEA Nuclear Energy Series NW-T-1.24 (Rev. 1); ISBN: 978-92-0-103118-1; English Edition; 32.00 euro; 2018  
[www.iaea.org/publications/12255/options-for-management](http://www.iaea.org/publications/12255/options-for-management)



**«Management of Spent Fuel from Nuclear Power Reactors: An Integrated Approach to the Back End of the Fuel Cycle» («Обращение с отработавшим топливом ядерных энергетических реакторов: комплексный подход к заключительной стадии топливного цикла»)**

В публикации обобщены итоги проведенной в 2015 году Международной конференции МАГАТЭ по обращению с отработавшим топливом ядерных энергетических реакторов, на которой была представлена и рассмотрена информация о достижениях и уроках, связанных с заключительной стадией ядерного топливного цикла, а также о проблемах в этой области. Организаторы Конференции преследовали следующие главные цели: повысить информированность о том, как развитие отрасли электрогенерации и расширение возможностей по захоронению могут влиять на обращение с отработавшим топливом, а также оценить прогресс в области обращения с отработавшим топливом энергетических реакторов, достигнутый с тех пор, когда МАГАТЭ впервые начало проводить конференции по этой теме, обозначить требующие решения вопросы и проблемы, которые могут возникнуть в будущем.

Proceedings of International Conference; ISBN: 978-92-0-101819-9; English Edition; 28.00 euro; 2019  
[www.iaea.org/publications/13488/management-of-spent-fuel](http://www.iaea.org/publications/13488/management-of-spent-fuel)



**«International Safeguards in the Design of Facilities for Long Term Spent Fuel Management» («Международные гарантии при проектировании объектов для долгосрочного обращения с отработавшим топливом»)**

Публикация предназначена для проектировщиков и операторов объектов для долгосрочного обращения с отработавшим топливом. Содержащаяся в ней информация также может быть полезна компаниям-поставщикам, национальным органам и организациям, предоставляющим финансирование. Она дополняет общие соображения, изложенные в документе «International Safeguards in Nuclear Facility Design and Construction» («Международные гарантии и проектирование и сооружение ядерных установок») (IAEA Nuclear Energy Series No. NP-T-2.8).

IAEA Nuclear Energy Series NF-T-3.1; ISBN: 978-92-0-100717-9; English Edition; 36.00 euro; 2018  
[www.iaea.org/publications/10806/international-safeguards](http://www.iaea.org/publications/10806/international-safeguards)

**За дополнительной информацией и для заказа книг просьба обращаться по адресу:**

**Группа маркетинга и сбыта (Marketing and Sales Unit)**  
 International Atomic Energy Agency, Vienna International Centre  
 P.O Box 100, A-1400 Vienna, Austria  
 Email: [sales.publications@iaea.org](mailto:sales.publications@iaea.org)

Читайте этот и другие выпуски Бюллетеня МАГАТЭ в Интернете по адресу  
**[www.iaea.org/bulletin](http://www.iaea.org/bulletin)**

С более подробной информацией о МАГАТЭ и его работе можно ознакомиться на сайте  
**[www.iaea.org](http://www.iaea.org)**

или на наших страницах



Международная конференция  
**по изменению климата и роли  
ядерной энергетики**

7–11 октября 2019 года, Вена, Австрия



Организатор:



**IAEA**

Международное агентство по атомной энергии

*Атом для мира и развития*

**#Atoms4Climate**

CN-275