

# Вывод из эксплуатации: конец атомной катастрофы?



Доктор Дэвид Лоури

- Консультант по исследованиям в области экологической политики;
- старший научный сотрудник Института Исследования Ресурса и Безопасности (Institute for Resource and Security Studies) Кембридж, Массачусетс, США;
- член Консультативного Агентства по Ядерным Отходам, (Nuclear Waste Advisory Associates, NWAA), Великобритания;
- автор-эксперт Фонда имени Генриха Бёлля (Heinrich Böll Stiftung), Брюссель/Берлин;
- один из авторов монографии, Международная политика обращения с ядерными отходами (International Politics of Nuclear Waste);

бывший директор Европейского Центра Распространения Информации (European Proliferation Information Centre, EPIC), Лондон; бывший редактор по исследованию плутония Всемирной Информационной Службы по Энергетике (WISE - Paris); бывший член правления Комитета по Контролю за Ядерной Прозрачностью (Nuclear Transparency Watch), Брюссель; бывший участник Международного МОКС-Проекта по оценке смешанного оксидного уран-плутониевого топлива (International Mixed-Oxide Assessment, MOX Plutonium Fuel Project), Токио; бывший эксперт Института Ядерного Контроля (Nuclear Control Institute, NCI), Вашингтон; бывший научный сотрудник Научного Отдела по Исследованиям в Области Энергетики и Окружающей Среды, Открытого Университета (Energy and Environment Research Unit, Open University), Великобритания.

***“...проблема вывода из эксплуатации – это в основном не техническая проблема, техническая проблема в значительной степени решена; можно еще что-то улучшить, можно сделать многое, но принципиально техническая проблема решена.”<sup>2</sup>***

Доктор Дэвид Лоури, международный эксперт в области ядерной энергетики оспаривает это утверждение, что все технические проблемы вывода из эксплуатации решены, сделанное 36 лет назад на Конференции в Евросоюзе. Им был сделавший доклад «Культура вывода из эксплуатации в Великобритании» на международной конференции, по выводу из эксплуатации АЭС в Сосновом Бору Ленинградской области (ноябрь 2008). Он пытается показать, что проблематика вывода из эксплуатации значительно более масштабна, что он включает в себя не только обращение с окончательно остановленными АЭС, если анализировать достижения и провалы в этой области в разных частях земного шара.

Эта статья написана на английском. Перевод на русский выполнен Юлией Скавронской под редакцией Олега Бодрова, генерального директора ООО Декомиссия, председателя Общественного совета южного берега Финского залива, г. Сосновый Бор, Ленинградской области.

Почти 200 коммерческих реакторов будут остановлены к 2040 году, и по последним оценкам в ближайшие 25 лет потребуется € 80.4 млрд. на их вывод из эксплуатации. Это означает, что мировой атомной отрасли предстоит еще очень многому научиться.

## Вывод из эксплуатации урановых рудников и портов

Пэтрик О’Сьюливан (Patrick O’Sullivan), специалист по выводу из эксплуатации Международного Агентства по Атомной Энергии (МАГАТЭ), надзорного органа при ООН, высказал мысль, что сложность процесса вывода из эксплуатации для мирового сообщества связана не только с атомными станциями: *“Значительное количество ядерных установок, включая атомные станции,*

*исследовательские ядерные установки и предприятия топливного цикла достигнут в ближайшие два десятилетия окончания проектного срока эксплуатации.”*

Эксперт по очистке от урана, Питер Вэгит (Peter Waggitt), директор Отдела по закрытию урановых рудников Департамента сырьевой промышленности и ресурсов северной Австралии<sup>4</sup> любезно поделился соображениями по остающимся нерешенными проблемами, связанными с несвоевременно начатыми процессами вывода из эксплуатации урановых рудников, урановых обогатительных фабрик и рекультивации недействующих площадок. В своей статье “Реабилитация и возвращение к жизни наследия добычи урана: международное обозрение<sup>5</sup>.” он пишет: “Сегодняшние проблемы, оставшиеся нам в наследство, возникли из-за отсутствия законодательства в прошлом.

*Реабилитация отработавших площадок не происходила из-за отсутствия обязательств проводить восстановление окружающей среды, поэтому заблаговременно и не накапливались финансовые средства, необходимые для проведения работ. Последнее становится особенно важным, когда обсуждаются программы восстановления объектов долговременной эксплуатации или предпринимаются попытки запланировать эту работу.*

*Восстановление отработавших шахт – очень затратный процесс, тем более, когда речь идет об уране ... очень немногие страны, из тех которые сталкиваются с этой проблемой, имеют достаточные финансовые ресурсы и инфраструктуру, чтобы планировать, разрабатывать и осуществлять подобные программы.*

*Ни одна из многих стран, наиболее затронутых этой проблемой, не имеет достаточно ресурсов и хорошо разработанную нормативную базу по защите окружающей среды.*

*Поэтому мы вынуждены констатировать, что **процессы пущены на самотек, а ресурсы отсутствуют.***

*Становится понятно, что прогнозы развития ситуации не очень благоприятны из-за большого объема финансирования, которое необходимо изыскать и выделить одномоментно, учитывая, что бюджетное финансирование в странах, наиболее затронутых этой проблемой, должно быть направлено и в другие приоритетные отрасли.*

*Общественное здравоохранение, образование и восстановление экономики – те направления, с которыми приходится соревноваться, когда речь идет о выделении бюджетных средств.*

*Но ни одно из этих приоритетных направлений не пострадает, если затраты на реабилитацию отработавших площадок будут предусматриваться еще на стадии разработки.”*

Более подробно об этом в материалах Венской Конференции по вопросам гуманитарных последствий ядерного оружия 2014 года (Vienna Conference on the Humanitarian Impact of Human Weapons) “Разработка месторождений урана и экологический расизм: Почему нельзя оправдать хищническую эксплуатацию ресурсов среды обитания и игнорировать радиационные риски урановых рудников”<sup>6</sup>, а также в статье Питера Вэгита (Peter Waggitt) “Реабилитация урановой шахты: история вмешательства в среду обитания в Южной долине аллигаторов”<sup>7</sup>

## **Леденящий душу опыт Канады**

Пожалуй, наиболее ярким примером необходимости проведения полного цикла вывода из эксплуатации является Порт Хоуп (Port Hope) в Канаде, где расположено недействующее предприятие по переработке урана.

Это отчет, включенный в материалы международной Венской Конференции, упомянутой ранее, который был написан доктором Гордоном Эдвардсом (Gordon Edwards), директором *Канадской коалиции за ядерную ответственность (Canadian Coalition for Nuclear Security)*<sup>8</sup>

### **Порт Хоуп – ядерное отхожее место Канады<sup>9,10</sup>**

*“В начале 30-х годов 20-го века в Порт Хоуп была построена установка по выделению радия, и тонны уран-содержащих ядерных отходов были складированы вокруг города. Во время Второй Мировой войны Великобритания и США обратились к Канаде, чтобы использовать оставшийся уран для проекта создания атомной бомбы.*

*Компания, владеющая установкой, без лишнего шума перешла под контроль канадского правительства, и ее стали использовать для извлечения урана из отвалов, которые хранились в тот момент на острове Лонг Айленд недалеко от Нью-Йорка. Выделенный уран использовался заводами по обогащению урана в Ок-Ридж (Oak Ridge) и производства уранового заряда бомбы для Хиросимы, а также топлива для ядерных реакторов в Хэнфорде (Hanford) штат Вашингтон, нарабатывающего оружейный плутоний для экспериментального ядерного взрыва Тринити, а затем для плутониевой бомбы, сброшенной на город Нагасаки в Японии.*

*После войны производство урана в Канаде переживало свой расцвет благодаря многочисленным военным контрактам, и рудники открывались сначала на Северо-Западных Территориях и на севере провинции Саскатчеван (Saskatchewan), затем на севере провинции Онтарио (Ontario) в районе озера Эллиот (Elliot). Весь добываемый уран обогащался в Порт Хоуп.*

*К 1959 году уран стал четвертым по значимости экспортируемым продуктом Канады сразу за пшеницей, твердой древесиной и целлюлозой, и весь обогащенный уран использовался для программы по созданию ядерных бомб.*

*В 1957 году разразился настоящий скандал, когда обнаружилось, что сотни жилых домов были значительно загрязнены радиоактивными отходами, произведенными на государственном заводе по переработке урана. Начальную школу пришлось эвакуировать, потому что уровень радона в школьной столовой превысил допустимый уровень на урановых рудниках. Три полигона по размещению отвалов были в таком плачевном состоянии, что радиоактивные отходы попадали в грунтовые воды и выносились с полигона на шинах, работающих там грузовиков.*

*Порт-Хоуп подвергался радиоактивному загрязнению с его смертельными последствиями дольше, чем любое сообщество на Земле. Урановые руды и отходы производства транспортировали по нашим улицам и перегружали в нашей гавани с 1932 года, или за 13 лет до того, как первая атомная бомба была сброшена в Японии. У нас 3,5 миллиона кубических метров (4,6 миллионов кубических ярдов) радиоактивных отходов под нашими домами, школами, парками и в нашей гавани.*

*Порт Хоуп, судя по всему, пропитан радиоактивными и тяжелыми металлами химическими агентами. Каждый день происходят выбросы урана, аммиака, оксидов азота, мышьяка и фторидов от двух перерабатывающих предприятий в центре города с населением 12,5 тысяч человек.*

*Ни на одном предприятии нет санитарно-защитных зон в интересах безопасности местных жителей. Правительство Канады, впервые пообещав еще в 1997 году, отказалось проводить широкомасштабные медицинские обследования, не смотря на вызывающие тревогу результаты обследований, опубликованные в отчетах Министерства здравоохранения Канады в 2000 и 2002 годах: в четыре раза выше ожидаемого число случаев рака головного мозга у детей в 1971-1985 годах; на 100 женских смертей больше от болезней системы кровообращения в 1986-1997 годах; в пять раз выше, чем средний по провинции уровень заболеваемости раком носовой полости у мужчин в 1971-*

1985 годах; в два раза превышающий провинциальный уровень заболеваемости раком мозга у женщин в 1986-1997 годах; на 48% более высокий уровень детской смертности от всех видов рака.

*В связи с отсутствием государственной диспансеризации населения, Комитет здравоохранения Порта Хоуп собрал необходимое финансирование с помощью негласных аукционов и книжных распродаж для того, чтобы оплатить медицинское обследование жителей города.”*

Неужели таким нецивилизованным образом должны выводиться из эксплуатации установки по переработке урана, проводиться дезактивация и рекультивация почвы, особенно в богатых и развитых странах мира, которые в ближайшее десятилетие хотят развивать свою ядерную инфраструктуру?

Аналогичную озабоченность качеством жизни общины выражают, также, индейское племя Навахо, проживающие вблизи уранового рудника Черч Рок (Church Rock) в штате Нью-Мексико США. Ранним утром 16 июля 1979 года, через 14 недель после аварии на АЭС Три Майл Айленд (Three Mile Island), прорвало плотину бассейна уранового хвостохранилища. В результате этой экологической катастрофы в окружающую среду попало 1.100 тон радиоактивных промышленных отходов и 90 миллионов галлонов (355 миллионов литров) радиоактивной воды.

Более подробно смотрите отчет Харви Вассерман (Harvey Wasserman) и Норман Соломон (Norman Solomon), с Робертом Альварезом (Robert Alvarez) и Элионор Валтерс (Eleanor Walters) о произошедшей аварии в «Убивая своих»<sup>11</sup> 1992, где в хронологической порядке содержится трагический американский опыт обращения с радиацией за период с 1945 по 1982 годы.

## **Кратко о текущем мировом опыте вывода из эксплуатации**

### **Основные события в Великобритании**

Множество старых реакторов и хранилищ радиоактивных отходов, расположенные в Доунри (Dounreay), на северном побережье Шотландии, в настоящее время находятся в стадии вывода из эксплуатации. Изначально стоимость мероприятий оценивалась в £4 миллиарда, но Управление по выводу из эксплуатации ядерных объектов Великобритании сократило расходы на проект до £ 2,8 млрд. и планирует завершить процесс в 2030 годах<sup>12</sup>.

Правительство Великобритании заключает государственные контракты на проведение фундаментальных научных исследований в ядерной области, используя единообразные принципы выбора. Автор-эксперт Ник Месенджер (Nick Messenger) представил в отчете данные, что в 2018 году так называемый портфель проектов британского Управления по выводу из эксплуатации ядерных объектов (UK Government's Nuclear Decommissioning Authority) оценивался в £119 миллиардов (\$155 млрд.), отметив, что еще £7.5 млрд. (\$9.8 млрд.) выделены на проведение работ по линии Министерства Обороны<sup>13</sup>.

Между тем, вывод из эксплуатации парка действующих в настоящее время газохлаждаемых реакторов (Advanced Gas-cooled Reactors, AGR) и гигаваттного класса АЭС Сайзвелл Б (Sizewell B, PWR) с корпусным водо-водяным реактором мощностью 1250 МВт оценивается по ценам реализуемых сегодня контрактов в £19.5 млрд. (\$25.5 млрд.).

Пол Говарт (Paul Howarth), исполнительный директор Национальной Ядерной Лаборатории Великобритании (UK National Nuclear Laboratory), высказался в некоторой степени оптимистично, что «инновационный подход позволил уменьшить эту сумму на £7 млрд. (\$9.2 млрд.).”

Правительство Великобритании подтверждает необходимость дополнительных значительных сокращений расходов, однако предстоящая программа работ остается огромной и остаются



значительные неопределенности в таком важном вопросе, как кто, собственно, будет финансировать необходимые инновации?

*“Вывод из эксплуатации ядерно-опасных объектов продолжает развиваться от уникальных, разработанных для конкретных установок проектов в относительно небольшом числе стран, до серийных проектов с программами промышленного масштаба в условиях возрастающего внимания к эффективности реализации в сочетании с требованиями безопасности»,* – говорит Саймон Кэрролл, старший советник по вопросам вывода из эксплуатации ядерных объектов шведской энергетической компании Ваттенфаль, бывший активист Международной организации «Гринпис»<sup>14</sup>.

В марте 2020 Управление по Выводу из Эксплуатации Ядерных Объектов Великобритании (UK DNA) разместило в своем блоге статью<sup>15</sup> “Тройная очистка бассейнов выдержки ОЯТ реактора типа Магнокс”



*Процесс разрезки одного из контейнеров на АЭС Олдбери – передача опыта на другие выводимые из эксплуатации АЭС.*

В ней автор указывает, что хотя процесс очистки (дезактивации) британских АЭС первого поколения стоимостью 300 миллионов фунтов стерлингов далек от "универсальности" и возможного использования для всех АЭС, благодаря программе вывода из эксплуатации бассейнов выдержки отработавшего ядерного топлива реактора типа Магнокс (Magnox), удалось создать банк знаний и инструментарий для их использования на всех выводимых АЭС.

Совсем недавно завершились комплексные программы по дренажу и дезактивации бассейнов выдержки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) при АЭС Магнокс Дандженесс А (Magnox Dungeness A), Олдбери (Oldbury) и Сайзвелл А (Sizewell A), в ходе которых применялись самые разнообразные технологии: как инновационные, так и традиционно используемые.

Команды американских промышленных водолазов, впервые использовавшихся на АЭС с экспериментальным тяжеловодным парогенерирующим реактором в Уинфрит (Steam Generating Heavy Water Reactor's NPP at Winfrith) в 1990-х, были использованы на АЭС Дандженесс (Dungeness) и Сайзвелл (Sizewell), чтобы разрезать и доставать фрагменты из под воды, а относительно чистые бассейны выдержки ОЯТ АЭС Олдбери (Oldbury) были очищены с использованием более стандартных методов.

На АЭС Олдбери с 2016 года были удалены и утилизированы различные РАО. Вместе с 40 тоннами отработавшего оборудования в рамках проекта были также обработаны сильно загрязненные ионные картриджи и фильтры с АЭС Дангнесс (Dungeness) и Сизевэл (Sizewell), которые ранее были объединены с такими же с такими же картриджами и фильтрами АЭС Олдбери. Все они были дистанционно упакованы в контейнеры MOSAIK с внутренней свинцовой защитой.



*Рабочие и механическое устройство на дне бассейна после осушения*

На Дангенессе, самой проблемной британской АЭС после того, как водолазы завершили свою работу, механический захват большого радиуса действия извлек оставшиеся предметы. Остаточный ил был удален влажным промышленным пылесосом, известным как «Big Brute» (Большой зверь), и закачан в экранированные резервуары, перед извлечением и обработкой с помощью усовершенствованной системы вакуумной сушки (AVDS). AVDS высушивает отходы, оставляя меньший и более стабильный объем хранения.

Подводная робототехника (подводные роботы АКА) – технология, которая изначально использовалась для океанографических исследований, обследований дна и выполнения ограниченных узкоспециальных задач, при которых оператор, управляющий процессом, находился над водой. Два наиболее часто используемых типов подводных аппаратов - телеуправляемый необитаемый подводный аппарат (Remotely Operated Vehicles, ROV) и беспилотный автономный аппарат (Unmanned Autonomous Vehicle) – UAV<sup>16</sup>.

Для работы команды водолазов требуются многочисленные проверки и мониторинг. Специалисты-подводники работают в специальных защитных костюмах, оснащенных дыхательными аппаратами, и все их действия под водой самым тщательным образом контролируются. Несмотря на защитные свойства воды от воздействия радиации, манипуляции со всеми высокорadioактивными предметами должны проводиться с соблюдением дистанции<sup>17</sup>.



*Водолазное оборудование*

На АЭС Сайзвелл (Sizewell) при работе команды водолазов использовался небольшой дистанционно управляемый подводный аппарат (ROV). Он обследовал состояние бассейна и оборудования, помогая понять какие операции необходимо выполнить в процессе вывода из эксплуатации. В процессе работы этот аппарат Видеорэй ПроV4 (VideoRay Pro 4), был заменен на более мощный, только что выпущенного Защитника (Defender)<sup>18</sup>.



*Дефендер в работе.*

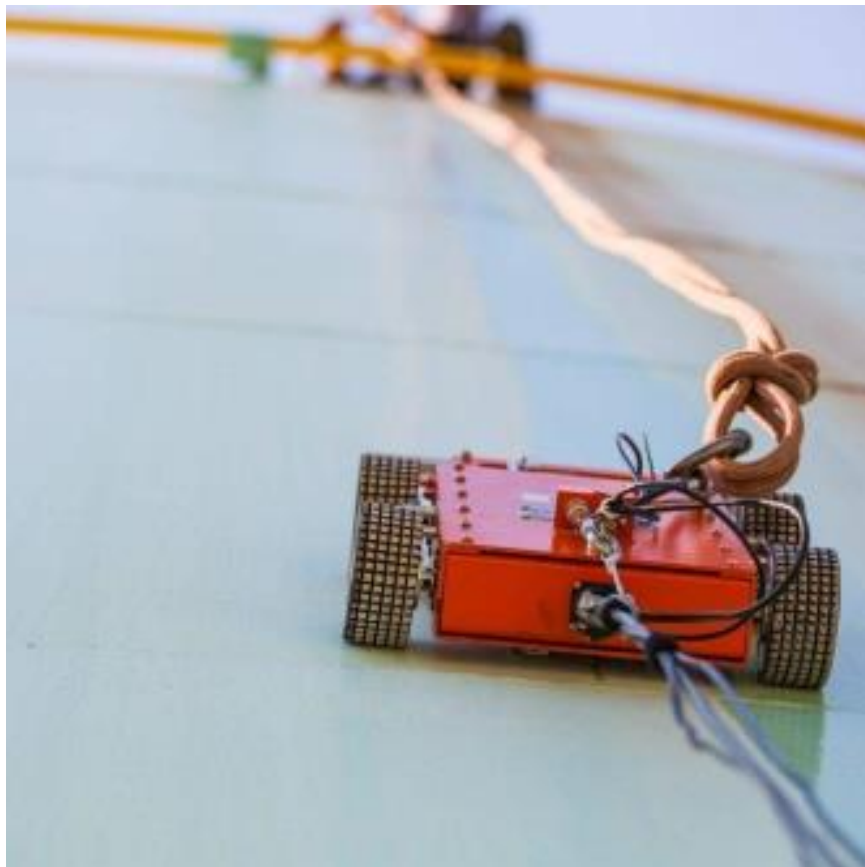
МАГАТЭ опубликовало в 2015 году специальный доклад о выводе из эксплуатации бассейнов выдержки ОЯТ на АЭС.<sup>19</sup>

## Робототехника

Четырехлетняя программа Робототехника для инспектирования и технического обслуживания (Robotics for Inspection and Maintenance, RIMA) предусматривает изучение возможности внедрения проектов, которые позволят повысить производительность и безопасность во всех областях промышленности, включая энергетику, нефтегазовую отрасль, водоснабжение, транспорт, строительство и сферу обслуживания населения, в том числе оценку жизнеспособности использования робототехники в атомной промышленности.

RIMA работает в партнерстве с Европейским ядерным форумом (*FORATOM*), работу которой координирует Французская комиссия альтернативной энергии и атомной энергии (CEA).

Проект будет фокусироваться на использовании робототехники для инспекции и технического обслуживания, а также для создания 13 центров цифровых инноваций во всех сферах промышленности, включая атомную энергетику, где будут решаться задачи от составления карт загрязнений до дезактивации радиоактивных объектов в процессе вывода из эксплуатации.



Благодарность RIMA за предоставленное фото

Робототехника и новые технологии сталкиваются с проблемой, которая очень специфична для атомной промышленности: как быть инновационным в строго регулируемой отрасли, которая должна учитывать процесс планирования, проектирования, строительства и эксплуатации АЭС, в течение до 100 лет.



Дэн Сербанеску (Dan Serbanescu), независимый эксперт проектов, обращает внимание<sup>20</sup>: *“Вы должны найти баланс между предложением чего-то нового, с одной стороны, и наличием стандартной испытанной технологии, с другой. Достаточно легко создать робота. Очень тяжело получить лицензию на этого робота для использования в атомном проекте.”*

Натан Патерсон (Nathan Paterson), старший советник по вопросам внедрения технологий Европейского ядерного форума (FORATOM), добавляет: *“Каждая компания, проект которой будет отобран, получит до €300,000 финансирования без налогообложения, доступ ускоренного прохождения экспертизы в сети цифровых инновационных центров, деятельность которых призвана помочь процессу инноваций и коммерциализации новых робототехнических решений I&M в Европе”<sup>21</sup>.*

Проект уже на первом этапе получил 121 заявку, 10% которых связаны с технологическими решениями в атомной промышленности.

В финском **научно-исследовательском центре VTT** в настоящее время анализируются возможностей компании Delete, участника проекта dEComm, для которой промышленная очистка является значительной частью бизнеса. Оценивается возможность использования роботов-подрывников для сноса зданий в процессе вывода из эксплуатации ядерных объектов.

Полностью автономные решения по-прежнему вряд ли будут достаточно продвинутыми, чтобы их можно было рассматривать. В то же время, Управление по выводу из эксплуатации ядерных объектов Великобритании (NDA) уже присматривается к технологии, разработанной компанией Критек (*Createc*), которая использует робототехнику в сочетании с виртуальной реальностью в реальном времени для вывода из эксплуатации ядерного центра Селлафилд (Sellafield).

Патерсон (*Patteerrson*) подмечает *“Мы ищем решения, каким образом эти технологии можно применять для очистки или уменьшения размеров радиоактивных элементов, перемещения их внутри определенных рабочих зон или таких операций как разукрупнение этих предметов за счет резки, изменение формы и т.п.”<sup>22</sup>*

## **Неоднозначный опыт США**

Как отметил в апреле 2020 года в своем интервью Международному журналу по технике и технологиям Ричард Рейд (Richard Reid), технический директор Научно-исследовательского института электроэнергетики (Electric Power Research Institute, EPRI) в Шарлот, Северная Каролина): *“Ключевой побуждающий фактор поиска инновационных решений – возможность сократить сроки реализации проектов”<sup>23</sup>.*

По сообщению Института ядерной энергии (Nuclear Energy Institute, NEI) АЭС Вермонт Янки (Vermont Yankee) является хорошим положительным примером. АЭС была окончательно остановлена в 2014 году, и согласно первоначальному плану вывода из эксплуатации, должна была эксплуатироваться в режиме без генерации энергии до 2068 года, когда должна была начаться работа по дезактивации и выводу из эксплуатации. Согласно утвержденному графику, площадка была бы полностью очищена и восстановлена к 2075 году. Однако, при современном подходе NorthStar планирует начать вывод из эксплуатации раньше и завершить восстановление площадки полностью к 2030 году. Рейд говорит, что это реальный срок для нового проекта по выводу из эксплуатации: *“Типичная длительность проекта по выводу из эксплуатации составляет сегодня 10 лет”<sup>24</sup>.*

**Изучение особого случая: будет ли проведено «Атомное Вскрытие» (Atomic Autopsy) АЭС Индиан Пойнт (Indian Point) в штате Нью-Йорк?**



Энергетический центр *Индиан-Пойнт* находится на берегу реки Гудзон в округе Вестчестер (штат Нью-Йорк) – всего в 30 милях (40 км) от Нью-Йорка. Первый из трех его реакторов был остановлен в 1974, третий блок будет остановлен 30 апреля 2021, и это решение было принято после продолжительных споров.

Национальная антиядерная группа *БезЯдерный* (*Beyond Nuclear*<sup>25</sup>), США, базирующаяся в Такома Парке (Takoma Park), близ Вашингтона, требовала, чтобы останавливаемые реакторы «вскрывались» в соответствии с требованием процедур продления лицензии на эксплуатацию АЭС, установленных Комиссией по Ядерному Регулированию (US Nuclear Regulatory Commission, NRC).

Пол Гюнтер, директор Проекта *Beyond Nuclear* по надзору за работой ядерных реакторов также требовал провести «аутопсию». Концепция «аутопсии» уже давно продвигается аккредитованными национальными лабораториями США и штатными сотрудниками *NRC*, но ее реализация постоянно блокируется – по непонятной причине – представителями атомной промышленности.

*“Аутопсия должна стать важной и обязательной особенностью процесса вывода из эксплуатации ядерных объектов. Все более рискованно – эксплуатировать устаревшие атомные реакторы, проектный срок эксплуатации которых 40 лет, продлевать до 80 лет, не обладая ясным пониманием того насколько существующий износ скажется на эксплуатации и каков запас надежности элементов оборудования, которые, в случае их выхода из строя, подвергнут опасности здоровье и жизнь миллионов американцев,”*<sup>26</sup> - сказал Гюнтер.

Он дополнил: *“Существует научно-признанное, но критически отсутствующая звено между выводом из эксплуатации стареющих экономически неэффективных АЭС и агрессивной настойчивостью атомной промышленности продлять лицензии на эксплуатацию сокращающегося парка АЭС нашей страны.*

*Лабораторные анализы образцов различных стареющих материалов могли бы научно подтвердить прогнозируемый запас безопасности ядерного реактора для его текущей эксплуатации и продления эксплуатационной лицензии.*

*Рационально было бы взять образцы материалов электрических кабелей, протянувшихся на сотни километров, из бетонных контейнментов и стен корпуса ядерного реактора.*

*Закрытие АЭС Индиан Пойнт 2 (Indian Point 2) позволит осуществить стратегически важный сбор данных о состоянии металлических элементов, металлических швов, бетона и исследовать изношенные материалы из ранее недоступных мест и незаменимых систем аварийной защиты».*

*Beyond Nuclear* напоминает, что в отчете «Критерии и руководство по планированию сбора информации для обоснования решения о продлении лицензии остановленных АЭС» (декабрь 2017г.) Тихоокеанской северо-западной национальной лаборатории (*Pacific Northwest National Laboratory, PNNL*), выполненном по контракту с NRC, настойчиво рекомендует проводить NRC совместно с национальными лабораториями и атомной промышленностью, стратегически важную аутопсию остановленных реакторов, число которых постоянно растет. В отчете, также, отмечалось, что существование значительная неопределенность в скорости ухудшения характеристик оборудования при его старении “*требует проведения сравнительного анализа образцов материалов с выводимых из эксплуатации и эксплуатируемых реакторов*” до одобрения лицензии на продление службы ядерного объекта.

*Beyond Nuclear* отмечают, что они подняли вопрос об отчете PNNL и рекомендациях лаборатории на встрече с общественностью, организованной NRC в сентябре 2018 года. Сразу же по завершению встречи NRC без объяснения причин неожиданно удалила отчет с открытого веб-сайта национальной лаборатории, сайтов отдела научно-технической информации Министерства энергетики США и Международной системы ядерной информации ИНИС МАГАТЭ (*International Nuclear Information System INIS*)

NRC выпустило отредактированный отчет в марте 2019 года, который теперь доступен только на сайте NRC, а в самом тексте не упоминается стратегически «необходимый» сбор данных при выводе из эксплуатации АЭС, а также многочисленные упоминания о существующих «пробелах» в научных и технических знаниях.

Активисты *Beyond Nuclear*<sup>27</sup> отмечают, что уже упущено несколько возможностей проведения сбора стратегически важных образцов материалов с постоянно закрывающихся реакторов.

Так произошло на АЭС Янки Роу (*Yankee Rowe*) в Массачусетсе и АЭС Троян (*Trojan*) в Орегоне в 1990-х, когда сотрудники NRC и заинтересованные группы общественности просили изъять и сохранить для лабораторных анализов металлические образцы корпуса ядерного реактора, которые наглядно свидетельствовали о процессах охрупчивания и сохранить их для лабораторных анализов, результаты которых учесть при обращениях о продлении лицензии (с 40 до 60 лет).

## **Другие наработки США**

Более 20 американских АЭС в настоящий момент проходят ту или иную стадию вывода из эксплуатации. Это количество будет только увеличиваться, учитывая, что заявления о закрытии АЭС следуют одно за другим и в первую очередь по причине низких цен на электроэнергию, не увеличивающихся в течение длительного периода времени.

Согласно исследованию, проведенному в 2011 году Исследовательским институтом по электроэнергетике (*Electric Power Research Institute, EPRI*<sup>28</sup>), затраты на оплату труда составляют в среднем 44% от общих затрат на снятие с эксплуатации, а более длительные сроки влекут за собой больший нормативный и стоимостный риски.

В феврале 2017 компания Арева (ныне Орано) и Норстар (*Northstar*) объявили о создании новой объединенной компании по выводу из эксплуатации, которая сможет приобрести в «*полную и постоянную*» собственность весь объект, включая отработавшее ядерное топливо.

Новая совместная компания Партнеры по ускоренному выводу из эксплуатации (*Accelerated Decommissioning Partners, ADP*), была нацелена на предоставление универсального окончательного решения по выводу из эксплуатации оператору АЭС. ADP заявила, что она предоставит все

необходимые нормативные, технические и финансовые экспертные знания для выполнения всего процесса вывода из эксплуатации.

На этапе слияния, две компании уже были вовлечены в процессы заключительного этапа действия лицензии и вывода из эксплуатации более чем 10 ядерных установок, лицензии которым выданы NRC (Комиссия по ядерному регулированию США).

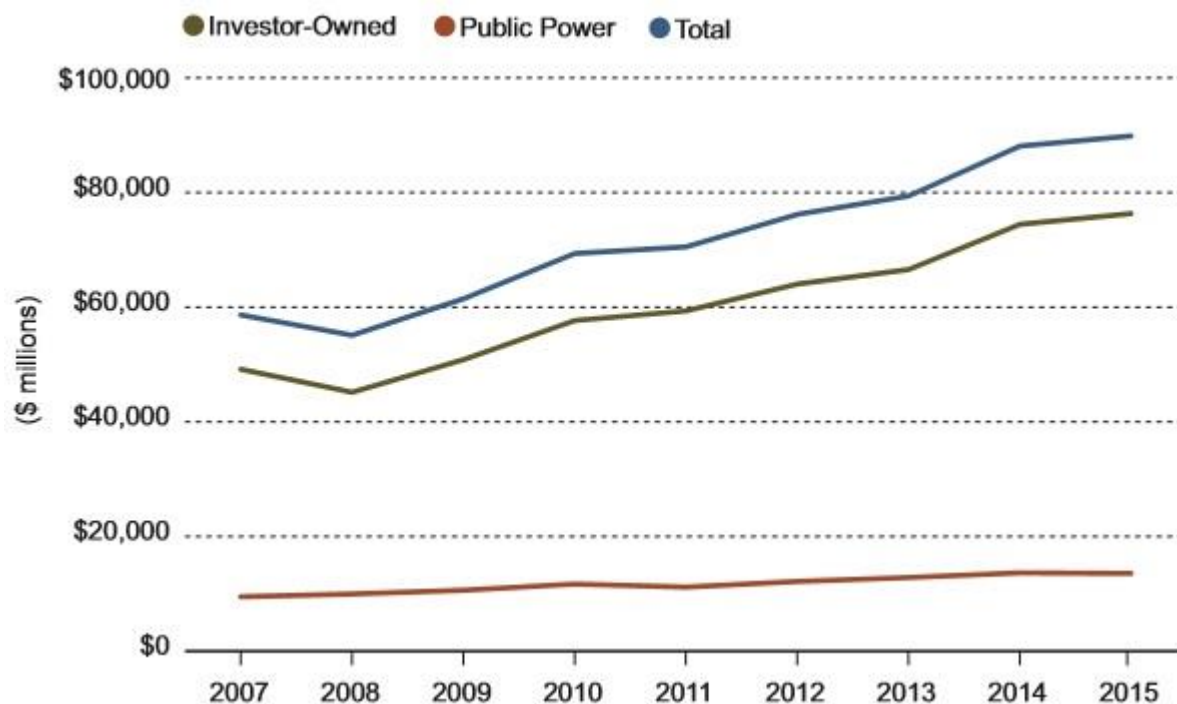


Рис. 1. Ежегодные затраты<sup>29</sup> на вывод из эксплуатации АЭС в США (миллион долларов США),

*Investor-owned* - средства частных компаний - владельцев,

*Public Power* - средства энергетического управления США,

*Total* - общая сумма затрат.

В декабре 2016 года компании Энерджи Солюшинс (EnergySolutions) и АЕКОН (AECOM) объявили, что их совместная компания по выводу из эксплуатации СОНГС Декомиссионинг Солюшинс (SONGS Decommissioning Solutions) выиграла контракт по выводу из эксплуатации АЭС СОНГС (San Onofre Nuclear Generating Station, SONGS),<sup>30</sup> в Калифорнии, принадлежащей компании Эдисон Южная Каролина (Southern California Edison).

Оценочная стоимость проекта по выводу из эксплуатации была заявлена на уровне \$4.4 млрд. и включала демонтаж, обращение с отработавшим топливом, дезактивацию и восстановление площадки в течение 20 лет. АЕКОН уже имела опыт по удалению загрязненных компонентов, систем и по сносу конструкций, не относящихся к обеспечению безопасности. Предыдущие проекты компании включают работы на гигантском заводе по обогащению урана в Оук-Ридже Департамента Энергии (DOE) США в штате Теннесси.

Десятилетиями накопленный опыт Энерджи Солюшинс (EnergySolutions)<sup>31</sup> включает в себя участие в нескольких проектах по выводу из эксплуатации, включая АЭС Зион (Zion) мощностью 1.0 ГВт в штате Иллинойс, которая принадлежит корпорации Эксион и реактора с кипящей водой АЭС



Ла Кросс (LACBWR) мощность 50 МВт, принадлежащей Дайриланд Пауэ Кооператив (Dairyland Power Cooperative, DPC) в штате Висконсин.

### Технологические инновации

Сэм Шакир (Sam Shakir), на тот момент исполнительный директор отдела ядерных материалов *Арева Нуклеар Материалс (Areva Nuclear Materials, ANM)* (в настоящий момент президент и исполнительный директор *Орано (Orano)*, США, рассказал в своем интервью 2017 года «Инсайдеру атомной энергетики»<sup>32</sup>, что новые инструменты и многозадачные стратегии были «внедрены, чтобы кардинальным образом сократить этапы транспортировки отработавшего ядерного топлива и фрагментирования реактора в качестве новых бизнес-моделей, объединяющих в себе техническую инновацию и финансовую экспертизу для сокращения стоимости работ».



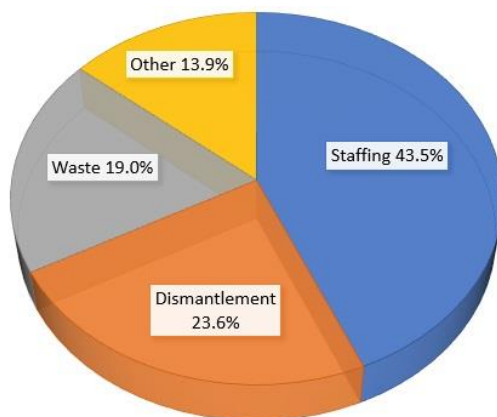
Ускорение процессов транспортировки ОЯТ, фрагментирования и демонтажа реактора уменьшит расходы на вывод из эксплуатации. Благодарность за предоставленные фотоматериалы: Areva/ E.ON.

По мере того как компании, специализирующиеся на обращении с ядерными отходами и выводе из эксплуатации образовали несколько совместных предприятий - объединяя техническую экспертизу и финансовую безопасность - и позиционировали себя подготовленными к возрастающим потребностям в выводе из эксплуатации все новых объектов - эти совместные предприятия заинтересовались получением лицензий на эксплуатацию АЭС и имущественных обязанностей по отработавшему топливу для того, чтобы “повысить эффективность сводного проекта.”

По заявлению Шакира, новейшие технологии и рациональные стратегии позволят завершить демонтаж и дезактивацию (D&D) в течение 5 лет от момента остановки реактора. «*Это очевидно посылно для нас, так как мы существенно сокращаем продолжительность перемещения ОЯТ*», - сказал Шакир.

Текущие расходы на обслуживание остановленного реактора с отработанным топливом в бассейне охлаждения варьируются от \$25 до \$30 миллионов в год, что обусловлено потребностями в оплате труда. Расходы снижаются существенно после транспортировки отработанного топлива в сухой могильник независимого хранилища отработавшего ядерного топлива (*Independent Spent Fuel Storage Installation, ISFSI*)

## Расходы на вывод из эксплуатации ядерного объекта (ориентировочно)<sup>33</sup>



*Staffing – расходы на персонал*

*Dismantlement – расходы на демонтаж*

*Waste – расходы на обращение с ядерными отходами*

*Other – прочие расходы*

### Германия

Среди компаний по выводу из эксплуатации, имеющих крупную долю акций Германии, можно отметить канадскую Вестингауз (Westinghouse), чей контракт на «сегментацию» шести реакторов в Германии в 2018 году удвоился портфелем заказов на демонтаж АЭС в Европе.

Джозеф Букау (Joseph Boucau), директор Вестингауза по глобальному развитию бизнеса дезактивации, демонтажа и обращению с ядерными отходами, в интервью Инсайдеру Атомной Энергетики (Nuclear Energy Insider) отметил, что компания производит новые механические режущие инструменты чтобы повысить эффективность параллельно реализуемых проектов.

Деятельность по выводу из эксплуатации европейских АЭС из года в год растет по мере того, как стареющие АЭС подходят к завершению проектного срока эксплуатации 40 лет, и их лицензии не продлеваются.

Контракт Вестингауз на демонтаж внутренних частей шести корпусных реакторов с водой под давлением компании Preussen Elektra в Германии стал вызовом, который позволил компании доказать свою состоятельность с учетом недавно полученного опыта по выводу из эксплуатации и продемонстрировать способность оптимизировать свои ресурсы.

Вестингауз входит в концерн Церкон (Zerkon), ведущим предприятием которого является Общество ядерных услуг Германии (Germany's GNS). Концерн выиграл контракт по демонтажу и упаковке внутрикорпусных узлов реактора в январе 2018 года.

У Вестингауза заключены контракты по сегментированию 13 ядерных реакторов в Европе, и в настоящий она занимается демонтажем на четырех площадках.

Первая АЭС компании Прессен Электра (PreussenElektra), которая должна быть демонтирована – АЭС Унтервезер (Unterweser) мощностью 1.4 ГВт в земле Нижняя Саксония. Эта АЭС была причиной затяжного антиядерного протеста, длившегося более 40 лет на северо-западе Германии.

Компания Прессен Электра получила лицензию проводить вывод из эксплуатации корпусного водо-водяного энергетического реактора в феврале 2018 года. Партнеры Церкона используют опыт,

полученный в ходе реализации проекта для того, чтобы усовершенствовать инструменты и методы реализации вывода из эксплуатации пяти других реакторов, контракты по которым начнут выполняться в ближайшие годы с очередностью, обеспечивающей оптимальность процесса. Вестингауз планирует одновременный демонтаж двух реакторов, чтобы максимально повысить производительность, координируя график выполнения работ в соответствии с требованиями эксплуатирующей организации.

*“Мы планируем реализовывать мероприятия программы в шахматном порядке для того, чтобы достигнуть оптимальной эффективности,”*<sup>34</sup> - подчеркнул Букау.

Вестингауз и компания GNS, специализирующаяся на упаковке радиоактивных отходов, используют новейшее программное обеспечение по 3-D моделированию в целях оптимизации процессов демонтажа и упаковки внутрикорпусных узлов реактора. Это позволит компании Вестингауз сформировать перечень инструментов необходимых для оптимизации мероприятий по выводу из эксплуатации для всех европейских проектов.

В ближайшие годы могут усовершенствоваться методы резки. В соответствии с исследованием Научно-исследовательского института электроэнергетики США (EPRI) применение методов тепловой дуговой резки швов, подводных лазеров и автоматических систем позволит сократить длительность и стоимость проектов по фрагментированию реакторов.

Reactor	Country	Work scope	Start of site activities
Chooz A	France	RPV, upper and lower internals	2016
Barseback 1 & 2	Sweden	All reactor vessel internals	2016
Philippsburg 1	Germany	All reactor vessel internals	2017
Neckarwestheim 1	Germany	Upper & lower internals	2017
Bohunice V1 (2 units)	Slovakia	Full primary system	2019
Unterwese	Germany	All reactor vessel internals	2019
Grafenrheinfeld	Germany	All reactor vessel internals	2021
Isar 1	Germany	All reactor vessel internals	2022
Grohnde	Germany	All reactor vessel internals	2023
Isar 2	Germany	All reactor vessel internals	2024
Brokdorf	Germany	All reactor vessel internals	2027

### Контракты Вестингауза по фрагментированию реакторов в Европе <sup>35</sup>

Reactor – название энергоблока АЭС;

Country – страна размещения энергоблока АЭС;

Work scope – объем работ;

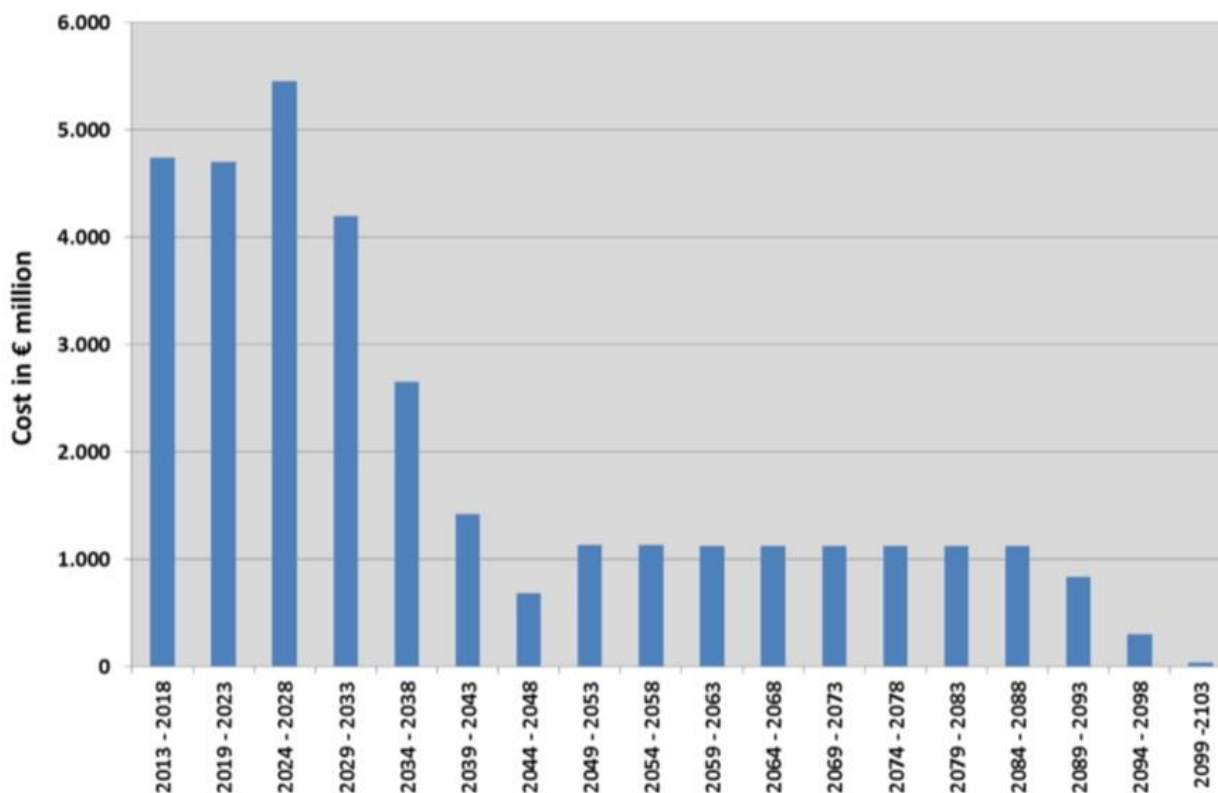
Start of site activities – начало мероприятий на площадке;

RPV – корпус реактора;

Upper and lower internals – верхние и нижние внутрикорпусные конструкции реактора;

All reactor vessel internals – все внутрикорпусные конструкции реактора;

Full primary system – полностью система первого контура.



Расходы частных компаний подрядчиков на вывод из эксплуатации ядерных объектов Германии, без учета захоронения (млн. Евро). Всего 34 миллиарда Евро<sup>36</sup>.

## Финляндия

Финляндия рассматривается в мировом ядерном сообществе как флагман в достижениях по окончательной изоляции радиоактивных отходов, поскольку разработчик ядерных технологий Посива (Posiva), принадлежащая финским электроэнергетическим компаниям Фортум (Fortum) и Теоллисууден Войма (Teollisuuden Voima), продвигает глубинное геологическое хранилище Onkalo рядом со своей АЭС на острове Олкилуото, на юго-западе Финляндии, примерно в 240 километрах от столицы, Хельсинки<sup>37</sup>. А инженеры-исследователи Центра технических исследований Финляндии ВТТ (Finland's VTT Technical Research Centre) работают над ускорением процессов вывода из эксплуатации, сокращением их стоимости и повышением эффективности этих работ<sup>38</sup>. Научно-исследовательский проект dEComm центра ВТТ начался в 2019 году, его бюджет составил 1.3 миллиона Евро (\$1.4 миллиона), а завершение запланировано на конец 2021 года.

Лаборатория виртуальной реальности центра ВТТ (VTT's Virtual Reality Laboratory), расположенная в Тампере, оценивает возможности применения виртуальной и дополненной реальности для повышения безопасности и совершенствования планирования работ в машиностроении, строительстве, а теперь и в проектах по выводу из эксплуатации ядерных объектов.

Старший научный сотрудник Тапани Рююнянин (Tapani Ruunänen) отмечает: *“Мы стараемся привлечь как можно больше финских компаний в атомную отрасль, а те компании, которые уже задействованы, например, являются экспертами по выводу из эксплуатации, мотивируем создавать корпоративные сети, которые привнесут в отрасль новые технологии и услуги.”*<sup>39</sup>



Для реализации проекта dEComм объединились такие компании как BMH Technology (промышленные отходы), Ekonia (технология измерения качества воздуха), Delete (применение робототехники для промышленного сноса зданий и очистки), Fortum (энергетическая группа), Dust Shelter (системы защитных сооружений для строительных площадок), Sweco (консультационный инжиниринг) и TVO (ядерные энергетические установки).

По расчетам Рююнянина, только 20% любого проекта по выводу из эксплуатации связаны непосредственно с ядерными компонентами АЭС.

Как рассказал Инсайдеру атомной энергетики (Nuclear Energy Insider) в своем недавнем интервью Николас Руотсалайнен (Nicolas Ruotsalainen), менеджер по международной торговле компании Delete: *“Наша основная специализация – разборка зданий. У нас большой опыт по сносу зданий из различных материалов, поэтому нас можно рассматривать в качестве экспертов и по работе с опасными материалами, и это открывает перед нами уникальные перспективы. Если анализировать наличие на рынке роботов по сносу зданий, то предложение довольно ограниченное, но у нас большой опыт применения этих роботов и настройка их под конкретные требования клиента для демонтажа и сноса”*<sup>40</sup>.

Инженеры Sweco заняты разработкой «моделей дополненной и виртуальной реальности», которые позволят выполнить полный анализ рисков процессов, протекающих на АЭС, находясь за пределами площадки, а также использовать искусственный интеллект для моделирования процессов. Компания утверждает, что благодаря автоматизации и интеллектуальному управлению данными они могут снизить затраты и время, необходимое для вывода из эксплуатации.

Возможность выполнить точное отображение площадки неопределимо для всех участников проекта, также, как и для контролирующих организаций, особенно на этапе планирования.

Маркус Аирила (Markus Airila), менеджер проекта по выводу из эксплуатации исследовательского реактора ФиР-1 (FiR 1) в ВТТ: *“Когда у вас есть визуальное изображение происходящего, это положительно влияет на взаимодействие всех заинтересованных лиц и упрощает понимание поставленных задач. Вы просто лучше работаете, когда у вас есть качественные наглядные материалы для объяснения, особенно если вы имеете дело с кем-то, кто раньше не работал в атомной промышленности»*<sup>41</sup>.

В настоящий момент специалисты ВТТ находятся на стадии анализа вывода из эксплуатации исследовательского реактора ФиР -1 и подходят к этапам демонтажа и обращения с ОЯТ. Работа по выводу из эксплуатации этого первого исследовательского реактора Финляндии мощностью всего 250 кВт, будет показателем жизнеспособности проекта dEComм.

ВТТ отдала контракт по выводу из эксплуатации исследовательского реактора энергетической компании Fortum в начале апреля этого года.

## **Международные форумы**

**Европейская Конференция по выводу из эксплуатации ядерных установок, 5-6 мая, 2015, Манчестер, Великобритания.**<sup>42</sup>

Европа не отличается: во Франции, Великобритании и России самая высокая рыночная стоимость процессов вывода из эксплуатации. Она обойдется этим странам до 2025 года соответственно в €17.3 млрд., €15 млрд. и €10.8 млрд.

Фактически более трети из 144 в работающих сейчас реакторов в 28 странах Евросоюза, должны начать вывод из эксплуатации к 2025 году.

Значительная неопределенность реальной стоимости процессов вывода из эксплуатации, кадровый дефицит инженеров-ядерщиков и тот факт, что только десять реакторов к настоящему времени полностью выведены из эксплуатации, повышает сложность этой задачи.

Наряду с таким время от времени возникающими проблемами, как график вывода и стоимость мероприятий, возникают другие важные вопросы, которые нельзя игнорировать. Авария на Фукусиме повысила уровень осведомленности о ядерной безопасности во всем мире, подчеркивая необходимость долгосрочного, надежного варианта окончательного захоронения отходов.

Умение управлять рисками, сотрудничество с малым и средним бизнесом и грамотное использование ограниченных кадровых ресурсов – эти факторы будут жизненно важными для того, чтобы двигаться вперед и решать проблемы. Если посмотреть на ситуацию с другой стороны, большое количество проектов по выводу из эксплуатации ядерных объектов открывает новые широкие возможности для выстраивания экономических связей предприятиями атомной отрасли.

В ближайшие годы можно ожидать, что на каждом уровне экономических связей у предприятий атомной отрасли будут появляться новые заказы и необходимость в поиске новых решений. Недавнее объявление Управления по выводу из эксплуатации ядерных объектов (Nuclear Decommissioning Authority) Великобритании о продлении ежегодного проекта наставничества в отношении предприятий среднего и малого бизнеса, только подчеркивает перспективы и возможности для инновационных компаний войти в атомный сегмент экономики<sup>43</sup>.

- 1 International Politics of Nuclear Waste, Macmillan. St. Martin's Press, 1991 <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-1-349-21246-0>
- 2 Decommissioning of Nuclear Power Plants: Proceedings of a European Conference held in Luxembourg, 22–24 May 1984 [https://books.google.ru/books/about/Decommissioning\\_of\\_Nuclear\\_Power\\_Plants.html?id=\\_NbsCAAQBAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.ru/books/about/Decommissioning_of_Nuclear_Power_Plants.html?id=_NbsCAAQBAJ&redir_esc=y)
- 3 Общественный совет южного берега Финского залива <http://decommission.ru/>
- 4 Peter Waggitt <https://125.ausimm.com/profile/peter-waggitt/>
- 5 Peter Waggitt, Uranium mining legacies remediation and renaissance development: an international overview Am Modena Park 12/8, A-1030, Vienna, Austria [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-87746-2\\_2](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-87746-2_2)
- 6 Dr David Lowry, United Kingdom, Uranium Exploitation and Environmental racism: Why environmental despoliation and the ignorance of radiological risks of uranium mining cannot be justified by the nuclear weapons states for the procurement of the raw stock material for their nuclear explosives, Conference on the Humanitarian Impact of Human Weapons 8-9 December 2014, Hofburg Palace Vienna, Austria, [www.bmeia.gv.at/fileadmin/user\\_upload/Zentrale/Aussenpolitik/Abruestung/HINW14/Statements/HINW14\\_Statement\\_David\\_Lowry.pdf](http://www.bmeia.gv.at/fileadmin/user_upload/Zentrale/Aussenpolitik/Abruestung/HINW14/Statements/HINW14_Statement_David_Lowry.pdf)
- 7 Peter W. Waggitt, Uranium Mine Rehabilitation: The Story of the South Alligator Valley Intervention, Journal Environ. Radioact., 2004, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15245840/>
- 8 Canadian Coalition for Nuclear Responsibility <http://www.ccnr.org/>
- 9 Matt Flowers, What you need to know about the Port Hope Area radioactive waste cleanup, November 09, 2016 <http://www.waterkeeper.ca/blog/2016/11/8/what-you-need-to-know-about-the-port-hope-area-radioactive-waste-cleanup>
- 10 Dr. David Lowry, UK, Uranium Exploitation and Environmental racism: Why environmental despoliation and the ignorance of radiological risks of uranium mining cannot be justified by the nuclear weapons states for the procurement of the raw stock material for their nuclear explosives, Vienna Conference on the Humanitarian Impact of Human Weapons 8-9 December 2014, Hofburg Palace Vienna, Austria, [https://www.bmeia.gv.at/fileadmin/user\\_upload/Zentrale/Aussenpolitik/Abruestung/HINW14/Statements/HINW14\\_Statement\\_David\\_Lowry.pdf](https://www.bmeia.gv.at/fileadmin/user_upload/Zentrale/Aussenpolitik/Abruestung/HINW14/Statements/HINW14_Statement_David_Lowry.pdf)
- 11 Harvey Wasserman & Norman Solomon, with Robert Alvarez & Eleanor Walters, “Killing Our Own The Disaster of America's Experience with Atomic Radiation, 1945-1982”, 1992 <https://ratical.org/radiation/KillingOurOwn/>
- 12 This is how the plutonium experiment started at Dounreay, The National, 26th April 2020 (Вот как начался эксперимент с плутонием в Доунри, [www.thenational.scot/news/18405856.plutonium-experiment-started-dounreay/](http://www.thenational.scot/news/18405856.plutonium-experiment-started-dounreay/))
- 13 Nick Messenger, Building careers in nuclear decommissioning, April 8, 2020, [www.neimagazine.com/features/featurebuilding-careers-in-nuclear-decommissioning-7865269/](http://www.neimagazine.com/features/featurebuilding-careers-in-nuclear-decommissioning-7865269/)

- 14 Nick Messenger , Building careers in nuclear decommissioning, April 8, 2020, [www.neimagazine.com/features/featurebuilding-careers-in-nuclear-decommissioning-7865269/](http://www.neimagazine.com/features/featurebuilding-careers-in-nuclear-decommissioning-7865269/)
- 15 Triple clean-up at Magnox ponds <https://nda.blog.gov.uk/2020/03/10/triple-clean-up-at-magnox-ponds/>
- 16 Divers vs robotics for nuclear decommissioning & remediation <https://www.uccdive.com/blog/divers-vs-robotics/>
- 17 Underwater Construction Corporation: <https://www.uccdive.com/>
- 18 What is the difference between an AUV and an ROV? <https://oceanservice.noaa.gov/facts/auv-rov.html>
- 19 Decommissioning of Pools in Nuclear Facilities6 No. NW-T-2.6, 2015, [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1697\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1697_web.pdf)
- 20 Paul Day, Robots face nuclear challenge in European project, Reuter Events Nuclear, April 28, 2020 <https://analysis.nuclearenergyinsider.com/robots-face-nuclear-challenge-european-project>
- 21 Paul Day, Robots face nuclear challenge in European project, Reuter Events Nuclear, April 28, 2020 <https://analysis.nuclearenergyinsider.com/robots-face-nuclear-challenge-european-project>
- 22 Paul Day, Robots face nuclear challenge in European project, Reuter Events Nuclear, April 28, 2020 <https://analysis.nuclearenergyinsider.com/robots-face-nuclear-challenge-european-project>
- 23 Nick Messenger, Building careers in nuclear decommissioning, Nuclear Engineering International, 8 April 2020 <https://www.neimagazine.com/features/featurebuilding-careers-in-nuclear-decommissioning-7865269/>
- 24 Nick Messenger, Building careers in nuclear decommissioning, Nuclear Engineering International, 8 April 2020 <https://www.neimagazine.com/features/featurebuilding-careers-in-nuclear-decommissioning-7865269/>
- 25 Beyond Nuclear [www.beyondnuclear.org/home/2020/4/29/beyond-nuclear-reports-first-in-series-indian-point-2-closes.html](http://www.beyondnuclear.org/home/2020/4/29/beyond-nuclear-reports-first-in-series-indian-point-2-closes.html);
- 26 Paul Gunter, Indian Point nuclear reactor closing April 30 should be “autopsied” Analysis can reveal hazards of U.S. reactors being licensed for 80 years, NEWS FROM BEYOND NUCLEAR, April 28, 2020, Beyond Nuclear [http://static1.1.sqspcdn.com/static/f/356082/28291105/1588091425997/Indian+Point+press+statement\\_4\\_28\\_2020.pdf?token=vY5r5TiqWXJLBCsoru2jMENepI%3D](http://static1.1.sqspcdn.com/static/f/356082/28291105/1588091425997/Indian+Point+press+statement_4_28_2020.pdf?token=vY5r5TiqWXJLBCsoru2jMENepI%3D)
- 27 Paul Gunter, Beyond Indian Point nuclear reactor closing April 30 should be “autopsied” Analysis can reveal hazards of U.S. reactors being licensed for 80 years6 TAKOMA PARK, MD, April 28, 2020 [http://static1.1.sqspcdn.com/static/f/356082/28291105/1588091425997/Indian+Point+press+statement\\_4\\_28\\_2020.pdf?token=vY5r5TiqWXJLBCsoru2jMENepI%3D](http://static1.1.sqspcdn.com/static/f/356082/28291105/1588091425997/Indian+Point+press+statement_4_28_2020.pdf?token=vY5r5TiqWXJLBCsoru2jMENepI%3D)
- 28 Electric Power Research Institute <https://www.epri.com/>
- 29 2016 Nuclear Decommissioning Funding Study. NDT Fund Balances, Annual Contributions, and Decommissioning Cost Estimates as of December 31, 2015, Callan Institute <https://www.callan.com/wp-content/uploads/2017/01/Callan-2016-Nuclear-Decommissioning-Funding-Study.pdf>
- 30 Вывод из эксплуатации АЭС СОНГС <https://www.songscommunity.com/news/releases/southern-california-edison>
- 31 Новые модели владения реактором установлены для сокращения затрат на вывод из эксплуатации, Reuters Events Nuclear, March 8, 2017, <https://analysis.nuclearenergyinsider.com/new-reactor-ownership-models-set-cut-decommissioning-costs>
- 32 Areva рассматривает пятилетние сроки вывода из эксплуатации по более быстрой модели, Reuters Events Nuclear, September 13, 29017, <https://analysis.nuclearenergyinsider.com/areva-eyes-five-year-decommissioning-timelines-under-faster-model>
- 33 Areva рассматривает пятилетние сроки вывода из эксплуатации по более быстрой модели, Reuters Events Nuclear, September 13, 29017, <https://analysis.nuclearenergyinsider.com/areva-eyes-five-year-decommissioning-timelines-under-faster-model>
- 34 Westinghouse adapts reactor saws as Germany deal tests scaling gains, Reuters Events Nuclear, June 20, 2018 <https://analysis.nuclearenergyinsider.com/westinghouse-adapts-reactor-saws-germany-deal-tests-scaling-gains>
- 35 Westinghouse adapts reactor saws as Germany deal tests scaling gains, Reuters Events Nuclear, June 20, 2018 <https://analysis.nuclearenergyinsider.com/westinghouse-adapts-reactor-saws-germany-deal-tests-scaling-gains>
- 36 Westinghouse adapts reactor saws as Germany deal tests scaling gains, Reuters Events Nuclear, June 20, 2018 <https://analysis.nuclearenergyinsider.com/westinghouse-adapts-reactor-saws-germany-deal-tests-scaling-gains>
- 37 World’s first nuclear waste storage facility in Finland moves forward, Energy live news, August 2, 2019 <https://www.energylivenews.com/2019/08/02/worlds-first-nuclear-waste-storage-facility-in-finland-moves-forward/>
- 38 Finland pools resources to streamline plant decommissioning, Reuters events nuclear, April 15, 2020 <https://analysis.nuclearenergyinsider.com/finland-pools-resources-streamline-plant-decommissioning>
- 39 Finland pools resources to streamline plant decommissioning, Reuters events nuclear, April 15, 2020 <https://analysis.nuclearenergyinsider.com/finland-pools-resources-streamline-plant-decommissioning>
- 40 Finland pools resources to streamline plant decommissioning, Reuters events nuclear, April 15, 2020 <https://analysis.nuclearenergyinsider.com/finland-pools-resources-streamline-plant-decommissioning>
- 41 Finland pools resources to streamline plant decommissioning, Reuters events nuclear, April 15, 2020 <https://analysis.nuclearenergyinsider.com/finland-pools-resources-streamline-plant-decommissioning>

- 42 6th Nuclear Decommissioning Conference Europe Annual 2015 5-6 MAY 2015 | RADISSON BLU AIRPORT, MANCHESTER, UK, Nuclear Energy Insider, 2015 [http://img03.en25.com/Web/FCBusinessIntelligenceLtd/%7Be877635f-6be3-427f-b8f0-a5ff26180568%7D\\_3502\\_Brochure\\_2.pdf?utm\\_campaign=3502%20Brochure%20Autoresponder&utm\\_medium=email&utm\\_source=Eloqua](http://img03.en25.com/Web/FCBusinessIntelligenceLtd/%7Be877635f-6be3-427f-b8f0-a5ff26180568%7D_3502_Brochure_2.pdf?utm_campaign=3502%20Brochure%20Autoresponder&utm_medium=email&utm_source=Eloqua)
- 43 Workshop on Current and Emerging methods for Optimizing Safety and Efficiency in Nuclear Decommissioning, 7-9 February 2017, Sarpborg, Norway <https://www.oecd-nea.org/rwm/wpdd/halden2017/>