



# **КРИТЕРИИ ТАКСОНОМИИ ЕС ДЛЯ ПРОЕКТОВ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ТЕХНОЛОГИИ ВВЭР И ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

Анализ



«Генерацию атомной энергии необходимо удвоить,  
чтобы достичь целей в области энергетики и климатической повестки»

*Фатих Бироль, исполнительный директор  
Международного энергетического агентства*

# СОДЕРЖАНИЕ:

Преамбула	1
Резюме и ключевые выводы	3
Общие сведения о Таксономии устойчивого финансирования ЕС и Дополнительном делегированном акте к ней	7
Юридические аспекты применения Дополнительного делегированного акта к Таксономии устойчивого финансирования ЕС	10
Уровень выбросов парниковых газов от АЭС	12
Безопасность эксплуатации АЭС	15
Топливное решение для АЭС и стремление к замыкаю ЯТЦ	47
Вывод из эксплуатации АЭС, обращение с РАО	64
Аббревиатуры и сокращения	79
Приложение. Перечень директив ЕС, стандартов МАГАТЭ и WENRA	81

# ПРЕАМБУЛА

Межправительственная группа экспертов по изменению климата в своем докладе 2021 года сообщила, что выбросы парниковых газов на нынешнем уровне приведут к нарушению климатического баланса и необратимым изменениям в окружающей среде чуть более чем через 10 лет. Это определяет необходимость предпринимать практические действия по борьбе с изменением климата уже сейчас, не откладывая их на горизонт 2050-2060 годов. Важнейшим вопросом остается дефицит практических механизмов реализации заявляемых странами деклараций по климатическим целям, что результируется в призыве к «срочным климатическим действиям».

Несмотря на сохраняющуюся в определенных кругах критику относительно соответствия атомной энергетики «зеленым» критериям, атомная генерация является, по сути, безальтернативной для реализации климатической повестки. При рассмотрении проектов в области атомной энергии повышенное внимание в части соответствия требованиям в области устойчивого развития и «зеленой» повестки уделяется таким аспектам, как добыча природного урана, водопотребление, безопасная эксплуатация АЭС и обращение с радиоактивными отходами.

Эксперты по всему миру не оспаривают тот факт, что атомная энергетика является одним из наиболее низкоуглеродных источников генерации и необходима для обеспечения задач глобального энергоперехода и борьбы с изменениями климата. Эта риторика в явном виде артикулировалась в том числе в ходе очередной Конференции ООН по изменению климата в г. Глазго (Великобритания) в ноябре 2021 года.

С целью поддержки и мотивации деятельности, направленной на борьбу с изменением климата как на национальном, так и международном уровне, разрабатывается «зеленое» регулирование. Из международных стандартов, которые относят атомную энергетику к «зеленым» видам деятельности, можно отметить финансовую таксономию, разработанную под эгидой международной некоммерческой организации Climate Bonds Initiative (CBI).

С точки зрения «зеленой» квалификации атомной энергетики на национальном уровне следует упомянуть разработанный в Китае Каталог одобренных проектов для выпуска «зеленых» облигаций, впервые опубликованный в 2015 году. В сентябре 2021 года в России утверждена Таксономия «зеленых» проектов, которая также квалифицирует атомную энергетику в качестве «зеленой» без дополнительных критериев.

В начале 2022 года в Дополнительном делегированном акте к Таксономии устойчивого финансирования ЕС (ДДА, Таксономия ЕС) были опубликованы критерии для признания проектов в области атомной генерации в числе устойчивых видов деятельности. В июле 2022 года, после многочисленных дискуссий, данные критерии были подтверждены официальными органами Брюсселя, документ подлежит применению с 1 января 2023 года.

Таксономия ЕС является наиболее подробным нормативным актом, регулирующим финансирование «устойчивых» проектов, а также предусматривает наиболее жесткие требования для отнесения проектов к «зеленым». За практикой применения Таксономии ЕС и внесением в нее изменений и дополнений наблюдают регулирующие органы, а также представители финансовых институтов и бизнеса большинства стран, в том числе далеко за пределами Европы.

Включение атома в Таксономию ЕС, безусловно, является позитивным сигналом и имеет положительный репутационный эффект для атомной энергетики и потенциально увеличивает интерес к ядерным технологиям со стороны лиц, вовлеченных в разработку стратегий энергоперехода – как в части строительства новых, так и в части продления срока эксплуатации существующих АЭС большой мощности, а также в перспективе – реализации проектов по строительству атомных станций малой мощности.

При этом в рамках реализации проектов атомной генерации и инновационных разработок атомной отрасли необходимо неукоснительно соблюдать международные и национальные требования и стандарты. В этой связи анализ критериев Дополнительного делегированного акта к Таксономии ЕС представляет практический интерес.

Госкорпорация «Росатом» провела анализ требований Таксономии ЕС применительно к существующим реакторным технологиям ВВЭР, а также ряду имеющихся и ведущихся инновационных разработок в области замыкания топливного цикла. В отчете также представлены практические примеры проектов и технологических решений из практики работы Госкорпорации «Росатом».

# РЕЗЮМЕ И КЛЮЧЕВЫЕ ВЫВОДЫ АНАЛИЗА

Таксономия ЕС и другие «зеленые» таксономии рассматривают «зеленую» деятельность прежде всего с позиции ее климатической и экологической эффективности – шире, чем исключительно климатическое воздействие (в том числе, учитывая требование по непричинению существенного вреда), но более узко, чем устойчивое развитие в классическом понимании ESG, которое дополнительно включает аспекты социального воздействия и корпоративного управления/ отчетности.

В ДДА Таксономии ЕС определены критерии для квалификации проектов атомной энергетики в качестве устойчивых. Важно, что атомная генерация отнесена к переходным видам деятельности как низкоуглеродный стабильный источник энергии, способствующий эффективному переходу к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ).

Подтверждение соответствия критериям Таксономии ЕС является существенным фактором, содействующим эффективности продвижения продуктов и услуг в области атомной энергии в разных странах мира. Важно отметить, что ДДА содержит большое количество детальных критериев для атомных технологий, часть из которых

определена нечетко либо не имеет действующих механизмов подтверждения. Также часть критериев относится к зоне ответственности стран, эксплуатирующих АЭС, – вопрос подтверждения соответствия таким критериям остается открытым.

В Таксономии ЕС рассматривается следующая деятельность: сооружение АЭС (получение лицензии до 2045 г.), продление срока эксплуатации АЭС (получение лицензии до 2040 г.) и инновационные технологии (реакторы IV поколения). Установленные критерии можно условно разделить на общие технологические требования (ключевые для анализа), требования к конкретным проектам и требования к законодательству/ инфраструктуре страны размещения (необходимо учитывать при оценке потенциальных проектов).

Экспертами Госкорпорации «Росатом» были проанализированы основные критерии Таксономии ЕС для атомной энергетики, которые были распределены на четыре основные группы.

**Подтверждение минимального уровня выбросов парниковых газов включает в себя следующие ключевые критерии:**

**1. Непревышение выбросов парниковых газов на всем жизненном цикле АЭ 100 г CO<sub>2</sub>-экв./кВт·ч;**

**2. Выбросы парниковых газов на протяжении жизненного цикла должны быть рассчитаны в соответствии с рекомендациями ЕС или стандартами ISO.**

Требование по уровню выбросов парниковых газов не более 100 г CO<sub>2</sub>-экв./кВт·ч является универсальным для всех видов генерации электроэнергии в Таксономии ЕС и по умолчанию выполняется для атомной генерации, прямые выбросы которой являются нулевыми, аналогично выбросам при генерации возобновляемых источников энергии.

В соответствии с отчетом Межправительственной группы экспертов по изменению климата ООН (МГЭИК ООН) (2014 г.) уровень выбросов парниковых газов на жизненном цикле генерации для атомной энергетики составляет 12, для ветра – 11, для гидро – 24 и для солнца – 48 г CO<sub>2</sub>-экв./кВт·ч в среднем.

Таким образом атом является одним из наиболее чистых видов генерации. Для сравнения, аналогичные показатели для газовой и угольной генерации составляют 490 и 820 г CO<sub>2</sub>-экв./кВт·ч соответственно.

Тезис относительно низкоуглеродной природы атома был в явном виде озвучен экспертами при подготовке первой редакции Таксономии ЕС в 2020 году в формулировке «подтверждение потенциального существенного вклада ядерной энергии в достижение целей по смягчению последствий изменения климата является достаточным и ясным»<sup>1</sup>.

**Критерии в части безопасности на этапе эксплуатации АЭС включают устойчивость к внешним экстремальным воздействиям, минимизацию негативного воздействия АЭС на окружающую среду.**

Критерии безопасности в ДДА сформулированы достаточно подробно и в большинстве своем сделаны в виде отсылок к действующим директивам Евросоюза, стандартам безопасности МАГАТЭ и WENRA.

Соблюдение данных критериев при реализации атомных проектов обеспечивается за счет детального регулирования порядка сооружения и эксплуатации АЭС, включая требования по соблюдению международных стандартов и соответствующую отчетность в надзорные национальные и международные органы (в том числе Российская Федерация регулярно представляет в МАГАТЭ национальные доклады о выполнении обязательств в соответствии со ст. 5 Конвенции о ядерной безопасности 1994 года).

<sup>1</sup>EU Technical Expert Group on Sustainable Finance, Taxonomy Report: Technical Annex, март 2020 г. ([EU Technical Expert Group on Sustainable Finance](#))

**Критерии в части ядерного топливного цикла (ЯТЦ) включают концепцию толерантного топлива, стремление к замыканию ЯТЦ и к минимальному образованию РАО в ЯТЦ (переход к реакторам IV поколения и замкнутому ЯТЦ).**

Требование ДДА по переходу на использование толерантного топлива является наиболее дискуссионным в профессиональном сообществе по причине отсутствия единого определения толерантного топлива и детальных требований к данной технологии.

Толерантным топливом принято называть ядерное топливо, устойчивое к авариям. Такое топливо должно оставаться работоспособным не только в нормальных условиях, но и в условиях аварий с потерей теплоносителя.

Основные разработки в области толерантного топлива в мире ведутся по трем направлениям:

1. покрытие таблеток топлива,
2. покрытие оболочек твэлов и
3. замена оксидного топлива на силицидное и/или нитридное.

Эксперты сходятся в том, что технологическая и регуляторная готовность к использованию толерантного топлива ни по одному из указанных направлений не будет достигнута к 2025 году, как этого требует ДДА.

Также, при отработке технологий толерантного топлива должно быть подтверждено технологическое решение по его безопасной переработке и захоронению.

Без дополнительной проработки вопросов бэкэнда имеется риск, что данный вид топлива не будет в полной мере отвечать принципам устойчивого развития в части «непричинение существенного вреда» (“do no significant harm” principle).

В целом, с учетом сложности и комплексности вопросов толерантного топлива требования ДДА Таксономии ЕС в этой части с большой вероятностью будут дорабатываться, в том числе, в части реалистичности сроков начала их действия.

В части критериев ДДА Таксономии ЕС в области замыкания ЯТЦ имеются определенные трудности с трактовкой, что связано с размытостью определений ОЯТ и РАО. Так, в части стран – членов Евросоюза ОЯТ считается ресурсом, что, соответственно, предполагает возможность его переработки.

В ряде стран – в силу отсутствия технологий переработки – ОЯТ квалифицируется в качестве РАО и подлежит исключительно хранению. То есть действующие нормативные документы ЕС допускают отнесение ОЯТ как к рециклируемым продуктам, так и к РАО, что затрудняет применение положений ДДА Таксономии ЕС.

Российское регулирование, в силу наличия у Госкорпорации «Росатом» технологий переработки ОЯТ, однозначно квалифицирует ОЯТ как ресурс, что по смыслу соотносится с требованием ДДА Таксономии ЕС о стремлении к переходу к экономике замкнутого цикла.



**Критерии в части заключительной стадии жизненного цикла относятся к обращению с РАО и решениям по выводу АЭС из эксплуатации. Ответственное обеспечение заключительной стадии жизненного цикла является необходимым условием безопасности и непричинения существенного вреда окружающей среде, жизни и здоровью человека.**

Что касается обращения с РАО, то критерии ДДА в этой части относятся в основном к национальной инфраструктуре, то есть инфраструктуре страны – заказчика проекта АЭС, включая требования по формированию финансовых резервов для эффективного вывода из эксплуатации объектов использования атомной энергии.

Отдельно в этой группе можно отметить критерий, устанавливающий минимальное образование РАО при использовании наилучших доступных технологий – то есть по сути переход к замкнутому ядерному топливному циклу.

С учетом исторической регуляторной и технологической автономности атомной отрасли данная задача представляет определенный вызов в связи с необходимостью анализа новых для атомной отрасли «зеленых» требований, проведения расчетов и обоснований, подготовки детальных отчетов для представления «зеленым» верификаторам и компетентным органам.

# ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТАКСОНОМИИ УСТОЙЧИВОГО ФИНАНСИРОВАНИЯ ЕС И О ДОПОЛНИТЕЛЬНОМ ДЕЛЕГИРОВАННОМ АКТЕ К НЕЙ

Регламент Европейского парламента и Совета Европейского союза 2020/852 от 18 июня 2020 года о создании основы для содействия устойчивому финансированию (Таксономия ЕС) – это нормативный документ, устанавливающий виды экономической деятельности, которые способствуют достижению целей в области защиты окружающей среды.

Используемые в нем критерии определяют проекты в сфере энергетики, которые могут считаться устойчивой деятельностью, что призвано способствовать привлечению их финансирования. Разработка документа велась с 2018 года. Таксономия ЕС была официально опубликована 22 июня 2020 года и вступила в силу 12 июля 2020 года.



Таксономия ЕС является ключевым законодательным актом, направленным на содействие «Зеленой сделке» (Green Deal) путем стимулирования инвестиций в «зеленые» проекты. В документе определены критерии «зеленых» и «устойчивых» проектов, оказывающих положительное влияние на климат, а также процедура подтверждения соответствия данным критериям.

## Таксономия ЕС устанавливает шесть целей в отношении окружающей среды:

1. Положительное влияние на климат;
2. Смягчение последствий изменения климата;
3. Устойчивое использование и охрана водных и морских ресурсов;
4. Переход к экономике замкнутого цикла;
5. Предотвращение загрязнения и борьба с ним;
6. Защита и восстановление биоразнообразия и экосистем.

Таксономия ЕС предусматривает три типа деятельности: низкоуглеродная деятельность (ст. 10(1)), переходная деятельность (ст. 10 (2)) и сопутствующая деятельность (ст. 16). Все указанные виды деятельности должны способствовать достижению целей «Зеленой сделки», то есть снижению влияния на окружающую среду к 2030-му и к 2050 году.

Важным отличием переходной деятельности является обязательное требование по раскрытию информации об участии в проектах по переходной энергетике в рамках нефинансовой отчетности (ст. 8). Также для переходной и сопутствующей деятельности устанавливаются дополнительные критерии отнесения к таким видам деятельности, проводится оценка эффективности таких критериев. Для атомной энергетике дополнительные критерии определены в ДДА.

На этапе разработки Таксономии ЕС вопрос о включении в нее атомной энергетике согласовать не удалось, было принято решение провести дополнительное научное исследование на предмет соответствия атома принципу «непричинение существенного вреда» (“do no significant harm” principle) и другим целям в отношении окружающей среды.

Принятие решения было отложено до разработки дополнений к Таксономии ЕС (дополнительных делегированных актов). Соответствующее исследование было проведено в апреле 2021 года Объединенным исследовательским центром (Joint Research Center), который пришел к следующему выводу: «Проведенный анализ не позволил выявить научно обоснованных доказательств того, что ядерная энергетика наносит человеку или окружающей среде больше вреда, чем другие технологии производства электроэнергии, уже включенные в Таксономию ЕС как виды деятельности, помогающие приостановить изменение климата»<sup>2</sup>.

Порядок принятия итогового решения по утверждению ДДА предусматривал решение двух законодательных органов Евросоюза: Европейского парламента и Совета ЕС. Европарламент и Совет ЕС не проголосовали против в установленный срок. Таким образом, ДДА был утвержден и официально опубликован 15 июля 2022 года. Дата начала применения положений документа – 01 января 2023 года.

В ДДА определены критерии для квалификации проектов газовой и атомной энергетике в качестве устойчивых. Важно, что оба источника отнесены к переходным видам – определяются как низкоуглеродные стабильные энергоисточники базовой нагрузки, способствующие эффективному переходу к ВИЭ. Переходность определяется ограничением временного горизонта квалификации, для атома это 2045 год для получения лицензии на сооружение новых объектов и 2040 год – на модернизацию.

<sup>2</sup> Joint research center of the EU Commission, Technical assessment of nuclear energy with respect to the ‘do no significant harm’ criteria of Regulation (EU) 2020/852, апрель 2021 г. ([Technical assessment of nuclear energy with respect to the DNSH](#))

**В части атомной энергетики ДДА рассматривает три направления:**

1. Инновационные технологии получения энергии в ядерных реакторах с образованием минимального количества отходов на всем ядерном топливном цикле (реакторы IV поколения);
2. Строительство и обеспечение безопасной эксплуатации АЭС для производства электроэнергии и тепловой энергии, производства водорода, с использованием наилучших доступных технологий (НДТ) (при условии получения лицензии до 2045 г.);
3. Модификация существующих АЭС в целях продления их срока эксплуатации (с условием получения лицензии до 2040 г).

В критериях ДДА для атомной энергетики содержатся ссылки на документы европейского законодательства, нормативные документы Евратома, стандарты и рекомендации МАГАТЭ и WENRA. Критерии можно условно разделить на требования к законодательству и инфраструктуре страны размещения, общие технологические требования и требования к конкретным проектам.

**Критерии ДДА для атомной энергетики можно разделить на четыре группы:**

1. Подтверждение минимального уровня выбросов парниковых газов, включая предельные значения выбросов CO<sub>2</sub>-экв., методику расчетов и их верификации (максимальное значение – 100 г CO<sub>2</sub>-экв./кВт·ч на всем ЖЦ);
2. Безопасность на этапе эксплуатации, включая требования к оценке обеспечения безопасности АЭС (устойчивость к экстремальным воздействиям и отсутствие негативного воздействия на окружающую среду);
3. Ядерный топливный цикл, включая требования к составляющим ядерного топливного цикла (толерантное топливо, стремление к замыканию ЯТЦ и минимальному образованию РАО в ЯТЦ);
4. Заключительная стадия жизненного цикла, включая требования к инфраструктуре по обращению с РАО и решениям по выводу из эксплуатации.



# ЮРИДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ДЕЛЕГИРОВАННОГО АКТА К ТАКСОНОМИИ УСТОЙЧИВОГО ФИНАНСИРОВАНИЯ ЕС

В отношении принятия обязательств по обеспечению выполнения требований ДДА на этапе подписания контракта или отсутствия такого подтверждения при подписании контракта, следует указать, что в настоящее время не все критерии соответствия ДДА определены достаточно четко, и понимание этих критериев у заказчика и исполнителя может отличаться.

Таким образом, будет отсутствовать правовая определенность и повысятся риски неисполнения обязательств со стороны исполнителя или заказчика. То есть пока не будет определенности в трактовке всех критериев ДДА, существуют значительные риски при их включении в контракт.

Таксономия ЕС является законодательным актом прямого действия и обязательна для всех стран – членов ЕС, документ имеет приоритет над национальным законодательством стран – членов ЕС.

Таксономия ЕС является отправной точкой для принятия в будущем законодательства стран – членов ЕС с целью поддержки экологически устойчивой (environmentally sustainable) экономической деятельности.

В настоящее время Таксономия ЕС не определяет обязательность инвестирования в определенный вид деятельности, в том числе для стран – членов ЕС, а также не устанавливает запретов на инвестиции. Однако Таксономия ЕС соотносится с долгосрочными стратегиями низкоуглеродного развития и конкретными планами в рамках «Зеленой сделки».

Задачей и целью Таксономии ЕС является установление критериев, определяющих, является ли экономическая деятельность экологически устойчивой в целях оценки инвестиционных вложений в проекты.

**Критерий экологической устойчивости инвестиций обязателен для применения в целях:**

1. разработки в ЕС и странах – членах ЕС норм регулирования деятельности участников финансового рынка или эмитентов в отношении выпуска экологически устойчивых финансовых продуктов и корпоративных облигаций;
2. установления требований для участников финансового рынка по выпуску финансовых инструментов;
3. установления требований по нефинансовой отчетности.

Подтверждение соответствия критериям признания деятельности экологически устойчивой требуется на этапе привлечения финансирования или раскрытия информации о такой деятельности. Таксономия ЕС не устанавливает конкретное лицо, ответственное за обеспечение соблюдения критериев (поставщик, заказчик).

Важно подчеркнуть, что технические критерии устойчивости атомно-энергетических проектов должны отражать наивысшие стандарты ядерной и радиационной безопасности и обращения с РАО.

В тексте ДДА в основном содержатся не новые требования, а отсылки к требованиям и стандартам МАГАТЭ, WENRA и Директивам ЕС.

С этой точки зрения ДДА не является принципиально новым документом, а скорее комплексным сводом норм и требований.

В преамбуле ДДА определено, что для достижения целей Таксономии ЕС, а также максимального возможного учета принципов и требований законодательства Евратома, включая цель ядерной безопасности, потенциальные проекты, которые предполагается финансировать, подлежат рассмотрению Еврокомиссией.

Мнение и профильные рекомендации Еврокомиссии обязательны независимо от того, требуется ли ее уведомление об инвестициях в атомную энергетику (предусмотренное ст. 41 Договора о Евратоме 1957 г.).

Процедура доведения до сведения Еврокомиссии проектных материалов и формирование компетентного заключения о соответствии проекта техническим критериям является дополнением к практике рассмотрения и одобрения проектов АЭС, так как выходит за пределы национального всестороннего рассмотрения проектов.

# УРОВЕНЬ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ОТ АЭС

## КЛЮЧЕВЫЕ ВЫВОДЫ

Низкоуглеродная природа атомной энергетики не оспаривается международными экспертами и едва ли будет оспариваться в рамках проверки на соответствие критериям Таксономии ЕС. Потенциальный существенный вклад ядерной энергии в достижение климатических целей был напрямую признан в техническом отчете к Таксономии ЕС уже в 2020 году<sup>3</sup>.

ДДА устанавливает требование по не превышению выбросов парниковых газов на всем жизненном цикле генерации атомной энергии 100 г CO<sub>2</sub>-экв./кВт·ч, но не определяет конкретную процедуру подтверждения минимального уровня выбросов CO<sub>2</sub>-экв. и механизма получения независимого заверения.

Однако при комплексной оценке конкретного проекта может потребоваться предоставление расчета по объекту на более поздних этапах реализации проекта. В 2022 году Госкорпорация «Росатом» планирует разработать единую отраслевую методику расчета парниковых газов в соответствии с международными стандартами для последующего ее применения на всех своих проектах, включая сооружение АЭС за рубежом.

---

<sup>3</sup> EU Technical Expert Group on Sustainable Finance, Taxonomy Report: Technical Annex, март 2020 г. (Expert Group on Sustainable Finance)

Одной из групп критериев ДДА является подтверждение минимального уровня выбросов CO<sub>2</sub>-экв., включая предельные значения выбросов парниковых газов, методику расчетов и их верификацию. Ключевыми критериями, установленными в ДДА, являются:

1. Непревышение выбросов парниковых газов на всем жизненном цикле АЭС 100 г CO<sub>2</sub>-экв./кВт·ч;
2. Расчет выбросов парниковых газов на протяжении жизненного цикла в соответствии с рекомендациями ЕС 2013/179/EU или стандартами ISO 14067:2018 или ISO 14064-1:2018.



Атомная энергетика является низкоуглеродным источником генерации и имеет углеродный след, сопоставимый с углеродным следом возобновляемых источников энергии. Было проведено два классических научных исследования, на которые ориентируется международное сообщество.



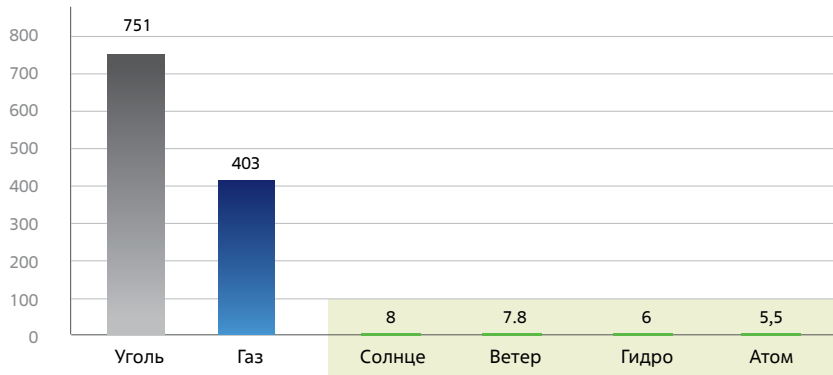
Оба исследования подтверждают низкоуглеродность атомной энергетики, несмотря на различие конкретных значений. Различия данных объясняются тем, что цифры получены на основе анализа различных объектов генерации с учетом объектов исследования, типов технологий и географических различий.

Исследования МГЭИК по выбросам парниковых газов на жизненном цикле по видам генерации были проведены в 2014 году<sup>4</sup>. Они подтверждают низкие цифры выбросов парниковых газов для атомной энергетики: средние цифры – 12 г CO<sub>2</sub>-экв./кВт·ч для атомной энергетики при 11 г CO<sub>2</sub>-экв./кВт·ч для ветро- и 24 г CO<sub>2</sub>-экв./кВт·ч для гидроэнергетики соответственно.

<sup>4</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change, Fifth Assessment Report “Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change”, Annex III: Technology-specific cost and performance parameters, 2014 г. ([IPCC Report](#))



**Выбросы парниковых газов**  
 (нижнее значение на жизненном цикле,  
 для АЭ – среднее значение, г CO<sub>2</sub>-экв./кВт·ч), данные ЕЭК ООН



В октябре 2021 года Европейская экономическая комиссия ООН (ЕЭК ООН) опубликовала исследование<sup>5</sup>, по результатам которого выбросы парниковых газов на жизненном цикле атомной электростанции являются самыми низкими в сравнении с другими видами генерации (среднее значение для АЭС – 5,5 г CO<sub>2</sub>-экв./кВт·ч, при нижней границе гидроэнергетики – 6 г CO<sub>2</sub>-экв./кВт·ч и нижней границе ветроэнергетики – 7,8 г CO<sub>2</sub>-экв./кВт·ч).

В структуре углеродного следа атомной энергии (удельные выбросы на единицу производимой энергии) основная часть выбросов приходится на этапы, не связанные с эксплуатацией АЭС напрямую, – наибольшую долю составляют этапы сооружения АЭС (включая строительство сетевой инфраструктуры) и вывод из эксплуатации, а также добыча и обогащение урана<sup>6</sup>.

<sup>5</sup> United Nations Economic Commission for Europe, Carbon Neutrality in the UNECE Region: Integrated Life-cycle Assessment of Electricity Sources, 2021 г. ([UNECE Report](#)); Госкорпорация «Росатом» принимала участие в исследовании

<sup>6</sup> Vattenfall, EPD of Electricity from Vattenfall Nordic NNP, 2019 г. ([Vattenfall Report](#))

# БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭС

## КЛЮЧЕВЫЕ ВЫВОДЫ

Атомная отрасль имеет одну из наиболее жестких в мире систем стандартов безопасности, которые устанавливаются МАГАТЭ и закрепляются в национальном законодательстве стран размещения АЭС. Система регулирования ядерной безопасности определяет в том числе порядок сооружения, эксплуатации и других этапов жизненного цикла АЭС, обращения с ОЯТ и РАО.

Современные стандарты эксплуатационной безопасности АЭС сформированы в том числе на базе исторического опыта эксплуатации АЭС с тепловыми реакторами первых поколений. Эксплуатационная безопасность современной ядерной энергетики является приемлемой для существующих масштабов ее использования при условии постепенного замещения действующих энергоблоков на реакторы поколения III и следующих поколений.

Реакторы поколений I и II в настоящее время технологически устарели, их больше не строят и постепенно выводят из эксплуатации. Первые реакторы поколения III появились в Японии – реакторы ABWR на энергоблоках № 6 и 7 АЭС «Касивадзаки-Карива» в 1996 и 1997 годах.

В 2016 году в России был введен в эксплуатацию первый реактор поколения III+ (ВВЭР-1200 на Нововоронежской АЭС-2).

Основным преимуществом реакторов поколения III+ является внедрение в конструкцию реактора систем пассивной безопасности, которые появились после событий на АЭС «Фукусима» в 2011 году. В настоящее время активно ведется работа по созданию реакторов поколения IV. Основной задачей реакторов поколения IV – помимо обеспечения безопасности – является замыкание ЯТЦ.

Совершенствование системы безопасности и эффективности технологии ВВЭР происходит на всем протяжении их эксплуатации.

Современные реакторы российского дизайна основаны на комбинации активных и пассивных систем безопасности, применение которых сводит к минимуму вероятность аварии и исключает риски повреждений в случае урагана, наводнений, землетрясения и других экстремальных внешних воздействий.

Международное сотрудничество играет важную роль для обмена опытом и совершенствования безопасности атомных технологий и соответствующего регулирования. В нормативных документах МАГАТЭ отмечается значимость партнерских миссий в области безопасности.

Основными экспертными миссиями в области безопасности являются: миссия по анализу эксплуатационной безопасности (ОСАРТ) и миссия по рассмотрению технических вопросов безопасности (ТСП). Ключевые страны, эксплуатирующие АЭС, включая Францию, Китай и Россию, наиболее регулярно принимают миссии ОСАРТ и контрольные посещения с 1983 года.

Страны – члены МАГАТЭ регулярно представляют национальные доклады о выполнении обязательств в соответствии со ст. 5 Конвенции о ядерной безопасности 1994 года. Доклады содержат актуальную информацию по обеспечению ядерной безопасности и проходят рассмотрение независимых международных экспертов.

Помимо МАГАТЭ существуют и другие площадки для обмена лучшими практиками и оценки безопасности проектов АЭС – сертификация международного Клуба европейских эксплуатирующих организаций (European Utility Requirements, EUR) и многонациональная программа оценки новых проектов АЭС на площадке Агентства по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития (АЯЭ ОЭСР).

Отдельный блок критериев ДДА посвящен вопросам водопользования и контроля радиоактивных и нерадиоактивных выбросов и сбросов.

Из-за больших объемов использования воды в технологическом процессе при эксплуатации АЭС вопрос водопотребления и очистки отработанной воды строго контролируется. При сооружении и эксплуатации АЭС проводится как экологический мониторинг состояния наземных и водных экосистем района расположения площадки (в том числе грунтовых вод), так и контроль качества сбрасываемых вод (концентрация загрязняющих и радиоактивных веществ и температурный режим акватории).

Результаты анализа систематического мониторинга радиационной обстановки в районах расположения атомных станций и измерения активности радионуклидов в воздухе, воде, почве, донных отложениях, растительности, организмах животных и пищевых продуктах подтверждают отсутствие неблагоприятного воздействия эксплуатации АЭС на здоровье людей и состояние окружающей среды.<sup>15</sup>

Также необходим строгий контроль нерадиоактивных выбросов в атмосферный воздух. Нормативы по выбросам загрязняющих веществ устанавливаются национальным законодательством.

Критерии ДДА в части безопасной эксплуатации АЭС не являются принципиально новыми. Большая часть из них представлена в виде отсылок к действующим директивам Евросоюза, стандартам безопасности МАГАТЭ и WENRA.

# КЛЮЧЕВЫЕ КРИТЕРИИ ДДА ТАКСОНОМИИ ЕС В ОБЛАСТИ БЕЗОПАСНОСТИ НА ЭТАПЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭС

1. Соответствие требованиям Директив ЕС, основанным на стандартах МАГАТЭ и WENRA в части повышения устойчивости новых и существующих АЭС к экстремальным стихийным бедствиям, включая наводнения и экстремальные погодные условия.

2. Выявление и устранение рисков ухудшения состояния водных ресурсов в соответствии с планом управления водопользованием.

3. Радиоактивные выбросы в атмосферный воздух, сбросы в водные объекты и загрязнение почв соответствуют условиям действия лицензий для конкретных видов работ, где это применимо, или национальным пороговым значениям в соответствии с Директивой 2013/59/Euratom от 05.12.2013, которая устанавливает основные стандарты безопасности для защиты от угроз, возникающих в результате воздействия ионизирующего излучения, и Директивой 2013/51/Euratom от 22.10.2013 об установлении требований к защите здоровья общественности в отношении количественного содержания радиоактивных веществ в воде, предназначенной для употребления людьми.

4. Нерадиоактивные выбросы находятся в пределах или ниже уровня выбросов, связанных с диапазонами технологических показателей НДТ. Для АЭС, тепловая мощность которых превышает 1 МВт, выбросы устанавливаются ниже предельных значений, изложенных в Директиве ЕС 2015/2193 от 25.11.2015 об ограничении выбросов определенных загрязняющих воздух веществ от средних установок сжигания.

# ТЕХНОЛОГИИ ВВЭР (ПОКОЛЕНИЕ III+)

**Тип реактора:** водно-водяной корпусный энергетический реактор (PWR), относится к реакторам поколения III+

**Срок эксплуатации:** 60 лет с возможностью продления

**Мощность:** 1200 МВт (на 20% больше реактора прошлого поколения)

**Коэффициент использования установленной мощности:** до 90%



Закалка обечайки ВВЭР-ТОИ АО «Энергомашспецсталь»

## ПРЕИМУЩЕСТВА

- Соответствует требованиям МАГАТЭ, Клуба EUR и «постфукусимским» требованиям WENRA
- Совмещает системы активной и пассивной безопасности, в том числе флагманское решение – ловушку расплава
- Применен ряд дополнительных мер безопасности по сейсмостойкости и при гипотетических тяжелых авариях
- Можно применять в разных условиях без изменения основных концептуальных, конструктивных и компоновочных решений
- Может работать 18 месяцев без перегрузки топлива
- Можно без каких-либо доработок эксплуатировать с использованием МОКС-топлива
- Стоимость и срок сооружения, а также эксплуатационные расходы максимально сокращены



Ленинградская АЭС-2

## ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ

- Корпус реактора изготовлен из специальных сталей толщиной 20 см, способных выдерживать высокие радиационные нагрузки
- Объем контайнмента составляет порядка 75 тыс. м3, что минимизирует риск скопления в нем водорода во взрывоопасной концентрации
- Контайнмент реакторной зоны позволяет выдержать падение большого авиалайнера, 8-балльное землетрясение, торнадо и смерчи до 56 м/с
- Контайнмент выдерживает внутреннее давление в 5 кг/см<sup>2</sup>, т.е. если вся поданная в реактор вода превратится в пар, оболочка выдержит это колоссальное давление
- Гермозона имеет две толстые бетонные стенки – оболочки: внешняя – толщиной в 80 см, внутренняя – толщиной в 1,2 метра, имеет в своем устройстве специальные стальные тросы. Общая толщина двойной защитной оболочки – около 2,5 метров

# СИСТЕМА БЕЗОПАСНОСТИ ВВЭР (ПОКОЛЕНИЕ III+)

## ЧЕТЫРЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ БАРЬЕРА:

**Первый** – топливная таблетка, ограничивает выход продуктов деления под оболочку тепловыделяющего элемента (ТВЭЛ).

**Второй** – сама оболочка ТВЭЛ из циркониевого сплава, ограничивает попадание в теплоноситель (воду) главного циркуляционного контура продуктов деления топлива.

**Третий** – главный циркуляционный контур, препятствует выходу продуктов деления под защитную герметичную оболочку.

**Четвертый** – система защитных герметичных оболочек, выдерживает падение самолета, смерч, ураган или взрыв, колоссальное внутреннее давление и внешнее воздействие ударной волны.



Установка ловушки расплава на строящейся Курской АЭС-2

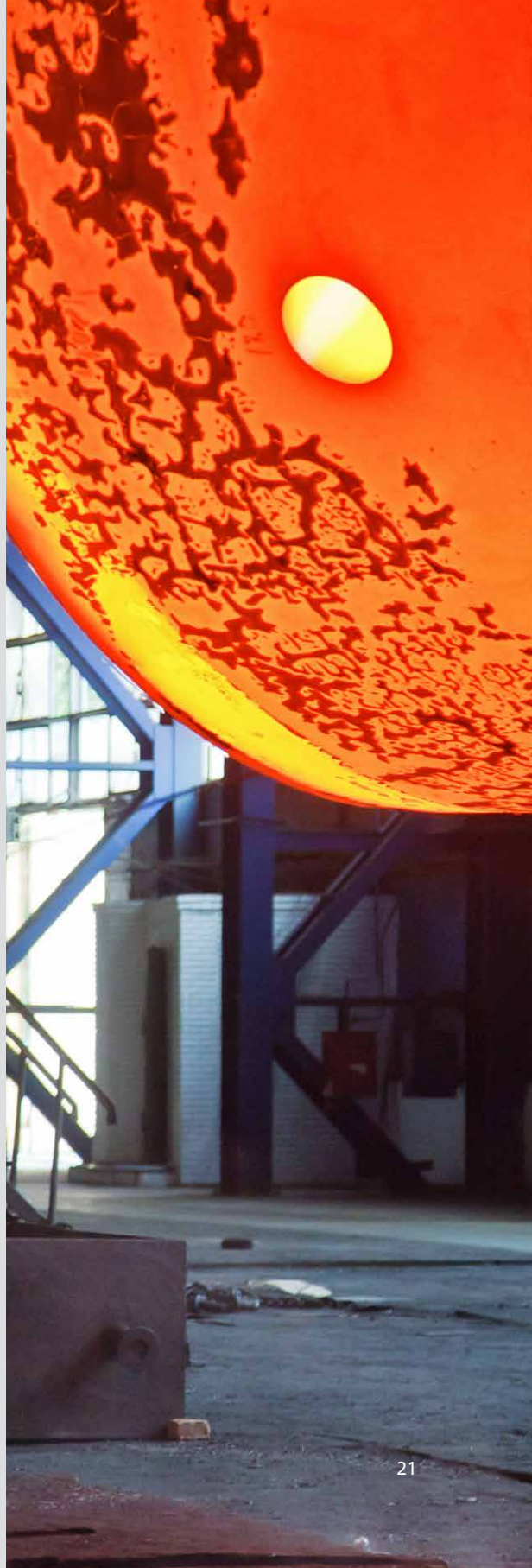
## ЛОВУШКА РАСПЛАВА

Одна из важнейших пассивных систем безопасности атомной электростанции – ловушка расплава. Впервые ловушкой была оснащена Тяньваньская АЭС в Китае, построенная по российскому проекту. Теперь такие системы устанавливаются на всех АЭС с реакторами ВВЭР.

Ловушка – это холодный тигель, он расположен под ядерным реактором АЭС и заполнен так называемым жертвенным материалом из оксидов железа и борной кислоты, который позволяет мгновенно заглушить ядерную реакцию.

Пассивной система называется потому, что в случае гипотетической аварии расплавленное топливо без участия человеческого фактора, а лишь под действием силы земной гравитации, падает в огнеупорный стакан и остается в нем. Вес ловушки расплава составляет 750 тонн.

Закалка обечайки ВВЭР-ТОИ  
АО «Энергомашспецсталь»





# СООТВЕТСТВИЕ ТРЕБОВАНИЯМ В ЧАСТИ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ НОВЫХ И СУЩЕСТВУЮЩИХ АЭС К СТИХИЙНЫМ БЕДСТВИЯМ, ВКЛЮЧАЯ НАВОДНЕНИЯ И ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ПОГОДНЫЕ УСЛОВИЯ

Основным документом ЕС в области основ безопасности АЭС является Директива 2009/71/Euratom от 25.06.2009 о рамочных требованиях в области ядерной безопасности ядерных установок, которая устанавливает меры для достижения высокого уровня ядерной безопасности, а также ее регулирования.

В преамбуле отмечена важность взаимодействия регулирующих органов в рамках WENRA и проведение партнерских миссий МАГАТЭ.

Директивой определены следующие основные сферы для обеспечения ядерной безопасности: национальная законодательная, регулирующая и организационная база (национальная нормативная база), независимый компетентный регулирующий орган, первоочередная ответственность держателей лицензий, обучение для поддержания необходимых знаний и навыков, информирование общественности и отчетность.

Законодательство Российской Федерации в области обеспечения безопасности АЭС и ЯТЦ соответствует международным стандартам в области ядерной и радиационной безопасности.

В Российской Федерации утверждены Общие положения обеспечения безопасности атомных станций от 17.12.2015 № НП-001-15 и Требования к содержанию отчета по обоснованию безопасности блока атомной станции с реактором типа ВВЭР от 13.02.2017 № НП-006-16, которые определяют состав и содержание документировано подтвержденных проектных решений по всем стадиям жизненного цикла АЭС, включая эксплуатацию и вывод из эксплуатации.

Регулирующий орган выдает лицензии на соответствующий объем разрешенных действий на основании документов, представленных эксплуатирующей организацией. Эффективность такой процедуры неоднократно подтверждалась путем проведения инспекций компетентного органа и миссий МАГАТЭ.



Курская АЭС

Соответствие российских технологий и подходов стандартам МАГАТЭ, на которых основаны директивы Евратома, в том числе подтверждается регулярным международным партнерским рассмотрением национальных докладов Российской Федерации, представляемых в соответствии со ст. 5 Конвенции о ядерной безопасности 1994 г.<sup>7</sup>

Такое совещание по партнерскому рассмотрению является уникальным форумом, на котором специалисты государств – участников Конвенции о ядерной безопасности 1994 г. каждые три года имеют реальную возможность обменяться информацией о достижениях и проблемах в области обеспечения ядерной безопасности АЭС.

Повышение устойчивости новых и существующих атомных электростанций к стихийным бедствиям, включая наводнения и экстремальные погодные условия, отвечает принципам Венского заявления о ядерной безопасности.<sup>8</sup>

Согласно указанным принципам страна при осуществлении деятельности в области использования атомной энергии должна учитывать соответствующие стандарты безопасности МАГАТЭ и отражать это в своих национальных докладах в рамках Конвенции о ядерной безопасности 1994 г., начиная с седьмого совещания по рассмотрению.

Седьмой национальный доклад России в 2017 году<sup>9</sup> прошел полный цикл партнерского рассмотрения всеми государствами – участниками Конвенции о ядерной безопасности 1994 г.

<sup>7</sup> Конвенция о ядерной безопасности, 1994 г. ([INFCIRC/449 - Convention on Nuclear Safety](#))

<sup>8</sup> Венское заявление о ядерной безопасности, 2015 г. ([INFCIRC/872 - Vienna Declaration on Nuclear Safety](#))

<sup>9</sup> Седьмой национальный доклад Российской Федерации о выполнении обязательств, вытекающих из Конвенции о ядерной безопасности, 2016 г. ([7ой национальный доклад РФ](#))

# АЭС «АККУЮ»

Страна: Турция

Реактор: ВВЭР-1200

Мощность: 4 блока x 1200 МВт

Текущая стадия: получены лицензии на сооружение энергоблоков № 1 (апрель 2018 г.), № 2 (август 2019 г.), № 3 (ноябрь 2020 г.) и № 4 (октябрь 2021 г.)



АЭС «Аккую»

## АЭС «АККУЮ» СПОСОБНА ВЫДЕРЖАТЬ:

- Внешний взрыв давлением 30 кПа;
- Землетрясение в 9 баллов;
- Наводнения и цунами (находится на высоте 10,5 м над уровнем моря);
- Падение самолета весом в 400 тонн и движущегося со скоростью 200 м/с;
- Ветер скоростью до 56 м/с (наблюдается 1 раз в 1000 лет).

# ПРОЕКТ ПЕРВОЙ В ТУРЦИИ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ «АККУЮ»

Проект первой в Турции атомной электростанции «Аккую» в провинции Мерсин разработан в соответствии с нормами международного и турецкого законодательства в области использования атомной энергии.

Согласно положению «О площадках атомных электростанций»<sup>10</sup> от 21.03.2009 № 27176 на стадии проектирования АЭС «Аккую» – как для площадки АЭС, расположенной на берегу реки или морском побережье, – в обязательном порядке были учтены потенциальные негативные внешние факторы как техногенного, так и природного характера, в том числе геологические, метеорологические и гидрологические события.

В соответствии с действующими требованиями, национальный отчет Турецкой Республики о стресс-тестах АЭС «Аккую» подготовлен для рассмотрения Европейской группой регулирующих органов в области ядерной безопасности (ENSREG)<sup>11</sup> в 2018 году.

Согласно отчету, в проекте АЭС «Аккую» на протяжении всего срока строительства и эксплуатации заложен запас повышения уровня мирового океана на 1 м из-за глобального потепления.

В проект АЭС «Аккую» заложена вероятность сочетания множества различных факторов риска, включая повышение уровня мирового океана, образование ветровой волны, прилив, штормовой нагон волны, барометрические эффекты и сезонные колебания уровня воды. В результате учета наложения указанных факторов площадка сооружения АЭС «Аккую» надежно защищена даже в случае повышения уровня моря на 8,63 м.

Согласно имеющимся расчетам максимальная высота волны потенциального цунами в регионе площадки строительства АЭС может составить до 6,55 м с вероятностью возникновения такого цунами раз в 10 000 лет.

Помимо защиты от повышения уровня мирового океана, вызванного глобальным потеплением, площадка строительства АЭС «Аккую» надежно защищена от воздействия осадков и ливневых стоков.

Проектом предусмотрены специальные водоотводящие каналы, подземная ливневая канализация и дождеприемные решетки. Дренажные и водоотводящие сооружения позволят обеспечить надежный отвод ливневых вод в море.

<sup>10</sup> Положение Управления поатомной энергии Турции «О площадках атомных электростанций» от 21.03.2009 № 27176 ([Турецкая официальная газета](#))

<sup>11</sup> Turkish Atomic Energy Authority, European “Stress Test” for NPP, National Report of Turkey (rev. 2), 2018 г. ([National Report, Turkey](#))

Миссия МАГАТЭ по рассмотрению технических вопросов безопасности (ТСП) – независимая экспертная оценка, которая охватывает широкий спектр мероприятий, выполняемых для целей проектирования, лицензирования и эксплуатации ядерных установок.

В ходе рассмотрения проекта изучаются аспекты проектной безопасности и общей безопасности реакторов, детерминированные и вероятностные методы оценки безопасности, а также рискориентированные подходы к принятию решений.

С 1983 по 2022 год Россия приняла семь миссий ТСП. В 2013 и 2014 годах успешно прошли ТСП по общим вопросам безопасности реакторов, в рамках которых рассматривалась проектная документация проектов АЭС с реакторами технологии ВВЭР поколения III+.

Во время миссии МАГАТЭ по рассмотрению вопросов эксплуатационной безопасности ОСАРТ группа международных экспертов проводит углубленный анализ показателей эксплуатационной безопасности на АЭС. Они рассматривают факторы, влияющие на управление безопасностью, и показатели работы персонала.

Основное внимание ОСАРТ сосредоточено на определении несоответствий между практикой работы станции и требованиями, изложенными в нормах безопасности МАГАТЭ. Хотя рассмотрения ОСАРТ в основном касаются технических аспектов, проводящие рассмотрение эксперты также определяют состояние культуры безопасности и существующие в организации проблемы.

С 1983 по 2022 года Россия приняла 12 миссий и 10 контрольных посещений.

Соответствие подходов к безопасности международным требованиям оценивается в рамках Клуба EUR. АО «Концерн Росэнергоатом» (организация Госкорпорации «Росатом») вступило в Клуб EUR в 1993 году, почти сразу после его основания.

Первым российским проектом, получившим сертификат соответствия требованиям EUR, был проект АЭС с реактором ВВЭР в 2006 году. В 2019 году эксперты изучили проект АЭС с реактором ВВЭР поколения III+ и выдали сертификат соответствия современным представлениям о безопасности и экономичности АЭС.

Международными экспертами было отмечено, что проект с технологией ВВЭР прошел самую тщательную и глубокую экспертизу и полностью соответствует требованиям EUR.

Помимо МАГАТЭ существуют и другие площадки для сотрудничества и обмена опытом в области мирного атома, например, АЯЭ ОЭСР.

Российский регулирующий орган Ростехнадзор, наряду с регулирующими органами Канады, КНР, Финляндии, Франции, Японии, Республики Корея, Южной Африки, Великобритании, США, Индии, Швеции, Турции, ОАЭ, Венгрии и Аргентины, а также представителями МАГАТЭ, принимал участие в Многонациональной программе оценки новых проектов АЭС<sup>12</sup> на площадке Агентства по ядерной энергии ОЭСР.

В 2013 году под председательством России создана рабочая группа по оценке проектов новых АЭС с ВВЭР (РГ-ВВЭР)<sup>13</sup>, в которой принимали участие представители органов регулирования Турции, Финляндии (приостановлено участие в мае 2022 г.), Китая, Индии (участвовала до конца 2021 г.) и Венгрии.

В рамках РГ-ВВЭР выполняется оценка безопасности новых российских проектов АЭС с реакторами ВВЭР поколения III+.

Деятельность РГ-ВВЭР предусматривает сопоставление и согласование подходов и критериев оценок безопасности, выявление различий в нормативных требованиях, применяемых в странах-участницах, проведение совместных оценок безопасности российских проектов АЭС с реакторами ВВЭР (сооружаемых или планируемых к сооружению в странах – участницах РГ-ВВЭР).

По выполненным РГ-ВВЭР совместным оценкам отдельных аспектов безопасности российских технологий ВВЭР не выявлено препятствий для прохождения лицензирования проектов АЭС с реакторами ВВЭР в странах – участницах РГ-ВВЭР.

Отдельно в ДДА отмечается важность оценки Европейской группой регулирующих органов ядерной безопасности (ENSREG).

Под наилучшими доступными технологиями в ДДА понимаются технологии, полностью соответствующие положениям Директивы 2009/71/Euratom от 25.06.2009 о рамочных требованиях в области ядерной безопасности ядерных установок, а также наиболее актуальным техническим параметрам стандартов МАГАТЭ и целям/ контрольным уровням WENRA.

В части нерадиоактивных выбросов для соответствия наилучшим доступным технологиям требуется соответствие Директиве ЕС 2015/2193 от 25.11.2015 об ограничении выбросов определенных загрязняющих воздух веществ от средних установок сжигания.

Конкретные технические параметры или перечни наилучших доступных технологий в ДДА не предусмотрены.

---

<sup>12</sup> [NEA Multinational Design Evaluation Programme \(MDEP\) \(oecd-nea.org\)](http://www.oecd-nea.org/mdepe/)

<sup>13</sup> [NEA Multinational Design Evaluation Programme \(MDEP\), VVERAWG \(oecd-nea.org\)](http://www.oecd-nea.org/mdepe/vverawg/), [Многонациональная программа оценки новых проектов АЭС \(gosnadzor.ru\)](http://www.gosnadzor.ru/multi/)

# АЭС «ПАКШ-2»

**Страна:** Венгрия

**Реактор:** ВВЭР-1200

**Мощность:** 2 блока x 1200 МВт

**Текущая стадия:** получена лицензия на сооружение энергоблоков № 5 и 6 (август 2022 г.)



Макет АЭС «Пакш-2»

## СООРУЖЕНИЕ АЭС «ПАКШ-2»

Государственным регулирующим органом Венгрии 30 марта 2017 года выдана лицензия на использование стройплощадки АЭС «Пакш-2».

В рамках процедуры выдачи лицензии на использование стройплощадки был подготовлен предварительный отчет анализа безопасности АЭС (Preliminary Safety Analysis Report), выпущенный 18.10.2016.

Отчет в том числе содержит анализ рисков, связанных со стихийными явлениями, и подтверждение того, что реакторные установки способны противостоять таким рискам.

В отчете также содержится всесторонний анализ гидрологических, геологических и геофизических исследований, подтверждающий, что площадка подходит для строительства новых энергоблоков, которые устойчивы ко всем экстремальным природным явлениям.

[Информация по проекту сооружения АЭС «Пакш-2» также представлена на стр. 39-40.](#)



# СООРУЖЕНИЕ БЕЛОРУССКОЙ АЭС

**Страна:** Республика Беларусь

**Реактор:** ВВЭР-1200

**Мощность:** 2 блока x 1200 МВт

**Текущая стадия:** энергоблок № 1 введен в промышленную эксплуатацию (июнь 2021 г.), получена лицензии на начало физического пуска энергоблока № 2 (декабрь 2021 г.)



Белорусская АЭС

## СООРУЖЕНИЕ БЕЛОРУССКОЙ АЭС

Работы по сооружению Белорусской АЭС проводятся в строгом соответствии с международными нормами, что подтверждается результатами миссий МАГАТЭ, которые регулярно проходят в Республике Беларусь.

За период 2012–2021 годов проведены свыше 10 миссий, рекомендованных МАГАТЭ для стран, впервые строящих энергоблоки АЭС. Международные эксперты подтвердили надежность и безопасность Белорусской АЭС.

Несмотря на то, что Республика Беларусь не входит в ЕС, страна по собственной инициативе в 2017 году прошла стресс-тесты и партнерскую проверку их результатов Европейской группой регуляторов ENSREG.<sup>14</sup>

Тестирование (стресс-тесты) осуществляли эксперты Европейской комиссии, а также представители независимых регуляторов. Критерии стресс-тестов включали проверку надежности атомной станции на случай стихийных бедствий, в частности землетрясений и наводнений, а также различных техногенных аварий.

Также проверку прошли риски, вызванные человеческим фактором, – от ошибок оператора АЭС до терактов на станции.

---

<sup>14</sup> National Report of the Republic of Belarus on the Belarusian NPP Objective Safety Reassessment (Stress Tests), 2017 ([National Report, Belarus](#))



## СООТВЕТСТВИЕ ТРЕБОВАНИЯМ В ЧАСТИ ВЫЯВЛЕНИЯ И УСТРАНЕНИЯ РИСКОВ УХУДШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В СООТВЕТСТВИИ С ПЛАНОМ УПРАВЛЕНИЯ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ

Проекты по сооружению АЭС должны, в первую очередь, соблюдать принцип непричинения существенного вреда. При проектировании АЭС проводится анализ воздействия на окружающую среду, включая программу управления рисками по водопользованию.

При проектировании АЭС проводится анализ воздействия на окружающую среду, включая программу управления рисками по водопользованию.

Основываясь на опыте реализации проектов в России, Госкорпорация «Росатом» проводит экологический мониторинг состояния наземных и водных экосистем, а также мониторинг состояния недр района площадки сооружения.

В каждой стране действует свое национальное законодательство, регулирующее обращение с водными ресурсами. Водное законодательство России состоит из Водного кодекса от 03.06.2006 № 74-ФЗ и других нормативных правовых актов.

Регулирование водных отношений осуществляется исходя из представления о водном объекте как о важнейшей составляющей окружающей среды, среде обитания объектов животного и растительного мира (в том числе водных биологических ресурсов), природном ресурсе, используемом человеком для личных и бытовых нужд, осуществления хозяйственной и иной деятельности.

Вокруг каждой АЭС в России существуют санитарно-защитная зона, где действуют определенные ограничения, например, запрет на проживание населения и др., и зона наблюдения (может быть разной – например, порядка 11 км), где ведется радиационный контроль объектов окружающей среды по нескольким десяткам показателей.

Требования к ним определяются специальными нормами и регламентами, согласованными Федеральным медико-биологическим агентством (ФМБА) России.

Согласно этим нормам и регламентам, в зонах наблюдения ведется контроль концентрации радиоактивных веществ в воздухе, в водоемах-охладителях (в том числе в рыбе и водных растениях), в почве и растительности, продуктах питания местного производства и т.д.

Результаты контроля представляются в отчетах о радиационной обстановке в районах АЭС. Кроме того, территориальные управления ФМБА России проводят и выборочный радиационный контроль объектов окружающей среды и продуктов, произведенных на территории защитных зон.

Директива ЕС от 23.10.2000 № 2000/60/ЕС об основах деятельности в области водной политики устанавливает требование о наличии плана управления речными бассейнами и относится к полномочиям государства – члена ЕС.

В Российской Федерации организация, эксплуатирующая АЭС, является участником водных отношений на основании договора водопользования, в котором установлены объемы допустимого забора (изъятия) водных ресурсов.

Сброс загрязняющих веществ со сточными и (или) дренажными водами допускается осуществлять на основании решения о предоставлении водного объекта в пользование и разрешения на сброс загрязняющих веществ в окружающую среду (водные объекты).

Эксплуатирующая организация ведет регулярный мониторинг состояния воды (включая контроль температуры) для того, чтобы получить взаимосвязанный и полный обзор состояния воды. Температурный режим водной среды водоемов-охладителей АЭС совпадает с режимом водохранилищ, температура водоемов-охладителей не превышает нормативных требований, установленных Правилами эксплуатации водоемов-охладителей.

В России действует принцип возмещения расходов на водоснабжение. В соответствии с требованиями регулирующего органа, Ростехнадзора, эксплуатирующая организация обязана контролировать все сбросы АЭС в поверхностные воды, вести контроль за забором пресных поверхностных и подземных вод и накоплением пресных поверхностных вод.

Используемая вода может быть взята из поверхностных или подземных вод при условии, что использование данного источника не наносит ущерб достижению целей по охране окружающей среды, установленных для данного источника (лицензирование, нормирование).

Для снижения водопотребления из естественных водоемов в проектах АЭС с реакторами ВВЭР поколения III+ предусмотрено применение оборотной системы охлаждения с башенными испарительными градирнями.

# ПРАКТИЧЕСКИЙ ПРИМЕР: СОКРАЩЕНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ВОДЫ ПРИ ПЕРЕХОДЕ НА ТЕХНОЛОГИИ ВВЭР ПОКОЛЕНИЯ III+

По итогам 2021 года Ленинградская АЭС практически на треть сократила производственные потребности в морской воде. Общий объем водных ресурсов Финского залива, используемых АЭС в технологических процессах, составил 2,7 млрд м<sup>3</sup>, что на 29,26% ниже прошлогодних цифр.



Белорусская АЭС. Брызгальные бассейны состоят из четырех железобетонных резервуаров объемом 18 тыс. м<sup>3</sup> каждый. Все резервуары оснащены системами напорных трубопроводов, равномерно распределяющих охлаждаемую воду между разбрызгивающими соплами.

## СНИЖЕНИЕ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ

Значительное снижение водопотребления обусловлено тем, что часть электроэнергии произведена посредством реакторов ВВЭР поколения III+, имеющими оборотную систему охлаждения с башенными испарительными градирнями.

Конструктивные особенности новых энергоблоков позволяют значительно сократить объем водопотребления атомной станции из естественных водоемов. Количество забираемой морской воды по сравнению с предыдущим годом уменьшилось на 1,1 млрд мЗВ целом, замещение двух блоков с реакторами РБМК на энергоблоки с реакторами ВВЭР привело к снижению показателя водопотребления на 45%, что сокращает затраты станции на водопользование.

Многолетний биолого-химический мониторинг водоема-охладителя Ленинградской АЭС, который осуществляется на постоянной основе совместно с Санкт-Петербургским научным центром Российской академии наук, показывает, что за время эксплуатации АЭС заметного воздействия объекта атомной энергетики на состояние воздушной и водной среды не выявлено.

На Ленинградской АЭС ведут постоянный учет объемов водопотребления и водоотведения, а также контроль качества воды Финского залива.

Запрещены прямые сбросы загрязняющих веществ в подземные воды. В рамках осуществления экоаналитического контроля за источниками антропогенного воздействия АЭС проводятся работы по биотестированию вод водоемов-охладителей АЭС, а также работы по обследованию водоемов-охладителей на наличие возбудителей инфекционных заболеваний бактериальной, вирусной, паразитарной природы.

В рамках производственного экологического контроля осуществляется мониторинг состояния наземных и водных экосистем района расположения АЭС.

В процессе выполнения работ проводится оценка состояния экосистем по биотической и абиотической составляющим, а также радиационный мониторинг в районах расположения АЭС. Кроме того, осуществляются работы по биолого-химическому мониторингу систем циркуляционного и технического водоснабжения АЭС.

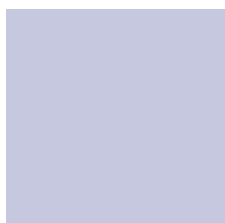
Эксплуатирующей организацией разрабатываются долгосрочные программы по предупреждению биологического обрастания на оборудовании систем технического водоснабжения АЭС.

На АЭС на постоянной основе ведется мониторинг водоемов-охладителей, которые используются для охлаждения нагретой циркуляционной воды в системах обратного водоснабжения.

В целях обеспечения надлежащего функционирования водоемов-охладителей регулярно осуществляется анализ и взятие проб воды и их биологическая мелиорация. Речь идет о выпуске в водоемы растительных видов рыб, которые помогают бороться с сине-зелеными водорослями, улучшают качество воды и сдерживают рост фитопланктона.

Процесс зарыбления происходит с участием специалистов отделов охраны окружающей среды АЭС, отделов государственного контроля Федерального агентства по рыболовству, ФГБУ «Главрыбвод», а также научных институтов.

Проекты сооружения АЭС должны осуществляться в соответствии с требованиями национального законодательства, регулирующего использование водных ресурсов, в том числе для проектов на территории ЕС – в соответствии с требованиями законодательных актов ЕС, что включает в себя как обеспечение соответствия концентраций загрязняющих веществ установленным нормативам допустимого сброса, так и обеспечение температурного режима акватории в районе сброса охлаждающих вод, в том числе в холодное время года.



# ПРАКТИЧЕСКИЙ ПРИМЕР: ПОПОЛНЕНИЕ ИХТИОФАУНЫ ВОДОЕМОВ АЭС

**Участники:** Концерн «Росэнергоатом» и его филиалы – АЭС

**География:** Россия

**Заинтересованные стороны:** местные сообщества, региональные власти.



Зарыбление прудов-охладителей российских АЭС

В 2021 году в организациях Госкорпорации «Росатом» проведены работы по искусственному воспроизводству водных биологических ресурсов:

- **Белоярская АЭС** – проведено зарыбление Белоярского водохранилища пестрым толстолобиком, белым и черным амуром (428 тыс. мальков);
- **Калининская АЭС** – проведено зарыбление Удомельского водохранилища черным амуром (82,7 тыс. мальков);
- **Смоленская АЭС** – проведено зарыбление водоема-охладителя белым толстолобиком, черным и белым амуром (91,3 тыс. мальков);
- **Ростовская АЭС** – проведено зарыбление водоема-охладителя толстолобиком, черным амуром и карпом (3 тонн мальков);
- **Курская АЭС** – проведено зарыбление водоема-охладителя толстолобиком (4,5 тонн мальков).



# ЗАРЫБЛЕНИЕ ВОДОЕМОВ-ОХЛАДИТЕЛЕЙ АЭС

В технологическом процессе ВВЭР используются значительные объемы водных ресурсов. Вода применяется в качестве замедлителя атомной реакции и теплоносителя в реакторе, для передачи тепловой энергии от реактора к турбине, а также для отвода остаточного тепла в конденсаторах турбин. Для этих целей используется вода из пристанционных водоемов-охладителей (водохранилищ), где установлены специальные водозаборные и водосбросные сооружения.

Зарыбление водоемов-охладителей АЭС – распространенная практика для атомных станций в России.

В первую очередь, она носит технологический характер: зарыбление необходимо для биологической мелиорации и поддержания естественных процессов самоочищения водоемов.

В теплой воде происходит интенсивный рост водорослей и размножение моллюсков, а это, в свою очередь, влияет на работу водозаборных насосов, снижая эффективную работу систем технического водоснабжения станции. Растительные рыбы способны в значительной степени нейтрализовать данный негативный эффект.

Кроме того, в результате зарыбления снижается количество фитопланктона, улучшается качество воды и экологическое состояние водоема в целом.

Пополнение ихтиофауны водоемов проводится за счет средств самих АЭС. В водоемы-охладители выпускают такие виды рыб, как толстолобик, карп, лосось, сазан, белый и черный амур и другие. Рыбы помогают поддерживать благоприятный баланс водных организмов, сохранять экологическое благополучие и видовое разнообразие обитателей.

В водоемах при АЭС регулярно проводятся исследования состояния рыбьего поголовья. Объем ежегодного зарыбления рассчитывается специалистами региональных филиалов ФГБУ «Главрыбвод».

Выпуск рыбы в водоемы проводится под строгим контролем специалистов атомных станций, представителей госконтроля, надзора и охраны водно-биологических ресурсов, ветеринарных служб и других организаций, отвечающих за экологическое благополучие региона присутствия АЭС.

Во время выпуска молоди в водоем проверяется не только заявленный объем и видовое соответствие, но и ветеринарное заключение о состоянии рыбы. Во время зарыбления и еще в течение 15 дней на водохранилищах запрещено рыболовство в радиусе 500 метров от того места, где выпустили молодь. Для защиты водных биоресурсов проводятся антибраконьерные рейды.

Еще одним положительным эффектом зарыбления является возможность реализации выращенной рыбы. Например, на базе отводящего канала пруда-охладителя Белоярской АЭС создан рыбопитомник с четырьмя линиями по разведению товарной рыбы – карпа, форели, осетра, толстолобика, стерляди.

В 2020 году производство было доведено до 60 тонн. Покупатели – оптовики и жители близлежащего города, где в текущем году АЭС открыла собственный рыбный магазин. В магазине реализуется как свежая рыба, так и рыбные полуфабрикаты, продукция горячего копчения. В Удомле четыре рыбоводческих хозяйства специализируются на разведении рыбы осетровых пород, форели. Хозяйства производят более 300 тонн рыбной продукции в год, а также порядка 6 млн мальков различных пород рыб.

# АЭС «ПАКШ-2»

**Страна:** Венгрия

**Реактор:** ВВЭР-1200

**Мощность:** 2 блока x 1200 МВт

**Текущая стадия:** получена лицензия на сооружение энергоблоков № 5 и 6 (август 2022 г.)



Макет АЭС «Пакш-2»

## ПЛАН УПРАВЛЕНИЯ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ

В рамках получения лицензии на строительство АЭС «Пакш-2» был подготовлен предварительный отчет анализа безопасности (Preliminary Safety Analysis Report) новых энергоблоков АЭС с реакторами ВВЭР-1200.

В отчете содержится план управления водопользования, согласно которому источником для охлаждения конденсаторов турбин АЭС служит проточная вода из реки Дунай.

В документе строго регламентирован как забор воды, так и режим сброса воды в Дунай после охлаждения конденсаторов, включая точный температурный режим, что позволяет обеспечивать водопользование в пределах нормы, которое строго контролируется регулирующим органом Венгрии.

По остальным статьям водопользования, включая обеспечение водой АЭС для технических и коммунальных нужд, действуют нормы надлежщего венгерского законодательства, которые соответствуют требованиям нормативных актов ЕС.

[Информация по проекту сооружения АЭС «Пакш-2» также представлена на стр. 28-29.](#)

# СООТВЕТСТВИЕ ТРЕБОВАНИЯМ В ЧАСТИ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫБРОСОВ И СБРОСОВ

Радиоактивные выбросы в воздух, водные объекты и загрязнение ими почв соответствуют условиям действия лицензий для конкретных работ (операций), где это применимо, или национальным пороговым значениям в соответствии с Директивой 2013/59/Euratom и Директивой 2013/51/Euratom.

Радиационное воздействие выбросов и сбросов радиоактивных веществ на население и окружающую среду ограничивается национальным законодательством с учетом международных стандартов безопасности.

В России регулирующим органом, Ростехнадзором, для каждой АЭС устанавливаются нормативы предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух и нормативы допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты.

Выбросы и сбросы радиоактивных веществ осуществляются в пределах указанных нормативов на основании разрешений Ростехнадзора. На всех АЭС осуществляется регулярный контроль за соблюдением нормативов выбросов всех нормируемых радионуклидов.

Радиационный контроль за объектами окружающей среды включает:

- контроль мощности дозы гамма-излучения и годовой дозы на местности (осуществляется в непрерывном режиме на территориях санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения АЭС);

- контроль загрязнения атмосферного воздуха, почвы, растительности, воды открытых водоемов;
- контроль загрязнения продуктов питания и кормов местного производства.

К основным факторам радиационного воздействия атомных станций на население и окружающую среду относятся выбросы радиоактивных веществ с АЭС в атмосферный воздух и сбросы техногенных радионуклидов в водные объекты.

Постоянный контроль за соблюдением нормативов осуществляется отделами радиационной безопасности атомных станций. На АЭС осуществляется постоянный контроль состояния радиационной защиты персонала АЭС, населения и поступления радиоактивных веществ в окружающую среду.

Результаты анализа систематического мониторинга радиационной обстановки в районах расположения атомных станций и измерения активности радионуклидов в воздухе, воде, почве, донных отложениях, растительности, организмах животных и пищевых продуктах подтверждают отсутствие неблагоприятного воздействия эксплуатации АЭС на здоровье людей и состояние окружающей среды.<sup>15</sup>

<sup>15</sup> Девятый национальный доклад Российской Федерации о выполнении обязательств, вытекающих из Конвенции о ядерной безопасности, 2022 г.

# ЕДИНАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ (ЕГАСМРО)

Единая государственная автоматизированная система мониторинга радиационной обстановки (ЕГАСМРО)<sup>16</sup> предназначена для информационной поддержки деятельности органов государственной власти и управления всех уровней по обеспечению радиационной безопасности на территории Российской Федерации.

Целью осуществления государственного мониторинга радиационной обстановки является своевременное выявление изменений радиационной обстановки, оценка, прогнозирование и предупреждение возможных негативных последствий радиационного воздействия для населения и окружающей среды.

При проектировании АЭС учету требований в области радиоактивных выбросов и сбросов посвящен специальный раздел проектной документации «Радиоактивные отходы», обеспечивающий соответствие проектных решений как законодательным требованиям, так и выданным разрешениям, лицензиям и другим документам для каждого конкретного проекта АЭС.

Серия стандартов безопасности МАГАТЭ содержит документ GSG-9 «Регулирующий контроль радиоактивных выбросов в окружающую среду»<sup>17</sup> от 2018 года, который определяет порядок мониторинга и контроля радиоактивных выбросов в окружающую среду.

---

<sup>16</sup> <http://egasmro.ru/>

<sup>17</sup> IAEA Safety Standards No. GSG-9 "Regulatory Control of Radioactive Discharges to the Environment", 2018 г. ([IAEA GSG-9](#))

# РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПЕРСОНАЛА И НАСЕЛЕНИЯ

В России принципы обеспечения радиационной безопасности, общие требования к организации и проведению дозиметрического контроля облучения персонала, требования и нормативы воздействия ионизирующего излучения сформулированы в Нормах радиационной безопасности (НРБ-99/2009) и Основных санитарных правилах обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010).



Ленинградская АЭС

## ЗАЩИЩЕННОСТЬ ОТ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

При нормальной эксплуатации пределы доз облучения в течение года устанавливаются, исходя из следующих значений индивидуального пожизненного риска: для персонала –  $1 \times 10^{-3}$ , для населения –  $5 \times 10^{-5}$ , что соответствует рекомендациям МАГАТЭ.

При обосновании защищенности от потенциального облучения в течение года в качестве граничных значений обобщенного риска (произведение вероятности события, приводящего к облучению, на вероятность смерти, связанной с облучением) принимаются следующие значения: для персонала –  $2 \times 10^{-4}$  год<sup>-1</sup>, для населения –  $1 \times 10^{-5}$  год<sup>-1</sup>.<sup>18</sup>

Основные пределы доз, равные 50 мЗв в год и 100 мЗв за любые последовательные пять лет, не превышены ни на одной АЭС. Индивидуальные дозы облучения 90% персонала АЭС не превышают 5 мЗв в год.

Выбросы и сбросы АЭС создают незначительные дозы облучения населения в районах расположения атомных станций, радиационные риски для населения за счет плановых выбросов радионуклидов за пределы АЭС в режиме нормальной эксплуатации являются приемлемыми и создают дозу менее 10 мкЗв в год (риск менее  $10^{-6}$  год<sup>-1</sup>).

Технологии ВВЭР поколения III+ позволили свести к минимуму риски запроектной аварии, в результате которой возможно превышение установленных пределов радиационного воздействия на население и окружающую среду.

---

<sup>18</sup> Девятый национальный доклад Российской Федерации о выполнении обязательств, вытекающих из Конвенции о ядерной безопасности, 2022 г.

## СООТВЕТСТВИЕ ТРЕБОВАНИЯМ В ЧАСТИ НЕРАДИОАКТИВНЫХ ВЫБРОСОВ

Нерадиоактивные выбросы находятся в пределах или ниже уровней выбросов, связанных с технологическими показателями наилучших доступных технологий. IAEA Safety Standards No. GSG-9 “Regulatory Control of Radioactive Discharges to the Environment”, 2018 г.

Для АЭС, тепловая мощность которых превышает 1 МВт, выбросы устанавливаются ниже предельных значений, изложенных в Директиве ЕС 2015/2193 от 25.11.2015 об ограничении выбросов определенных загрязняющих веществ от средних установок сжигания.

Нормативы предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух устанавливаются государством. Законодательство РФ по охране атмосферного воздуха включает Федеральный закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха», Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» и другие национальные подзаконные правовые акты.

На основе национальных нормативных актов на каждой АЭС разработаны и утверждены нормативы предельно-допустимых выбросов загрязняющих веществ, не являющихся радиоактивными, в атмосферный воздух.

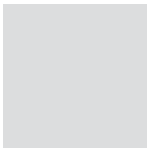
Нормативы устанавливаются для каждого стационарного источника выбросов и АЭС в целом, по каждому загрязняющему веществу и группам веществ.

Устанавливаемый норматив должен соответствовать условию, при котором выбросы каждого источника и АЭС в целом не создадут приземную концентрацию, превышающую предельно допустимую концентрацию на границе санитарно-защитной зоны.

Величина нормативов устанавливается на основе сводных расчетов допустимого негативного воздействия на атмосферный воздух и характеризуются следующими величинами: максимальное разовое значение, г/с; валовое значение, т/г. Контроль выбросов проводят инструментальными и расчетными методами.


Установки сжигания – любая техническая установка, в которой различные виды топлива подвергаются окислению для того, чтобы использовать выделяемое при этом тепло, например, дизель-генераторы, – используются для нужд АЭС в экстренных случаях (например, при инцидентах, связанных с отсутствием электроснабжения) и эксплуатируются в течение ограниченного периода времени (до 500 часов эксплуатации в год, проверка осуществляется один раз в месяц и после планово-предупредительного ремонта).





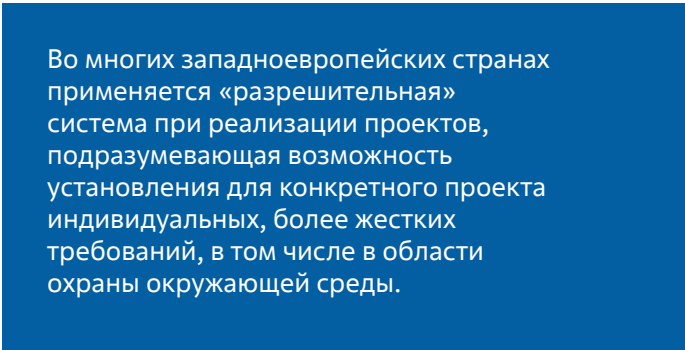
На всех АЭС в России организован учет выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и их источников, проводится производственный экологический контроль за соблюдением установленных нормативов выбросов в атмосферный воздух.

На АЭС проводится работа по проверке эффективности работы и технического состояния газоочистного оборудования, на каждую газоочистную установку имеется паспорт и вся необходимая техническая документация.



Объемы нерадиоактивных выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух АЭС не превышают предельно допустимых значений и значительно ниже установленных природоохранными органами нормативов.

Аварийные и залповые выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух отсутствуют.



Во многих западноевропейских странах применяется «разрешительная» система при реализации проектов, подразумевающая возможность установления для конкретного проекта индивидуальных, более жестких требований, в том числе в области охраны окружающей среды.

## ПРАКТИЧЕСКИЙ ПРИМЕР ПО РЕГУЛИРОВАНИЮ: НЕРАДИОАКТИВНЫЕ ВЫБРОСЫ И НДТ

Законодательство Евросоюза и Венгрии содержит нормы по выбросам и утилизации отходов. Согласно лицензионной документации АЭС «Пакш-2» нерадиоактивные выбросы находятся в пределах или ниже уровней выбросов, связанных с технологическими показателями наилучших доступных технологий (НДТ).

Объемы неопасных и опасных нерадиоактивных отходов АЭС «Пакш» составляют 1434 и 276 тонн в год с учетом НДТ. Аналогичные отходы АЭС «Пакш-2» составят 800 и 100 тонн в год соответственно. Таким образом неопасные нерадиоактивные отходы образуются на новой венгерской АЭС на 45%, а опасные нерадиоактивные отходы на 74% меньше, чем на АЭС «Пакш».

# ТОПЛИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ АЭС И СТРЕМЛЕНИЕ К ЗАМЫКАНИЮ ЯТЦ

## КЛЮЧЕВЫЕ ВЫВОДЫ

Критерии, касающиеся ЯТЦ, с одной стороны, направлены на проекты по сооружению новых АЭС и по продлению срока эксплуатации АЭС, с другой – могут применяться и к отдельным поставкам топлива.

Критерии в части топливных решений, которые закреплены в ДДА Таксономии ЕС, включают в себя требование по использованию толерантного топлива с 2025 года с его обязательной сертификацией и одобрением национальным регулирующим органом. При этом на сегодняшний день в мире отсутствует общепринятое понятие толерантного топлива и его конкретные технические параметры.

Термин «толерантное топливо» (Accident Tolerant Fuel) прочно закрепился в повестке атомной энергетики после аварии на АЭС «Фукусима» (Япония) в марте 2011 года. Тогда в результате разогрева активной зоны реактора значительно выросла температура оболочек твэлов из циркониевого сплава. Это привело к химической реакции между цирконием и водяным паром (пароциркониевая реакция), что в итоге повлекло за собой взрыв.

С тех пор толерантным топливом принято называть ядерное топливо, устойчивое к авариям. Такое топливо должно оставаться работоспособным не только в нормальных условиях, но и в условиях аварий с потерей теплоносителя.

Разработки толерантного топлива ведутся в нескольких странах и по нескольким направлениям. Поскольку четкие критерии такого топлива отсутствуют, специалисты тестируют различные концептуальные подходы к разработке топлива, устойчивого к авариям.

Эксперты сходятся в том, что полномасштабная технологическая и даже регуляторная готовность к использованию толерантного топлива не достижима к 2025 году ни по одному из подходов, имеющих на сегодняшний день.

Кроме того, в зоне неопределенности остается вопрос о том, что считать выполнением требования по использованию толерантного топлива с 2025 года – получение лицензии на опытную/ частичную/ полную загрузку, частичная/ полная фактическая загрузка такого топлива или прохождение полного жизненного цикла квалификации топлива в соответствии с требованиями каждого национального регулирующего органа.

Четкая процедура признания топлива толерантным также отсутствует. По аналогии с любым изменением параметров ядерного топлива, по всей видимости, такое признание должно осуществляться через процедуру сертификации (лицензирования) в соответствии с требованиями законодательства страны-заказчика.

Критерий сертификации толерантного топлива и одобрения национальным регулирующим органом страны-заказчика требует наличия (достройки) технологической экспертизы у регулирующего органа, что также требует детализации и однозначной трактовки требований толерантности. Такая детализация может быть проведена как на уровне ЕС, так и непосредственно национальными регулирующими органами при условии наличия соответствующих компетенций.

Необходимо отметить, что изменение/дополнение действующих процедур сертификации топлива потребует дополнительного времени, что также ставит под вопрос реализуемость требований ДДА в части срока – 2025 год. Также отдельным вопросом является стандартизация решений, которые могут быть признаны «толерантными».

Дополнительный критерий, указанный в ДДА и имеющий непосредственное отношение к ядерному топливному циклу, – переход к экономике замкнутого цикла, т.е. обязательный учет (организационный, финансовый, технологический) обращения с ОЯТ, в том числе с отработавшим толерантным топливом.

В связи с этим при отработке технологий толерантного топлива важными представляются вопросы его переработки и утилизации, что в будущем должно найти отражение в детализации требований к толерантному топливу и порядку его лицензирования.

Также, в связи с данным блоком критериев ДДА необходимо рассматривать реакторы IV поколения, предполагающие полное замыкание ЯТЦ (в том числе реакторы на быстрых нейтронах).

Учитывая, что текущая редакция ДДА относит атомную энергетику к переходным видам деятельности с горизонтом реализации проектов сооружения новых АЭС и продления срока эксплуатации действующих АЭС в срок до 2045 и 2040 гг. соответственно, логично предположить возможность принятия очередного дополнительного делегированного акта с «зелеными» критериями по мере развития и коммерциализации технологий реакторов IV поколения для разворачивания масштабного строительства данных АЭС за горизонтом 2045 года.

Госкорпорация «Росатом» уделяет серьезное внимание развитию технологий полного замыкания ЯТЦ, в том числе разработке всех элементов необходимой для этого инфраструктуры. В рамках данного направления Госкорпорация «Росатом» занимается реализацией проекта «Прорыв», а также предлагает концепцию «Сбалансированного ЯТЦ» (СБЯТЦ), которая объединяет в настоящее время продукты и решения, направленные на замыкание топливного цикла легководных реакторов.

Госкорпорация «Росатом» достигает целей СБЯТЦ путем включения в ЯТЦ реакторов нового, IV-го поколения, на быстрых нейтронах, наряду с традиционными реакторами на тепловых нейтронах. СБЯТЦ представляет собой сочетание четырех основных составляющих: переработка ОЯТ с фракционированием ВАО; системы длительного хранения ОЯТ и ВАО; топливо из регенерированных ядерных материалов (уран-плутониевое топливо и регенерированное урановое топливо); дожигание минорных актинидов в быстрых реакторах.

Переход на двухкомпонентную атомную энергетику позволит повысить эффективность использования уранового сырья и минимизировать образование РАО.

## КЛЮЧЕВЫЕ КРИТЕРИИ ДДА ТАКСОНОМИИ ЕС В ЧАСТИ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

Критерии в части ЯТЦ предусматривают переход на толерантное топливо (Accident Tolerant Fuel) с 2025 года, а также стремление к замыканию ЯТЦ – что включает задачу минимального образования РАО.

В части топливных решений указано, что требования к сроку начала использования толерантного топлива могут быть пересмотрены с учетом «технического прогресса в коммерциализации толерантного топлива в ЕС и в мире» (поправки, вносимые ДДА в Делегированный регламент ЕС 2021/2139 – аб. 2, ст. 2а).

В соответствии с ДДА толерантное топливо должно быть сертифицировано и одобрено национальным регулирующим органом соответствующей страны, т.е. пройти процедуру лицензирования в стране – члене Евросоюза.

Помимо ключевых критериев, в ДДА также указываются дополнительные критерии. Дополнительный критерий, имеющий непосредственное отношение к ядерному топливному циклу, – переход к экономике замкнутого цикла.

## ТОЛЕРАНТНОЕ ТОПЛИВО, ОБРАЩЕНИЕ С ОЯТ

На данный момент в рамках ДДА не сформированы конкретные требования к толерантному топливу. Вместе с тем, несмотря на отсутствие каких-либо конкретных параметров толерантного топлива в ДДА на данный момент, ожидается, что европейские регуляторы будут ориентироваться на векторы технологического развития топлива, подтвержденные европейскими научными разработками.

Работы над устойчивыми к авариям типами топлива проводились в мире задолго до аварии на АЭС «Фукусима», однако такие работы получили значительное развитие именно после событий марта 2011 года.

Наиболее масштабные работы по разработке толерантного топлива ведутся в США в рамках программы Министерства энергетики США (DOE), стартовавшей в 2012 году и предполагающей значительные объемы финансирования. Ожидается, что программа завершится к 2025 году.



Контроль геометрических размеров ТВС (Машиностроительный завод)

В программе участвуют компании Westinghouse (США), Framatome (Франция) и GNF (совместное предприятие GE и Hitachi). В 2019 году все три компании загрузили первые опытные сборки с «толерантными» твэлами (Lead Test Rods) в реакторы США.

Основными направлениями разработок являются покрытие оболочек твэлов (циркониевые оболочки, оболочки из карбида кремния) и легирование таблеток топлива оксидом хрома Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

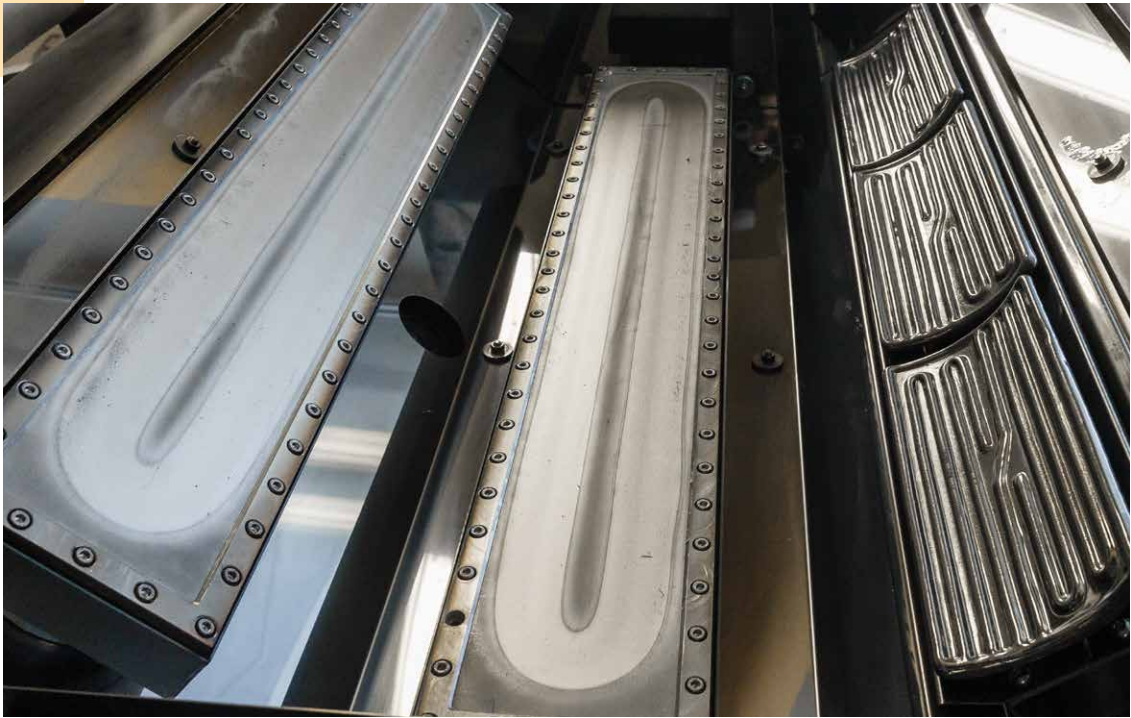
Технологические решения Госкорпорации «Росатом» по модификации топлива, разработанные на сегодняшний день, направлены на предупреждение аварий, связанных с пароциркониевыми реакциями.

Высокий уровень защиты обеспечивается, в том числе посредством увеличенного размера зерна в структуре топлива, а также с помощью активных и пассивных систем безопасности реакторов ВВЭР поколения III+.

В 2018 году были загружены экспериментальные ТВС ВВЭР и PWR производства ПАО «НЗХК» в исследовательский реактор МИР ГНЦ «НИИАР».

Пройдено два полных цикла испытаний. В 2021 году началась первая российская программа по облучению опытных твэлов (LTR) на энергоблоке № 2 Ростовской АЭС.

В рамках этой программы облучается три сборки типа ТВС-2М, каждая из которых содержит по 12 «толерантных» твэлов: шесть изготовлены с применением в качестве конструкционного материала хром-никелевого сплава 42ХНМ и шесть с оболочками из циркониевого сплава с хромовым покрытием.



Исследования и разработка напыления для толерантного топлива, ВНИИИНМ им. Бочварова.  
Распылительный магнетронный модуль с мишенью-катодом из материала, которым модифицируют поверхность твэльных труб.

Наличие дополнительного покрытия оболочки твэлов открывает вопрос о переработке топлива с новыми характеристиками, что в явном виде не рассматривается в ДДА.

В логике связанности топливного решения и обращения с ОЯТ реализуется концепция «Сбалансированный ЯТЦ» (СБЯТЦ), которую предлагает Госкорпорации «Росатом».

Кроме того, дополнительный критерий ДДА – «переход к экономике замкнутого цикла» – предусматривает максимально возможное повторное использование нерадиоактивных и радиоактивных отходов.

При успешном внедрении технологий реакторов на быстрых нейтронах с большой интегральной мощностью и долей в атомной энергетике страны, минорные актиниды – наиболее долгоживущие фракции радиоактивных отходов, которые представляют наибольшую опасность при захоронении, – могут быть утилизированы в рамках двухкомпонентной энергетики.

В результате трансмутации и многократного рецикла минорные актиниды переходят в короткоживущие или стабильные элементы, что значительно сокращает уровень потенциальной биологической и радиоэкологической опасности захораниваемых РАО. Подробнее данное решение будет рассмотрено ниже (в главе «Вывод из эксплуатации АЭС, обращение с РАО»).

# СБАЛАНСИРОВАННЫЙ ЯТЦ

Концепция СБЯТЦ предполагает многократный рецикл регенерированных ядерных материалов зарубежных АЭС на основе легководных реакторов с одновременным радикальным сокращением в сотни раз длительности сохранения радиологической опасности остающихся к захоронению РАО с тысячелетий до около трёхсот лет.

Предлагаемое в рамках СБЯТЦ топливо из регенерированных ядерных материалов (уран-плутониевое топливо и регенерированное урановое топливо) предполагает загрузку до 100% активной зоны тепловых реакторов таким ядерным топливом с расчетной возможностью шести-семи рециклов, число которых ограничено только сроком эксплуатации блока АЭС.

Возврат в топливный цикл регенерированного урана и плутония позволяет операторам АЭС более эффективно использовать собственные ресурсы и экономить природный уран.



Новый транспортно-упаковочный комплект для перевозки РЕМИКС-топлива, ФГУП «ГХК»

## КОНЦЕПЦИЯ СБЯТЦ ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ НАБОР ИЗ ЧЕТЫРЕХ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТ:

1. переработка ОЯТ с фракционированием ВАО;
2. системы длительного хранения ОЯТ и ВАО;
3. топливо из регенерированных ядерных материалов (уран-плутониевое топливо и регенерированное урановое топливо);
4. дожигание минорных актинидов в реакторах на быстрых нейтронах.

## КОМПЛЕКСНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ВСЕХ ЧЕТЫРЕХ КОМПОНЕНТ ПОЗВОЛЯЕТ (НА ПРИМЕРЕ ДВУХБЛОЧНОЙ АЭС МОЩНОСТЬЮ 2,4 ГВт(Э) ПРИ СРОКЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ В 60 ЛЕТ):

- экономить до 31% природного урана или его эквивалентов за счет рецикла ядерных материалов, извлеченных из ОЯТ;
- сократить более, чем на 22% характерные для стратегии прямого захоронения ОЯТ затраты операторов АЭС на длительное временное хранение и захоронение ОЯТ, выраженные через отчисления в фонды финансирования отложенных обязательств по обращению с ОЯТ;
- более чем в 6 раз снизить количество упакованных РАО в матрице из бор-силикатного стекла, направляемых на захоронение в странах заказчиков, по отношению к объёму помещённого в капсулы ОЯТ в случае его прямого захоронения;
- сократить с десятков тысяч до около трёхсот лет длительность обременения потомков радиологической опасностью от подлежащих захоронению РАО.

**Таким образом, СБЯТЦ является практическим примером экономики замкнутого цикла. На текущий момент это единственный пример такого рода в мире.**

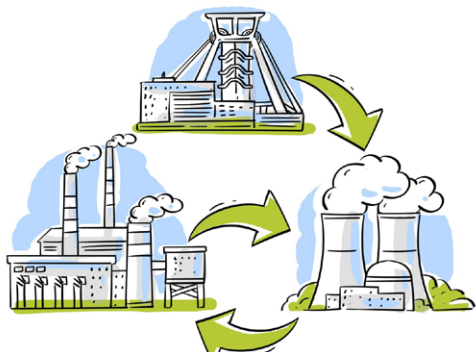


Разделка и хранение ОЯТ. Ленинградская АЭС



## НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИЙ БЫСТРЫХ РЕАКТОРОВ И ЗАМКНУТОГО ЯТЦ

Уже в первой половине XXI века планируется сформировать двухкомпонентную систему ядерной энергетики с реакторами на тепловых и быстрых нейтронах с параллельным развитием соответствующей инфраструктуры замкнутого ЯТЦ.



Наиболее эффективно замыкание ЯТЦ, то есть вовлечение в ЯТЦ регенерированных из ОЯТ ядерных материалов, реализуется в реакторах на быстрых нейтронах.

Увеличение доли таких реакторов в энергобалансе позволит обеспечить устойчивое энергоснабжение на тысячелетия вперёд за счёт постепенного снижения зависимости отрасли от уранового сырья, исключения накопления ОЯТ тепловых реакторов и минимизации образования РАО, что полностью соответствует ключевым принципам экономики замкнутого цикла.

Помимо России созданием двухкомпонентной ядерной энергетики занимается КНР. Китай придерживается трехступенчатой стратегии развития быстрых реакторов: экспериментальный реактор, опытный реактор и коммерческий реактор.

На данный момент в КНР ведется сооружение двух опытных реакторов CFR-600, начало эксплуатации которых было запланировано на 2023 год. Старт строительства первого коммерческого реактора – CFR-1000 – запланирован на 2028 год с началом коммерческой эксплуатации в 2034 году.

Сегодня на Белоярской АЭС (Россия) работают два реактора на быстрых нейтронах – БН-600 и БН-800. За счет своей специфики такие реакторы не только производят электроэнергию, но также нарабатывают (облагораживают) плутоний для его повторного использования в тепловых реакторах ВВЭР.

# БЕЛОЯРСКАЯ АЭС

**Место расположения:** Россия, вблизи г. Заречный (Свердловской обл.)

**Количество энергоблоков:** 4 (в эксплуатации – 2)

**Тип реактора:** АМБ (блоки № 1 и 2), БН-600 (блок № 3), БН-800 (блок № 4)

**Общая установленная мощность:** 1485 МВт.



Белоярская АЭС



Энергоблок БН-800 Белоярской АЭС

## РЕАКТОРЫ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

В настоящее время на Белоярской АЭС эксплуатируется два энергоблока – БН-600 (введен в эксплуатацию в 1980 г.) и БН-800 (введен в эксплуатацию в 2015 г.).

Это крупнейшие в мире энергоблоки с реакторами на быстрых нейтронах. По показателям надежности и безопасности быстрый реактор входит в число лучших ядерных реакторов мира.

Рассматривается возможность дальнейшего расширения Белоярской АЭС энергоблоком № 5 с быстрым реактором мощностью 1200 МВт – головным коммерческим энергоблоком для серийного строительства.

# ПРОЕКТ «ПРОРЫВ»

Проект «Прорыв» нацелен на достижение нового качества ядерной энергетики, разработку, создание и промышленную реализацию замкнутого ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ) на базе реакторов на быстрых нейтронах, развивающих крупномасштабную ядерную энергетику.



Церемония заливки первого бетона реактора  
БРЕСТ-ОД-300 Проекта Прорыв

## БАЗОВЫЕ ТРЕБОВАНИЯ:

1. исключение аварий на АЭС, требующих эвакуации, а тем более отселения населения;
2. обеспечение конкурентоспособности ядерной энергетики в сравнении с альтернативной генерацией, в первую очередь с парогазовыми установками, но также и солнечными и ветровыми станциями при учете всех затрат топливных циклов (на основе сравнительного анализа LCOE);
3. формирование ЗЯТЦ для полного использования энергетического потенциала природного уранового сырья;
4. последовательное приближение к радиационно-эквивалентному (по отношению к природному сырью) захоронению РАО;
5. технологическое укрепление режима нераспространения (последовательный отказ от обогащения урана для ядерной энергетики, наработки оружейного плутония в бланкете и выделения при переработке ОЯТ, сокращение транспортировки ядерных материалов).

## ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА:

Радиационно-эквивалентный подход в ЗЯТЦ – основной способ решения потенциальных экологических проблем при обращении с РАО. Он фактически означает, что радиационная безопасность окружающей среды гарантируется не техническими средствами и способами, а самим отсутствием активности сверх имеющихся уже природных уровней.

На сегодняшний день уже экспериментально продемонстрирована возможность глубокого извлечения актинидов (> 99,9%) из всех видов РАО, что обосновывает техническую достижимость радиационно-эквивалентного подхода к захоронению РАО.

В рамках сценария развития в XXI веке ядерной энергетики России с реакторами на тепловых и быстрых нейтронах установлено:

- выравнивание ожидаемых доз облучения от РАО и от природного сырья (радиационная эквивалентность) достигается через 287 лет после наработки отходов ядерной энергетики в 2100 году;
- выравнивание пожизненных радиационно-обусловленных рисков возможной индукции онкозаболеваний от РАО и от природного сырья (радиологическая эквивалентность) достигается через 99 лет после наработки отходов ядерной энергетики в 2100 году.



Заливка первого бетона реактора БРЕСТ-ОД-300 Проекта Прорыв

# ПРАКТИЧЕСКИЙ КЕЙС: ДЕМОНСТРАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ РЕАКТОРА НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ СО СВИНЦОВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ И ПРЕДПРИЯТИЙ ЗАМКНУТОГО ЯТЦ

Опытно-демонстрационный энергетический комплекс (ОДЭК), сооружаемый в рамках проектного направления «Прорыв» в г. Северске Томской области, призван продемонстрировать возможность использования АЭС в качестве полноценного возобновляемого источника энергии на базе технологий «естественной» безопасности и замкнутого ЯТЦ.

Комплекс состоит из реактора на быстрых нейтронах (РБН) со свинцовым теплоносителем БРЕСТ-ОД-300 электрической мощностью 300 МВт(э) и предприятий пристанционного топливного цикла для фабрикации и переработки ядерного топлива.

Использование в БРЕСТ-ОД-300 интегральной компоновки реактора с высококипящим, радиационно стойким, слабо активируемым свинцовым теплоносителем, инертным при контакте с водой и воздухом и не требующим высокого давления, позволяет исключить аварии, приводящие к эвакуации населения, что существенно повышает привлекательность технологии для будущих потребителей и социальную приемлемость ЯЭ в целом.

Применение плотного нитридного топлива в реакторах на быстрых нейтронах позволит создать условия для достижения полного воспроизводства делящихся нуклидов в активной зоне и стабилизации размножающих свойств реактора, что одновременно важно с точки зрения соблюдения режима нераспространения и воспроизводства ценных энергетических ресурсов.

Использование уран-плутониевого топлива для запуска реактора на начальном этапе эксплуатации продемонстрирует возможность эффективного рециклирования плутония из ОЯТ тепловых реакторов, при котором дальнейшая эксплуатация потребует подпитку отвальным ураном, который накоплен в мире в больших объемах.

Тиражирование данных решений позволит полностью избавиться от проблемы накопления минорных актинидов и ОЯТ и ограничений ресурсной базы природного урана.

При этом потенциальная биологическая опасность (ПБО) отходов, получаемых после переработки ОЯТ, сравняется с ПБО исходного уранового сырья уже в течение нескольких сотен лет (ПБО ОЯТ и исходного уранового сырья в открытом цикле достигнет одинаковых значений через ~700 000 лет).

## ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ, РЕАЛИЗУЕМЫХ В ОДЭК:

- «естественная» безопасность энерготехнологий;
- отсутствие видимых ограничений по ресурсной базе;
- минимизация экологического воздействия на окружающую среду, не представляющего опасности для биосферы;
- гарантированное снижение ПБО окончательно изолируемых отходов до уровня исходного уранового сырья в приемлемые для широкой общественности сроки;
- технологическая поддержка режима нераспространения ЯО.



# РЕАЛИЗАЦИЯ

На территории Сибирского химического комбината создается ОДЭК, сердце которого – уникальный энергоблок с реактором БРЕСТ-ОД-300 со свинцовым теплоносителем.

Помимо реактора ОДЭК включает в себя модуль фабрикации/рефабрикации (МФР) для изготовления смешанного уран-плутониевого топлива и замыкающий ядерный топливный цикл модуль переработки (МП) облученного СНУП-топлива. Пристанционный топливный цикл имеет общую систему обращения с РАО.

Получены результаты НИОКР в обоснование основного оборудования, изделий активной зоны, конструкционных материалов, технологии свинцового теплоносителя, позволившие приступить к созданию реакторной установки БРЕСТ-ОД-300.

Все компоненты уникального оборудования прошли экспериментальное обоснование на мало- и среднемасштабных макетах (часть макетов для отработки технологий ОДЭК были разработаны с нуля).

В феврале 2021 года получена лицензия Ростехнадзора (регулирующий орган России) на сооружение опытно-демонстрационного энергоблока с этой инновационной реакторной установкой.

8 июня 2021 года на площадке СХК в Северске был залит первый бетон в фундаментную плиту энергоблока, в ноябре 2021 года заливка фундаментной плиты была полностью завершена.

В настоящее время успешно продолжается монтаж оборудования МФР. В 2022 году планируется провести очередные испытания ТВС в рамках разработки и обоснования твэлов со СНУП-топливом для реакторов со свинцовым и натриевым теплоносителями.

Планируется актуализация имитационных моделей линии изготовления ТВС в части моделирования доставки и монтажа оборудования с применением грузоподъемных механизмов. В опытно-промышленную эксплуатацию МФР планируется ввести в первом полугодии 2024 года.

Третий обязательный элемент ОДЭК – модуль переработки облученного ядерного топлива. Предполагается поэтапно реализовать комбинированную технологию переработки СНУП ОЯТ, включающую головной, пирохимический и гидрометаллургический переделы. В 2021 году научно-исследовательские работы по пирохимической технологии вышли на стадию конструирования, изготовления и испытаний опытного оборудования.

Среди задач 2022 года – изготовление макетов инновационного оборудования МП ОДЭК, проведение ряда испытаний, в том числе системы газоочистки опытно-промышленной установки кондиционирования высокоактивных отходов (ВАО), продолжение создания аппаратурно-методического комплекса для МП, а также разработка и утверждение концепции пуска модуля переработки.

В настоящее время осуществляется переход от разработки к строительству и вводу в эксплуатацию головного коммерческого энергоблока с быстрым реактором мощностью 1200 МВт с натриевым теплоносителем в составе Белоярской АЭС.

Разрабатывается проект промышленного энергоблока с реактором на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем в комплексе с производствами топливного цикла в составе промышленного энергокомплекса (ПЭК). Опытно-промышленная демонстрация технологий на базе реакторов со свинцовым теплоносителем и ЗЯТЦ должна состояться до 30-ых годов XXI века.

Все это открывает возможности для широкого внедрения реакторов на быстрых нейтронах в атомную промышленность и формирования двухкомпонентной структуры ядерной энергетики с приданием ей нового качества. Все эти работы выполняются в России в составе проектного направления «Прорыв».

Важной вехой перехода в замкнутому ЯТЦ в сфере мирного использования атома является массовое строительство реакторов поколения IV. Одним из вариантов замыкания ЯТЦ является сооружение реакторов на быстрых нейтронах в комплексе с пристанционными модулями фабрикации/ рефабрикации топлива и переработки ОЯТ.

Подобное решение расширяет ресурсную базу атомной энергетики, сводит к минимуму логистические риски при транспортировке радиоактивных материалов, а также позволяет решить проблему накопления ОЯТ уже сегодня, не перекладывая ее на плечи новых поколений.



# ВЫВОД ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭС, ОБРАЩЕНИЕ С РАО

## КЛЮЧЕВЫЕ ВЫВОДЫ

ДДА Таксономия ЕС содержит критерии в части безопасного обращения с РАО и вывода АЭС из эксплуатации, поскольку ответственное обеспечение заключительной стадии жизненного цикла является необходимым условием безопасности и непричинения существенного вреда окружающей среде, жизни и здоровью человека.

Большая часть критериев ДДА в части заключительной стадии жизненного цикла относится к законодательству/ инфраструктуре страны размещения АЭС. В ДДА отсутствуют определения, конкретные значения и технические параметры, в основном критерии содержат отсылки к требованиям действующих директив ЕС и стандартам безопасности МАГАТЭ.

В некоторых странах ОЯТ считается ценным ресурсом и предполагает его переработку, а в других – ОЯТ квалифицируется как РАО из-за отсутствия технологий по переработке. Разница в подходах существенно влияет на трактовку критериев ДДА.

Обращение с РАО имеет два вектора – минимальное образование РАО и безопасное обращение с РАО. Четкие требования в части обращения с РАО в ДДА также отсутствуют, такие требования могут в дальнейшем быть уточнены в нормах ЕС или найти отражение в национальном законодательстве.

Вывод из эксплуатации, как и обращение с РАО, требует создания комплексной системы. Во-первых, необходимо создать регулируемую базу, закрепляющую основные принципы и конкретные нормы и показатели.

Во-вторых, требуется технологическая инфраструктура – пункты приема, кондиционирования и захоронения РАО, вспомогательное оборудование. В-третьих, должно быть предусмотрено финансовое обеспечение ВЭ и обращения с РАО.

В-четвертых, должны быть созданы или наделены соответствующими полномочиями регулирующие органы, которые будут отвечать за выдачу лицензии (других официальных разрешений) и осуществление контроля (инспектирование, санкции).

Госкорпорация «Росатом» развивает технологии по замыканию ЯТЦ, что позволяет минимизировать образование РАО посредством переработки и дальнейшего использования ОЯТ. Отдельным направлением работ является снижение опасности РАО.

Технология по выделению и трансмутации (дожиганию) минорных актинидов – переход наиболее долгоживущей фракции радиоактивных отходов в короткоживущие или стабильные элементы – позволяет значительно повысить эффективность захоронения.

Это способствует существенному снижению периода потенциальной опасности и избеганию необходимости сооружения пунктов глубинного захоронения путем размещения короткоживущих фракций РАО в приповерхностных и среднеглубинных пунктах захоронения.

Такой подход дает возможность управлять рисками, связанными с отсутствием благоприятных геологических условий, а также снизить совокупные затраты на обращение с РАО от ОЯТ.

## КЛЮЧЕВЫЕ КРИТЕРИИ ДДА ТАКСОНОМИИ ЕС В ЧАСТИ ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЙ СТАДИИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

**Можно выделить четыре группы критериев, которые ДДА предъявляет к новым проектам в части заключительной стадии жизненного цикла (ЖЦ) ЯТЦ и АЭС:**

1. Наличие к дате одобрения проекта фонда (финансовых и операционных ресурсов) по обращению с РАО и выводу из эксплуатации. Подтверждение наличия необходимых ресурсов на конец ЖЦ объекта для обращения с РАО и вывода из эксплуатации;
2. Наличие действующего объекта окончательной изоляции для очень низкоактивных (ОНАО), низкоактивных (НАО) и короткоживущих среднеактивных отходов (САО). Наличие детального плана по вводу в эксплуатацию к 2050 году хранилища для высокоактивных отходов (ВАО);
3. Применение в проекте лучших доступных технологий, предусматривающих минимальное образование РАО. Наличие таких технологий в прекоммерческой стадии;
4. Обращение с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) и РАО осуществляется безопасным и ответственным способом.



Комплекс по переработке и утилизации твердых радиоактивных отходов (ТРО) на Ленинградской АЭС.

# ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ КРИТЕРИЯМ ДДА ТАКСОНОМИИ ЕС В ЧАСТИ ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЙ СТАДИИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Прежде всего следует отметить размытость определений ОЯТ и РАО. Поскольку часть стран – членов ЕС считает ОЯТ ресурсом и предполагает его перерабатывать, а другая часть стран-членов не имеет такой возможности и хранит ОЯТ, документы ЕС допускают отнесение ОЯТ как к рециклируемым продуктам, так и к РАО.

Подход Госкорпорации «Росатом» подразумевает однозначное отнесение ОЯТ к ресурсам (что соответствует требованию ДДА о переходе к экономике замкнутого цикла), и поэтому все вопросы, связанные с обращением с ОЯТ, рассматриваются в главе «Топливное решение для АЭС и стремление к замыкаю ЯТЦ».

МАГАТЭ, на нормы которого ссылаются критерии ДДА, рекомендует классифицировать радиоактивные отходы в зависимости от продолжительности их опасности и относительной активности. Для всех этих отходов в стране рекомендуется иметь соответствующие объекты захоронения.

В данной главе под РАО понимаются лишь те материалы, которые не предусматривают дальнейшего использования и подлежат кондиционированию (приведению РАО в физическую форму и состояние, пригодные для их захоронения и соответствующие критериям приемлемости) и захоронению. Это, в частности, эксплуатационные РАО АЭС; РАО, образующиеся при выводе АЭС из эксплуатации; и РАО, возникающие при переработке ОЯТ.

В части детализации требований к обращению с РАО и ВЭ ЯРОО ДДА содержит ссылки на следующие директивы ЕС:

**Директива 2011/70/Euratom от 19.07.2011 о рамочных требованиях в области ответственного и безопасного обращения с ОЯТ и РАО.**

Директивой 2011/70/Euratom определены следующие основные сферы для обеспечения ответственного и безопасного обращения с ОЯТ и РАО: национальная нормативная база, независимый компетентный регулирующий орган, первоочередная ответственность держателей лицензий, обучение для поддержания необходимых знаний и навыков, финансовые ресурсы, информирование работников и общественности, национальные программы, уведомление и отчетность.

Документ содержит ссылки на другие директивы ЕС, которые так или иначе применимы к ОЯТ и РАО (по физической безопасности, трансграничным перемещениям, обязательности наблюдения, прозрачности контроля и т.д.).

Кроме того, Директива 2011/70/Euratom содержит определения основных понятий, относящихся к обращению с ОЯТ и РАО, основные принципы организации обращения с ОЯТ и РАО, а также требования к наличию в странах-членах органов, ответственных за обращение с ОЯТ и РАО, и финансовых институтов, обеспечивающих эту деятельность.



Одной из наиболее сбалансированных национальных инфраструктур по обращению с РАО является таковая во Франции. На иллюстрации представлен объект по захоронению НАО и ОНАО в Манше (Manche disposal facility).<sup>19</sup> Он уже закрыт (опечатан, герметизирован) и находится в стадии мониторинга. (<https://cli-manche.fr/csm-andra/presentation-de-la-cli/>)

В качестве одного из ключевых указано требование по регулярной отчетности о состоянии национальных систем обращения с ОЯТ и РАО в адрес Еврокомиссии. Критерии ДДА в отношении РАО в целом дублируют ключевые требования Директивы 2011/70.

**Директива 2013/59/Euratom от 05.12.2013 устанавливает основные стандарты безопасности для защиты от угроз, возникающих в результате воздействия ионизирующего излучения.**

Директива 2013/59/Euratom содержит перечень решений Евросовета и его директивы, относящиеся к радиационной защите. Документ регламентирует основные подходы к измерению уровня радиоактивного излучения и защите от него, содержит определения основных терминов и характеристики, включая формулы для их вычислений,

приводит общие принципы организации радиационной защиты, описывает инструменты улучшения радиационной защиты и рекомендации по организации обучения и информирования населения, закрепляет требования, обязательные для исполнения странами – членами ЕС, в том числе в части распределения ответственности, лицензирования, отчетности и т.п. Кроме того, Директива 2013/59/Euratom устанавливает правила надзора за национальными практиками со стороны ЕС.

В целом критерии в части заключительной стадии ЖЦ относятся не столько к проектам атомной энергетики (как, например, новая АЭС или новое топливо для АЭС), сколько к национальной инфраструктуре обращения с ОЯТ и РАО и вывода из эксплуатации ЯРОО.

<sup>19</sup> Информация с сайта Andra (Франция). [Safety review of the Manche disposal facility \(Andra international\)](#)

# ФИНАНСОВЫЕ И ДРУГИЕ НЕОБХОДИМЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ОБРАЩЕНИЯ С РАО



Опытно-демонстрационный инженерный центр по выводу из эксплуатации.  
Комплекс плазменной переработки. Операторы снимают показатели расхода воды на КПП РАО.

## **Критерий, касающийся финансового обеспечения ВЭ и обращения с РАО вплоть до их захоронения, включает:**

1. наличие к дате одобрения проекта фонда (финансовых и операционных ресурсов) по обращению с РАО и выводу из эксплуатации;
2. подтверждение наличия необходимых ресурсов на конец ЖЦ объекта для обращения с РАО и вывода из эксплуатации.

Данный критерий относится к государству, решившему развивать атомную энергетику. Поставщик ядерной установки, ядерного топлива или связанных с ними услуг может лишь учитывать отчисления в соответствующий фонд в структуре цены своих продуктов.

В современной практике при запуске проекта сооружения АЭС в стране, не имевшей ранее опыта эксплуатации атомных станций, в рамках подготовки к реализации проекта организацией-подрядчиком могут оказываться услуги по формированию национальной ядерной инфраструктуры, в том числе рекомендации по организации фондов на обращение с ОЯТ и РАО, а также на ВЭ ЯРОО с описанием принципов наполнения этих фондов, структуры фондов и проектами соответствующих законодательных актов. Такой подход реализуется в том числе Госкорпорацией «Росатом».

МАГАТЭ также оказывает помощь по созданию и развитию необходимой ядерной инфраструктуры странам, приступающим к развитию ядерной энергетики. Такая помощь предоставляется посредством проведения миссий по оказанию консультационных услуг, учебных курсов, публикации руководящих документов и справочных материалов.

**Критерий, устанавливающий требования к захоронению РАО, включает:**

1. наличие действующего объекта окончательной изоляции всех ОНАО, НАО, САО;
2. наличие детального плана по вводу в эксплуатацию к 2050 году хранилища для высокоактивных (ВАО) и долгоживущих среднеактивных РАО (для проектов продления сроков эксплуатации АЭС требование применяется с 2025 г.);
3. РАО захораниваются в стране их происхождения, если только нет какого-либо соглашения между этой страной и другой страной, в которую направляются РАО. Данный критерий также относится к государству, реализующему проект в области развития атомной энергетики.

В качестве решения, отвечающего данному критерию, можно привести в соответствие проект Госкорпорации «Росатом» по разработке типового пункта окончательного захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО), который обеспечивает безопасное захоронение РАО 3 и 4 классов, образовавшихся в результате работы АЭС: как эксплуатационных РАО, так и РАО от переработки ОЯТ и РАО от ВЗ ЯРОО из эксплуатации.

ПЗРО формируется на базе типовых решений по устройству и оборудованию с учетом результатов научных исследований. Основные технические решения систем и средств, обеспечивающих радиационную безопасность при захоронении РАО, базируется на мультибарьерной концепции, включающей инженерные, физические и геологические барьеры.

**Жизненный цикл РАО включает четыре основных этапа (все они должны быть адекватно профинансированы):**



1) кондиционирование (включая переработку)



2) временное хранение



3) транспортировка



4) окончательное захоронение





Контейнер для захоронения РАО является ключевым звеном для любой инфраструктуры обращения с РАО – в соответствии с характеристиками этого контейнера проектируются установки по кондиционированию РАО, временные хранилища РАО, объекты окончательного захоронения, выбираются транспортные средства и т.п.

## МИНИМАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ РАО И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Критерий, устанавливающий минимальное образование РАО при использовании НДТ, подразумевает, что новые технологии, внедряемые в ЯТЦ, будут предусматривать минимальное образование РАО.

При этом конкретных параметров минимальности ДДА не приводит. В частности, не указано, какой именно параметр РАО должен быть минимальным. Эксплуатирующей организацией устанавливаются нормы образования РАО и периодически пересматриваются с учетом достигнутого положительного опыта обращения с РАО.

Суммарная активность РАО, нарабатываемых на АЭС, является практически неизменяемой величиной, и уменьшение, например, объема РАО, удет приводить к увеличению их удельной активности. Значительно снизить количество РАО, направляемых на захоронение, может лишь извлечение из него и повторное использование так называемых полезных элементов, например, урана и плутония.

# ПРИМЕР ТЕХНОЛОГИИ ПО УТИЛИЗАЦИИ РАО

Концепция СБЯТЦ предполагает переработку ОЯТ с выделением короткоживущей фракции ( $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ ) РАО.

Это позволит существенно снизить период потенциальной опасности РАО и избежать необходимости сооружения пунктов глубинного захоронения путем размещения короткоживущих фракций РАО в приповерхностных и среднеглубинных пунктах захоронения.

Такой подход позволит снизить риски, связанные с отсутствием благоприятных геологических условий, а также совокупные затраты на обращение с РАО от ОЯТ.

Масштабное внедрение в рамках атомной отрасли реакторов на быстрых нейтронах, обладающих возможностью и технологиями по трансмутации (дожиганию) минорных актинидов ( $\text{Am}$  и  $\text{Np-237}$ ) позволит также существенно снизить объемы РАО для размещения в пунктах захоронения радиоактивных отходов.

## ТРАНСМУТАЦИЯ (ДОЖИГАНИЕ) МИНОРНЫХ АКТИНИДОВ В РЕАКТОРАХ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

Минорные актиниды – америций ( $\text{Am}$ ), нептуний ( $\text{Np}$ ), кюрий ( $\text{Cm}$ ) – дочерние продукты, возникающие при радиационном захвате нейтронов изотопами урана и плутония. Их суммарное содержание в ОЯТ ВВЭР составляет менее 1% (по массе), но их радиационная опасность представляет существенную проблему при окончательной изоляции РАО.

В настоящее время предлагаются различные способы трансмутации (дожигания) минорных актинидов, например, использование специализированных реакторов-выжигателей (например, жидкосолевых реакторов), а также их утилизация в ректорах на быстрых нейтронах.

Масштабное внедрение реакторов на быстрых нейтронах позволит проводить трансмутацию (дожигание) минорных актинидов в промышленном масштабе.

## ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА:

- Реактор ВВЭР в год производит порядка 20 кг  $\text{Am}$  (после 10 лет выдержки после выгрузки из реактора);
- БН-1200 потенциально может утилизировать 20 кг и более  $\text{Am}$  в среднем за 1 год;
- Примерно в 100 раз уменьшается определяемая минорными актинидами радиотоксичность РАО, направляемых на захоронение, при фракционировании ВАО и после трансмутации (дожигание) минорных актинидов.



Среди критериев ДДА есть требование к наилучшим доступным технологиям – на момент одобрения финансирования они должны находиться как минимум на прекоммерческой стадии. На иллюстрации представлена установка «Плутон», которая использует для переработки РАО плазменно-пиролитическую технологию, а также конечный продукт этой установки – остеклованный шлак в приемных контейнерах.

Данная технология внедрена в России на нескольких опытных участках, но пока не получила широкого распространения. Тем не менее она соответствует критериям ДДА для применимости в новых ядерных проектах.

Установка «Плутон»

## БЕЗОПАСНОЕ И ОТВЕТСТВЕННОЕ ОБРАЩЕНИЕ С РАО

Критерий, устанавливающий необходимость обращения с ОЯТ и РАО безопасным и ответственным способом<sup>20</sup>, прежде всего, относится к государству, развивающему атомные проекты, ссылаясь на требования директив, принятых Евратомом в предыдущие годы.

Директивы ЕС содержат требования для отправки ОЯТ и РАО на переработку в другую страну – в стране-реципиенте должна быть подтверждена инфраструктура, необходимая для обращения с ОЯТ и РАО, и ее безопасность должна соответствовать международному законодательству.

На сегодняшний день подобная инфраструктура существует в России (группа компаний в структуре Госкорпорации «Росатом» и ФГУП «Национальный оператор по обращению радиоактивными отходами») и Франции (группа компаний Orano и Национальное агентство Франции по обращению с РАО (ANDRA)).

Государства подают национальные доклады в Секретариат МАГАТЭ в рамках выполнения положений Объединенной конвенции МАГАТЭ по обращению с РАО и ОЯТ. Российская Федерация регулярно предоставляет свои национальные доклады в рамках обязательств по обращению с ОЯТ и РАО<sup>21</sup>.

Подтверждением готовности российской инфраструктуры к безопасной работе с зарубежным ОЯТ является полученный за последние 15 лет успешный опыт переработки ОЯТ АЭС и исследовательских реакторов из 17 стран мира. Аналогичная инфраструктура на сегодня существует только во Франции, ее оператором является ANDRA.

<sup>20</sup> Директива 2011/70/Euratom и Директива/2013/59/Euratom

<sup>21</sup> Пятый национальный доклад Российской Федерации о выполнении обязательств, вытекающих из Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами, 2017 г.

[\(5 национальный доклад России\)](#)

# ПРАКТИЧЕСКИЙ ПРИМЕР: ОБРАЩЕНИЕ С ОЯТ И РАО В ГЕРМАНИИ

После того, как федеральное правительство Германии приняло решение о полном отказе от атомной энергетики, в 2016 году был принят так называемый Акт о распределении ответственности за ядерные отходы, согласно которому энергокомпании – операторы АЭС обязывались перечислить в национальный фонд ~24 млрд евро, после чего ответственность за обращение с ОЯТ и РАО перешла к федеральному правительству.

Ожидалось, что указанных средств, в состав которых входит 35% рисковая премия, хватит для того, чтобы обеспечить безопасное захоронение 10 200 тонн ОЯТ и более 1 млн м<sup>3</sup> РАО, которые будут накоплены в Германии к моменту останова и вывода из эксплуатации всех АЭС.

Была организована и в настоящее время существует сложная система распределения ответственности между несколькими министерствами за различные действия по обеспечению безопасного хранения и захоронения ОЯТ и РАО.

Создан ряд государственных специализированных предприятий, отвечающих за различные аспекты: безопасное обращение с ОЯТ и РАО (Федеральное ведомство Германии по безопасности обращения с ядерными отходами), временное хранение ОЯТ и РАО (Федеральное общество Германии временного хранения), окончательное захоронение ОЯТ и РАО (Федеральная компания Германии по захоронению радиоактивных отходов) и др.

Принят национальный план поиска мест и строительства могильников для РАО и ОЯТ. Вместе с тем есть серьезные опасения, что эти действия не позволят решить проблему, т.к. безопасность захоронения ОЯТ не доказана, площадка для размещения могильника не выбрана (и муниципалитеты-кандидаты один за другим отказываются принимать его у себя), создание технических средств затягивается, и все это может привести к быстрому исчерпанию финансового фонда по обращению с ОЯТ и РАО. При этом все ОЯТ и большая часть РАО по-прежнему хранится на площадках АЭС.

# ПРАКТИЧЕСКИЙ ПРИМЕР: ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТ ПО КОНДИЦИОНИРОВАНИЮ И ЗАХОРОНЕНИЮ РАО В РОССИИ

В качестве примера организации национальной системы обращения с РАО можно привести схему наполнения и расходования фонда по обращению с РАО, реализуемую в Российской Федерации:

- держателем и распорядителем специального резервного фонда на обращение с РАО является специализированная организация, уполномоченная на это федеральным законом, – Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»;
- фонд наполняется из отчислений организаций, осуществляющих деятельность, в результате которой образуются радиоактивные отходы; эти организации обязаны иметь финансовое обеспечение предела ответственности, включая наличие документального подтверждения такого финансового обеспечения;
- определение и классификация радиоактивных отходов зафиксированы на уровне федеральных законов и поддерживающих их норм и правил; в зависимости от уровня активности, изотопного состава и других свойств в Российской Федерации выделяется шесть групп (классов) РАО;
- национальный регулирующий орган (Федеральная антимонопольная служба) периодически публикует тарифы на захоронение каждой из групп РАО; тарифы устанавливаются в формате «рублей за кубометр»;
- организации, в результате деятельности которых образуются РАО, рассчитывают и перечисляют в фонд средства, необходимые для обеспечения захоронения РАО согласно тарифам, в соответствии с произведенными ими объемами РАО;
- таким образом организации, в результате деятельности которых образуются РАО, становятся заинтересованными в том, чтобы количество и уровень активности производимых ими РАО был минимален;
- решением правительства определяется предприятие – национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами – единственная организация, уполномоченная вести деятельность по окончательной изоляции РАО, а также другие связанные с этим функции; в Российской Федерации таким предприятием определено ФГУП «НО РАО»;
- национальный оператор отвечает за строительство, эксплуатацию и закрытие объектов финальной изоляции РАО, развитие инфраструктуры по обращению с РАО, обеспечение безопасности обращения с принятыми РАО, информирование общественности по вопросам обращения с РАО и др.; эта деятельность финансируется из средств специального резервного фонда на обращение с РАО.



*Примером ответственного обращения с ОЯТ и РАО в рамках новых проектов может быть пункт захоронения радиоактивных отходов – продукт Госкорпорации «Росатом», разработанный для стран, только начавших развитие национальной атомной энергетики. Абсолютно все отходы, вырабатываемые АЭС, могут быть в итоге приведены к состоянию, допустимому для захоронения в приповерхностном и/или среднеглубинном объекте. На иллюстрации приведена схема обращения с каждым из видов РАО в рамках описанной концепции.*

В России национальная инфраструктура обращения с РАО состоит из нескольких компонентов. Прежде всего это законодательство<sup>22</sup>, устанавливающее основные принципы («загрязнитель платит», «РАО должны быть захоронены» и др.), распределяющее ответственность, а также нормирующее уровни, пределы и тарифы.

Второй компонент – это технологическая инфраструктура – пункты<sup>23</sup> приема, кондиционирования и захоронения РАО, а также соответствующее вспомогательное оборудование – транспорт, контрольно-измерительные приборы, производство контейнеров, дезактивационное оборудование и т.д.


Третий компонент – финансовые институты, обеспечивающие наполнение, поддержание и эффективное расходование отчислений предприятий на обращение с РАО. И, наконец, четвертый компонент – контролирующие органы, выдающие предусмотренные законом лицензии и сертификаты, осуществляющие аудит предприятий и мониторинг состояния системы в целом.

Все четыре компонента тесно связаны друг с другом, и эффективность функционирования национальной системы в целом напрямую зависит от эффективности работы каждого из компонентов.

<sup>22</sup> К основным законам, регулирующим обращение с РАО и ОЯТ в Российской Федерации, следует отнести:

- Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 26.03.2022) «Об охране окружающей среды».
- Федеральный закон от 11.07.2011 № 190-ФЗ (ред. от 21.12.2021) «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
- Федеральный закон от 21.11.1995 № 170-ФЗ (ред. от 30.04.2021) «Об использовании атомной энергии».
- Федеральный закон от 01.12.2007 № 317-ФЗ (ред. от 02.07.2021) «О Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом»».
- Приказ Ростехнадзора от 05.08.2014 № 347 (ред. от 22.11.2018) «Об утверждении федеральных норм и правил в области использования атомной энергии «Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения» (вместе с НП-058-14).

<sup>23</sup> Подробную информацию о пунктах приема, кондиционирования и захоронения РАО в Российской Федерации, филиальной сети национального оператора по РАО, применяемых технологиях, лицензиях и т.д. можно найти на сайте ФГУП «НО РАО»: <https://www.norao.ru/about/>



В состав российской национальной ядерной инфраструктуры входят, в частности, пристанционные хранилища и комплексы переработки РАО, размещенные на площадках АЭС, филиальная сеть хранения и переработки РАО дивизиона «Экологические решения» Госкорпорации «Росатом», объекты окончательной изоляции РАО, сооружаемые Национальным оператором по обращению с РАО, а также свод федеральных законов и отраслевых норм и правил, регламентирующих взаимодействие между объектами и субъектами инфраструктуры.

Все эти элементы входят в технологии по формированию инфраструктуры по обращению с РАО, которые могут быть полезны странам, начинающим осваивать атомную энергетику.

Весь жизненный цикл АЭС (включая этап сооружения) для современных проектов составляет 80 лет, практика продления срока эксплуатации может приводить к переносу на более поздний срок организацию временного (вне площадки АЭС) хранения и захоронения РАО, вывода АЭС из эксплуатации. Вопрос сооружения и ввода АЭС в эксплуатацию всегда занимает приоритет при распределении финансов и технологий.

Технологии Госкорпорации «Росатом» по сооружению АЭС предусматривают возможность решений, которые позволяют кондиционировать и безопасно хранить эксплуатационные РАО в течение 10 лет – в течение этого времени страна, в которой сооружается АЭС, рассчитывает создать необходимую национальную инфраструктуру по обращению с РАО или хотя бы её часть, обеспечивающую безопасность РАО в среднесрочном периоде.

Такой подход возможен, но не является типовым, так как приводит к значительному перерасходу средств на создание временных решений, таких как оборудование временных хранилищ для РАО, мониторинг их безопасности, пересертификация контейнеров и, возможно, их переупаковка и т.д.

# ПРАКТИЧЕСКИЙ ПРИМЕР: РЕАБИЛИТАЦИЯ ТЕРРИТОРИЙ И СОКРАЩЕНИЕ ОБЪЕМОВ РАО В БЕЛЬГИИ

## География

- г. Дессель, провинция Антверпен (Бельгия)

## Заинтересованные стороны

- Жители г. Дессель (Бельгия)
- Местные органы власти провинции Антверпен (Бельгия)
- Framatome (Франция)



Сортировка потенциально загрязненной почвы

## ОПИСАНИЕ ПРОЕКТА

FBFC International (Franco-Belge de Fabrication du Combustible, францужско-бельгийское производство топлива, является дочерней компанией Framatome) – завод по производству топливных сборок в г. Дессель (Бельгия).

В октябре 2013 года FBFC International получил лицензию на вывод предприятия из эксплуатации.

Для снятия территории ядерно и радиационно опасного объекта с радиационного надзора после его вывода из эксплуатации требовалось провести его очистку и предоставить документальное подтверждение того, что участок не загрязнен радионуклидами (показатели должны быть ниже предельных значений выбросов).

Важным этапом восстановления таких участков является характеристика и сортировка потенциально загрязненных сыпучих материалов.

Реабилитация территории в рамках вывода из эксплуатации завода FBFC International по производству ядерного топлива осуществлялась с использованием системы FRES – разработки компании NUKEM Technologies (входит в Топливную компанию «ТВЭЛ»).

Система предназначена для разделения радиационно загрязненных сыпучих материалов путем потоковых гамма-спектрометрических измерений на конвейере с последующей автоматической сортировкой по заданным предельным значениям на базе радионуклидного вектора.



## ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ FREMES:

- десятикратное сокращение объемов загрязненной почвы;
- значительное сокращение сроков выполнения проектов по восстановлению земель;
- применимость для наиболее распространенных радионуклидов, загрязняющих почву, выявление их на низких уровнях активности (гамма-излучатели  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  и т.п.).



Разделение радиационно-загрязненных сыпучих материалов на конвейере с последующей автоматической сортировкой по заданным предельным значениям на базе радионуклидного вектора.

## РЕАЛИЗАЦИЯ

Реализация проекта в г. Дессель началась в 2017 году с проектирования и закупки оборудования. За два с половиной года на системе FREMES переработали около 45 тыс. тонн потенциально загрязненных материалов, из них порядка 10 тыс. тонн – измельченных строительных конструкций, и 35 тыс. тонн грунта.

Уровень выведения радионуклидов составил 95% (ниже 1 Бк/г), около 90% прошедшей сортировку почвы были очищены и допущены к использованию.

Благодаря использованию установки объем радиоактивных отходов на заводе уменьшился в 10 раз. Система FREMES обеспечила многократный рост производительности сортировки, характеристики и паспортизации сыпучих РАО по радионуклидному вектору, производительность которого составляет 10–100 тонн/час.

# АББРЕВИАТУРЫ И СОКРАЩЕНИЯ:

<b>ENSREG</b>	Европейская группа регулирующих органов ядерной безопасности
<b>EUR</b>	European Utility Requirements – Клуб европейских эксплуатирующих организаций
<b>WENRA</b>	Western European Nuclear Regulators Association – Ассоциация западноевропейских органов регулирования ядерной безопасности
<b>АЭС</b>	атомная электростанция
<b>АЯЭ ОЭСР</b>	Агентство по ядерной энергии при Организации экономического сотрудничества и развития
<b>ВИЭ</b>	возобновляемые источники энергии
<b>ВВЭР</b>	водо-водяной энергетический реактор
<b>ВЭ</b>	вывод из эксплуатации
<b>ВЭ ЯРОО</b>	вывод из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов
<b>ДДА</b>	Дополнительный делегированный акт Еврокомиссии 2022/1214 от 09.03.2022, определяющий дополнительные критерии для проектов атомной и газовой генерации
<b>ЕГАСМРО</b>	Единая государственная автоматизированная система мониторинга радиационной обстановки
<b>ЕС</b>	Европейский Союз
<b>ЖЦ</b>	жизненный цикл
<b>ЗЯТЦ</b>	замкнутый ядерный топливный цикл
<b>МАГАТЭ</b>	Международное агентство по атомной энергии
<b>МГЭИК</b>	Межправительственная группа экспертов по изменению климата
<b>НАО</b>	низкоактивные радиоактивные отходы
<b>НДТ</b>	наилучшие доступные технологии
<b>ОНАО</b>	очень низкоактивные радиоактивные отходы
<b>ОСАРТ</b>	миссия МАГАТЭ по анализу эксплуатационной безопасности
<b>ОЭСР</b>	Организация экономического сотрудничества и развития
<b>ОЯТ</b>	отработавшее ядерное топливо
<b>ПЗРО</b>	пункт захоронения радиоактивных отходов
<b>РАО</b>	радиоактивные отходы
<b>РБМК</b>	реактор большой мощности канальный

<b>РГ-ВВЭР</b>	рабочая группа по оценке проектов новых АЭС с ВВЭР на площадке АЯЭ ОЭСР
<b>Ростехнадзор</b>	Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору России
<b>САО</b>	среднеактивные радиоактивные отходы
<b>СБЯТЦ</b>	сбалансированный ядерный топливный цикл
<b>Таксономия ЕС</b>	Регламент ЕС 2020/852 (Европейского парламента и Европейского Совета) от 18.06.2020 о создании основы для содействия устойчивым инвестициям и внесении поправок в Регламент ЕС 2019/2088
<b>ТВС</b>	тепловыделяющая сборка
<b>ТВЭЛ</b>	тепловыделяющий элемент
<b>ТСР</b>	миссия МАГАТЭ по рассмотрению технических вопросов безопасности
<b>ФМБА</b>	Федеральное медико-биологическое агентство России
<b>ЯТЦ</b>	ядерный топливный цикл



# ПРИЛОЖЕНИЕ. НОРМАТИВНЫЕ АКТЫ ЕС

## **Соглашение об учреждении Европейского сообщества по атомной энергии (Договор о Евратоме) от 1957 г.**

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:12012A/TXT&from=EN>

- Статья 2(b) предусматривает установление единых стандартов безопасности для защиты здоровья работников и населения;
- Статья 30 предусматривает установление основных норм защиты здоровья работников и населения от опасностей, связанных с ионизирующими излучениями;
- Статья 37 требует от государств-членов предоставлять Комиссии общие данные, касающиеся любого плана захоронения радиоактивных отходов;
- Статья 41 требует от государств-членов;
- Приложение II устанавливает области проекта для уведомления Комиссии об инвестициях в ядерную энергетику.

## **Регламент 2587/1999(9)/Евратом от 2 декабря 1999 г. определяет инвестиционные проекты, которые должны быть доведены до сведения Еврокомиссии в соответствии со статьей 41 Соглашения о Евратоме**

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31999R2587&from=EN>

Регламент устанавливает пороговые значения и другие требования для уведомления Еврокомиссии об инвестициях в атомную энергетику.

## **Директива 2009/71/Euratom от 25.06.2009 о рамочных требованиях в области ядерной безопасности ядерных установок**

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0071&from=EN>

Директива устанавливает меры для достижения высокого уровня ядерной безопасности, а также ее регулирования.

В преамбуле отмечена важность взаимодействия регулирующих органов в WENRA и приглашение миссий МАГАТЭ.

Директивой определены следующие основные сферы для обеспечения ядерной безопасности: национальная законодательная, регулирующая и организационная база (национальная нормативная база), независимый компетентный регулирующий орган, первоочередная ответственность держателей лицензий, обучение для поддержания необходимых знаний и навыков, информирование общественности и отчетность

---

**Директива 2011/70/Euratom от 19.07.2011 о рамочных требованиях в области ответственного и безопасного обращения с ОЯТ и РАО**

---

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX-:32011L0070&qid=1659354968311&from=EN>

Директивой определены следующие основные сферы для обеспечения ответственного и безопасного обращения с ОЯТ и РАО: национальная нормативная база, независимый компетентный регулирующий орган, первоочередная ответственность держателей лицензий, обучение для поддержания необходимых знаний и навыков, финансовые ресурсы, информирование работников и общественности, национальные программы, уведомление и отчетность. Документ содержит ссылки на другие директивы ЕС, которые так или иначе применимы к ОЯТ и РАО (по физической безопасности, трансграничным перемещениям, обязанности наблюдения, прозрачности контроля и т.д.). Кроме того, Директива 2011/70/Euratom содержит определения основных понятий, относящихся к обращению с ОЯТ и РАО, основные принципы организации обращения с ОЯТ и РАО, а также требования к наличию в странах-членах органов, ответственных за обращение с ОЯТ и РАО, и финансовых институтов, обеспечивающих эту деятельность. В качестве одного из ключевых указано требование по регулярной отчетности о состоянии национальных систем обращения с ОЯТ и РАО в адрес Еврокомиссии. Любопытно, что критерии ДДА в отношении РАО в целом дублируют требования Директивы 2011/70, но не все, а лишь те, в отношении которых в странах-членах ЕС наблюдались последние годы сложности или задержки.

---

**Директива 2013/59/Euratom от 05.12.2013 устанавливает основные стандарты безопасности для защиты от угроз, возникающих в результате воздействия ионизирующего излучения**

---

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX-:32013L0059&qid=1659356225657&from=EN>

Директива 2013/59/Euratom от 05.12.2013 устанавливает основные стандарты безопасности для защиты от угроз, возникающих в результате воздействия ионизирующего излучения. Директива 2013/59/Euratom содержит перечень решений Евросовета и его директивы, относящиеся к радиационной защите. Документ регламентирует основные подходы к измерению уровня радиоактивного излучения и защите от него, содержит определения основных терминов и характеристики, включая формулы для их вычислений, приводит общие принципы организации радиационной защиты, описывает инструменты улучшения радиационной защиты и рекомендации по организации обучения и информирования населения, закрепляет требования, обязательные для исполнения странами-членами ЕС, в том числе в части распределения ответственности, лицензирования, отчетности и т.п. Кроме того, Директива 2013/59/Euratom устанавливает правила надзора за национальными практиками со стороны ЕС.

---

**Директива 2011/92/EU от 13.12.2011 об оценке эффектов определенных публичных и частных проектов на окружающую среду**

---

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX-:32011L0092&qid=1659358497310&from=EN>

Оценка воздействия на окружающую среду тех проектов, которые могут оказывать значительное воздействие на окружающую среду и оценка соблюдения требований, установленных для выдачи разрешений. Директива содержит требования к проведению оценки воздействия на окружающую среду, которая включает в себя прямые и косвенные эффекты проекта на людей, флору и фауну; почву, воду, воздух, климат и ландшафт; материальные ценности и культурное наследие. Страны-члены ЕС должны иметь процедуру такой оценки проектов.

---

---

**Директива 2000/60/ EU от 23.10.2000 о рамочных требованиях к деятельности в области водной политики**

[https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694e eb.0004.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694e eb.0004.02/DOC_1&format=PDF)

Целью Директивы является создание структуры защиты внутренних поверхностных вод, трансграничных вод, прибрежных вод и подземных вод.  
Директива направлена на поддержку и улучшение водной окружающей среды.

---

**Директива 2013/51/Euratom от 22.10.2013 об установлении требований к защите здоровья общественности в отношении радиоактивных веществ в воде, предназначенной для употребления людьми**

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX-:32013L0051&qid=1659362503505&from=EN>

---

**Директива 2008/50/EC от 21.05.2008 о качестве атмосферного воздуха и мерах его очистки**

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX-:32008L0050&qid=1659362777881&from=EN>

Директива ЕС 2008/50 определяет цели в отношении качества воздуха, направленные на предотвращение, предотвращение или снижение вредного воздействия на здоровье человека и окружающую среду в целом. Директива 2008/50/EC, несмотря на то, что имеет более «общий» характер, устанавливает достаточно детализированные и жесткие лимиты по выбросам загрязняющих веществ.

---

**Директива 2010/75/EC от 24.11.2010 о промышленных выбросах (комплексное предотвращение и контроль загрязнения)**

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX-:32010L0075&qid=1659362914864&from=EN>

---

**Директива ЕС 2015/2193 от 25.11.2015 об ограничении выбросов определенных загрязняющих воздух веществ от средних установок сжигания**

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX-:32015L2193&qid=1659363107329&from=EN>

Директива устанавливает правила контроля выбросов диоксида серы (SO<sub>2</sub>), оксидов азота (NO<sub>x</sub>) и пыли в воздух от средних установок сжигания, снижающие выбросы в воздух и потенциальные риски для здоровья человека и окружающей среды от таких выбросов. Директива также устанавливает правила мониторинга выбросов угарного газа (CO).

---

**Директива 2003/122/Euratom от 22.12.2003 по контролю высокоактивных закрытых радиоактивных источников и бесхозных источников**

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX-:32003L0122&qid=1659426652738&from=EN>

---

**Директива 2006/117/Euratom от 20.11.2006 по надзору и контролю за перевозками радиоактивных отходов и отработавшего топлива**

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX-:32006L0117&qid=1659426808104&from=EN>

Директива устанавливает систему надзора и контроля Европейского сообщества по атомной энергии трансграничными перевозками радиоактивных отходов и отработавшего топлива.

---

---

**Рекомендация 2008/956/Euratom от 04.08.2008 о критериях экспорта радиоактивных отходов и отработавшего топлива в третьи страны**

---

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX-:32008H0956&qid=1659427487465&from=EN>

---

Дополняет Директиву 2006/117/Euratom, содержит критерии по соответствию стандартам безопасности МАГАТЭ, присоединения и соблюдения к Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами 1997 года.

---

**Рекомендация 2006/851/Euratom от 24.10.2008 об управлении финансовыми ресурсами для вывода из эксплуатации ядерных установок, отработавшего топлива и радиоактивных отходов**

---

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX-:32006H0851&qid=1659427841803&from=EN>

---

Фокусом Директивы является достаточность финансирования, его финансовой безопасности и прозрачности для того, чтобы гарантировать целевое использование средств.

---

**Директива 96/29/Euratom от 13.05.1996 об установлении основных норм безопасности для защиты здоровья работников и населения от угроз, связанных с ионизирующим излучением**

---

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX-:31996L0029&qid=1659428098029&from=EN>

---

Директива устанавливает основные стандарты безопасности для защиты здоровья рабочих и населения от опасностей, возникающих в результате ионизирующего излучения. Директива содержит конкретные лимиты и дозы.

---