

Сегодня устойчивое развитие прочно заняло место в числе современных трендов мировой экономики. Все больше компаний организуют свою деятельность, стараясь удовлетворить возрастающие потребности людей без ущерба для следующих поколений и экосистемы планеты. Госкорпорация «Росатом» также следует этому принципу. В настоящее время Росатом – единственная компания в мире, которая может предложить полную линейку услуг ядерного топливного цикла: от добычи урана, его обогащения и изготовления ядерного топлива до переработки ОЯТ и обращения с продуктами переработки. Все эти компоненты мы развиваем в устойчивой логике. Одним из важнейших продуктов «Росатома», отвечающих целям устойчивого развития, является «Сбалансированный ядерный топливный цикл». Его задачей является эффективное обращение с отработавшим ядерным топливом и рациональное использование продуктов его переработки.

Это продукт, который, наряду со строительством и эксплуатацией АЭС большой и малой мощности, позволит нашим заказчикам обеспечить производство чистой энергии, не оставляя ядерного наследия следующим поколениям. Решения, положенные в основу «Сбалансированного ЯТЦ», базируются на прогрессивных технологиях, в числе которых возможность переработки ОЯТ с фракционированием РАО, использования плутонийсодержащего топлива в реакторах на быстрых нейтронах и трансмутация минорных актинидов. Я уверен, что этот продукт – новый этап в развитии атомной энергетики, являющейся основой всего мирового низкоуглеродного энергетического баланса.

АЛЕКСЕЙ ЛИХАЧЕВ
ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР
ГОСУДАРСТВЕННОЙ КОРПОРАЦИИ
ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»



Сбалансированный ядерный топливный цикл

«Сбалансированный ядерный топливный цикл» («Сбалансированный ЯТЦ») – новое продуктовое направление Госкорпорации «Росатом», которое позволяет организовать комплексное эффективное обращение с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) и продуктами его переработки.

«Сбалансированный ЯТЦ» состоит из четырех компонентов:



Переработка ОЯТ с фракционированием ВАО



Уран-плутониевое топливо



Системы длительного хранения ОЯТ и ВАО

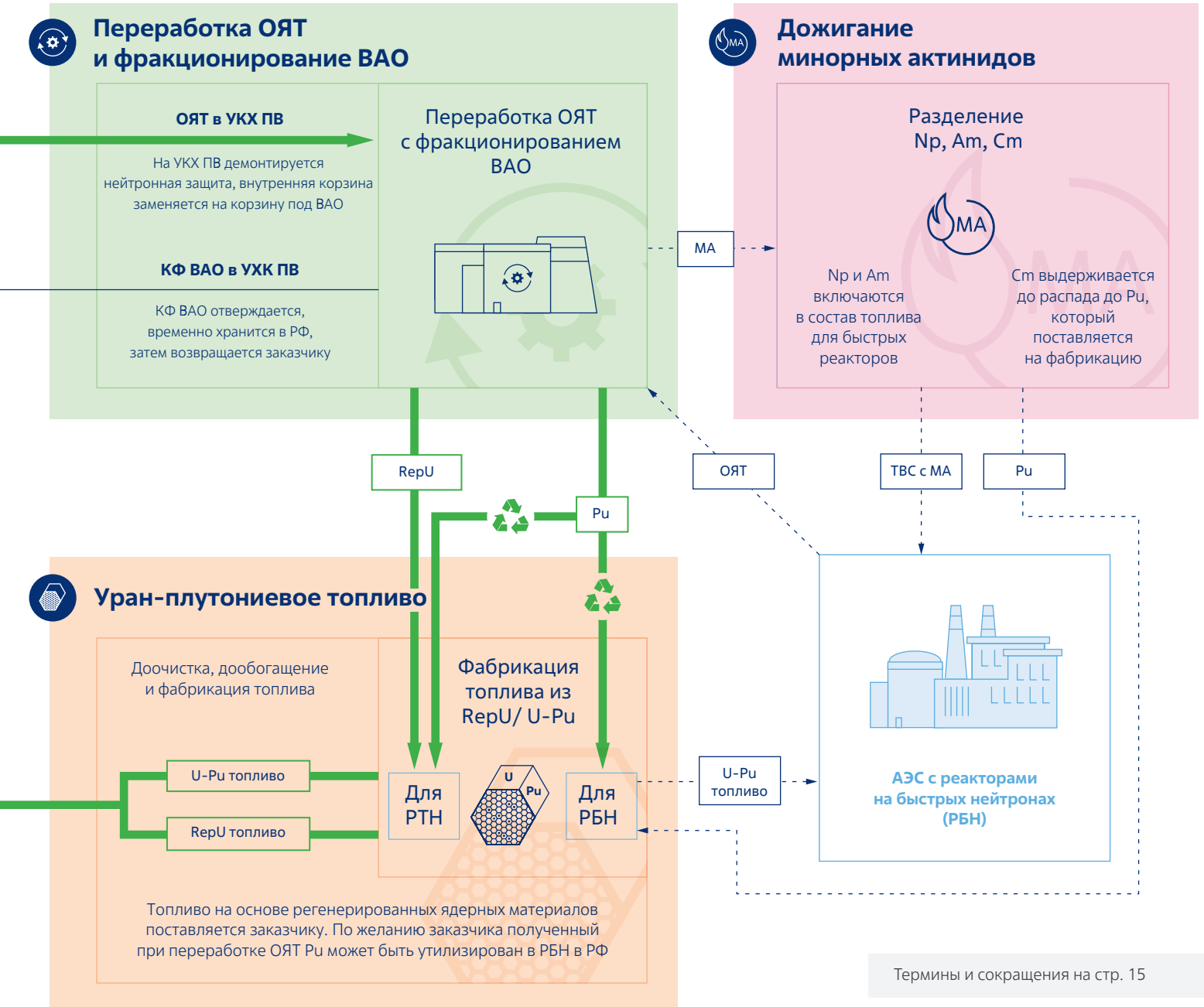


Дожигание МА в быстрых реакторах

Территория заказчика



Территория РФ



Компоненты «Сбалансированного ЯТЦ» – индивидуальное предложение для каждого клиента на основе референтных унифицированных решений



Переработка ОЯТ с фракционированием ВАО

- Радиохимическая переработка ОЯТ с выделением регенерированного урана и плутония
- Фракционирование ВАО с выделением короткоживущей фракции (КФ ВАО), упаковка и возврат КФ ВАО заказчику
- Технологическое хранение долгоживущей фракции и временно не востребуемых регенерированных ядерных материалов с возможностью их последующего использования и трансмутации



Системы длительного хранения ОЯТ и ВАО

- Создание на территории страны заказчика инфраструктуры для хранения ОЯТ и ВАО и/или окончательной изоляции КФ ВАО
- Транспортирование ОЯТ на переработку в РФ
- Технологическое хранение в РФ ОЯТ до переработки и КФ ВАО до возврата заказчику



Уран-плутониевое топливо

- Производство и поставка топлива на основе регенерированного урана и плутония
- Обеспечение максимального рециклирования ядерных материалов в существующих реакторах



Дожигание минорных актинидов в быстрых реакторах

- Выделение из растворов ВАО америция, непуния, кюрия
- Фабрикация америций выжигающих элементов (авэл), позволяющих разместить минорные актиниды в активной зоне реактора
- Облучение авэл в быстрых реакторах
- Переработка авэл с кондиционированием ВАО

«Сбалансированный ЯТЦ» выбирают, чтобы:

МИНИМИЗИРОВАТЬ ОБЪЕМ И СТЕПЕНЬ ОПАСНОСТИ ОТХОДОВ,

подлежащих окончательной изоляции в пункте глубинного геологического захоронения, а в некоторых случаях исключить необходимость сооружения такого пункта

МАКСИМАЛЬНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ

ядерных материалов за счет их рециклирования

ОПТИМИЗИРОВАТЬ ЗАТРАТЫ

на ядерный топливный цикл

ОБЕСПЕЧИТЬ УСТОЙЧИВУЮ МОДЕЛЬ

производства и потребления за счет окончательного решения проблемы накопления ОЯТ

Гибкость «Сбалансированного ЯТЦ»

Позволяет клиенту получить именно тот набор решений, который удовлетворит его конкретные потребности

Б
Р
Е
М
И
Р
П

ОГРАНИЧЕНИЯ НА МОДЕРНИЗАЦИЮ
ДЕЙСТВУЮЩИХ АЭС

СТРОИТЕЛЬСТВО
ПЕРВОЙ АЭС В СТРАНЕ

СВОРАЧИВАНИЕ
АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

АКТИВНОЕ РАЗВИТИЕ АТОМНОЙ
ЭНЕРГЕТИКИ



* на основе регенерированного урана



Переработка ОЯТ с фракционированием ВАО

Переработка ОЯТ с фракционированием ВАО является ключевым элементом замкнутого ЯТЦ, позволяющим извлекать из ОЯТ и использовать полезные материалы, минимизировать количество РАО и изолировать их максимально безопасно и эффективно.

Институты Госкорпорации «Росатом» обладают более чем 100-летним опытом развития прикладной радиохимии и 50-летним опытом коммерческой переработки ОЯТ. Этот опыт позволил создать решения, полностью отвечающие современным экологическим требованиям, в том числе в части образования вторичных РАО. Кроме того, предприятия Госкорпорации «Росатом», занимающиеся переработкой ОЯТ, неукоснительно соблюдают требования по нераспространению делящихся ядерных материалов.

Темп вывоза ОЯТ заказчика на переработку, равно как и темп возврата КФ ВАО для захоронения, согласовывается с заказчиком с учетом готовности его инфраструктуры.

300 000 лет

минимальный срок снижения радиоактивности ОЯТ до уровня урановой руды, если захоранивать ОЯТ без переработки

300 лет

время снижения радиоактивности короткоживущей фракции ВАО после переработки ОЯТ (реализовано в СБЯТЦ) до уровня урановой руды

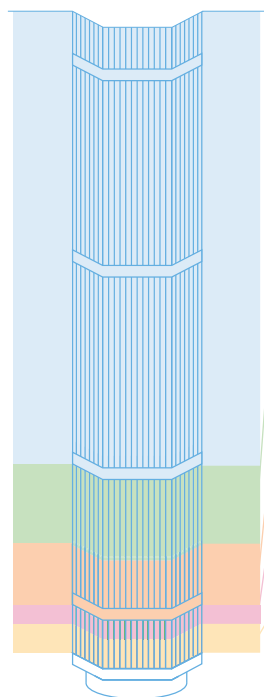
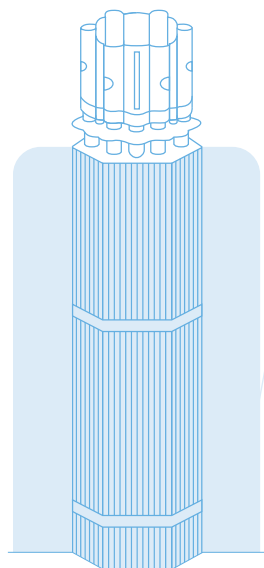
30 лет

ожидаемое время выдержки отвержденной короткоживущей фракции ВАО перед отправкой заказчику для последующего захоронения

в 5 раз

объем кондиционированных ВАО, содержащих только короткоживущую фракцию (реализовано в СБЯТЦ), меньше объема ВАО, включающих все продукты деления после переработки ОЯТ

Фракции при переработке ОЯТ



УРАН ~ 96%

После очистки и обогащения используется при производстве топлива для АЭС с РТН

Сырье для РТН (вместо природного урана)

КОРОТКОЖИВУЩАЯ ФРАКЦИЯ (ВЫСОКОАКТИВНЫЕ Cs, Sr) ~ 2,5%

Цезий-стронциевая фракция, определяющая более 95% активности и тепловыделения РАО от переработки ОЯТ в ближайшие столетия. Цезий (Cs-137) и стронций (Sr-90) используются в качестве сырья для производства радиоактивных источников с целью дальнейшего применения в промышленности, либо помещаются в стабильную инертную матрицу для окончательной изоляции в пунктах среднеглубинного или приповерхностного захоронения

Радиоактивные отходы для компактизации и захоронения

ПЛУТОНИЙ ~ 1,2%

Используется для производства ядерного топлива для реакторов на тепловых и быстрых нейтронах

Сырье для запуска РБН, экономии урана для РТН

МИНОРНЫЕ АКТИНИДЫ ~ Am 0,035%, Np 0,05%, Cm 0,006%

Трансплутониевые элементы америций (Am), нептуний (Np) и кюрий (Cm). Am и Np подлежат дожиганию в быстрых реакторах в составе уран-плутониевого топлива.

Cm имеет существенно меньший период полураспада и трансмутирует в плутоний в процессе хранения, что позволяет осуществлять его хранение с последующим отделением от плутония.

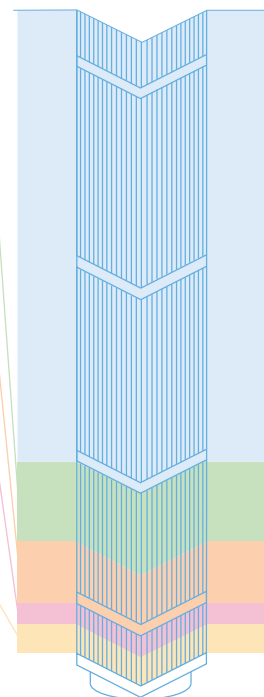
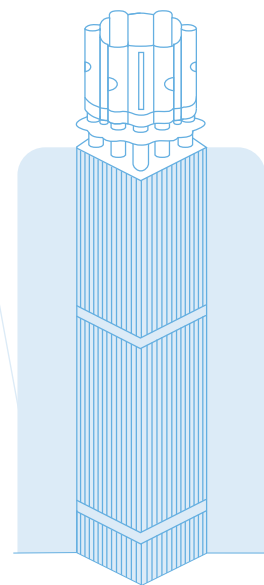
Am, Np — выжигание в РБН,

Cm — хранение 70 лет до распада в плутоний-238 (источник для компактных топливных батарей)

ПРОЧИЕ ПРОДУКТЫ ДЕЛЕНИЯ ~ (Zr, Al, Cr, Ni, Fe, Pb,...) 0,15%

Прочие продукты деления урана и плутония, относящиеся к среднеактивным РАО, кондиционируются и направляются на безопасное захоронение. Предусмотрено фракционирование для обеспечения наиболее эффективной упаковки и хранения/захоронения отдельных фракций.

Среднеактивные отходы — компактизация и захоронение

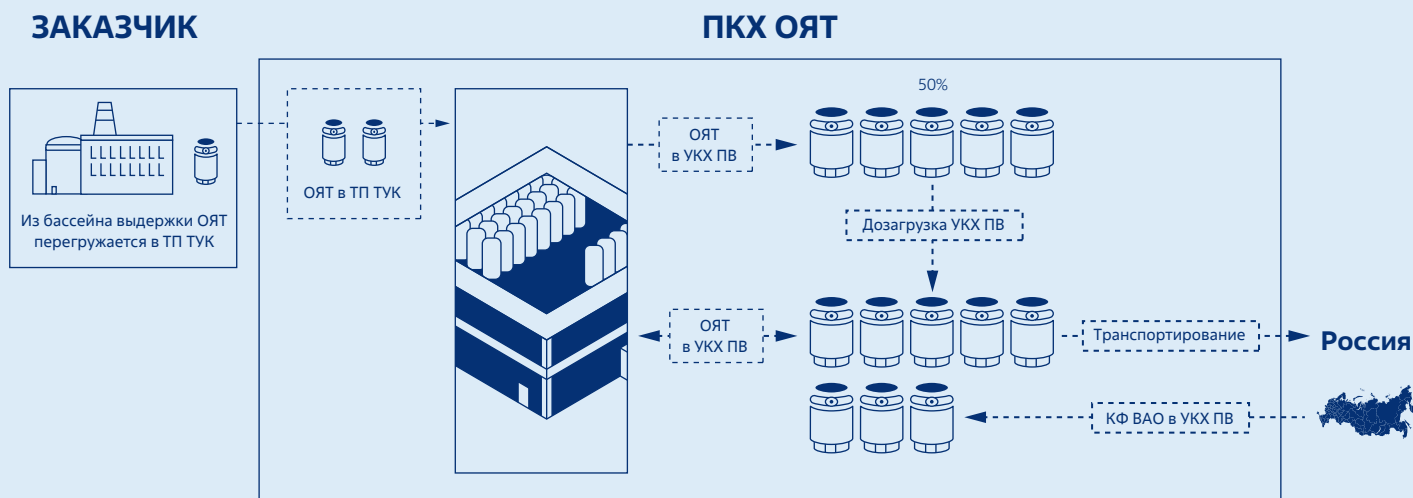




Системы длительного хранения ОЯТ и ВАО

Решения Госкорпорации «Росатом» в вопросах транспортирования и длительного хранения ОЯТ и ВАО:

- Готовят ОЯТ к краткосрочному хранению и транспортированию на предприятие по переработке
- Обеспечивают длительное хранение ОЯТ в стране заказчика
- Не требуют изменений в случае принятия решения о направлении ОЯТ на переработку – создаваемая на территории заказчика инфраструктура уже предусматривает возможность обращения с КФ ВАО от переработки ОЯТ
- Унифицированы: одни и те же упаковки контейнерного хранения могут быть использованы для долговременного хранения ОЯТ в стране заказчика, транспортирования ОЯТ в РФ, возврата, хранения и/или окончательной изоляции КФ ВАО в стране заказчика



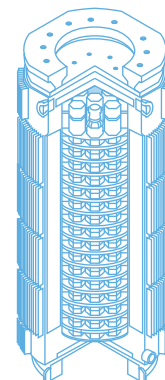
Унифицированный транспортно-перегрузочный ТУК для ОЯТ на базе семейства ТУК-137Т (ТП ТУК)

Применение

- Выгрузка ОЯТ из БВ АЭС и кратковременное хранение до перегрузки в УКХ ПВ
- Многократные перевозки ОЯТ на переработку

Характеристики

- 18 ОТВС ВВЭР-1000/1200/1300
- Многослойная конструкция корпуса в обечайке из нержавеющей стали
- Максимальный размер контейнера (Ø2540 мм)
- Масса загруженного ТУК – 117 т



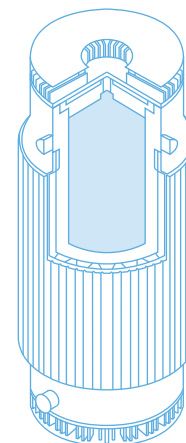
Упаковочный комплект хранения повышенной вместимости для ОЯТ и ВАО (УКХ ПВ)

Применение

- Долговременное хранение (до 60 лет) ОЯТ в ПКХ
- Однократная перевозка ОЯТ на переработку
- Возврат КФ ВАО заказчику и долговременное хранение в ПКХ

Характеристики

- 30–32 ОТВС ВВЭР-1000/1200/1300 или 5,4–6,3 м³ ВАО
- Диаметр контейнера ограничен габаритами ж/д перевозки
- Трансформация конструкции (съемные элементы)
- Масса загруженного УКХ ПВ не более 160 тонн
- Увеличенная вместимость контейнера и сниженная стоимость хранения



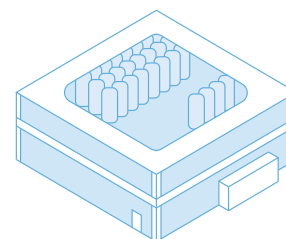
Типовой пункт контейнерного хранения (ПКХ)

Применение

- Теплоотвод и защита контейнеров от климатических и внешних воздействий

Характеристики

- Один модуль – 16 ТУК-137Т.Е. (ТУК-137Т.Р) и 38 УКХ ПВ
- Возможность пристройки дополнительных модулей на 112-120 УКХ ПВ



Контейнеры для хранения и транспортирования ОЯТ и ВАО полностью отвечают всем требованиям безопасности МАГАТЭ



Уран-плутониевое топливо

Уран и плутоний – ядерные материалы, извлекаемые из ОЯТ, которые имеют значительный энергетический потенциал. Их эффективное применение является важной задачей с точки зрения ответственного потребления ресурсов и экологической безопасности.

Госкорпорация «Росатом» предлагает широкий спектр решений для обращения с этими материалами:

- очистка и обогащение регенерированного урана с последующим использованием его для производства стандартного уранового топлива легководных реакторов (ВВЭР, PWR, BWR)
- использование регенерированного урана и плутония в составе РЕМИКС-топлива для легководных реакторов
- использование плутония, извлеченного из ОЯТ, в МОКС-топливе и СНУП-топливе с последующим применением этого топлива в быстрых реакторах
- содействие в лицензировании легководных реакторов для работы с топливом из регенерированного урана и плутонийсодержащим топливом
- формирование совместно с заказчиками новых топливных циклов в зависимости от выбранного сырья

Уран-плутониевое топливо для РТН — наиболее современная и перспективная разработка в мире. Российское уран-плутониевое топливо предполагает возможность загрузки 100% активной зоны и многократный рецикл ядерных материалов. Эффективность использования сырья переходит на новый, ранее не доступный уровень.

Госкорпорация «Росатом» – высокотехнологическая компания, владеющая прорывными решениями и предоставляющая гибкие условия использования продуктов переработки ОЯТ – либо они загружаются в АЭС заказчика, либо утилизируются в топливном цикле российских АЭС.

Преимущества конструкции ТВС пятого поколения (ТВС-5) для уран-плутониевого топлива

- Дистанционная сборка пучка твэл без применения лака, исключение ЖРО при фабрикации
- Ремонт негерметичной ТВС после облучения в реакторе (извлечение негерметичного твэла)
- Возможность разборки ТВС после облучения в реакторе (съемная головка, твэлы / твэги без крепления в нижней решетке, съемный хвостовик)

до 97%

массы ОЯТ составляют делящиеся ядерные материалы, которые можно использовать вновь

до 1.5%

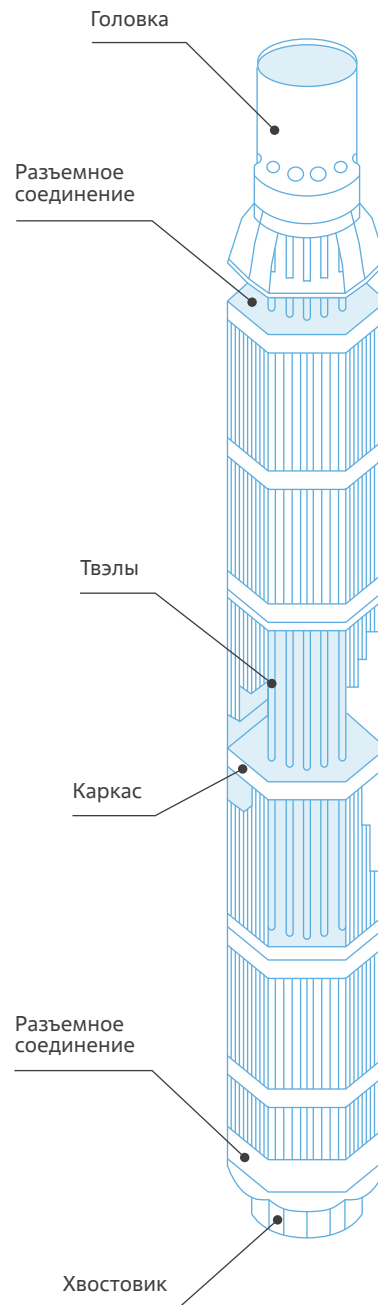
количество плутония в РЕМИКС-топливе при сохранении возможности мультирециклирования

100%

активной зоны легководного реактора может быть заполнено РЕМИКС-топливом

до 32%

экономия природного урана при замыкании ЯТЦ на РЕМИКС-топливе



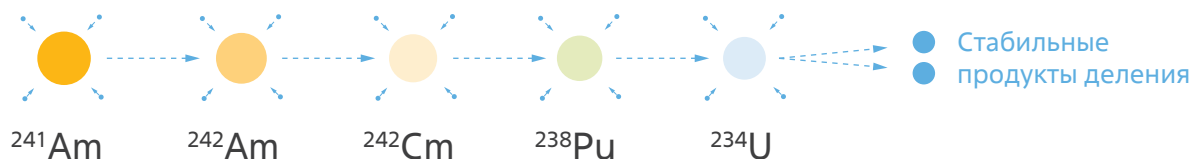


Дожигание минорных актинидов в быстрых реакторах

Минорные актиниды – америций (Am), нептуний (Np), кюрий (Cm) – продукты деления урана и плутония. Их суммарное содержание в ОЯТ составляет менее 1%.

Госкорпорация «Росатом» предлагает утилизировать минорные актиниды путем их облучения в быстрых реакторах. Эксплуатируемые, сооружаемые и проектируемые Госкорпорацией «Росатом» реакторы позволяют проводить трансмутацию (дожигание) минорных актинидов в промышленном масштабе.

Данный элемент комплексного предложения Госкорпорации может превратить ядерный топливный цикл заказчиков в по-настоящему ответственный и соответствующий целям в области устойчивого развития ООН.



0.2 кг

Am содержится в 1 т ОЯТ после 10 лет выдержки (после выгрузки из реактора)

до 24 кг

Am в год может выжигать реактор БН-800

в 10 раз

уменьшается количество РАО, направляемых на захоронение, при фракционировании ВАО и последующей трансмутации минорных актинидов

Устойчивое развитие



Одним из важнейших условий работы Госкорпорации «Росатом» является содействие реализации 17 целей устойчивого развития ООН. Госкорпорация «Росатом» является участником сети Глобального договора ООН, который объединяет устойчивый бизнес по всему миру.



Атомная энергетика – чистый и надежный источник энергии с нулевыми прямыми выбросами парниковых газов в процессе генерации и минимальными выбросами на всем жизненном цикле. Принципиальное решение вопроса завершающей стадии ЯТЦ обеспечивает дополнительный вклад в долгосрочную востребованность атомной генерации.



Концепция «Сбалансированный ЯТЦ» предполагает, что на всем цикле обращения с ОЯТ, ВАО и регенерированными материалами используются самые передовые технологии и инновационные материалы. (Примеры таких решений приведены на странице 14).



Решение глобальной проблемы накопления ОЯТ основано на инновационных технологиях рециклирования. Переработка ОЯТ позволяет в том числе вернуть в промышленный оборот ценные ядерные материалы, обеспечивая таким образом рациональную модель производства и потребления.



«Сбалансированный ЯТЦ» обеспечивает международную кооперацию с заказчиками на всех этапах развития продукта.

Госкорпорация «Росатом» и ее организации соблюдают все применимые международные нормы и требования в области безопасности на всем жизненном цикле продукции. Поставщики контролируются на предмет соблюдения соответствующих требований, в том числе посредством проведения аудитов.

В соответствии с результатами исследования Европейской экономической комиссии ООН (UNECE) выбросы на жизненном цикле атомной энергетике являются самыми низкими в сравнении с другими видами генерации (среднее значение – 5,5 г CO₂ экв/кВт*ч).
Источник: <https://unece.org/sites/default/files/2021-10/LCA-2.pdf>.

Инновационные решения

«Сбалансированный ЯТЦ» сформирован с использованием современных инновационных технологий



При переработке ОЯТ в России используются технологии «третьего поколения», характеризующиеся полным отсутствием сброса жидких РАО в гидросеть – все технологические жидкости, применяемые при переработке ОЯТ, регенерируются и используются повторно, не покидая технологическую схему.

Для выделения из состава высокоактивных ЖРО отдельных фракций применяются уникальные экстрагенты и сорбенты. Выбрать эти вещества из разнообразия химических соединений и подобрать оптимальные режимы работы оборудования – сложнейшая задача, решаемая в том числе с применением компьютерного моделирования. Существующие технологии позволяют выделять минорные актиниды с чистотой 99,99% и выше.



Для минимизации радиационной нагрузки на персонал при фабрикации плутоний-содержащего топлива разработаны конструкция ТВС и технологический процесс, позволяющие осуществлять сборку дистанционно и без применения лака для исключения образования ЖРО при фабрикации.



Трансмутация минорных актинидов наиболее эффективна при воздействии нейтронами быстрого спектра. Россия – единственная в мире страна, которая эксплуатирует энергетические РБН мощностью 600 МВт (БН-600) и 880 МВт (БН-800), и начала сооружение реактора поколения IV БРЕСТ-ОД-300.



В ТП ТУК используется уникальная конструкция чехла, позволяющая реализовать эффективный теплоотвод от ОТВС высокого выгорания (>50 ГВт·сут./тU) и обеспечивающая ядерную безопасность в НЭ, ННЭ и ПА с применением инновационного композитного нейтронно-поглощающего материала.

В УКХ ПВ применяется трансформирующаяся конструкция, оптимизированная к длительному хранению, с использованием инновационных материалов и технологий изготовления, позволяющих обеспечить конструкционную прочность и коррозионную стойкость даже при захоронении УКХ ПВ.

Основные термины и сокращения

АВЭЛ

Америций выжигающий элемент – устройство для размещения минорных актинидов в быстрых реакторах с целью их трансмутации (дожигания)

ВАО

Высокоактивные отходы, образующиеся при переработке ОЯТ и требующие повышенных мер безопасности (экранирование и теплоотвод)

КФ ВАО

Короткоживущая фракция – выделенные из ВАО цезий и стронций – элементы из состава ОЯТ, обладающие наибольшим тепловыделением и радиоактивностью в первые 300 лет после выгрузки ОЯТ из реактора

МА

Минорные актиниды – долгоживущие радиоактивные изотопы Am, Cm, Np, образуемые в ядерном топливе при эксплуатации реактора. В составе ВАО обладают наибольшим тепловыделением и радиоактивностью после 300 лет с момента выгрузки ОЯТ из реактора

НЭ, ННЭ и ПА

Нормальная эксплуатация, нарушения нормальной эксплуатации и проектные аварии

ОТВС

Облученная тепловыделяющая сборка – ТВС, выгруженная из реактора, дальнейшее использование которой не предусмотрено

ОЯТ

Отработавшее ядерное топливо – топливо, облученное в активной зоне реактора

ПКХ

Пункт контейнерного хранения

ППЗРО

пункт приповерхностного захоронения радиоактивных отходов

РАО

Радиоактивные отходы – отходы, содержащие радиоактивные вещества в количествах, превышающих значение установленных норм, и не подлежащие дальнейшему использованию

РБН

Реакторы на быстрых нейтронах – реакторы, реакция деления ядер в которых происходит за счет нейтронов, обладающих большей энергией, чем в традиционных легководных реакторах

РЕМИКС-ТОПЛИВО

Уран-плутониевое топливо, содержащее в своем составе относительно небольшое количество плутония и регенерированный уран

РТН

Реакторы на тепловых нейтронах

САО

среднеактивные отходы, преобразующиеся из ВАО при хранении путем распада, допущенные к захоронению в ППЗРО

ТВС

Тепловыделяющая сборка – ядерное топливо, загружаемое в активную зону реактора для производства энергии

ТП ТУК

Транспортно- перегрузочный ТУК

УКХ ПВ

Упаковочный комплект хранения повышенной вместимости

ЯТЦ

Ядерный топливный цикл – набор операций, обеспечивающих производство и поставку топлива для ядерных реакторов, и обращение с ним после извлечения из реактора

О компаниях Госкорпорации «Росатом»

За реализацию концепции «Сбалансированного ЯТЦ» как комплексного продукта, а также его отдельных компонентов в Госкорпорации «Росатом» отвечают АО «Техснабэкспорт» и АО «ТВЭЛ»

АО «Техснабэкспорт»

Один из ведущих мировых поставщиков продукции ядерного топливного цикла, около 60 лет успешно представляет отечественную атомную отрасль на мировом рынке.

Направления деятельности АО «Техснабэкспорт» (TENEX) – поставки урановой продукции, оказание полного комплекса логистических услуг (обеспечивая поставки продукции ЯТЦ), а также товары и услуги в области обращения с ОЯТ и РАО. В частности, компания занимается организацией переработки зарубежного ОЯТ в РФ, а также активно развивает инжиниринговое направление, позволяющее адаптировать решения по обращению с ОЯТ и РАО под требования конкретного заказчика. За всю историю товарами и услугами в области обращения с ОЯТ российских поставщиков воспользовались заказчики из 20 стран мира.



tenex.ru



АО «ТВЭЛ»

АО «ТВЭЛ» – один из крупнейших в мире производителей ядерного топлива, является поставщиком ядерного топлива на все российские АЭС, судовые и исследовательские реакторы, а также топлива и его компонент на АЭС и ИР. На топливе, изготовленном АО «ТВЭЛ», сегодня за рубежом работает каждый шестой энергетический реактор в мире.

В настоящее время АО «ТВЭЛ» активно развивает и представляет на мировом рынке новые решения в области ядерного топлива, среди которых топливо из регенерированного урана, толерантное топливо, различные виды плутонийсодержащего топлива, плотное топливо для быстрых реакторов и другие. Компания также оказывает сопутствующие услуги, включая сопровождение лицензирования топлива в национальном регулирующем органе заказчика, сопровождение эксплуатации, обоснование топлива и др.



tvel.ru



В команду, реализующую «Сбалансированный ЯТЦ», входят также ФГУП «ПО «Маяк», ФГУП «ГХК», АО «ЛЦ ЯТЦ», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», АО «ОКБМ Африкантов», ПН «Прорыв», АО «ВНИИНМ», АО «СХК», АО «МСЗ», АО «НЗХК», АО «Радиовый институт им. В.Г. Хлопина», АО «ГНЦ РФ – ФЭИ», АО «Концерн «Росэнергоатом» и другие организации российской атомной отрасли.