**Ученые Росатома: инновационные решения замыкания ядерного топливного цикла — ключ к атомной энергетике будущего**

**Научные разработки АО «ТВЭЛ» успешно внедряются и демонстрируют практический результат**

В рамках отраслевой конференции «Новая атомная энергетика», состоявшейся в Сочи, старший вице-президент по научно-технической деятельности АО «ТВЭЛ» Александр Угрюмов представил широкую линейку инновационных решений, разработок и исследований Топливного дивизиона Росатома, которые направлены на создание атомной энергетики будущего на базе технологий замкнутого ядерного топливного цикла.

Речь идет о ядерном топливе для тепловых и быстрых реакторов, изготовленном из «вторичных» продуктов ядерного топливного цикла (обедненный уран), а также из продуктов переработки облученного топлива (регенерированный уран, плутоний, минорные актиниды). Разработка, постановка на производство и промышленное внедрение таких решений позволят Росатому решить стратегическую задачу по переходу к двухкомпонентной ядерной энергетике с реакторами на тепловых и быстрых нейтронах, эксплуатирующихся в замкнутом топливном цикле, где отработавшее ядерное топливо (ОЯТ) одних установок становится сырьем для производства свежего топлива для других энергоблоков.

Решение подобных задач имеет важное значение для повышения экономической эффективности атомной энергетики на жизненном цикле, а также для достижения целей Устойчивого развития ООН в том, что касается рационального использования природных ресурсов и вопросов экологии.

**Топливо ВВЭР**

Исторически использование ОЯТ в качестве сырья для производства свежего ядерного топлива связано с изготовлением тепловыделяющих сборок на базе регенерированного урана, восстановленного в процессе переработки облученного топлива. На предприятиях Топливной компании «ТВЭЛ» освоено производство топлива из регенерированного урана для реакторных установок РБМК и ВВЭР (серийные поставки осуществляются на энергоблок № 2 Кольской АЭС в Мурманской области). Реализация программы научных исследований позволила оптимизировать логистику обращения с регенерированным сырьем и сократить время обращения с ядерным материалом от переработки ОЯТ до загрузки топлива в реактор.

На основании положительных результатов ранее проведенной эксплуатации топлива из регенерированного урана на блоке № 2 Калининской АЭС, а также текущей успешной эксплуатации топливных кассет ВВЭР-440 с регенерированным ураном на энергоблоке № 2 Кольской АЭС было признано целесообразным осуществить перевод энергоблоков АЭС с ВВЭР-1200 (Нововоронежская АЭС-2 и Ленинградская АЭС-2) на топливо из регенерированного урана, после завершения их перевода на эксплуатацию в 18-месячном топливном цикле (2027–2028 годы). Кроме того, в прогнозном балансе сырья и мощностей Госкорпорации «Росатом» с 2023 по 2035 годы по результатам оценки всех сырьевых источников и потребностей также поставлена задача по поэтапному переводу энергоблоков ВВЭР-1200 и ВВЭР-ТОИ на ядерное топливо из регенерированного урана.

Еще больший экономический эффект на всем жизненном цикле атомной станции даст внедрение уранплутониевого ядерного топлива за счет комплексного подхода к многократному рециклу ядерных материалов, переработке ОЯТ и экологичному обращению с отходами.

Эффективным российским решением по замыканию топливного цикла для ВВЭР является уранплутониевое РЕМИКС-топливо, которое успешно проходит уже [второй 18-месячный цикл опытно-промышленной эксплуатации в дизайне ВВЭР-1000 на энергоблоке № 1 Балаковской АЭС](https://www.rosatom.ru/journalist/news/rosatom-zavershil-pervyy-tsikl-ekspluatatsii-uran-plutonievogo-remiks-topliva-na-balakovskoy-aes/). РЕМИКС-топливо содержит смесь обогащенного урана с ураном и плутонием, которые выделяются при переработке ОЯТ. Эта технология подразумевает повторное использование не только плутония, но и остаточного количества урана-235. По сравнению с западноевропейским аналогом уранплутониевого топлива для легководных реакторов его преимущество в том, что РЕМИКС-топливом можно загрузить активную зону не частично, а полностью, а также в возможности многократного рециклирования ОЯТ.

Кроме того, в 2023 году в исследовательском реакторе МИР начались опытные испытания твэлов с уранплутониевым МОКС-топливом для ВВЭР с содержанием плутония до 12 % (в РЕМИКС-топливе содержание плутония — до 1,5 %). Это следующий шаг российской науки в замыкании ядерного топливного цикла, ранее технология МОКС-топлива использовалась только для реактора на быстрых нейтронах БН-800. Как отметил Александр Угрюмов, полученные результаты также будут использованы для опережающей разработки и обоснования МОКС-топлива для перспективного инновационного реактора ВВЭР-С с регулированием спектра нейтронов (предполагается, что данные установки смогут работать как в открытом, так и в замкнутом топливном цикле).

**Топливо для «быстрых» реакторов**

Внедрение замкнутого топливного цикла осуществляется прежде всего для реакторов на быстрых нейтронах, которые по своей физике изначально более «всеядны» с точки зрения топлива и делящихся материалов. Реактор БН-800 на Белоярской АЭС полностью переведен с уранового на уранплутониевое МОКС-топливо. Инновационный реактор БРЕСТ-ОД-300, который строится в Томской области на площадке Сибирского химического комбината, изначально будет работать на плотном нитридном уранплутониевом СНУП-топливе.

Производство МОКС- и СНУП-топлива позволяет вовлекать в ядерный топливный цикл обедненный уран, постепенно ликвидируя его накопленные на складах запасы. При этом в штатном МОКС-топливе используется высокофоновый плутоний, получаемый в результате переработки ОЯТ от реакторов ВВЭР-440, ВВЭР-1000 и БН.

Технологии топлива для «быстрых» реакторов с каждым годом развиваются. В 2023 году производство МОКС-топлива, созданное на Горно-химическом комбинате, полностью перешло на изготовление оболочек тепловыделяющих элементов из хромоникелевой аустенитной стали ЭК164. В перспективе это позволит повысить уровень выгорания ядерного топлива и увеличить длительность топливной компании, тем самым сделав эксплуатацию энергоблока более экономически эффективной. Целевые показатели развития МОКС-технологии предполагают повышение длительности топливной кампании БН-800 с 12 до 24 месяцев, повышение эффективности и рентабельности фабрикационного производства во ФГУП «ГХК», а также совершенствование радиохимического передела (переработка облученного топлива во ФГУП «МАЯК» для выделения плутония).

Следующим шагом станет изготовление и загрузка в реактор БН-800 опытных МОКС-ТВС, содержащих минорные актиниды (америций, нептуний) — наиболее высокоактивные и токсичные элементы, содержащиеся в облученном ядерном топливе. Таким образом, российские атомщики первыми смогут использовать еще одно конкурентное преимущество «быстрых» реакторов, позволяющих «дожигать» минорные актиниды вместо глубокого геологического захоронения в качестве ядерных отходов.

Параллельно со строительством энергоблока с инновационным «быстрым» реактором БРЕСТ-ОД-300 со свинцовым теплоносителем ведется комплекс научно-исследовательских работ по обоснованию уранплутониевого СНУП-топлива с постепенным повышением его выгорания (облучение опытных СНУП-ТВС проводится в реакторе БН-600 на Белоярской АЭС). Вместе с тем ученые Росатома также решают ряд задач по доработке и развитию технологии производства СНУП-топлива на будущем модуле фабрикации/рефабрикации в составе Опытно-демонстрационного энергетического комплекса.

**Справка:**

*Инновационные технологии Росатома основаны на передовых достижениях российской атомной науки и в полной мере отвечают актуальной ESG-повестке. Достигнутые результаты — это труд тысяч высококвалифицированных профессионалов, которые работают в интересах экономической стабильности России. Четкое взаимодействие промышленных предприятий с научно-исследовательскими институтами помогает укреплять технологический суверенитет страны, повышать конкурентоспособность отечественной атомной отрасли.*