

3. ГОСТ Р ИСО 31000-2019 Менеджмент риска. Принципы и руководство. – Текст: электронный // docs.cntd.ru: [сайт]. – URL.: <https://docs.cntd.ru/document/1200170125> (дата обращения: 10.11.2024).
4. ГОСТ ISO/IEC 17025-2019. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. – Текст: электронный // docs.cntd.ru: [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200166732> (дата обращения: 10.11.2024).
5. ГОСТ Р 56407-2015 Бережливое производство. Основные методы и инструменты. – Текст: электронный // docs.cntd.ru: [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200120649> (дата обращения: 10.11.2024).

УДК 629.039.58

УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ОТРАБОТАВШИМ ЯДЕРНЫМ ТОПЛИВОМ

Хабибуллин Роман Маратович, Бородин Юрий Викторович

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: rmh2@tpu.ru

Нкубе Амос Хараре

Институт экологических наук, Центр научных и промышленных исследований и разработок, Зимбабве

E-mail: amocube@gmail.com

RISK MANAGEMENT IN THE USING OF NUCLEAR WASTE

Khabibullin Roman Maratovich, Borodin Yuriy Viktorovich

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

Ncube Amos Harar

Environmental Sciences Institute (ESI),

Scientific & Industrial Research & Development Centre (SIRDC), Zimbabwe

Аннотация: данная статья посвящена управлению рисками, связанными с отработавшим ядерным топливом. Для решения данной проблемы используется технология замкнутого ядерного топливного цикла. Одним из ключевых элементов замкнутого ядерного топливного цикла является повторная переработка отработавшего топлива с последующим извлечением оставшихся энергетических ресурсов. Эта технология позволяет снизить количества радиоактивных веществ, которые требуется хранить на протяжении долгого времени.

Abstract: this article discusses the management of risks associated with nuclear waste. The use of closed nuclear fuel cycle technologies is proposed as a solution to this issue. A key component of a closed fuel cycle is the process of reprocessing spent fuel, which involves extracting remaining energy resources from the waste. This process helps to reduce the quantity of radioactive materials that need to be safely stored for extended periods.

Ключевые слова: отработавшее ядерное топливо; управление рисками; замкнутый ядерный топливный цикл, МОКС-топливо, ядерная энергетика, реакторы на быстрых нейтронах

Keywords: nuclear fuel waste; risk management; a closed nuclear fuel cycle; mixed oxide fuel; nuclear power; fast neutron reactors.

Ядерная энергетика (ЯЭ) – ключевой сектор в развитии российской экономики, энергетики и инноваций. Отрасль играет ключевую роль в обеспечении энергетической безопасности и долгосрочного устойчивого развития российской экономики. В частности, атомная энергетика может стать радикальным решением для борьбы с выбросами парниковых газов и увеличения доли высокотехнологичной продукции в экспорте.

Однако атомная энергетика сталкивается с рядом актуальных проблем. К ним относятся следующие: незаконный оборот ядерных материалов, замыкание ядерного топливного цикла для уменьшения количества отработанного топлива, создание эффективных и безопасных реакторов IV поколения, безаварийная эксплуатация действующих электростанций, безопасное обращение с радиоактивными отходами.

Решение этих задач откроет перед атомной энергетикой новые горизонты за счет диверсификации ассортимента продукции и внедрения инновационных технологий. Все инновации и альтернативные технологические решения должны быть интегрированы в существующую ядерную инфраструктуру, которая включает в себя как эволюционные, так и радикально новые установки в атомной отрасли [1].

Заккрытие ядерного топливного цикла и переход к двухкомпонентной ядерной энергетической системе приведет к созданию самодостаточных источников энергии, что, в свою очередь, удовлетворит потребность в возобновляемых источниках энергии. Чем быстрее будут реализованы эти возможности, тем больше шансов у России выйти на международный рынок ядерных технологий. Это потребует не только совершенствования работы реакторов на тепловых нейтронах в XXI веке, но и развития высокоэффективной технологии реакторов на быстрых нейтронах, которая в настоящее время в значительной степени недоиспользуется.

Замкнутый ядерный топливный цикл (ЗЯТЦ) представляет собой оптимизированную систему управления ядерным топливом, при которой отработанное топливо, полученное из ядерных реакторов, перерабатывается для извлечения урана и плутония, которые затем используются повторно в производстве ядерного топлива.

Основные этапы ЯТЦ следующие:

- 1) от 3 до 10 лет отработавшее ядерное топливо выдерживается на атомных электростанциях (АЭС) в специальных площадках, для охлаждения;
- 2) промежуточное хранение ОЯТ до 40 лет в контролируемых условиях в специальных автономных хранилищах вблизи радиохимических производств;
- 3) переработка ОЯТ, в ходе которой отделяются экономически ценные делящиеся нуклиды и продукты деления, а оставшиеся радиоактивные отходы твердеют для захоронения.

Управление рисками невозможно без снижения объемов отходов атомной энергетики и уже существующих захоронений. Для этих целей предлагается повторное использование отработавшего ядерного топлива, которое не только увеличивает безопасность отрасли, но и повышает экономическую привлекательность.

В конечных результатах реакции деления из урана образуется 1% плутония который можно использовать в качестве ядерного топлива. Образующийся плутоний не требует дополнительного обогащения и не может использоваться в качестве оружия массового поражения.

Технология замкнутого ядерного топливного цикла готова к активному применению. Она позволит увеличить количество ядерного топлива и уменьшить объем радиоактивных отходов.

Успехи Белоярской АЭС подтверждают это. На станции используется инновационное МОКС-топливо в реакторе БН-800. Белоярская АЭС – лидер среди атомных станций, работающих на уран-плутониевом МОКС-топливе, полученном из отходов традиционных АЭС и обогащения урана.

Эти результаты, основанные на теоретических исследованиях и практических экспериментах, показывают, что технология готова к промышленному использованию.

Полученное МОКС-топливо поможет снизить объемы радиоактивных отходов и создать энергетический запас для Российской энергетики.

Для снижения рисков таких как экономические, так и рисков, связанных с безопасной эксплуатацией, потребуется создание новых энергоблоков серии БН-1200М, которые содержат в себе преимущества быстрых и тепловых реакторов [2].

Внедрение МОКС-топлива позволяет многократно расширить сырьевую базу атомной энергетики за счет обедненного урана и плутония и перерабатывать облученное топливо

вместо хранения. Дожигание вторичных продуктов ядерного топливного цикла (обедненный уран и плутоний) – это следующий шаг в замыкании ядерного топливного цикла, который должен не только уменьшить количество ядерных отходов, подлежащих финальной изоляции, но и значительно снизить их радиоактивность [3]. В перспективе это дает возможность отказаться от сложного и дорогостоящего глубинного захоронения отходов.

Из рисунка 1 видно, что стоимость долгосрочного хранения ОЯТ не вносит существенного вклада в топливную составляющую системы ядерного топливного цикла, но в то же время создает проблему задержки транспортировки ОЯТ, что в конечном итоге проявляется в виде увеличения топливной составляющей системы.

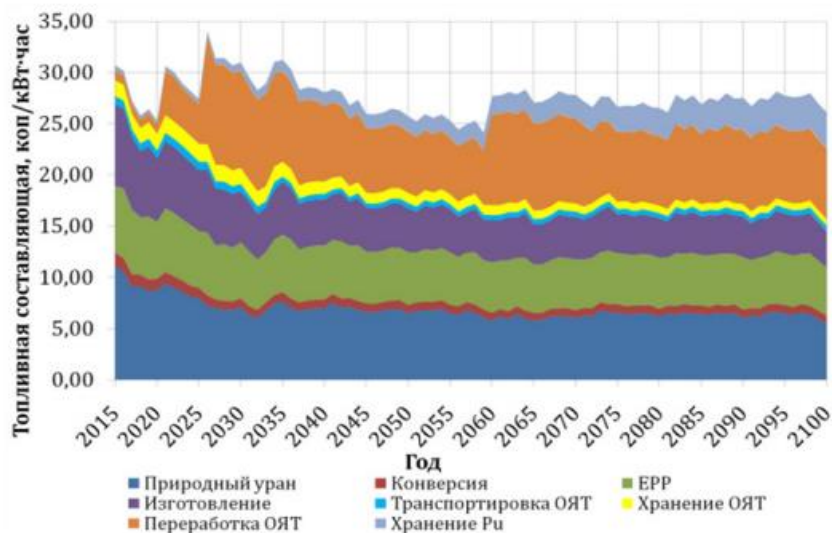


Рисунок 1 – Топливный состав открытого ЯТЦ по видам затрат

Рисунок 2 показывает, что затраты на переработку ОЯТ по-прежнему являются одним из определяющих факторов стоимости системы: По мере увеличения доли БН в системе ЯТЦ затраты на производство топлива растут, в то время как затраты на компоненты, связанные с природным ураном, конверсией и обогащением, снижаются. Затраты на хранение плутония в этом сценарии ниже, чем в варианте с открытым ЯТЦ.

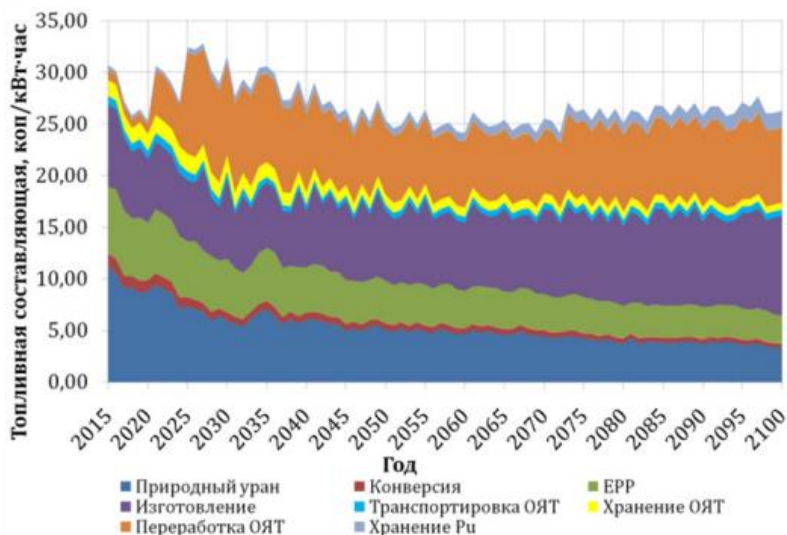


Рисунок 2 – Структура топливной составляющей по типу затрат (замкнутый ЯТЦ, ВВЭР + БН)

На рисунке 3 показано, что структура затрат на топливо до 2100 года определяется затратами на переработку и производство топлива. Затраты на хранение плутония в этой системе отсутствуют [2].

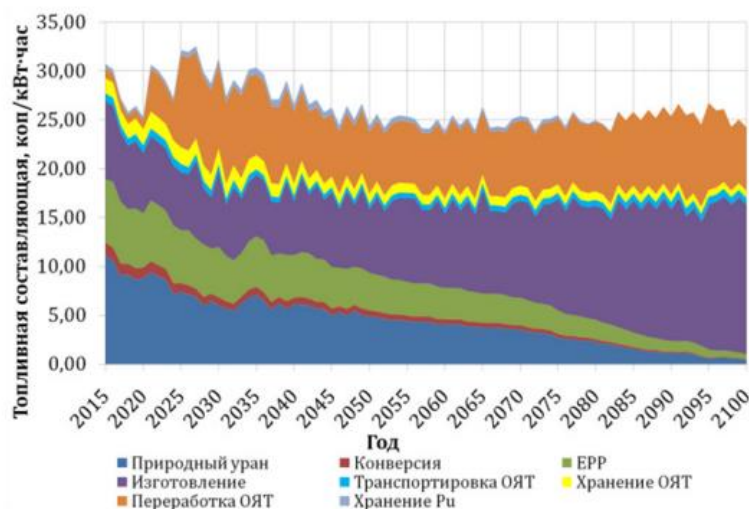


Рисунок 3 – Структура топливной составляющей по типу затрат (ЗЯТЦ, ВВЭР + БН, максимальный)

Снижение затрат на хранение плутония и добычу природного урана также способствует уменьшению рисков, связанных с уменьшением объемов отходов при хранении. Это снижает вероятность негативных последствий в случае аварии или несанкционированного доступа к хранилищам. Кроме того, сокращение объема отработанного топлива уменьшает общие экологические риски, связанные с обращением с радиоактивными отходами, за счет упрощения последующей переработки и управления ими [4, 5].

Реакторы на быстрых нейтронах со встроенными системами безопасности также играют важную роль в снижении рисков. Ключевым элементом в которых служит свинцовый теплоноситель. Свинец является перспективным материалом для реакторов нового поколения, он сочетает в себе способность поглощать гамма излучение, но при этом не замедлять нейтроны, что в свою очередь является неотъемлемой частью теплоносителя для реактора на быстрых нейтронах. Они требуют меньшего количества операций и более устойчивы.

Список литературы

1. Захоронение радиоактивных отходов. Серия норм МАГАТЭ по безопасности № SSR-5. – Вена: МАГАТЭ, 2008 – 76 с. – ISBN 978-92 -0- 420010-2.
2. Алексеев П.Н. Возможные сценарии перехода к замкнутому ядерному топливному циклу / П.Н. Алексеев, С.А. Субботин, Б.Я. Зильберман, Н.В. Ковалев // замыкание топливного цикла ядерной энергетики на базе реакторов на быстрых нейтронах. – Томск: Росатом, 2018. – С. 46–62.
3. Радиоактивные отходы. – Текст: электронный // Росатом: [сайт]. – URL: <https://aem-group.ru/mediacenter/informatory/radioaktivnyie-otxodyi.html> (дата обращения: 11.11.2024).
4. Хвостова М.С. Обращение с радиоактивными отходами на предприятиях атомной отрасли / М.С. Хвостова// Радиоэкология и радиационный контроль. – Москва: Вестник РУДН, 2013. – С. 97–105.
5. Радиоактивные отходы: решение сложной задачи. – Текст: электронный // IAEA: [сайт]. – URL: <https://www.iaea.org/bulletin /55-3> (дата обращения: 11.11.2024).