ГОРЕНИЕ И ПЛАЗМОХИМИЯ 24 (2026) 347–359
Combustion and Plasma Chemistry https:cpc-journal.kz/

МРНТИ 44.31.01 https://doi.org/10.18321/cpc24(3)347-359

Перспективы использования ториевых реакторов в Центральной Азии

М.К. Байпаков[1*], Б.Т. Лесбаев[1,2], С.К. Танирбергенова[1], З.А. Мансуров[1,2], Ж. Алсар[3], А. Хассанейн[4], З. Инсепов[3,4]

[1]Институт проблем горения, ул. Богенбай батыра, 172, Алматы, Казахстан
[2]Казахский национальный университет им. аль-Фараби, пр. аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан
[3]NURA, Назарбаев университет, пр. Кабанбай батыра, 53, Астана, Казахстан
[4]School of Nuclear Engineering, Purdue University, West Lafayette, USA

ARTICLE INFO

Получено
30.07.2026

Получено в исправленном виде
31.08.2026

Принято
22.09.2026

Ключевые слова:
торий;
ториевый реактор;
ВВЭР-1200;
ядерное топливо

АННОТАЦИЯ

Торий рассматривается как перспективный материал для ядерного топлива, способный расширить ресурсную базу атомной энергетики и при определенных конфигурациях топливного цикла снизить образование плутония. В 2023-2025 гг. получены новые экспериментальные результаты по его использованию: китайский жидкосолевой реактор TMSR-LF1 достиг полной мощности и продемонстрировал возможность исследования конверсии ^{232}Th в ^{233}U в условиях работающего реактора, а индийская программа AHWR продолжает развитие технологий использования тория. Отдельное направление составляют нейтронно-физические исследования частичной ториевой загрузки реакторов ВВЭР-1000/1200, результаты которых указывают на техническую реализуемость такого подхода при выполнении требований к безопасности, топливу и характеристикам активной зоны.В работе проведен обзор современных технологических решений в области ториевого топливного цикла, рассмотрены его нераспространенческие и экономические аспекты, а также проанализировано место тория в ядерно-энергетических программах Казахстана и Узбекистана. Показано, что формирующаяся в Центральной Азии инфраструктура атомной энергетики создает предпосылки для дальнейшего исследования частичной ториевой загрузки реакторов водо-водяного типа. Для Казахстана приоритетными направлениями определены нейтронно-физическое моделирование ториевой загрузки ВВЭР-1000/1200, исследование характеристик торийсодержащего топлива, оценка торионосного сырья и урановых хвостов, а также анализ экономических и регуляторных условий реализации ториевого топливного цикла. Полученные результаты формируют научно-технологическую основу для оценки перспектив применения тория в атомной энергетике Казахстана и Центральной Азии.

Аббревиация

AHWR	Advanced Heavy Water Reactor
BARC	Bhabha Atomic Research Centre
ВВЭР	Водо-водяной энергетический реактор
IAEA	International Atomic Energy Agency
IMSBR	Indian Molten Salt Breeder Reactor
MSR	Molten Salt Reactor
NNL	National Nuclear Laboratory
ОЯТ	Отработавшее ядерное топливо
РЗЭ	Редкоземельные элементы
ТВЭЛ	Тепловыделяющий элемент
SMR	Small Modular Reactor
TMSR	Thorium Molten Salt Reactor

*Corresponding author: M.K. Baipakov; E-mail address: mbaipakov@gmail.com

© The Author(s). This is an open access article under the CC BY license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Исторические предпосылки и цель исследования

Современный интерес к перспективным ядерным топливным циклам, включая ториевый, является продолжением научных и технологических исследований, начатых в рамках советского атомного проекта. Его становление связано с деятельностью И.В. Курчатова, который в 1943 году возглавил Лабораторию №2 АН СССР (впоследствии – Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»). С 1945 года общее руководство атомным проектом осуществлял Специальный комитет при Государственном комитете обороны СССР, созданный по решению И.В. Сталина и возглавляемый Л.П. Берией [1]. В этот период были сформированы основы научных школ реакторной физики, ядерного материаловедения и технологий ядерного топливного цикла, получивших впоследствии развитие в исследованиях перспективных направлений атомной энергетики, включая ториевый топливный цикл. Преемственность этих исследований прослеживается и в Казахстане. Город Курчатов, расположенный в Абайской области, названный в честь ученого, был административным центром Семипалатинского испытательного полигона, а в настоящее время является местом размещения Национального ядерного центра Республики Казахстан. Здесь сосредоточена значительная часть исследовательской инфраструктуры республики в области ядерной энергетики, реакторных технологий и радиационного материаловедения. Наличие исследовательской инфраструктуры, а также ресурсов урана и тория создает предпосылки для проведения в Казахстане исследований, связанных с ториевым топливным циклом, реакторами на расплавах солей и другими перспективными ядерными технологиями. Настоящая работа посвящена анализу потенциала тория как перспективного ядерного материала, способного расширить ресурсную базу атомной энергетики Казахстана и представляющего интерес для развития перспективных топливных циклов.

Ученые, работавшие в рамках советского атомного проекта, наряду с решением оборонных задач одновременно исследовали возможности применения атомной энергии в мирных целях. По инициативе И.В. Курчатова реализован проект первой в мире атомной электростанции, использовавшей энергию управляемой цепной реакции деления для производства электроэнергии. 26 июня 1954 года в Обнинске введена в эксплуатацию первая в мире атомная электростанция с реактором АМ-1 («Атом мирный») энергетической мощностью 5 МВт. Запуск Обнинской атомной электростанции продемонстрировал практическую возможность использования ядерной энергии и стал важной вехой в развитии мировой атомной энергетики. Опыт ее создания и эксплуатации на развитие энергетических атомных реакторов и технологий ядерного топливного цикла, включая направления, рассматриваемые в настоящей статье [1].

Концепция малых модульных реакторов, которая в настоящее время рассматривается как одно из перспективных направлений развития атомной энергетики, впервые предложена в августе 1952 года А.П. Александровым в письме И.В. Курчатову. В письме предложил идею автономного ядерного реактора для подводных лодок, которая стала одним из первых шагов в развитии компактных реакторных установок. Под руководством И.В. Курчатова в 1958 году была построена первая советская атомная подводная лодка К-3 «Ленинский комсомол» [1]. Главным преимуществом атомного реактора, разработанного для подводных лодок, была компактность и возможность автономной эксплуатации без дозаправки топливом более 1 года. В 1953 году в Институте атомной энергии начаты исследования по разработке первого в мире гражданского судна на ядерном топливе. На основе этих разработок в 1959 году построен и сдан в эксплуатацию атомный ледокол «Ленин». Основным разработчиком атомного реактора для ледокола был ОКБ завода №92 под руководством И.И. Африкантова. Это конструкторское бюро, в дальнейшем переименованное в АО «ОКБМ Африкантов», на протяжении семи десятилетий разрабатывает реакторы для ледоколов и малых АЭС. Одной из их последних разработок является малый модульный реактор РИТМ-200 и его наземная модификация РИТМ-200Н, который строится в Узбекистане совместно с Россией [2]. Малые модульные реакторы, являющиеся одним из перспективных направлений для снижения себестоимости и безопасности вырабатываемой атомной энергии, продолжают концепцию использования автономности и независимости от крупной инфраструктуры, которая была предложена и внедрена учеными советского атомного проекта при создании атомных реакторов для подлодок и кораблей. И в настоящее время строительство малых модульных реакторов становится особенно актуальным и выгодным источником производства электроэнергии для регионов, где сооружение традици-

онных крупных АЭС затруднено особенностями ландшафта или экономически нецелесообразно из-за относительно низкого спроса на вырабатываемую энергию.

С развитием широкомасштабного внедрения малых модульных реакторов в атомную энергетику исследование тория в качестве ядерного топлива приобретает особую актуальность. В данном направлении одним из показательных примеров является запуск в Китае экспериментального жидкосолевого реактора TMSR-LF1 с ториевым топливом, в котором впервые объединены жидкосолевой реактор (MSR) и ториевый топливный цикл и осуществлена конверсия ^{232}Th в ^{233}U в работающем реакторе [3-5]. Реактор TMSR-LF1 достиг критичности в октябре 2023 года, в 2024 году заработал на полную мощность 2 МВт(т) [3-5]. В рамках данного проекта запланировано в 2035 году завершить разработки по созданию ториевого реактора на расплавленных солях с тепловой мощностью 100 МВт и к 2040 году перейти к коммерческому применению [4, 6].

Среди стран Центральной Азии для Казахстана вопросы изучения тория в качестве ядерного топлива приобретают актуальность по двум основным причинам. Во-первых, Казахстан обладает значительными ториевыми ресурсами, которые в настоящее время широкомасштабно не используются в коммерческих целях. В связи с тем, что ториевый топливный цикл обладает значительным потенциалом для производства ядерной энергии с образованием отходов низкой радиотоксичности, нераспространения ядерного оружия за счет сокращения запасов оружейного плутония и увеличения продолжительности топливных циклов, ториевые ресурсы Казахстана могут приобрести коммерческую ценность [7, 8]. Экономическая целесообразность добычи тория из различных видов сырья рассмотрена авторами настоящей статьи в предыдущей работе [9].

В настоящее время Казахстан и Узбекистан реализуют масштабные проекты по развитию ядерной энергетики в Центральной Азии. В Казахстане реализуется проект АЭС «Балхаш» в составе двух энергоблоков с реакторами ВВЭР-1200 общей электрической мощностью 2400 МВт [10-12]. Параллельно Казахстан приступил к подготовке проекта второй АЭС («Мойынкум»). Предполагается строительство двух энергоблоков мощностью по 1200 МВт каждый [13, 14]. Узбекистан совместно с Россией начал строительство АЭС с использованием как крупных реакторов ВВЭР-1000, так и малых модульных реакторов РИТМ-200Н [2].

Указом Президента Республики Казахстан от 15 апреля 2026 года №1233 утверждена Стратегия развития атомной отрасли Республики Казахстан до 2050 года. Стратегия предусматривает развитие атомной энергетики, ядерной науки и прикладных ядерных технологий, укрепление научно-технологической базы и подготовку высококвалифицированных кадров для атомной отрасли. В настоящее время развитие атомной энергетики в Казахстане сопровождается формированием соответствующей научно-технологической и кадровой базы, что создает предпосылки для расширения исследований в области мирного использования ядерной энергии. В Институте проблем горения по инициативе профессора З.А. Мансурова создан Центр реакторных технологий и атомной энергии. В перспективе деятельность Центра может быть направлена на развитие компетенций в области новых ядерных технологий, включая исследования перспективных реакторных систем и ядерных топливных циклов, рассматриваемых в настоящей работе.

Исследование, представленное в данной статье, включает два взаимосвязанных, но разграниченных направления анализа, которые в публикациях по тематике тория не всегда рассматриваются раздельно: (i) состояние технологических решений реакторов на ториевом топливном цикле в мировом масштабе и (ii) роль тория в объявленных ядерно-энергетических программах Центральной Азии, где соответствующие направления находится на начальной стадии развития. Такое разграничение позволяет сопоставить технологический потенциал использования тория в Центральной Азии с уровнем технологической готовности и практической реализуемостью проектов в мировом масштабе.

Анализ литературы за последнее десятилетие позволяет выделить три взаимодополняющих направления исследований, актуальных для настоящей работы. Первое направление включает общие технологические и ресурсные обзоры ториевого топливного цикла, в которых обобщаются нейтронно-физические, экономические и аспекты нераспространения ядерных материалов применительно к легководным и тяжеловодным реакторам [15–17]. Второе направление представлено расчетными исследованиями конкретных реакторных платформ, включая PWR и малые модульные реакторы, в которых рассматриваются схемы ториевой загрузки, методологически близкие к подходам, применяемым при исследовании ВВЭР и обсуждаемым в подразделе 3.3

[18-20]. Третье направление, непосредственно связанное с материалом подразделов 3.2-3.3 настоящей статьи, включает исследования, заложившие инженерную и сравнительную базу для двух реакторных платформ, рассматриваемых далее: базовая работа разработчиков AHWR по его конструкции [21] и выполненное независимой группой Кембриджского университета совместно с Национальной ядерной лабораторией Великобритании и Bhabha Atomic Research Centre, сравнение открытых ториевых топливных циклов для нескольких реакторных платформ, включая AHWR [22]. Научная новизна работы заключается в сопоставлении современных мировых технологических решений в области ториевого топливного цикла с реализуемыми и заявленными ядерно-энергетическими программами Казахстана и Узбекистана, а также в рассмотрении возможности частичного использования ториевого топлива в реакторах типа ВВЭР-1000/1200.

2. Источники и метод анализа

Обзор основан на анализе технической документации профильных организаций, включая МАГАТЭ, Bhabha Atomic Research Centre, Shanghai Institute of Applied Physics Китайской академии наук, National Nuclear Laboratory Великобритании, рецензируемой научной периодики по реакторной физике, включая Annals of Nuclear Energy, Nuclear Science and Engineering, Science and Technology of Nuclear Installations, National Science Review, а также отраслевых новостных источников с проверяемой фактической информацией, таких как World Nuclear News, Bulletin of the Atomic Scientists, Nuclear Threat Initiative. Поиск и отбор публикаций не носили характер формализованного систематического обзора: приоритет отдавался работам, опубликованным в 2015-2026 гг., а также первичным техническим документам указанных организаций и публикациям в перечисленных научных журналах, а не вторичным источникам. Для раздела, посвященного ядерно-энергетическим планам Центральной Азии использованы официальные сообщения Агентства Республики Казахстан по атомной энергии, Росатома и профильных новостных изданий по состоянию на первую половину 2026 года. Отдельно рассмотрены нейтронно-физические исследования введения тория в топливо реакторов типа ВВЭР в связи с тем, что такой тип реактора ВВЭР-1200 будет установлен на строящейся в Казахстане АЭС «Балхаш» [23-27].

Методологически работа сочетает описательный обзор литературы по мировым программам реакторов на ториевом топливе, отобранной по критерию проверяемости первичного источника (документы МАГАТЭ, национальных операторов и публикаций в рецензируемых журналах), со сравнительным анализом нейтронно-физических исследований частичной ториевой загрузки ВВЭР по единому набору параметров: тип загрузки (гомогенная/гетерогенная seed-blanket), длительность топливного цикла, коэффициент конверсии, влияние на наработку плутония и минорных актинидов. Результаты сравнительного анализа сопоставляются с текущими ядерно-энергетическими планами Центральной Азии и отдельно Казахстана для формулирования практических рекомендаций с применением метода анализа условий (condition-based analysis). Оригинальность работы заключается в систематизации разрозненных источников применительно к региональному контексту Центральной Азии, что позволяет впервые сопоставить мировые ториевые технологии с фактическими ядерно-энергетическими программами Казахстана и Узбекистана.

3. Действующие и разрабатываемые технологии реакторов на тории

Исторический опыт эксплуатации ториевого топлива включает американский реактор Shippingport (легководный реактор-размножитель на основе ^{233}U, 1977-1982 гг.) и эксперимент MSRE в Ок-Ридже (жидкосолевой реактор на ^{233}U, 1965-1969 гг.) [8]; оба проекта были единичными и не были доведены до серийного производства подобных реакторов. Действующие и разрабатываемые сегодня программы представлены китайской и индийской технологиями, рассматриваемыми далее.

3.1. Жидкосолевые реакторы: китайская программа TMSR

Технологически наиболее зрелой из действующих установок является экспериментальный жидкосолевой реактор TMSR-LF1 мощностью 2 МВт(т), построенный Шанхайским институтом прикладной физики (SINAP) Китайской академии наук в Увэй (Ганьсу). Реактор использует жидкотопливную смесь тория и урана, растворенную во фторидной соли. Это обеспечивает возможность непрерывной дозагрузки топлива без остановки реактора и упрощенное управление продуктами

деления [3, 5]. Критичность достигнута в октябре 2023 года. На полную мощность реактор заработал в июне 2024 года. Загрузка тория проведена в сентябре-октябре 2024 года; в ноябре 2025 года SINAP сообщил о первой в мире успешной конверсии ^{232}Th в ^{233}U в работающем реакторе такого типа [3, 5]. Планы дальнейшего развития включают демонстрационный блок мощностью 100 МВт(т) к 2035 году и коммерческое применение (включая производство технологического тепла и водорода) ориентировочно к 2040 году. [4, 6].

Достоверность нейтронно-физических расчетов, использованных при проектировании TMSR-LF1, дополнительно подтверждается двумя рецензируемыми исследованиями, дополняющими новостные источники [28, 29]. В работе [28] с помощью модуля TSUNAMI и программы SCALE 6.1 выполнена оценка применимости экспериментальных данных эталонных реакторных систем (MSRE (экспериментальный реактор на расплавленной соли), MSBR (реактор-размножитель на расплавленной соли) и критического экспериментального устройства) для верификации расчетных характеристик TMSR-LF1. Неопределенность рассчитана с использованием ковариационных данных SCALE и TMSR, состоящих из 44 групп. Установлено, что суммарные неопределенности эффективного коэффициента размножения нейтронов, полученные из ковариационных данных в TMSR-LF1 и в рассматриваемых эталонных реакторах, удовлетворяют требованию к точности проектирования ±1%. В работе [29] для определения рационального состава топливной соли, материала замедлителя и геометрических параметров решетки реакторов TMSR проведено сравнительное исследование нейтронно-физических характеристик различных конфигураций реакторов TMSR. Установлено, что оптимальными характеристиками обладает соль FLiBe, которая обеспечивает наилучшие условия критичности и формирование нейтронного спектра и профиля потока для эффективного выгорания делящегося материала и воспроизводства топлива.

3.2. Тяжеловодные реакторы: индийская программа BARC

В рамках трехэтапной ядерно-энергетической программы Индии дальнейшее развитие атомной энергетики связывается с расширением использования национальных запасов тория [30, 31]. Для этих целей, начиная с 1990-х годов, в Bhabha Atomic Research Centre (BARC) для демонстрации расширенных функций безопасности и использования тория для генерации коммерческой ядерной энергии разработан тяжеловодный реактор AHWR (Advanced Heavy Water Reactor) мощностью 300 МВт(э), в котором используется смешанное (Th, ^{233}U)O_2 и (Th, Pu)O_2 топливо, позволяющее выработать более 60% энергии за счет применения тория [30]. На протяжении десятилетий ведутся исследования по усовершенствованию реактора AHWR и разработана модификация AHWR-LEU, использующая смесь тория с низкообогащенным ураном (19,75% ^{235}U) в открытом топливном цикле. Такая конфигурация упрощает соблюдение международных требований в области нераспространения ядерного оружия [31]. По состоянию на 2025-2026 гг. проектирование основных систем AHWR завершено [30], ведутся исследования и процедуры площадочного и регуляторного согласования, однако строительство прототипа не начато [32]. В Индии в данной области исследований одновременно активно развиваются и другие направления, такие как индийский реактор-размножитель на расплавах солей (IMSBR) и ускорительно-управляемые системы (ADS). Однако эти исследования находятся на стадии НИОКР [33].

В дополнение к материалам BARC инженерное обоснование AHWR подробно изложено в публикации разработчиков реактора [21], а сравнительный анализ открытого ториевого топливного цикла AHWR относительно других реакторных платформ выполнен независимой группой Кембриджского университета совместно с Национальной ядерной лабораторией Великобритании и BARC [22]. На рис. 1 представлена принципиальная схема кластера твэлов (тепловыделяющих элементов) AHWR и тепловой схемы TMSR-LF1, составленная из анализа открытых технических описаний BARC и SINAP.

3.3. Введение тория в топливо реакторов ВВЭР

Отдельные и особенно значимые для Центральной Азии исследования направлены на адаптацию существующей конструкции ВВЭР-1000/1200 под частичное использование тория, без создания принципиально новых реакторов.

В работе [23] моделированием активной зоны реактора изучено влияние введения тория в ядерное топливо на нейтронные параметры активной зоны ВВЭР-1200. Исследованы два варианта распределения тория в активной зоне реактора: гомогенное смешение ThO_2–UO_2 и ге-

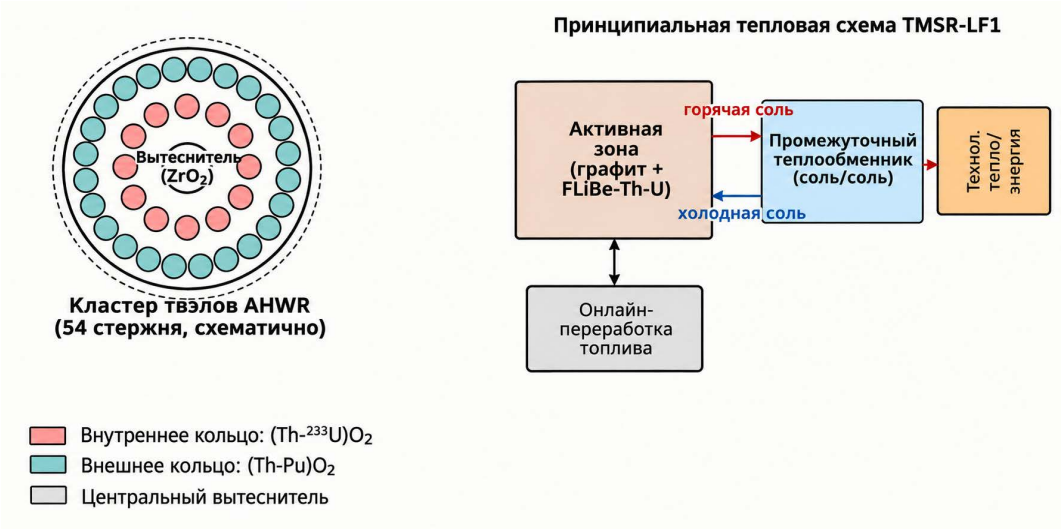


Рис. 1. Принципиальная схема кластера твэлов AHWR (слева) и тепловой схемы TMSR-LF1 (справа), составлено авторами по открытым техническим описаниям BARC и SINAP.

терогенная конфигурация «зона воспроизводства – зона горения» (seed-blanket). Определено, что положение ториевых сборок в активной зоне существенно влияет на коэффициент размножения и длительность топливного цикла. Предпочтительным с точки зрения безопасности признано размещение тория на периферии активной зоны.

В работе [24] более подробно изучено влияние конфигурации seed-blanket для ВВЭР-1200 и установлено, что гетерогенная конфигурация загрузки увеличивает длительность топливного цикла и коэффициент конверсии по сравнению с гомогенной загрузкой. В работе [25] для ВВЭР-1000 показано, что частичная загрузка тория приводит к снижению выхода плутония и минорных актинидов. Вместе с тем для уран-ториевой активной зоны отмечен более высокий положительный температурный коэффициент реактивности замедлителя по сравнению с чисто урановой активной зоной. Более поздние работы [26, 27] рассматривают торий в контексте утилизации избыточного плутония и топлив, устойчивых к авариям (accident-tolerant fuels), в модифицированных сборках ВВЭР-1200.

На рис. 2 приведена схема, показывающая образование делящегося ^{233}U из ^{232}Th за счет нейтронного захвата и бета-распадов.

Наряду с общими экономическими ограничениями, рассмотренные исследования указывают на ряд нерешенных технических вопросов. Более высокий положительный температурный коэффициент реактивности замедлителя у уран-ториевой активной зоны по сравнению с чисто урановой [25] требует отдельного анализа влияния на

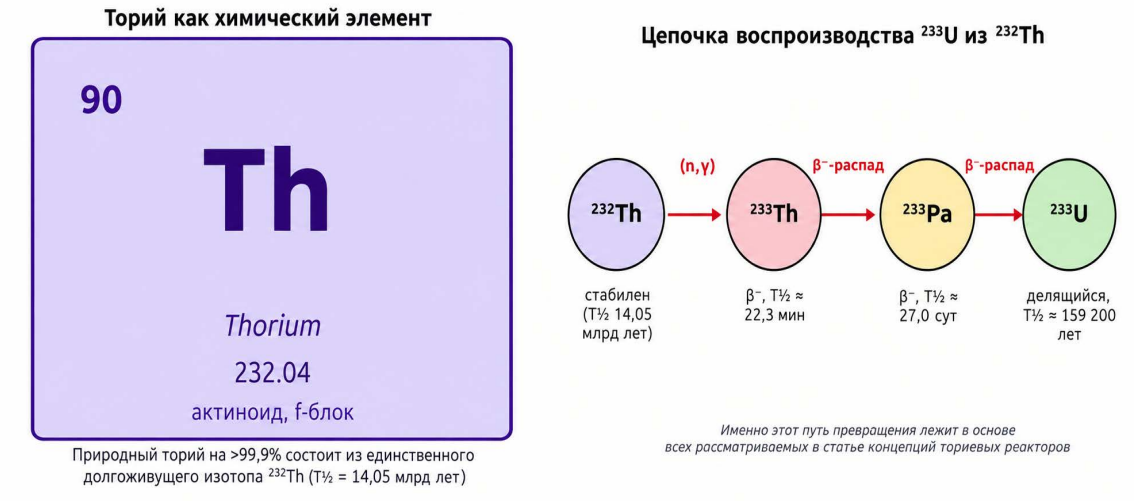


Рис. 2. Торий как химический элемент (слева) и схема образования делящегося ^{233}U из ^{232}Th за счет нейтронного захвата и бета-распадов, составлено авторами на основе общедоступных ядерно-физических данных [8].

характеристики безопасности реактора при проектных и запроектных авариях. Совместимость ториевого топлива с существующей инфраструктурой его изготовления и обращения с облученным топливом, ориентированной на урановый топливный цикл, в рассмотренных пяти работах отдельно не исследовалась. Абсолютные значения глубины выгорания и достигнутого коэффициента конверсии, необходимые для лицензирования, в открытых публикациях не приводятся. Ни один из пяти вариантов частичной ториевой загрузки не проходил обоснование безопасности в объеме, требуемом национальными регулирующими органами, и ни один не имеет демонстрационной эксплуатации на действующем реакторе – весь массив данных на сегодняшний день остается расчетным. Такая закрытость закономерна: детализированные данные обоснования безопасности и лицензирования новых топливных композиций относятся к стратегической разработке национальных ядерных программ и, как правило, не публикуются до вывода технологии на стадию коммерческой эксплуатации.

Рассмотренные исследования показывают, что частичное использование тория как топлива в ВВЭР методологически проработано только численным моделированием, но не доведено до стадии эксплуатации в реальных технологиях. Внедрение ториевого топливного цикла пока экономически невыгодно: оно дороже, чем в урановом цикле [34, 35]. Выигрыш в длительности цикла и снижении наработки плутония пока не компенсирует этот разрыв без специальных регуляторных или рыночных стимулов, поэтому практическое внедрение потребует не только технологической готовности, но и целенаправленной государственной поддержки.

Таблица 1 составлена на основе доступной открытой информации по состоянию на первую половину 2026 года. Сроки реализации китайской и индийской программ приведены в соответствии с официально заявленными планами соответствующих организаций и могут быть скорректированы. Статус второй станции Казахстана является предварительным, вендор на момент подготовки таблицы не утвержден.

Таблица 1. Основные мировые программы ториевых реакторов и их статус по состоянию на первую половину 2026 г.

Страна/программа	Реактор/концепция	Статус	Ориентировочные сроки
Китай (SINAP, КАН)	TMSR-LF1 (жидкосолевой, 2 МВт(т))	Действует; в 2025 г. осуществлена конверсия $^{232}Th \rightarrow ^{233}U$	Демонстрационный блок 100 МВт(т) – к 2035 г.; коммерческое применение – к 2040 г. [3-6]
Индия (BARC)	AHWR / AHWR-LEU (тяжеловодный, 300 МВт(э))	Проектирование и валидация завершены; строительство прототипа не начато	Не определены; ожидание регуляторных согласований [30-33]
Индия (BARC)	IMSBR (реактор-размножитель на расплавах солей)	Стадия НИОКР, разработка ключевых технологий	Долгосрочная перспектива, конкретные сроки не заявлены [33]
Международные исследовательские группы (расчетное моделирование ВВЭР)	ВВЭР-1000/1200 с частичной ториевой загрузкой (гомогенная или гетерогенная seed-blanket)	Нейтронно-физическая осуществимость подтверждена расчетами; демонстрационная эксплуатация отсутствует	Не определены; лицензирование не инициировано [23-27]
Казахстан	ВВЭР-1200 (Балхаш); вторая станция – вендор не утвержден, рассматриваются технологии поколения III+	Балхаш: строительство; вторая станция: площадка утверждена, идет подготовка	Балхаш: пуск первого блока ориентировочно к 2034 г. [10-14, 36, 37]
Узбекистан	ВВЭР-1000 и РИТМ-200Н (Джизакская область) – исключительно урановое топливо	Проект в стадии строительства	Сроки в открытых источниках не детализированы [2, 38]

4. Место тория в планах Центральной Азии и условия его практического применения

Ядерная энергетика Центральной Азии находится на начальном этапе практической реализации и во всех объявленных проектах используются исключительно урановые технологии.

В Казахстане после проведенного референдума в 2024 году за строительство АЭС высказались 71% принявших участие [36], выбор в качестве генерального подрядчика первой станции сделан в пользу консорциума во главе с Росатомом. АЭС «Балхаш» в Жамбылском районе Алматинской области будет построена на двух реакторах ВВЭР-1200 суммарной мощностью 2,4 ГВт(э) [10-12]. В 2026 году запланировано заключение EPC-контракта и переход к основной фазе строительства [10]. Постановлением Правительства РК от 26 января 2026 года № 40 утверждена площадка второй станции (Жамбылский район Алматинской области, рабочее название «Мойынкум»), с базовым вариантом мощности 2×1200 МВт [37]. Агентство Республики Казахстан по атомной энергии заявляло, что для станции рассматриваются реакторные технологии поколения III+ [14], China National Nuclear Corporation – как приоритетный партнер по второй и третьей станциям [13].

По состоянию на первую половину 2026 года окончательное решение по вендору и реакторной технологии для второй станции не принято. Правительство Казахстана также рассматривает возможность применения малых модульных реакторов для замещения выбывающих угольных мощностей с целевой долей атомной энергетики 5% в национальном энергобалансе к 2035 году [10, 36]. Ни в одном из этих проектов торий не упоминается в качестве компонента топлива. В Узбекистане совместно с Россией начато строительство станции в Джизакской области, включающей как крупные реакторы ВВЭР-1000, так и малые модульные реакторы РИТМ-200Н [2, 38]. Проект также полностью основан на урановом топливе. При этом в Центральной Азии исследования по изучению возможностей применения ториевого топливного цикла в ядерных технологиях начинают активизироваться, в том числе и в Казахстане [9]. Это создает основу для осмысленного среднесрочного участия в международных исследовательских программах по аналогии с тем, как Индия на протяжении десятилетий выстраивала собственную топливную и материаловедческую базу до перехода к демонстрационной стадии AHWR.

Сопоставление технологического обзора и фактического состояния региональных планов позволяет сформулировать условия, при которых торий может перейти из категории теоретического интереса в категорию практически применимого варианта для Центральной Азии. Для этого прежде всего необходима зрелая референтная технология: либо коммерциализация жидкосолевых реакторов, либо доведение реактора AHWR или сопоставимой с ним тяжеловодной технологии до серийного внедрения. Самое практичное решение для стран Центральной Азии – внедрение частичной ториевой загрузки для уже строящихся ВВЭР-1200 на основе накопленного опыта проводимых исследований [23-27].

Не менее важным является экономическое обоснование, сопоставимое по степени детализации с параметрической моделью извлечения тория из руд и хвостов [9]. Оценка экономической целесообразности ториевого топливного цикла должна учитывать как себестоимость производства ториевого топлива, так и затраты на создание и эксплуатацию инфраструктуры обращения с облученным топливом. В частности, преимущества, связанные с продолжительностью топливного цикла, необходимо сопоставлять с дополнительными затратами, обусловленными технологическими особенностями ториевого топлива и его последующей переработки. Наконец, необходима явная регуляторная позиция национальных операторов и МАГАТЭ в отношении лицензирования ториевых загрузок для уже эксплуатируемых типов реакторов, поскольку модификация освоенной платформы ВВЭР выглядит более реалистичным путем для региона, чем строительство новой реакторной платформы, уже сделавшего ставку на ВВЭР-1200 в качестве базовой технологии строящихся в Центральной Азии атомных электростанций.

При выполнении этих условий участие стран Центральной Азии, в том числе и Казахстана, в международных исследованиях ториевого топливного цикла представляется обоснованным направлением научно-технологического развития до 2040-2050 гг.

5. Заключение

Технологии реакторов с использованием ториевого топлива в 2023-2025 гг. продемонстрировали дальнейшее развитие экспериментальной и исследовательской базы: китайский реактор TMSR-LF1 впервые осуществил конверсию тория

в делящийся уран в условиях действующей установки, а индийская программа AHWR последовательно продвигается к стадии строительства прототипа. Нейтронно-физические исследования введения тория в топливо ВВЭР-1000/1200 подтверждают техническую осуществимость этого решения для уже эксплуатируемых и строящихся типов реакторов, что повышает вероятность внедрения по сравнению с созданием принципиально новых реакторных платформ.

Реализуемые в Центральной Азии проекты атомной энергетики в настоящее время ориентированы преимущественно на урановое топливо. В Казахстане проект первой АЭС «Балхаш» и прорабатываемой второй казахстанской атомной станции предусматривают использование реакторной технологии ВВЭР-1200. В Узбекистане реализуется интегрированный проект АЭС, включающий два энергоблока с ВВЭР-1000 и два энергоблока с реакторными установками РИТМ-200Н. Это открывает возможность, используя формируемую промышленную и инфраструктурную базы уранового топливного цикла, одним из первых включить в среднесрочные планы развития ядерных технологий внедрение частичной ториевой загрузки.

В долгосрочном периоде перспективы значительны: существующая нейтронно-физическая база исследований ториевой загрузки ВВЭР, научно-технологическая инфраструктура региона Центральной Азии и структурная связь между урановой промышленностью и ториевыми ресурсами создают основания для активного участия Казахстана и региона в международных исследованиях ториевого топливного цикла. Практическое применение реалистично к 2035-2040 гг. при последовательном выполнении изложенных выше технологических, экономических и регуляторных условий, что делает начало подготовительной работы уже сейчас стратегически оправданным.

Представленный анализ указывает на целесообразность более активной роли Казахстана в формировании регионального направления ториевых топливных циклов, не дожидаясь коммерческого созревания технологии. То есть целесообразно сосредоточить исследования на четырех взаимосвязанных направлениях. Во-первых, продолжить нейтронно-физическое и топливное моделирование частичной ториевой загрузки для реакторов типа ВВЭР-1000/1200 с учетом характеристик конкретных топливных кампаний. Во-вторых, расширить исследовательскую базу для участия в международных программах по ториевому топливному циклу, включая сотрудничество в рамках МАГАТЭ. В-третьих, провести первичную оценку торие носного сырья и урановых хвостов Джезказгана и Моинкума, в том числе с определением содержания тория, форм его нахождения и потенциальной извлекаемости, что позволит связать ресурсную оценку с последующим экономическим анализом. В-четвертых, систематически отслеживать результаты экспериментальной эксплуатации и формирование нормативно-правовой базы для ториевых топливных систем в странах, ведущих соответствующие исследования (Китай, Индия, Россия).

Исследования в перечисленных направлениях позволят Казахстану занять лидирующую позицию в Центральной Азии и стать в будущем одной из стран-экспортеров ториевых технологий, а не оставаться их импортером.

Author Contributions

Marat Baipakov – Conceptualization; Methodology; Formal Analysis; Writing – Original Draft. **Bakytzhan Lesbaev** – Investigation; Formal Analysis. **Sandugash Tanirbergenova** – Investigation. **Zulkhair Mansurov** – Supervision; Conceptualization; Writing – Review & Editing. **Zhanna Alsar** – Investigation. **Ahmed Hassanein** – Investigation; Formal Analysis. **Zinetula Insepov** – Investigation; Formal Analysis.

Заявление о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о финансировании

Исследование выполнено в рамках программы IRN BR24993225 программно-целевого финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, 2024-2026 гг.

References

[1]. R.V. Kuznetsova. Kurchatov. «Lives of Remarkable People» series, no. 1562. Moscow: Molodaya Gvardiya, 2016. 431 p. (In Russ.).

[2]. The Diplomat. Uzbekistan, Russia Celebrate Start of Nuclear Power Plant Construction... Again. The Diplomat, June 2026. Available online:

https://thediplomat.com/2026/06/uzbekistan-russia-celebrate-start-of-nuclear-power-plant-construction-again/.

[3]. World Nuclear News. Chinese Molten Salt Reactor Achieves Conversion of Thorium-Uranium Fuel. World Nuclear News, 4 November 2025. Available online: https://www.world-nuclear-news.org/articles/chinese-msr-achieves-conversion-of-thorium-uranium-fuel.

[4]. M.-M. Poo. China's Progress in Developing Fourth-Generation Nuclear Reactors. National Science Review 13 (2026) nwaf509. https://doi.org/10.1093/nsr/nwaf509.

[5]. Chinese Academy of Sciences (SINAP). China Achieves Thorium-Uranium Nuclear Fuel Conversion in Molten-Salt Reactor. Chinese Academy of Sciences, November 2025. Available online: https://english.cas.cn/newsroom/cas_media/202511/t20251104_1095922.shtml.

[6]. PowerMag. China's Advanced Nuclear Efforts Are Pushing Frontiers. PowerMag, 2026. Available online: https://www.powermag.com/chinas-advanced-nuclear-efforts-are-pushing-frontiers/.

[7]. International Atomic Energy Agency. Near-Term and Promising Long-Term Options for the Deployment of Thorium-Based Nuclear Energy. Nuclear Energy Series No. NF-T-2.10. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2023. Available online: https://www.iaea.org/publications/14983.

[8]. International Atomic Energy Agency. Thorium Fuel Cycle — Potential Benefits and Challenges. IAEA-TECDOC-1450. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2005. Available online: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE_1450_web.pdf.

[9]. M. Baipakov, B. Lesbayev, S. Tanirbergenova, Z. Mansurov, Z. Alsar, A. Hassanein, Z. Insepov. Techno-Economic Assessment for Thorium Recovery from Monazite Ores and REE Tailings: Global Evidence and Implications for Central Asia. Processes 14 (2026) 2056. https://doi.org/10.3390/pr14132056.

[10]. World Nuclear News. Kazakhstan Updates on Nuclear Energy, Uranium Plans. World Nuclear News, 2026. Available online: https://www.world-nuclear-news.org/articles/kazakhstan-updates-on-nuclear-energy-uranium-plans.

[11]. World Nuclear News. Kazakhstan Selects Rosatom for First Nuclear Power Plant. World Nuclear News, 2025. Available online: https://www.world-nuclear-news.org/articles/kazakhstan-selects-rosatom-for-first-nuclear-power-plant.

[12]. Rosatom. Kazakhstan and Russia Begin Work on Construction of High-Capacity Nuclear Power Plant. Rosatom, 2025. Available online: https://www.rosatom.ru/en/press-centre/news/kazakhstan-and-russia-begin-work-on-construction-of-high-capacity-nuclear-power-plant/.

[13]. Atomic Energy 2.0. The Chinese corporation CNNC may build Kazakhstan's second nuclear power plant. Atomic Energy 2.0, April 23, 2026. (In Russ.). Available online: https://www.atomic-energy.ru/news/2026/04/23/165401.

[14]. Zakon.kz. Second Nuclear Power Plant in Almaty Region: Details Revealed. Zakon.kz, February 6, 2026. (In Russ.). Available online: https://www.zakon.kz/stati/6506976-vtoraya-aes-v-almatinskoy-oblasti-stali-izvestny-podrobnosti.html.

[15]. M.H. Du Toit, F. Van Niekerk, S. Amirkhosravi. Review of Thorium-Containing Fuels in LWRs. Progress in Nuclear Energy 170 (2024) 105136. https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2024.105136.

[16]. U.E. Humphrey, M.U. Khandaker. Viability of Thorium-Based Nuclear Fuel Cycle for the Next Generation Nuclear Reactor: Issues and Prospects. Renewable and Sustainable Energy Reviews 97 (2018) 259-275. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.019.

[17]. R.K. Jyothi, L.G.T.C. de Melo, R.M. Santos, H.-S. Yoon. An Overview of Thorium as a Prospective Natural Resource for Future Energy. Frontiers in Energy Research 11 (2023) 1132611. https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1132611.

[18]. A.A. Galahom, M.Y.M. Mohsen, N. Amrani. Explore the Possible Advantages of Using Thorium-Based Fuel in a Pressurized Water Reactor (PWR). Part 1: Neutronic Analysis. Nuclear Engineering and Technology 54 (2022) 1-10. https://doi.org/10.1016/j.net.2021.07.019.

[19]. K.A. Carvalho, G. Barros, M.H.S. Araujo, et al. Neutronic Analysis and Safety Considerations in an Innovative NuScale-like Core Merging Thorium Dioxide and Reprocessed Fuel. Nuclear Engineering and Design 433 (2025) 113874. https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2025.113874.

[20]. B.P. Lapanporo, Z. Su'ud, A.P.A. Mustari. Comparison of the Neutronic Properties of the (Th-233U)O2, (Th-233U)C, and (Th-233U)N Fuels in Small Long-Life PWR Cores. Nukleonika 69 (2024) 3–12. https://doi.org/10.2478/nuka-2024-0001.

[21]. R.K. Sinha, A. Kakodkar. Design and Development of the AHWR - the Indian Thorium Fuelled

Innovative Nuclear Reactor. Nuclear Engineering and Design 236 (2006) 683-700. https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2005.09.026.

[22]. S.F. Ashley, B.A. Lindley, G.T. Parks, W.J. Nuttall, R. Gregg, K.W. Hesketh, et al. Fuel Cycle Modelling of Open Cycle Thorium-Fuelled Nuclear Energy Systems. Annals of Nuclear Energy 69 (2014) 314-330. https://doi.org/10.1016/j.anucene.2014.01.042.

[23]. M.S. Dwiddar, A.A. Badawi, H.H. Abou-Gabal, I.A. El-Osery. Investigation of Different Scenarios of Thorium–Uranium Fuel Distribution in the VVER-1200 First Core. Annals of Nuclear Energy 85 (2015) 605-612. https://doi.org/10.1016/j.anucene.2015.06.015.

[24]. A.A. Galahom. Improvement of the VVER-1200 Fuel Cycle by Introducing Thorium with Different Fissile Material in Blanket-Seed Assembly. Nuclear Science and Engineering 193 (2019) 638-651. https://doi.org/10.1080/00295639.2018.1560757.

[25]. S.M. Reda, I.M. Gomaa, I.I. Bashter, E.A. Amin. Neutronic Performance of the VVER-1000 Reactor Using Thorium Fuel with ENDF Library. Science and Technology of Nuclear Installations 2021 (2021) 8838097. https://doi.org/10.1155/2021/8838097.

[26]. A. Kara, E. Mammadzada. Disposal of Large Quantities of Plutonium and Thorium Utilization in VVER-1200 Reactors Using Americium-Stabilized MOX Fuel. Annals of Nuclear Energy 223 (2025) 111670. https://doi.org/10.1016/j.anucene.2025.111670.

[27]. N. Alnassar, S.A. Luhaib, M.Y.M. Mohsen, M.M.A. Khater, A.A. Galahom. Feasibility Assessment of Thorium/Plutonium-Based Accident-Tolerant Fuel in an Innovative Fuel Assembly Design for the VVER-1200 Reactor. Annals of Nuclear Energy 227 (2026) 111954. https://doi.org/10.1016/j.anucene.2025.111954.

[28]. Y. Liu, Y. Zou, X. Cai, et al. Sensitivity/Uncertainty Comparison and Similarity Analysis Between TMSR-LF1 and MSR Models. Progress in Nuclear Energy 122 (2020) 103289. https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2020.103289.

[29]. S. Yilmaz, S. Revankar, Y. Xu. Neutronic Study of Thorium-Fueled Molten Salt Reactor (TMSR) with Different Fluoride Salts. Nuclear Science and Engineering 200 (2026) 2015-2030. https://doi.org/10.1080/00295639.2025.2562501.

[30]. Bhabha Atomic Research Centre. Advanced Heavy Water Reactor (AHWR). Bhabha Atomic Research Centre. Available online: https://www.barc.gov.in/randd/ahwr.html.

[31]. Bhabha Atomic Research Centre. Research & Development Activities - Thorium Fuel Cycle. Bhabha Atomic Research Centre. Available online: https://www.barc.gov.in/randd/tfc.html.

[32]. Press Information Bureau, Government of India. Advanced Heavy Water Reactor (AHWR) — Technology Demonstrator for Thorium Utilisation. Government of India. Available online: https://www.pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=1496193.

[33]. Bhabha Atomic Research Centre. BARC Activities for Indian Nuclear Power Program. Bhabha Atomic Research Centre. Available online: https://www.barc.gov.in/randd/artnp.html.

[34]. National Nuclear Laboratory. Comparison of Thorium and Uranium Fuel Cycles. NNL (11) 11593, Issue 5. Available online: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a79a2bded915d0422069ebe/6300-comparison-fuel-cycles.pdf.

[35]. National Nuclear Laboratory. The Thorium Fuel Cycle (Position Paper). National Nuclear Laboratory. Available online: https://uknnl.com/wp-content/uploads/2019/01/nnl__1314092891_thorium_cycle_position_paper.pdf.

[36]. World Nuclear Association. Kazakhstan — World Nuclear Outlook Report. World Nuclear Association. Available online: https://world-nuclear.org/our-association/publications/world-nuclear-outlook-report/kazakhstan---world-nuclear-outlook-report.

[37]. Government of the Republic of Kazakhstan. On the construction and construction site of the "Second Nuclear Power Plant" nuclear facility. Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan No. 40 dated January 26, 2026. (In Russ.). Available online: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2600000040.

[38]. A. Cohen. Rosatom Has Scored Major Nuclear Projects - Can It Deliver? Forbes, 30 September 2025. Available online: https://www.forbes.com/sites/arielcohen/2025/09/30/rosatom-has-scored-major-nuclear-projects---can-it-deliver/.

About the Authors

M.K. Baipakov — Head of the Centre for Reactor Technology and Atomic Energy, Senior Scientist Nuclear Fuel Management, ICP, Almaty, Kazakhstan
E-mail: mbaipakov@gmail.com

B.T. Lesbayev — Head of Laboratory, ICP; Faculty of Chemistry and Chemical Technology, Al-Farabi KazNU, Almaty, Kazakhstan
E-mail: lesbayev@mail.ru
ORCID: 0000-0002-0309-1935

S.K. Tanirbergenova — Deputy of General Director, ICP, Almaty, Kazakhstan
E-mail: sandu2201@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6377-0913

Z.A. Mansurov — Scientific Supervisor, ICP; Faculty of Chemistry and Chemical Technology, Al-Farabi KazNU, Almaty, Kazakhstan
E-mail: zmansurov@kaznu.edu.kz
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8956-216X

Zh. Alsar — Research Administration, Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan
E-mail: zhanna.alsar@nu.edu.kz
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7287-7555

A. Hassanein — Head of Nuclear Engineering, Purdue University, West Lafayette, USA
E-mail: hassanein@purdue.edu
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-5263-7801

Z. Insepov — Head of Laboratory, Nazarbayev University, Faculty of Chemistry and Chemical Technology, Astana; Purdue University, West Lafayette, USA
E-mail: zinsepov@nu.edu.kz
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8079-6293

Prospects for the Use of Thorium Reactors in Central Asia

M.K. Baipakov[1*], B.T. Lesbaev[1,2], S.K. Tanirbergenova[1], Z.A. Mansurov[1,2], J. Alsar[3], A. Hassanein[4], Z. Insepov[3,4]

[1]Institute of Combustion Problems, Bogenbay Batyr Str., 172, Almaty, Kazakhstan
[2]Al-Farabi Kazakh National University, Al-Farabi Ave., 71, Almaty, Kazakhstan
[3]NURA, Nazarbayev University, Kabanbay Batyr Ave., 53, Astana, Kazakhstan
[4]School of Nuclear Engineering, Purdue University, West Lafayette, USA

Abstract

Thorium is a promising alternative nuclear fuel that could expand nuclear power's resource base and reduce plutonium production in spent fuel. In 2023-2025, thorium moved from laboratory concept to working technology: China's TMSR-LF1 molten-salt reactor achieved the world's first conversion of ^{232}Th to ^{233}U in an operating reactor, while India's BARC programme advances the thorium-fuelled AHWR heavy-water reactor toward prototype construction. A separate line examines the neutronic feasibility of thorium in serial VVER-1000/1200 fuel – the type Russia is building for Kazakhstan and Uzbekistan. Calculations show potential for extending the fuel cycle and reducing plutonium generation, improving thorium's economic competitiveness as the technology matures.

The paper reviews current thorium reactor programmes, addresses the non-proliferation and economic aspects of the thorium fuel cycle, and analyses thorium's place in Central Asia's nuclear energy plans. The Balkhash plant in Kazakhstan, Kazakhstan's planned second plant, and Uzbekistan's RITM-200N project all use uranium fuel. Building on the region's developing uranium fuel-cycle infrastructure, it could be among the first to include partial thorium loading in medium-term nuclear plans.

The analysis concludes that Kazakhstan should take an active regional role in thorium fuel cycles without waiting for commercial maturity, building competence through scientific support for partial thorium loading of the VVER-1200 units under construction and collecting primary data on thorium-bearing uranium tailings. Timely steps would allow Kazakhstan to become, in the future, not an importer of thorium technology but a regional leader in Central Asia and one of its exporters.

Keywords: thorium, thorium reactor, VVER-1200, nuclear fuel

Орталық Азияда торий реакторларын пайдалану перспективалары

М.К. Байпаков[1*], Б.Т. Лесбаев[1,2], С.К. Танирбергенова[1], З.А. Мансуров[1,2], Ж. Алсар[3], А. Хассанейн[4], З. Инсепов[3,4]

[1]Жану проблемалары институты, Бөгенбай батыр к., 172, Алматы, Қазақстан
[2]Әл-Фараби ат. Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби даң., 71, Алматы, Қазақстан
[3]NURA, Назарбаев университеті, Қабанбай батыр даң., 53, Астана, Қазақстан
[4]School of Nuclear Engineering, Purdue University, West Lafayette, USA

Аңдатпа

Торий ядролық энергетикалық ресурстық базаны кеңейтуге және белгілі бір отын циклі конфигурацияларында плутонийдің түзілуін азайтуға қабілетті перспективалы ядролық отын материалы болып саналады. 2023-2025 жылдары оны пайдалану бойынша жаңа эксперименттік нәтижелер алынды: Қытайдың TMSR-LF1 балқытылған тұз реакторы толық қуатқа жетті және жұмыс істейтін реактор жағдайында ^{232}Th-ті ^{233}U-ға түрлендіруді зерттеудің орындылығын көрсетті, ал Үндістанның AHWR бағдарламасы торий негізіндегі технологияларды әзірлеуді жалғастыруда. Зерттеудің жеке саласы – VVER-1000/1200 реакторларындағы торийдің ішінара жүктелуін нейтрондық зерттеулер, оның нәтижелері қауіпсіздік, отын және ядролық өнімділік талаптарына сай келетін бұл тәсілдің техникалық орындылығын көрсетеді.

Бұл мақалада торий отын цикліндегі заманауи технологиялық шешімдерге шолу жасалады, оның таратпау және экономикалық аспектілері қарастырылады және Қазақстан мен Өзбекстанның ядролық энергетика бағдарламаларындағы торийдің рөлі талданады. Орталық Азиядағы пайда болып жатқан ядролық энергетикалық инфрақұрылым қысымды су реакторларының ішінара торий жүктелуін одан әрі зерттеу үшін алғышарттар жасайтыны көрсетілген. Қазақстан үшін басым бағыттарға VVER-1000/1200 реакторларындағы торий жүктемесін нейтрондық модельдеу, торий құрамдас отынның сипаттамаларын зерттеу, торий құрамдас шикізат пен уран қалдықтарын бағалау және торий отын циклін енгізудің экономикалық және нормативтік шарттарын талдау кіреді. Алынған нәтижелер Қазақстан мен Орталық Азиядағы ядролық энергетика секторында торий пайдалану әлеуетін бағалаудың ғылыми және технологиялық негізін құрайды.

Түйін сөздер: торий, торий реакторы, ВВЭР-1200, ядролық отын