

Стратегия КНР по развитию атомной энергетики в рамках 14-го пятилетнего плана

© 2025

DOI: 10.31857/S0131281225030052

Яндзикова Наталия

Аспирант, Аспирантская школа по международным отношениям и зарубежным региональным исследованиям, НИУ «Высшая школа экономики» (адрес: 119017, Москва, ул. Малая Ордынка, 17). ORCID: 0009–0009–5057–6335. E-mail: nyandzikova@hse.ru

Статья поступила в редакцию 30.04.2025.

Аннотация:

Статья анализирует стратегию Китайской Народной Республики по развитию национальной атомной энергетики в рамках 14-го пятилетнего плана (2021–2025 гг.), являющегося важным этапом в реализации долгосрочных целей страны в области энергетической модернизации. Исследование сосредоточено на двух ключевых направлениях стратегического курса Китая: управлении отработанным ядерным топливом и радиоактивными отходами, а также строительстве реакторов и разработке новых ядерных технологий. На основе качественного анализа «Синих книг по атомной энергетике» (中国核能发展报告) за период с 2018 по 2024 гг. в статье выделяются последовательные шаги, предпринимаемые Китаем для формирования устойчивой, инновационной, конкурентоспособной, экологически ориентированной и ресурс эффективной атомной отрасли. В сфере управления отходами рассматриваются меры по расширению инфраструктуры хранения, переработка отходов на месте, применению модульных и мобильных технологий, а также разработке методов глубинного геологического захоронения и стеклования. Приоритетом является минимизация экологического ущерба. В исследовании подчеркивается переход Китая от зависимости от импортных разработок к локализованному производству оборудования и передовых реакторов. Анализируются как широко используемые водо-водяные реакторы второго и третьего поколений, так и развитие высокотемпературных газоохлаждаемых, малых модульных и быстрых реакторов. Ключевым аспектом ядерной стратегии Китая является сочетание технологических инноваций с институциональной поддержкой, направленной на решение проблемы ядерных отходов, обеспечение энергетической безопасности и укрепление международных позиций страны в сфере атомной энергетики. Дополнительно отмечается роль государственно-частного партнерства и международного сотрудничества для достижения этих амбициозных, практико-ориентированных целей.

Ключевые слова:

Китай, 14-й пятилетний план, атомная энергетика, ядерные реакторы, управление ядерными отходами, новые ядерные технологии.

Для цитирования:

Яндзикова Н. Стратегия КНР по развитию атомной энергетики в рамках 14-го пятилетнего плана // Проблемы Дальнего Востока. 2025. № 3. С. 67–81.

DOI: 10.31857/S0131281225030052.

Китай начал развивать свою ядерную энергетику позже, чем другие крупные державы — постоянные члены Совета Безопасности ООН, но к настоящему времени превратился в одного из глобальных лидеров в этой отрасли. Первый ядерный реактор Китая, АЭС Циньшань в провинции Чжэцзян, был подключен к сети в 1991 г. К 2025 г. в Китае функционируют 58 ядерных реакторов и строится еще 30¹. По состоянию на декабрь 2023 г. в 17 странах мира велось строительство 57 реакторов, из которых на Китай

¹ Nuclear reactors in China // *World Nuclear Association*. URL: <https://world-nuclear.org/nuclear-reactor-database/summary/China> (дата обращения: 15.04.2025).

приходилось 40 % проектов — на тот момент в стране было 23 строящихся реактора². В 2024 и 2025 гг. началось строительство еще семи реакторов. Таким образом, количество китайских ядерных энергетических реакторов на стадии строительства выросло до 30, тем самым обеспечив Китаю статус мирового лидера по масштабам и темпам строительства генерирующих мощностей ядерной энергетики.

Китай использует атомную энергию для производства электроэнергии, централизованного отопления и промышленных нужд, при этом продолжаются исследования в области производства водорода и опреснения. В 2023 г. объем выработки электроэнергии на АЭС составил 433,37 ТВт·ч (406,71 ТВт·ч было подано в сеть), что соответствует 4,86 % общего объема производства электроэнергии — ниже среднего мирового показателя. К 2035 г. Китай планирует удвоить эту долю до 10 %, подчеркивая растущую стратегическую роль атомной энергетики в национальном энергодбалансе³.

Таким образом, не удивительно, что для достижения этой амбициозной цели Китай сосредотачивает основное внимание на развитии внутреннего ядерного рынка. Остаются одними из ключевых вопросов, каким образом Китаю удастся достигать столь выдающихся результатов в области ядерной энергетики, а также в чем заключается его внутренняя стратегия развития ядерного сектора. Наиболее обоснованным для оценки стратегического курса Китая в ядерной сфере является анализ пятилетних планов, позволяющий проследить эволюцию отрасли. Основу исследования составляют китайские «Синие книги по атомной энергетике» за 2018–2024 гг., охватывающие подготовку и реализацию 14-го пятилетнего плана. Применяются качественные методы анализа, в центре — контент-анализ этих изданий, отражающих приоритеты и стратегию ядерной политики Китая.

В рамках данного исследования рассматривается китайское планирование, связанное с развитием национальной ядерной энергетики.

Развитие внутренней стратегии включает два основных направления: (1) развитие системы хранения и переработки отработанного ядерного топлива и (2) строительство ядерных реакторов и разработка новых ядерных технологий.

Вопросам ядерных отходов в Китае сейчас уделяется первоочередное внимание, поскольку их накопление оказывает значительное влияние на функционирование атомных электростанций и дальнейшие перспективы их строительства. Именно по этой причине Китай с 2018 г. активно внедряет новые правила, направленные на минимизацию количества радиоактивных отходов. Эта цель становится все более важной по мере ежегодного увеличения числа ядерных реакторов, что приводит к пропорциональному росту объемов ядерных отходов. Объем отработанного топлива в Китае почти удвоился с 2017 по 2022 гг. (рис. 1).

С точки зрения строительства ядерных реакторов и разработки новых ядерных технологий отметим, что Китай располагает сложной экосистемой реакторов, которую можно условно разделить на две основные категории. Первая категория включает водородные реакторы (PWR), которые в настоящее время составляют основу действующего парка атомных электростанций страны. Вторая категория охватывает значительно более широкую сеть передовых реакторов, находящихся на стадии исследований и опытной эксплуатации.

Обе категории отражают как стремительное наращивание строительства традиционных реакторов, так и быстрые темпы развития новых технологий. В ядерной отрасли Китая отчетливо прослеживается тенденция поступательного «обучения»: существует

² Luo Qingping et al. A Prospective Study "Bluebook" on Nuclear Energy to Support Low Carbon. Beijing: Foreign Languages Press, 2024. P. 33.

³ Luo Qingping et al. A Prospective Study "Bluebook" on Nuclear Energy to Support Low Carbon. Beijing: Foreign Languages Press, 2024. P. 46.

последовательная связь между историческим сотрудничеством Китая с США, Францией и Россией, и последующим самостоятельным развитием собственных реакторных технологий, которые достигли высокого уровня технологической зрелости и конкурентоспособности на мировом уровне.

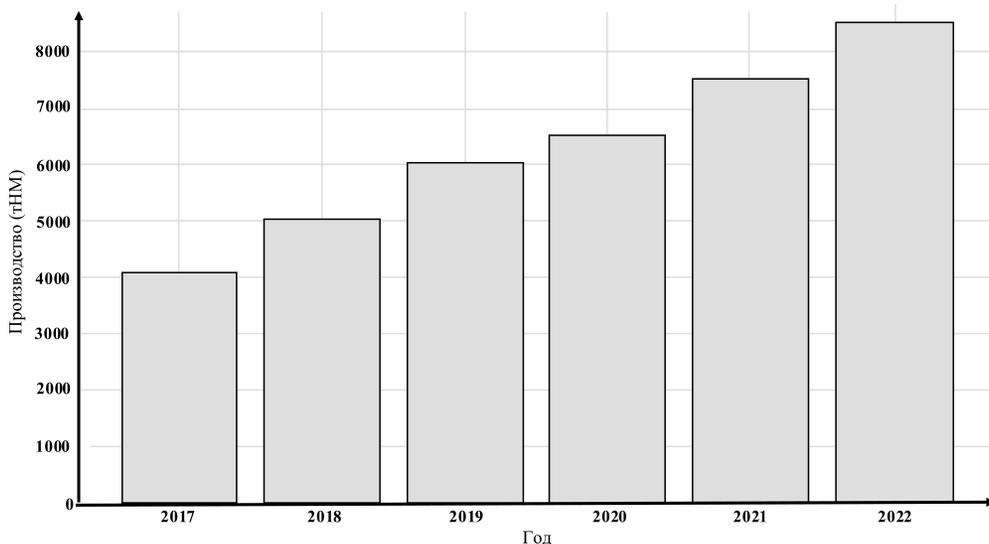


Рис. 1. Совокупный объем производства топлива для водо-водяных реакторов в Китае в период с 2017 по 2022 гг.

Figure 1. Total Fuel Production for Pressurized Water Reactors in China from 2017 to 2022

Источник: 张廷克等: 中国核能发展报告 (2022) [Чжан Тинкэ и др. Отчет о развитии ядерной энергетики Китая (2022)]. 北京: 社会科学文献出版社, 2022年.

Развитие системы хранения и переработки отработанного ядерного топлива

С ростом объемов ядерных отходов усилилось внимание к политике управления ими — от создания хранилищ и безопасной транспортировки до эффективных технологий утилизации.

Китай выделяет три категории ядерных отходов (рис. 2): отходы низкого, среднего и высокого уровня радиоактивности. Однако для повышения безопасности в начале 2018 г. Китай ввел обновленную классификацию. Согласно этой системе, радиоактивные отходы делятся на пять категорий: (1) короткоживущие радиоактивные отходы, (2) очень низкоактивные радиоактивные отходы, (3) низкоактивные радиоактивные отходы, (4) отходы среднего уровня активности и (5) высокоактивные радиоактивные отходы. Каждая из этих категорий имеет свой метод утилизации, включающий: хранение до распада и последующий выпуск, захоронение на свалках, утилизацию в приповерхностных хранилищах, захоронение на средних глубинах и глубокое геологическое захоронение.

Китай различает региональные и центральные объекты по захоронению радиоактивных отходов. Для средне- и низкоактивных ядерных отходов в настоящее время функционируют четыре основных объекта: Северо-западное хранилище ядерных отходов (西北处置场), хранилище ядерных отходов Бэйлун (北龙处置场), хранилище ядерных отходов Фэйфэншань (飞凤山处置场) и хранилище ядерных отходов Лунхэ (龙和处置场). Как показано в таблице 1, Китай прилагает значительные усилия для расширения своих возможностей в этой сфере.

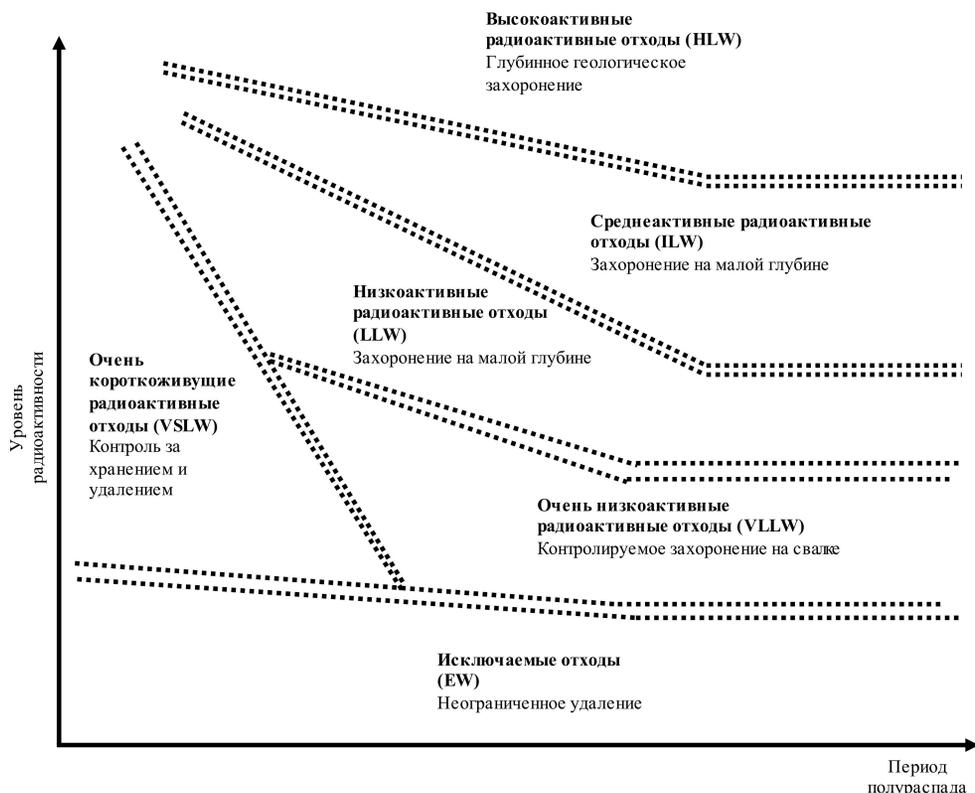


Рис. 2. Концептуальная система классификации радиоактивных отходов
 Figure 2. Conceptual System for the Classification of Radioactive Waste

Источник: 张廷克等: 中国核能发展报告 (2019) [Чжан Тинкэ и др. Отчет о развитии ядерной энергетики Китая (2019)]. 北京: 社会科学文献出版社, 2019年.

С 2018 г. был достигнут значительный прогресс в увеличении мощностей Китая по утилизации радиоактивных отходов. Общая построенная мощность выросла на 218 800 м³: с 60 000 м³ до 278 800 м³. Важным этапом этого развития стало строительство хранилища ядерных отходов Лунхэ (уезд Цзиньтай, город Цзююань, провинция Ганьсу). Новый объект рассчитан на утилизацию до 1 000 000 м³ отходов, обеспечивая увеличение изначально запланированной общей мощности с 460 000 м³ до 1 460 000 м³, что почти втрое больше первоначального целевого показателя. Помимо этих крупных объектов, несколько других площадок для утилизации отходов низкого уровня активности находятся либо на стадии строительства, либо на этапе планирования. В настоящее время ведется строительство хранилища ядерных отходов в Янцзяне (杨江处置场, город Янцзян, провинция Гуандун), а хранилища в Фанчэнгане (防城港处置场, город Фанчэнган, провинция Гуанси), Шаньдуне (山东处置场, город Хайян, провинция Шаньдун) и Сюдайпу. (徐大堡处置场, город Синчэн, провинция Ляонин) находятся на ранних стадиях разработки. Китай постепенно реализует стратегию захоронения, которая сочетает как региональные, так и централизованные подходы. Эта стратегия делает акцент на расширении мощностей для утилизации отходов низкого уровня активности, обеспечивая эффективность и безопасность операций. Две другие ключевые составляющие этого плана включают развитие транспортных сетей для поддержки наращивания количества атомных электростанций и внедрение новых технологий для эффективного управления ядерными отходами на месте.

Таблица 1 / Table 1

Увеличение мощностей Китая по утилизации радиоактивных отходов
Increase in China's Radioactive Waste Disposal Capacity

Год	Хранилище	Северо-Западное	Бэйлун	Фэйфэншань	Лунхэ
	Показатель				
2018	Плановая и проектная вместимость (м ³)	200 000	80 000	180 000	–
	Построенная вместимость (м ³)	20 000	8 000	32 000	–
	Общий объем принятых отходов (м ³)	22 422	–	19 773	–
2022	Плановая и проектная вместимость (м ³)	200 000	80 000	180 000	1 000 000
	Построенная вместимость (м ³)	120 000	8 800	110 000	40 000
	Общий объем принятых отходов (м ³)	29 755,59	–	40 701,48	1 052,5
2024	Плановая и проектная вместимость (м ³)	200 000	80 000	–	1 000 000
	Построенная вместимость (м ³)	120 000	8 800	–	40 000
	Общий объем принятых отходов (м ³)	31 068	2 526	–	2 989

Источник: составлено автором на основе данных из китайских «Синих книг по атомной энергетике» 2018, 2022 и 2024 гг.

Значительный прогресс достигнут в развитии транспортно-логистических схем и контейнерных технологий. Китай создает комплексную транспортную систему, интегрирующую автомобильные, морские и железнодорожные сети, чтобы удовлетворить растущий спрос на перевозку отработанного топлива. В 2018 г. правительство создало ключевой мульти-модальный транспортный коридор, назначив АЭС Хуньяньхэ основным морским и железнодорожным транзитным узлом, а различные атомные электростанции стали терминальными пунктами.

В 2018 г. Китайская национальная ядерная корпорация CNNC Чжунхэ Цинъюань подписала соглашение о сотрудничестве с Китайским обществом классификации судов (中国船级社) и рядом других организаций для разработки технических требований к специализированным судам для перевозки отработанного ядерного топлива. В результате было создано «Синьянь Цзисян» (欣安吉祥) — первое в Китае судно для транспортировки отработанного топлива, строительство которого выполнила верфь Damen Yichang Shipyard (宜昌达门船厂) — СП с участием нидерландской компании Damen Shipyards и китайской судостроительной компанией Yichang Shipyard⁴.

Кроме того, Китай активно разрабатывает новые типы контейнеров для отработанного топлива. В 2019 г. Китайская национальная ядерная корпорация (CNNC) и Генеральная ядерная энергетическая группа (CGN) продвинули разработку таких контейнеров: CNNC начала лицензированное производство, а CGN испытала контейнер для высокооблученного топлива, прошедший проверку ядерной безопасности. Китай активно исследует

⁴ 重大突破: 中国首艘自主研制乏燃料运输船交付! [Важный прорыв: первый в Китае самостоятельно разработанный корабль для перевозки отработанного ядерного топлива передан в эксплуатацию!] // 长帆国际物流. 2020年. URL: <https://xindemarinenews.com/topic/chuanbojianzhao/2020/1211/25665.html> (дата обращения: 09.04.2024).

переработку и повторное использование ядерных отходов на месте, что значительно улучшает обработку отходов низкого уровня и снижает потребность в их окончательном захоронении. Ведущими в этом направлении являются четыре крупных компании: Китайская компания по проектированию атомной энергетики, Китайская компания по охране окружающей среды в атомной энергетике, Китайский институт радиационной защиты и CNNC. Среди инноваций можно выделить Модульное устройство для обработки отходов низкой радиоактивности (模块化低活度废油处理装置)⁵. Это мобильное устройство, успешно внедренное на АЭС Даявань, позволяет утилизировать радиоактивные масляные отходы (содержащие Цезий-137 и Кобальт-60) методом окисления и фильтрации. Еще одним важным внедренным изобретением стало мобильное устройство для сжигания отходов низкого уровня активности (低放废物焚烧处理装置)⁶. Также был разработан аппарат для влажного окисления радиоактивных смол (废树脂湿法氧化装置)⁷, который эффективно разлагает и обрабатывает радиоактивные отходы. Кроме того, Китай внедрил технологию теплового насоса для испарения жидких радиоактивных отходов низкого уровня активности (热泵蒸发处理低放废液技术)⁸. Ключевая особенность этих технологий — мобильность и модульность, позволяющие устанавливать их прямо на ядерных объектах, снижая нагрузку на хранилища, объемы перевозок и повышая общую эффективность.

В сфере управления высокоактивными отходами Китай добился значительного прогресса. В 2020 г. был одобрен проект Исследовательского центра трансмутации на базе ускорителя (加速器驱动嬗变研究装置)⁹. В 2021 г. стартовало строительство подземной лаборатории для геологического захоронения — значимый этап в развитии технологий глубинного захоронения. Также создан Пекинский НИИ геологии, ставший центром исследований и подготовки кадров. Важным достижением явилась разработка первой в мире тоннелепроходческой машины с большим наклоном — «Бэйшань № 1» (北山一号)¹⁰ — для захоронения радиоактивных отходов.

Анализ показывает, что в рамках плана по масштабному расширению ядерной энергетики уже ведется активная подготовка: развиваются транспортные узлы и технологии перевозки, внедряются методы переработки отходов на месте для снижения объемов хранения и повышенной безопасности, а также расширяются хранилища и исследовательские центры.

Строительство ядерных реакторов и разработка новых ядерных технологий

Ядерные реакторы классифицируются по поколениям в зависимости от уровня технологического развития. Реакторы первого поколения стали прототипами, заложившими основу ядерной энергетики; большинство из них выведено из эксплуатации. Реакторы второго поколения, широко используемые и поныне, остаются стандартом от-

⁵ 张廷克等: 中国核能发展报告 (2020) [Чжан Тинкэ и др. Отчет о развитии ядерной энергетики Китая (2020)]. 北京: 社会科学文献出版社, 2021年. 第64页.

⁶ 张廷克等: 中国核能发展报告 (2020) [Чжан Тинкэ и др. Отчет о развитии ядерной энергетики Китая (2020)]. 北京: 社会科学文献出版社, 2021年. 第64页.

⁷ 张廷克等: 中国核能发展报告 (2022) [Чжан Тинкэ и др. Отчет о развитии ядерной энергетики Китая (2022)]. 北京: 社会科学文献出版社, 2022年. 第67页.

⁸ 张廷克等: 中国核能发展报告 (2021) [Чжан Тинкэ и др. Отчет о развитии ядерной энергетики Китая (2021)]. 北京: 社会科学文献出版社, 2021年. 第68页.

⁹ 张廷克等: 中国核能发展报告 (2021) [Чжан Тинкэ и др. Отчет о развитии ядерной энергетики Китая (2021)]. 北京: 社会科学文献出版社, 2021年. 第68页.

¹⁰ 张廷克等: 中国核能发展报告 (2023) [Чжан Тинкэ и др. Отчет о развитии ядерной энергетики Китая (2023)]. 北京: 社会科学文献出版社, 2023年. 第65页.

расли, хотя уже требуют модернизации инфраструктуры и систем безопасности. Реакторы третьего поколения обеспечивают повышенные показатели безопасности и эффективности, и именно они преобладают среди строящихся сегодня. Параллельно ведется разработка реакторов четвертого поколения, призванных устранить недостатки прежних моделей и совершить технологический прорыв за счет улучшенной безопасности, эффективности и устойчивости.

В рамках развития ядерных технологий Китай сформировал комплексную экосистему, разделенную на две категории. Первая охватывает массово используемые в стране реакторы второго и третьего поколений, составляющие основу ядерной энергетики. Вторая категория охватывает перспективные реакторы третьего и четвертого поколений, предназначенные для различных целей.

Первая категория, включающая широко используемые реакторы, представлена водо-водяными реакторами PWR (大型先进压水堆), которые являются наиболее распространенным типом ядерных реакторов в мире и относятся ко второму и третьему поколениям коммерческих реакторов. Они используют обычную воду в качестве охлаждающей среды и замедлителя. В Китае эксплуатируются 58 реакторов для выработки электроэнергии (без учета исследовательских и военных объектов), из которых 55 являются PWR, а два других — высокотемпературный газоохлаждаемый реактор (HTGR) на АЭС Шидаовань-1 и канадский тяжеловодный реактор CANDU-6 на блоках Циньшань-3-1 и 3-2¹¹.

Среди действующих водо-водяных реакторов в Китае представлены следующие конструкции: четыре реактора французской конструкции M310, семь китайских реакторов на основе французской конструкции CNP-300/CNP, двадцать два китайских реактора CPR-1000 на основе французской конструкции, шесть китайских реакторов ACPR-1000 на основе французской конструкции, четыре реактора AP1000 американской конструкции, четыре реактора ВВЭР-1000 российской конструкции, два европейских водо-водяных реактора EPR и пять реакторов китайской конструкции HPR1000. Этот состав отражает давнюю стратегию Китая по импорту иностранных технологий и использованию соглашений о передаче технологий для развития собственной атомной промышленности. В настоящее время Россия является ключевым иностранным партнером Китая в сфере атомного строительства, реализуя проекты четырех современных реакторов ВВЭР-1200 на АЭС Тяньвань (блоки № 7 и № 8) и Сюйдапу (блоки № 3 и № 4) в рамках соглашения с «Росатомом» от 2018 г. ВВЭР-1200 выделяется своими передовыми пассивными системами безопасности, способными функционировать без внешнего электропитания или участия оператора, что делает его одним из самых безопасных реакторов третьего плюс поколения. Такой высокий уровень технологической сложности соответствует стремлению Китая внедрять в свою ядерную программу международно-признанные стандарты безопасности. Хотя Китай делает ставку на технологическую самодостаточность, сотрудничество с Россией отражает продуманную стратегию выборочного взаимодействия с передовыми иностранными решениями, которые имеют очевидную практическую ценность. Российские ядерные технологии, особенно ВВЭР-1200, воспринимаются как зрелые, надежные и безопасные — качества, которые обеспечивают им устойчивое место в меняющемся энергетическом балансе Китая. Для России такое сотрудничество не только сохраняет присутствие на рынке, но и открывает долгосрочные перспективы в стратегически важном и технологически сложном секторе — даже несмотря на рост собственных производственных возможностей Китая.

¹¹ Nuclear reactors in China // *World Nuclear Association*. URL: <https://world-nuclear.org/nuclear-reactor-database/summary/China> (дата обращения: 15.04.2025).

В последние годы Китай сосредоточил усилия на двух новейших водо-водяных реакторах третьего поколения: HPR1000 (Хуалун-1) и CAP1400 (Гохэ-1). CAP1400, разработанный Государственной корпорацией ядерных энергетических технологий (SNPTC) совместно с американской ядерной энергетической компанией Westinghouse на базе AP1000, стал частью стратегии локализации технологий. Введен в эксплуатацию реактор Шидаовань Гохэ-1–2, еще восемь строятся. Хуалун-1 — полностью отечественная разработка CNNC и CGN. В Китае действуют пять таких реакторов, еще 14 строятся (рис. 3). За период после 13-го пятилетнего плана достигнут значительный прогресс в стандартизации конструкции и переходе к независимому производству ключевых компонентов, что снижает технологическую зависимость и усиливает национальный потенциал. Цифровизация стала важной особенностью Хуалун-1: CGN внедряет цифровых двойников АЭС для проектирования, эксплуатации и вывода из эксплуатации, а также создала центр удаленного мониторинга и диагностики для предиктивного обслуживания. Хуалун-1 также является ключевым элементом международной ядерной стратегии Китая и его флагманским экспортным проектом. Основная цель Китая в области экспорта ядерных реакторов — предлагать доступные, стандартизированные

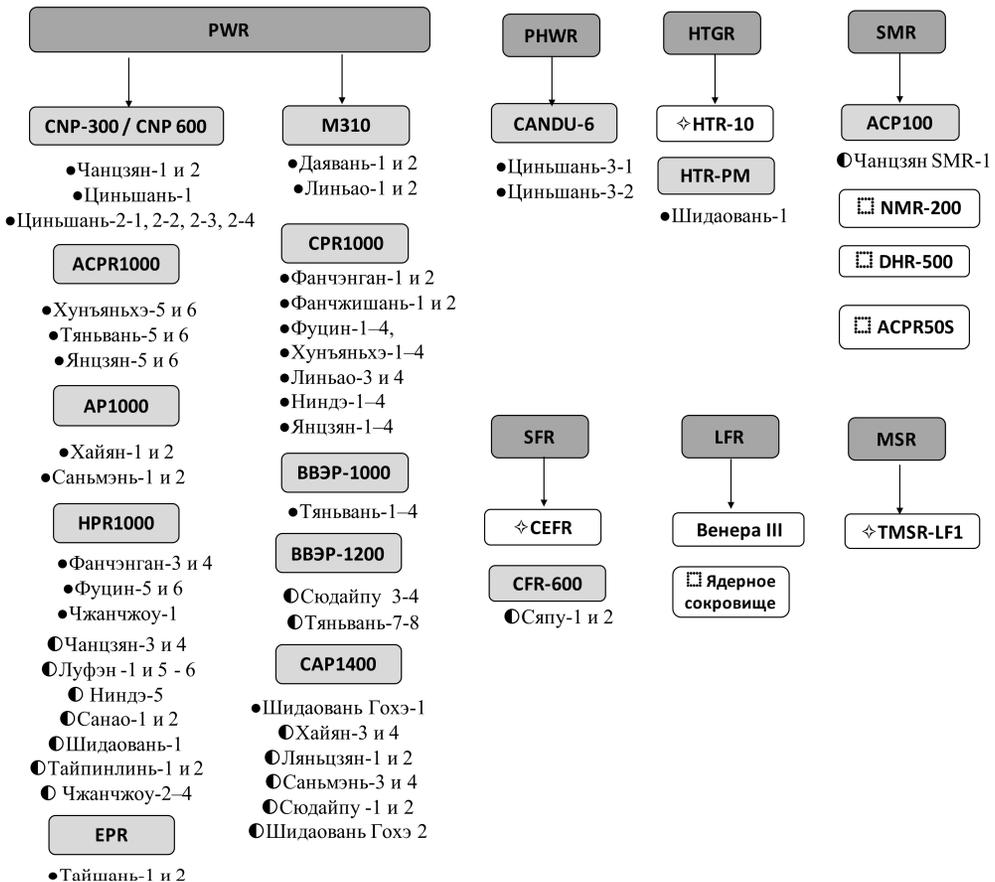


Рис. 3. Экосистема реакторов в Китае
Figure 3. Reactor Ecosystem in China

Источник: составлено автором на основе данных из китайских «Синих книг по атомной энергетике» (中国核能发展报告).

ванные и своевременно реализуемые проекты. Самым успешным зарубежным примером стал проект Карачинской АЭС в Пакистане, где два реактора Хуалун-1 уже введены в эксплуатацию, демонстрируя конкурентоспособность Китая на мировом рынке. Экспорт Хуалун-1, особенно в страны инициативы «Один пояс, один путь», является стратегическим приоритетом. Несмотря на успешное решение энергетического дефицита в Пакистане, в других проектах — таких как британская АЭС Брэдвелл В и аргентинская АЭС Атуча III — Китай столкнулся с геополитическими и финансовыми трудностями. Тем не менее, конечной целью Китая остается укрепление позиций надежного поставщика ядерных реакторов, особенно для развивающихся стран.

Вторая категория охватывает значительно более широкую сеть перспективных модульных реакторов, находящихся на стадии разработки и внедрения. Наиболее значимым типом являются высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы (高温气冷堆 HTGR), среди которых в Китае уже действует один реактор на АЭС Шидаовань-1. Китай разработал два типа HTGR: HTR-10 и HTR-PM. Еще одним направлением исследований являются малые модульные реакторы (SMR), среди которых, например, Линьлун-1, ACPR50S, NHR-200 и DHR-500. В последнюю группу входят другие передовые модульные реакторы, такие как натриевые реакторы-размножители (SFR, в том числе CEFR и CFR-600), свинцовые реакторы (LFR, такие как Венера III и «Ядерное сокровище») и реакторы на расплавленных солях (MSR, например, TMSR-LF1).

Демонстрационный проект АЭС с высокотемпературным газоохлаждаемым реактором (HTR-PM) является важной национальной научно-технической инициативой. Строительство началось в декабре 2012 г., и проект успешно преодолел вызовы проектирования, разработки, производства и монтажа. Основанный на успехах экспериментального HTR-10, HTR-PM стал первым в мире газоохлаждаемым реактором, объединившим индустрию, науку и прикладные исследования; реализацией проекта занимается консорциум ключевых промышленных партнеров под руководством Университета Цинхуа. В 2021 г. первый реактор был подключен к энергосети, что стало поворотным моментом для китайской высокотемпературной ядерной энергетики: разработаны критические технологии, а уровень локализации оборудования достиг 93,4 %, превысив целевой показатель в 75 %¹². Также создана модульная система проектирования с независимыми правами интеллектуальной собственности, открывающая путь к коммерческому применению. В программной части проекта разработаны решения для проектирования реакторов HTR, охватывающие физику, теплотехнику и анализ аварий, реализованные в первом в мире полномасштабном симуляторе HTR. Дополнительно ведутся исследования в области производства водорода с использованием высокотемпературных реакторов, что соответствует глобальным целям энергетического перехода. Создание Альянса по технологиям углеродно-нейтрального производства водорода подчеркивает значение этих разработок для безопасной, эффективной и экологичной ядерной энергетики в рамках устойчивой стратегии Китая.

Вторым значимым направлением в экосистеме китайских ядерных реакторов являются малые модульные реакторы SMR (小型反应堆). Они отличаются компактными размерами и меньшей мощностью, по сравнению с традиционными реакторами. Благодаря универсальности и возможности серийного производства, SMR стали одним из приоритетов исследований и разработок в рамках 14-го пятилетнего плана. В настоящее время действует демонстрационный реактор ACPR100 (Линьлун № 1, также известный как Чанцзян SMR-1), а также продолжается разработка моделей ACPR50S, NuHR-200 и DHR-400.

Линьлун № 1 (玲龙一号), разработанный CNNC, представляет собой малый водо-водяной реактор на базе проверенной технологии водо-водяных реакторов. Он сочета-

¹² 张廷克等: 中国核能发展报告 (2020) [Чжан Тинкэ и др. Отчет о развитии ядерной энергетики Китая (2020)]. 北京: 社会科学文献出版社, 2021年. 第41页.

ет высокие показатели безопасности и экономической эффективности и был полностью создан на основе китайской интеллектуальной собственности. Реактор предназначен для гибкого применения — от генерации электроэнергии до отопления и промышленных нужд. Его модульная конструкция позволяет установку как на суше, так и на море. Одним из ключевых этапов стало утверждение предварительного отчета о безопасности в июне 2020 г., после чего 13 июля 2021 г. был запущен демонстрационный проект АСР100 на АЭС Чанцзян в провинции Хайнань. С мощностью 125 МВт он способен обеспечивать электроэнергией около 526 000 домохозяйств в год¹³.

В отличие от этого, реакторы АСР50S, NuHR-200 и DHR-400 разрабатываются для более специализированных приложений. Морской реактор АСР50S, созданный CGN, предназначен для эксплуатации на малых островах, прибрежных территориях и нефтяных платформах. Он может также использоваться для опреснения воды и маломасштабной генерации электроэнергии. Его тепловая мощность составляет 200 МВт, электрическая — 60 МВт. В 2023 г. проект достиг значительного прогресса, включая успешные испытания регулирующих стержней, оценку эксплуатационной надежности и сертификацию конструкции для размещения на платформе судна.

Реакторы NuHR-200 и DHR-400 предназначены для отопления. NuHR-200, разработанный Шанхайским исследовательским институтом ядерной инженерии, представляет собой отопительный реактор мощностью 200 МВт, предназначенный для централизованного теплоснабжения северных регионов Китая¹⁴. Он также может использоваться для подачи пара в промышленных целях, предлагая экологически чистую альтернативу угольному отоплению. Демонстрационный проект реализуется в городе Цзямусы (провинция Хэйлуцзян) и предполагает комбинированное использование ядерной энергии и биомассы. Завершен этап предварительного проектирования, а технический план прошел экспертную оценку Китайской ассоциации ядерной энергетики. Другой отопительный реактор — DHR-400, также известный как реактор Яньлун (燕龙), — это низкотемпературный бассейновый реактор, также предназначенный для централизованного отопления. Его конструкция предполагает погружение активной зоны в бассейн с водой, что обеспечивает простоту и безопасность эксплуатации. Многоцелевой демонстрационный проект чистого отопления на базе реактора Яньлун был включен в 14-й пятилетний план провинции Гири (город Ляоюань). В рамках проекта группа CNNC зарегистрировала и учредила компанию CNNC Яньлун Технологии, ООО (中核燕龙科技有限公司), что свидетельствует о переходе технологии бассейнового низкотемпературного отопительного реактора от концептуальной и проектной стадии к этапу промышленного развития. Этот реактор является частью стратегии Китая по переходу с угольного отопления на ядерную энергию, что способствует улучшению качества воздуха и снижению выбросов углекислого газа в холодных регионах с высоким спросом на тепло.

Еще одной важной частью ядерной стратегии Китая является развитие передовых технологий натриевых быстрых реакторов SFR (钠冷快堆). Значимость этих реакторов заключается в том, что они используют жидкий натрий в качестве охлаждающего агента и быстрые нейтроны для поддержания цепной ядерной реакции. Это позволяет SFR производить больше делящегося материала, такого как плутоний-239, из урана-238, поддерживая замкнутый ядерный топливный цикл, который увеличивает доступность ядерного топлива и снижает количество отходов. Ключевыми реакторами в этой программе являются Китайский экспериментальный быстрый реактор (CEFR) и Китайский быстрый реактор-600

¹³ 张廷克等: 中国核能发展报告 (2022) [Чжан Тинкэ и др. Отчет о развитии ядерной энергетики Китая (2022)]. 北京: 社会科学文献出版社, 2022年. 第25页.

¹⁴ 张廷克等: 中国核能发展报告 (2020) [Чжан Тинкэ и др. Отчет о развитии ядерной энергетики Китая (2020)]. 北京: 社会科学文献出版社, 2021年. 第54页.

(CFR-600). CEFR, введенный в эксплуатацию в 2010 г. (район Фаншань, город Пекин), служит важной исследовательской платформой для тестирования и совершенствования технологий быстрых реакторов, создавая основу для будущих инноваций.

На базе этих достижений Китай начал проект CFR-600, предназначенный для коммерческого производства электроэнергии с планируемой мощностью 600 мегаватт. В настоящее время строятся два реактора (Сяпу-1 и 2, провинция Фуцзянь), что представляет собой значительный шаг вперед в программе быстрых реакторов Китая и его стратегии по созданию замкнутого ядерного топливного цикла. Оба реактора отражают стремление Китая к локализации ключевых технологий, снижая зависимость от импорта и стимулируя развитие национальных инноваций. В рамках проекта CFR-600 достигнут прогресс в проектировании систем, безопасности и производственных процессов.

Быстрые реакторы с жидкосвинцовым охлаждением LFR (铅基快堆) относятся к передовым реакторам четвертого поколения, использующим жидкий свинец или свинцово-висмутовый сплав в качестве теплоносителя и работающим на быстром спектре нейтронов. Эти реакторы входят в концепцию ядерных реакторов четвертого поколения, которые направлены на улучшение безопасности, эффективности и устойчивости по сравнению с текущими проектами. В рамках китайских исследований выделяются два важных проекта в области технологий LFR: новый реактор с нулевой мощностью на основе свинцово-висмутового сплава «Венера III» (启明星III)¹⁵ и ультрамалый передовой ядерный энергетический комплекс «Ядерное сокровище» (核电宝)¹⁶.

Проект «Венера III» представляет собой реактор с нулевой мощностью, предназначенный для экспериментальных исследований. Его конструкция позволяет изучать ядерные свойства и взаимодействие топлива со свинцово-висмутовым теплоносителем в контролируемой среде. Реактор не предназначен для производства электроэнергии, а используется для сбора данных и проверки прототипов конструкций, систем безопасности и материалов. Он был построен за два года и достиг первой критичности 9 октября 2019 г. на базе Китайского института атомной энергии (район Сичэн, город Пекин). Затем начались испытания активной зоны для более точного моделирования характеристик подобных реакторов.

Проект «Ядерное сокровище» направлен на создание высокоомобильных и эффективных ядерных прототипов для условий, где традиционные источники энергии неприменимы — например, в космосе или при подводных исследованиях. Руководит проектом Институт ядерной безопасности Китайской академии наук, разработавший и испытывавший прототипы мощностью в несколько киловатт и мегаватт. Киловаттный прототип предназначен для малых удаленных или космических объектов, мегаваттный — для мобильных платформ, включая транспортные средства и установки в экстремальных условиях.

Реакторы на расплавленных солях MSR (熔盐堆) представляют собой тип ядерных реакторов, в которых основным охлаждающим агентом, а в некоторых проектах и топливом, является смесь расплавленных солей. Особенность этих реакторов заключается в их способности утилизировать ядерные отходы от других реакторов, поддерживая замкнутый топливный цикл и позволяя многократное использование топлива. Это способствует долгосрочному снижению объемов отходов. Кроме того, реакторы на расплавленных солях работают при очень высоких температурах, что делает их подходящими как для производства электроэнергии, так и для промышленных процессов, таких как производство водорода и опреснение воды.

¹⁵ 张廷克等: 中国核能发展报告 (2020) [《*Чжан Тинкэ и др.* Отчет о развитии ядерной энергетики Китая (2020)]. 北京: 社会科学文献出版社, 2021年. 第56页.

¹⁶ 张廷克等: 中国核能发展报告 (2020) [《*Чжан Тинкэ и др.* Отчет о развитии ядерной энергетики Китая (2020)]. 北京: 社会科学文献出版社, 2021年. 第55页.

В 2011 г. Шанхайский институт прикладной физики Китайской академии наук инициировал стратегический пилотный проект «Ядерная энергетическая система на основе ториевого реактора с расплавленной солью» (TMSR), ориентированный на промышленное применение. В 2018 г. для экспериментального реактора TMSR-LF1 мощностью 2 МВт была выбрана площадка в промышленной зоне Хуньшаган (уезд Миньцин, город Увэй, провинция Ганьсу), а в июне 2023 г. получена лицензия на его эксплуатацию. Это позволило начать тестовые операции. На основе результатов проекта Академия наук планирует строительство первого в Китае малого модульного ториевого реактора мощностью 10 МВт (60 МВт тепловой), с целью интеграции системы и накопления опыта для будущих коммерческих установок¹⁷.

В рамках представленной на рисунке 3 экосистемы реакторов можно выделить несколько ключевых аспектов ядерной стратегии Китая. Обозначения стадий реализации включают: ● — построенные, ○ — находящиеся в стадии строительства, ✧ — исследовательские, □ — прототипы.

В отношении водо-водяных реакторов заметно, насколько широка стратегия Китая. В ней представлены французские реакторы (M310), американские (AP1000) и российские (ВВЭР-1000 и ВВЭР В-491), а также китайские конструкции, основанные на зарубежных технологиях (CNP300, CNP600, CPR1000, ACPR1000, CAP1400) и полностью китайские разработки (HPR1000).

Важным аспектом в рассмотрении направлений развития ядерных реакторов является разнообразие их назначения. Некоторые из них предназначены исключительно для исследований, такие как HTR-10, CEFR, Венера III и TMSR-LF1. Другие, например HTR-PM, Линьлун № 1 и CFR-600, были разработаны на основе исследовательских реакторов для более широкого применения. Специализированные реакторы, такие как NHR-200 и DHR-500, предназначены для отопления, в то время как ACPR50S разработан для плавучих ядерных установок. Проект «Ядерное сокровище» представляет собой малый портативный реактор для использования в суровых условиях, таких как глубоководные исследования или космические миссии.

Кроме того, некоторые реакторы, такие как CFR-600, TMSR-LF1 и HTR-PM, нацелены на решение проблемы ядерных отходов путем более эффективного использования ядерного топлива или переработки отработанного топлива. Таким образом, стратегия Китая включает не только проведение исследований в области передовых ядерных технологий, но и их переход к коммерческому применению, включая отопительные и мобильные реакторы.

Важно отметить, что эти реакторы также вносят вклад в решение проблемы ядерных отходов с технологической точки зрения, поддерживая замкнутые ядерные топливные циклы и конструкции, способные сжигать ядерные отходы.

* * *

В рамках 14-го пятилетнего плана внутренняя стратегия Китая по развитию атомной энергетики включает усиление ядерных технологий и эффективное управление отходами. Страна создает надежную систему для безопасного обращения и сокращения объемов отходов. Ведется разработка современных технологий хранения, а также новых реакторов, способных перерабатывать отходы или использовать топливо более рационально. Также применяются модульные и мобильные решения для локальной обработки. Стратегия находится на стадии подготовки и поддерживает будущее расширение атомной отрасли.

¹⁷ 张廷克等: 中国核能发展报告 (2023) [Чжан Тинкэ и др. Отчет о развитии ядерной энергетики Китая (2023)]. 北京: 社会科学文献出版社, 2023年. 第24页.

Вторая стратегия связана со строительством ядерных реакторов и развитием новых ядерных технологий. На протяжении многих лет стратегия Китая в области развития реакторов демонстрировала осознанное сочетание импортированных технологий и внутренней инновационной базы. Современный парк водо-водяных реакторов (PWR) включает французские конструкции (M310), американские модели (AP1000) и российские технологии (ВВЭР-1000, ВВЭР В-491). Эти установки сосуществуют с китайскими адаптациями (CNP300, CNP600, CPR1000, ACPWR1000, CAP1400), а также с полностью отечественными разработками, такими как HPR1000. Такая траектория отражает поэтапный подход — от освоения иностранных технологий к самостоятельному технологическому прогрессу — с целью укрепления национальной компетенции и снижения внешней зависимости.

Ядерная стратегия Китая также делает акцент на широком спектре применений ядерной энергии за пределами производства электроэнергии. Исследовательские реакторы (HTR-10, CEFR, Венера III, TMSR-LF1) способствуют научному прогрессу, тогда как экспериментально-коммерческие модели (HTR-PM, Линлун № 1, CFR-600) служат переходными платформами для более широкого внедрения. Специализированные установки, такие как NHR-200 и DHR-500, предназначены для теплоснабжения, в то время как ACPWR50S решает задачи, связанные с энергоснабжением морских объектов. Проект «Ядерное сокровище» иллюстрирует стремление Китая к созданию малогабаритных переносных реакторов для использования в экстремальных условиях, таких как глубоководные исследования и космические миссии.

Одной из ключевых черт китайской ядерной стратегии является систематическое преобразование передовых технологий из исследовательской сферы в коммерчески реализуемые проекты. Это, в частности, включает развитие высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов — от HTR-10 к промышленному HTR-PM, а также создание быстрых реакторов на быстрых нейтронах, таких как CFR-600. Эти усилия демонстрируют способность Китая интегрировать инновации в экономически эффективные и масштабируемые решения в области атомной энергетики.

Заключительный стратегический компонент китайской ядерной политики также связан с отходами, но рассматривается на ином уровне. Он касается проблемы радиоактивных отходов через развитие реакторов нового поколения и инновации в области ядерного топливного цикла. Реакторы, такие как CFR-600, TMSR-LF1 и HTR-PM, спроектированы для повышения топливной эффективности, частичной переработки отработанного топлива и содействия переходу к замкнутому ядерному циклу. Такой подход не только снижает долгосрочное экологическое воздействие ядерной энергетики, но и повышает устойчивость и жизнеспособность атомной отрасли Китая.

Литература

- Luo Qingping et al. A Prospective Study "Bluebook" on Nuclear Energy to Support Low Carbon. Beijing: Foreign Languages Press, 2024. 264 p.
- Nuclear reactors in China // *World Nuclear Association*. URL: <https://world-nuclear.org/nuclear-reactor-database/summary/China> (дата обращения: 15.04.2025).
- 张廷克等: 中国核能发展报告 (2018) [Чжан Тинкэ и др. Отчет о развитии ядерной энергетики Китая (2018)]. 北京: 社会科学文献出版社, 2018年. 375页.
- 张廷克等: 中国核能发展报告 (2019) [Чжан Тинкэ и др. Отчет о развитии ядерной энергетики Китая (2019)]. 北京: 社会科学文献出版社, 2019年. 307页.
- 张廷克等: 中国核能发展报告 (2020) [Чжан Тинкэ и др. Отчет о развитии ядерной энергетики Китая (2020)]. 北京: 社会科学文献出版社, 2021年. 204页.
- 张廷克等: 中国核能发展报告 (2021) [Чжан Тинкэ и др. Отчет о развитии ядерной энергетики Китая (2021)]. 北京: 社会科学文献出版社, 2021年. 256页.
- 张廷克等: 中国核能发展报告 (2022) [Чжан Тинкэ и др. Отчет о развитии ядерной энергетики Китая (2022)]. 北京: 社会科学文献出版社, 2022年. 216页.

- 张廷克等: 中国核能发展报告 (2023) [Чжан Тинкэ и др. Отчет о развитии ядерной энергетики Китая (2023)]. 北京: 社会科学文献出版社, 2023年. 221页.
- 张廷克等: 中国核能发展报告 (2024) [Чжан Тинкэ и др. Отчет о развитии ядерной энергетики Китая (2024)]. 北京: 社会科学文献出版社, 2024年. 221页.
- 重大突破, 中国首艘自主研制乏燃料运输船交付! [Важный прорыв: первый в Китае самостоятельно разработанный корабль для перевозки отработанного ядерного топлива передан в эксплуатацию!] // 长帆国际物流. 2020. URL: <https://xindemarinenews.com/topic/chuanbojianzhao/2020/1211/25665.html> (дата обращения: 09.04.2024).
- 中国首座高水平放射性废液玻璃固化设施正式投运 [Первый в Китае объект по остекловыванию высокоактивных радиоактивных отходов официально введен в эксплуатацию] // *China Atomic Energy Authority*. 11.09.2021. URL: <https://www.caec.gov.cn/n6760338/n6760342/c6831032/content.html> (дата обращения: 22.09.2024).
- 中辐院放射性废油, 废有机溶剂处理技术实现首次应用 [Первое применение технологии обработки радиоактивных масел и органических растворителей в Китайском институте радиационной защиты] // *China Nuclear Energy Association* (中国核能行业协会). 2024. URL: www.china-nea.cn/site/content/45109.html (дата обращения: 22.09.2024).

The Internal Strategy of the PRC for the Development of Nuclear Energy under the 14th Five-Year Plan

Natalia Jandzikova

Ph.D. student, Doctoral School of International Relations and Regional Studies, National Research University "Higher School of Economics" (address: 17/1, Malaya Ordynka Str., Moscow, 119017, Russian Federation). ORCID: 0009-0009-5057-6335. E-mail: nyandzikova@hse.ru

Received 30.04.2025.

Abstract:

This article analyzes the internal strategy of the People's Republic of China for the development of nuclear energy under the 14th Five-Year Plan (2021–2025). The study focuses on two key pillars of China's strategic approach: the management of spent nuclear fuel and radioactive waste, and the construction of reactors alongside the development of new nuclear technologies. Based on a qualitative analysis of the Blue Books on Nuclear Energy (中国核能发展报告) from 2018 to 2024, the paper identifies the consistent steps China is taking to build a sustainable and independent nuclear energy sector. In the field of waste management, it examines the expansion of storage infrastructure, on-site waste processing, modular and mobile technologies, as well as the development of deep geological disposal and vitrification methods. In the area of nuclear reactor construction and nuclear technology innovation, the study highlights China's transition from reliance on imported designs to localized production of nuclear equipment and advanced reactors. It explores both the widely used second- and third-generation PWRs and the development of high-temperature gas-cooled, small modular, and fast reactors. China's nuclear strategy combines technological innovation with institutional support, aiming to address nuclear waste, ensure energy security, and strengthen the country's global standing in the nuclear energy sector.

Key words:

China, 14th Five-Year Plan, nuclear energy, nuclear reactors, nuclear waste management, new nuclear technologies.

For citation:

Jandzikova N. The Internal Strategy of the PRC for the Development of Nuclear Energy under the 14th Five-Year Plan // *Far Eastern Studies*. 2025. No. 3. Pp. 67–81.
DOI: 10.31857/S0131281225030052.

References

- Luo Qingping et al. A Prospective Study "Bluebook" on Nuclear Energy to Support Low Carbon. Beijing: Foreign Languages Press, 2024. 264 p.
- Nuclear reactors in China. *World Nuclear Association*. URL: <https://world-nuclear.org/nuclear-reactor-database/summary/China> (accessed: 15.04.2025).

- 张廷克等: 中国核能发展报告 (2018) [*Zhang Tingke et al. Report on the development of nuclear energy in China (2018)*]. 北京: 社会科学文献出版社, 2018年. 375页. (In Chin.)
- 张廷克等: 中国核能发展报告 (2019) [*Zhang Tingke et al. Report on the development of nuclear energy in China (2019)*]. 北京: 社会科学文献出版社, 2019年. 307页. (In Chin.)
- 张廷克等: 中国核能发展报告 (2020) [*Zhang Tingke et al. Report on the development of nuclear energy in China (2020)*]. 北京: 社会科学文献出版社, 2021年. 204页. (In Chin.)
- 张廷克等: 中国核能发展报告 (2021) [*Zhang Tingke et al. Report on the development of nuclear energy in China (2021)*]. 北京: 社会科学文献出版社, 2021年. 256页. (In Chin.)
- 张廷克等: 中国核能发展报告 (2022) [*Zhang Tingke et al. Report on the development of nuclear energy in China (2022)*]. 北京: 社会科学文献出版社, 2022年. 216页. (In Chin.)
- 张廷克等: 中国核能发展报告 (2023) [*Zhang Tingke et al. Report on the development of nuclear energy in China (2023)*]. 北京: 社会科学文献出版社, 2023年. 221页. (In Chin.)
- 张廷克等: 中国核能发展报告 (2024) [*Zhang Tingke et al. Report on the development of nuclear energy in China (2024)*]. 北京: 社会科学文献出版社, 2024年. 221页. (In Chin.)
- 重大突破, 中国首艘自主研发乏燃料运输船交付! [Major breakthrough: China's first independently developed ship for transporting spent nuclear fuel delivered to operation!]. 长帆国际物流. 2020. URL: <https://xindemarinenews.com/topic/chuanbojianzhao/2020/1211/25665.html>(accessed: 22.09.2024). (In Chin.)
- 中国首座高水平放射性废液玻璃固化设施正式投运 [China's first facility for vitrification of high-level radioactive waste officially commissioned]. China Atomic Energy Authority. 11.09.2021. URL: <https://www.caea.gov.cn/n6760338/n6760342/c6831032/content.html> (accessed: 22.09.2024). (In Chin.)
- 中辐院放射性废油, 废有机溶剂处理技术实现首次应用 [First application of technology for treatment of radioactive oils and organic solvents at China Institute for Radiation Protection]. 中国核能行业协会. 2024. URL: www.china-nea.cn/site/content/45109.html. (accessed: 22.09.2024). (In Chin.)