

УДК 621.039.003

## ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РЕАКТОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Залаев А.Э.<sup>1</sup>, гр. А-1-22, III курс

Научный руководитель: Дубровская Е.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казанский государственный энергетический университет  
г. Казань

Глобальный энергопереход, направленный на декарбонизацию экономики, требует от ядерной энергетики одновременного решения задач экологической безопасности и повышения экономической эффективности. Согласно анализу, представленному в «Белой книге ядерной энергетики» [1], ключевым инструментом для этого являются реакторные технологии IV поколения, такие как быстрые реакторы с замкнутым топливным циклом (ЗЯТЦ), малые модульные АЭС и инновационные проекты, включая БРЕСТ-ОД-300. Эти технологии не только снижают зависимость от ископаемых ресурсов, но и оптимизируют жизненный цикл ядерных объектов, что критически важно в условиях растущей конкуренции с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ).

Технологии быстрых реакторов, такие как БН-800 (введён в эксплуатацию в 2016 году), демонстрируют значительные экономические преимущества. Использование МОКС-топлива (смесь оксидов урана и плутония) позволяет сократить потребление природного урана на 25–30%, а себестоимость электроэнергии сохраняется на уровне 55–60 долл./МВт·ч, что сопоставимо с газовой генерацией [1]. Кроме того, переработка отработавшего топлива уменьшает объём высокоактивных отходов в 4–7 раз, что снижает затраты на их долгосрочное хранение — по оценкам, до 20% от общей стоимости топливного цикла. Важно отметить, что замкнутый цикл также снижает геополитические риски, связанные с поставками урана, что особенно актуально в условиях нестабильности сырьевых рынков.

Перспективный реактор БН-1200, запланированный к вводу в 2030-х годах, предусматривает увеличение срока службы до 60 лет (против 40–50 лет у предыдущих моделей) и снижение капитальных затрат на 15% за счёт оптимизации конструкции [1]. Например, переход на модульное строительство и использование унифицированных компонентов сокращает сроки монтажа на 20%. Ещё более инновационным является проект БРЕСТ-ОД-300, разработка которого ведётся в рамках программы «Прорыв». Его ввод в эксплуатацию ожидается после 2030 года. Конструкция реактора исключает натриевый теплоноситель, который традиционно использовался в быстрых реакторах, что снижает риски коррозии и аварий, связанных с утечкой. Использование нитридного топлива с повышенным выгоранием (до 150 ГВт·сут/т) может

снизить себестоимость электроэнергии до 50–55 долл./МВт·ч, что делает его одним из самых экономичных проектов в атомной отрасли [2].

Малые модульные реакторы (ММР), такие как плавучая АЭС «Академик Ломоносов» (введена в эксплуатацию в 2020 году), открывают новые возможности для энергоснабжения удалённых регионов. Их капитальные затраты составляют 3000–4000 долл./кВт при сроках строительства 3–4 года, что значительно ниже, чем у традиционных АЭС (5000–6000 долл./кВт и 7–10 лет) [2]. Например, в Канаде и США проекты ММР, такие как NuScale, демонстрируют аналогичные показатели, что подтверждает глобальный тренд на децентрализацию энергосистем. Локальные топливные циклы и модульная сборка сокращают логистические расходы на 40%, а стандартизация проектов позволяет снизить издержки за счёт серийного производства. По прогнозам МАГАТЭ [2], к 2040 году доля ММР в мировой атомной генерации может достичь 15%, особенно в регионах с ограниченной инфраструктурой.

Однако внедрение новых технологий сталкивается с системными вызовами. Устаревшая нормативная база, например, в странах ЕС и США, часто не учитывает специфику замкнутых циклов и модульных решений, что замедляет лицензирование. Высокая капиталоемкость проектов, таких как БРЕСТ-ОД-300, требует привлечения долгосрочных инвестиций. Здесь ключевую роль может сыграть государственно-частное партнёрство: например, в России программа «Прорыв» финансируется как из бюджета, так и за счёт частных инвесторов [3]. Общественные опасения по поводу ядерных отходов также остаются барьером. Как отмечает МАГАТЭ [2], только 30% населения в развитых странах поддерживают строительство новых АЭС, что требует усиления информационных кампаний и прозрачности в вопросах безопасности.

Сравнительный анализ себестоимости электроэнергии показывает, что современные ядерные технологии уже конкурируют с угольной (50–70 долл./МВт·ч) и газовой (45–60 долл./МВт·ч) генерацией, а в перспективе могут приблизиться к стоимости ветровой энергии (40–50 долл./МВт·ч) [4]. При этом атомная энергетика обеспечивает базовую нагрузку, что критически важно для стабильности сетей с высокой долей ВИЭ. Например, во Франции, где 70% электроэнергии вырабатывается на АЭС, тарифы на электроэнергию на 20% ниже, чем в Германии, где упор сделан на солнце и ветер.

Таким образом, реакторы IV поколения и малые модульные АЭС способны обеспечить конкурентоспособность ядерной энергетике в условиях энергоперехода. Однако их массовое внедрение зависит от решения регуляторных, финансовых и социальных вопросов. Разработка гибких стандартов, привлечение инвестиций через механизмы «зелёных» облигаций и диалог с общественностью — ключевые шаги для реализации этого потенциала.

### Список литературы:

1. Белая книга ядерной энергетики. Замкнутый ЯТЦ с быстрыми реакторами / под общ. ред. проф. Е.О. Адамова. – М.: Изд-во АО «НИКИЭТ», 2020. – 502 с.
2. Международное агентство по атомной энергии. Advanced Reactor Technology Development: Status and Trends [Электронный ресурс]. — Vienna: IAEA, 2024. — URL: <http://iaea.org> (дата обращения: 24.03.2025).
3. Госкорпорация «Росатом». Отчет о научно-исследовательской работе по проекту «Прорыв» [Электронный ресурс]. — М., 2024. — URL: <http://rosatom.ru> (дата обращения: 24.03.2025).
4. Министерство энергетики РФ. Стратегия развития атомной энергетики до 2035 года [Электронный ресурс]. — 2023. — URL: <http://minenergo.gov.ru> (дата обращения: 24.03.2025).