
ЭКОНОМИКО-ПРАВОВОЙ АНАЛИЗ РИСКОВ ФИНАНСИРОВАНИЯ ПРОЕКТОВ ПО ТЕРМОЯДЕРНОМУ СИНТЕЗУ

Терехов Андрей Михайлович, канд. экон. наук

Попкова Жанна Георгиевна, канд. юрид. наук

Скородумова Екатерина Алексеевна, бак.

Приволжский филиал «Российский государственный университет правосудия имени В.М. Лебедева», пр. Гагарина, 17 А, Нижний Новгород, Россия, 603022; e-mail: ekaterij03@icloud.com; terehoff.t@yandex.ru; zhp152@yandex.ru

Предмет: предметом исследования выступают финансово-правовые отношения, возникающие в процессе реализации инновационных проектов по строительству термоядерных установок нового поколения – токамаков Т-15МД, «Игнитор» и «Сфера». *Цель:* выявление набора достоверных рисков факторов, влияющих на финансовую устойчивость российских токамаков, и сопоставление их с конкурентной средой энергогенерации. *Дизайн исследования:* исследование основано на анализе существующей нормативно-правовой базы, регулирующей действующие механизмы бюджетного субсидирования НИОКР, а также оценке перспектив развития термоядерной энергетики в контексте глобальных тенденций декарбонизации и сравнении с традиционными и возобновляемыми источниками энергии на основе данных, опубликованных Международным энергетическим агентством (IEA) и Energy Institute. *Результаты:* результаты исследования подтверждают перспективность термоядерной энергетики для России в качестве дополнения к ВИЭ при условии формирования комплексной модели финансирования, переориентации господдержки на прикладные материалы и гибридные нейтронные источники, разработки методики LCOE-оценки и снижения информационных рисков.

Ключевые слова: бюджетное субсидирование, ВИЭ, НИОКР, риски финансирования, токамак, Т-15МД, Энергетическая стратегия-2035.

DOI: 10.17308/meps/2078-9017/2025/6/72-82

Введение

Анализ внедрения новых энергоресурсов является продолжением ряда предыдущих исследований Е.А. Скородумовой (Е.А. Речкиной) и А.М. Терехова [5] в сфере оценки энергетического комплекса Российской Федерации и выявления перспективных направлений его развития в рамках

международного рынка, направленных на формирование научно обоснованной стратегии развития национальной энергетической системы, обеспечивающей безопасность и экономическую конкурентоспособность страны в условиях глобальной энергетической трансформации и геополитической нестабильности. Ж.Г. Попкова рассматривает данный вопрос с точки зрения особенностей финансирования и реализации инвестиционных проектов в энергетической отрасли.

Как отмечает М.Е. Родионова [6], технологический уклад энергетики определяет долгосрочную структуру экономики. Текущий переходный уклад характеризуется сокращением роли нефти и ростом доли природного газа и возобновляемых источников энергии (ВИЭ). В этой связи поиск и разработка новых источников энергии, способных обеспечить надежную и экологически чистую генерацию, является приоритетной задачей. Согласно Энергетической стратегии до 2035 года Россия рассматривает управляемый термоядерный синтез как часть низкоуглеродного баланса второй половины XXI века.

Так, в 2024 году Курчатовский институт сообщил о рекордном импульсе плазмы на токамаке Т-15МД. Но, несмотря на многообещающие перспективы, данные проекты остаются капиталоемкими, а правовой режим их финансирования сочетает требования бюджетного законодательства и положения Федерального закона от 23.08.1996 № 127-ФЗ, что создает дополнительные сложности [2].

Вопросам энергетической политики и финансово-правового регулирования в энергетической сфере посвящены работы М.Е. Родионовой, И.В. Юшкова, С.П. Митраховича [6], О.В. Болтиновой [1], А.А. Макарова, Т.А. Митровой, В.А. Кулагиной [3]. Проблемы цифровизации финансового права в контексте энергетики затронуты в работах И.И. Кучерова, Н.Е. Абрамовой, С.Я. Боженок, О.В. Веремеевой [2]. Смена энергетического уклада анализируется в работах А.Б. Моттаевой [4], A. Gilbert, M.D. Bazilian, S. Gross [10]. Однако комплексному исследованию рисков, влияющих на финансовую устойчивость российских проектов в области термоядерного синтеза, уделено недостаточно внимания, что определяет актуальность данного исследования.

Целью статьи является выявление набора достоверных рисков факторов, влияющих на финансовую устойчивость российских токамаков, и сопоставление их с конкурентной средой энергогенерации для определения оптимальных условий интеграции термоядерной энергетики в энергетический комплекс Российской Федерации.

Задачи исследования состоят в анализе и оценке действующих механизмов бюджетного субсидирования НИОКР в сфере энергетики, влияния фактора технологической неопределенности на инвестиционную привлекательность проектов в области термоядерного синтеза, а также определение перспектив развития термоядерной энергетики с учетом развития ВИЭ и глобальных тенденций декарбонизации.

Методы и результаты исследования

Методология исследования основана на анализе финансово-экономических и нормативно-правовых документов. В финансовом блоке использованы данные из статистического обзора Energy Institute (2024 г.) [8], отчета Международного энергетического агентства «World Energy Outlook 2024» [11], а также публичного годового отчета государственной корпорации «Росатом» за 2023 г. В правовом аспекте были изучены федеральные законы и подзаконные акты, регулирующие финансирование НИОКР (Постановления Правительства РФ № 1649 и № 1875), а также методические рекомендации Казначейства РФ от 2017 г. Качественный анализ рисков выполнен на основе классификаций, предложенных Счётной палатой США (GAO, 2023) [13] и Fusion Industry Association (2023) [9].

1. Текущие тенденции мирового энергопотребления

Перед оценкой финансовой и правовой состоятельности российских проектов токамаков следует очертить макроэнергетический фон: динамику мирового спроса на первичную энергию и изменение топливной структуры. В таблице 1 представлены реперные годы 1965, 2000 и 2022 гг. из последнего набора Energy Institute – Statistical Review 2024 (лист «Primary energy consumption») [8]. Эти данные широко используют А.А. Макаров и Т.А. Митрова [3] при моделировании глобальных укладов, подчеркивая, что «твердотопливные» и «углеводородные» эпохи постепенно уступают место газу и возобновляемым источникам.

Таблица 1

Структура мирового потребления энергии по видам топлива
(1965–2022 гг.), ЭДж

Год	Нефть	Газ	Уголь	Ядерная	Гидро	ВИЭ ¹	Всего
1965	64,7	22,5	54,9	0,3	9,7	0,2	152,4
2000	168,0	101,5	107,9	27,0	29,5	4,0	437,9
2022	190,4	148,4	161,2	24,7	40,2	41,8	606,7

¹ Сумма ветра, солнца, биотоплива и др. в методологии Energy Institute

Источник: Energy Institute Statistical Review 2024 [8].

Анализ ретроспективных данных показывает, что за период с 1965 по 2022 год мировое первичное энергопотребление выросло почти в четыре раза, превысив отметку 600 ЭДж. Даже при стремительном расширении сектора ВИЭ, зафиксированном Energy Institute (рост с 0,2 до 41,8 ЭДж), глобальная экономика остается энергоинтенсивной и требует дополнительных базовых источников мощности. Одновременно наблюдается структурный сдвиг: нефть утратила статус безусловного лидера (ее доля в балансе опустилась примерно с 42% до 31%), тогда как совокупная роль газа, гидро и особенно возобновляемых технологий существенно возросла. Несмотря на это, уголь и природный газ по-прежнему обеспечивают около половины

мирового энергоснабжения, подчеркивая инерционность углеводородного уклада [4], [10].

Для российских проектов управляемого термоядерного синтеза такое сочетание трендов означает следующее. Во-первых, сохранение долгосрочного роста глобального спроса на энергию формирует потенциальный рынок для «чистой базовой генерации», способной дополнить переменную выработку ВИЭ. Во-вторых, ужесточение климатических и налоговых ограничений на традиционные виды топлива повышает регуляторную и инвестиционную привлекательность низкоуглеродных технологий, включая токамаки. Именно этим объясняется приоритетное внимание государства, закрепленное в Федеральном законе № 127-ФЗ и постановлении № 1649, к субсидированию НИОКР в сфере термоядерного синтеза: без такого инструмента капиталоемкие проекты Т-15МД, «Игнитор» и «Сфера» не смогли бы преодолеть ценовой барьер, сформированный нынешней топливной корзиной. В совокупности приведенные данные подтверждают, что инвестиции в термоядерные установки обоснованы не только научно-технологически, но и с макроэкономической точки зрения: они создают резерв для удовлетворения растущего мирового спроса в условиях постепенного отказа от углеродоемких источников.

2. Сравнение технологий генерации по опубликованным затратам

Перед анализом инвестиционных рисков термоядерных проектов важно понимать, какой ценовой диапазон сегодня задают конкурирующие технологии генерации. В таблице 2 приведены значения levelised cost of electricity (LCOE) на 2023 г. из приложения В отчета IEA World Energy Outlook 2024 для четырех крупнейших рынков – США, ЕС, Китая и Индии [11]. Выбраны именно показатели сценария STEPS (Stated Policies), поскольку они отражают фактические нормативно ценовые условия без дополнительных климатических целей [табл. 2]. Минимальное и максимальное значения по каждому виду генерации образуют диапазон, который далее используем как «референтный коридор» при оценке возможной себестоимости электроэнергии токамака.

Таблица 2
Диапазоны LCOE основных технологий генерации по данным IEA (2023 г.),
USD/ МВт·ч

Технология	LCOE-2023, США	ЕС	Китай	Индия	Диапазон (min-max)
Солнечная PV	55	50	50	40	40 – 55
Ветряная наземная	40	60	45	55	40 – 60
Угольная ТЭС	105	290	70	60	60 – 290
Газовая CCGT	60	205	120	120	60 – 205
АЭС (крупные блоки)	110	170	65	70	65 – 170

Источник: World Energy Outlook 2024, приложение В, таблица 2 «Technology costs in selected regions – Stated Policies Scenario» [11]

Самые узкие и низкие интервалы LCOE демонстрируют солнечные и наземные ветровые станции ($\approx 40\text{--}60\text{ USD/MBт}\cdot\text{ч}$), подтверждая, что именно они формируют ценовое дно мирового рынка. Газовые CCGT и угольные ТЭС имеют широкий разброс ($60\text{--}205$ и $60\text{--}290\text{ USD/MBт}\cdot\text{ч}$ соответственно); верхняя граница отражает влияние дорогого топлива и платы за CO_2 в ЕС, нижняя – ситуацию в Индии и США. Крупные АЭС располагаются в диапазоне $65\text{--}170\text{ USD/MBт}\cdot\text{ч}$; минимальное значение зафиксировано в Китае (массовое серийное строительство), максимальное – в ЕС из-за высокой капиталоемкости и стоимости капитала (рис. 1).

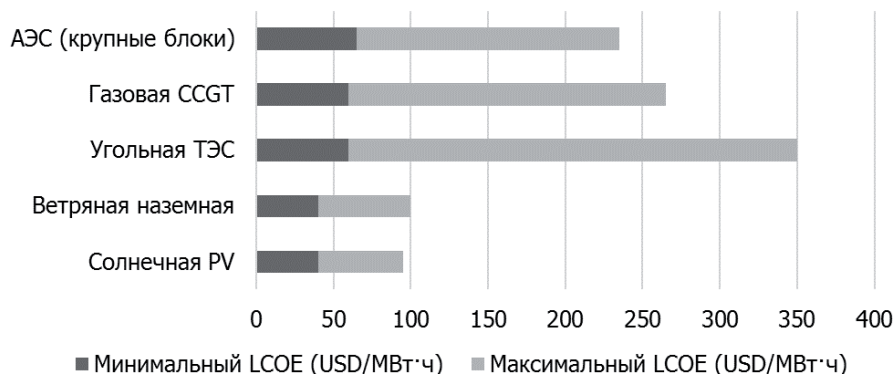


Рис. 1. Диаграмма диапазонов удельной стоимости производства электроэнергии (LCOE) по основным технологиям генерации, 2023

Для токамака T-15МД и будущих модулей «Сфера» это означает: чтобы быть экономически сопоставимыми с базовой нагрузкой газовых и угольных станций в азиатских регионах, целевой LCOE проекта должен опуститься ниже $100\text{ USD/MBт}\cdot\text{ч}$, а для выхода на конкуренцию с ВИЭ – ниже $60\text{ USD/MBт}\cdot\text{ч}$. Тем самым таблица задает конкретные пороговые ориентиры, которые следует учитывать в финансовой модели и механизмах господдержки.

3. Правовая архитектура финансирования российских токамаков

Перед оценкой источников капитала необходимо очертить нормативную базу, определяющую правила расходования бюджетных средств на НИОКР высокого технологического риска (табл. 3).

Таблица 3

Ключевые нормативные акты, регулирующие субсидирование НИОКР в области термоядерного синтеза

Акт	Сфера применения	Механизм финансирования
Федеральный закон от 23.08.1996 № 127-ФЗ (ред. 08.08.2024) «О науке и государственной научно-технической политике»	Наука и гос. НТП	Гранты федеральных фондов, субсидии юридическим лицам, налоговые льготы (НДС, прибыль)

Акт	Сфера применения	Механизм финансирования
Постановление Правительства РФ от 12.12.2019 № 1649 (ред. 03.04.2023)	Субсидии НИОКР по «современным технологиям»	Возмещение до 70% документально подтвержденных затрат исполнителя; оставшиеся $\geq 30\%$ – собственное софинансирование
Постановление Правительства РФ от 18.11.2020 № 1875 (ред. 15.01.2022)	Проекты дорожной карты «Квантовые вычисления» (применима методически)	Субсидии на создание прототипов; предельная доля – до 50% затрат
Методические рекомендации Казначейства России (29.12.2017)	Контроль бюджетных ассигнований	Обязательный план-факт-анализ, KPI, возврат неиспользованных средств
Письмо Минфина РФ от 22.03.2024 № 03-07-07/25824	НДС-льготы при НИОКР, финансируемых из бюджета	Освобождение от НДС исполнителей и субподрядчиков на основании пп. 16 п. 3 ст. 149 НК РФ

Источник: составлено автором по результатам исследования.

Данная нормативная конструкция обеспечивает возмещение до 70% прямых расходов на НИОКР по постановлению № 1649 и до 50% по постановлению № 1875, а также налоговые преференции, но одновременно накладывает жесткие требования к KPI и софинансированию. Тем самым ключевой регуляторный риск для проектов токамаков заключается в невыполнении целевых показателей и, как следствие, обязательстве вернуть часть субсидии или утрате льгот по НДС.

4. Профиль рисков строительства Т-15МД, «Игнитора» и «Сферы»

Отчет Fusion Industry Association за 2023 год свидетельствует о том, что подавляющее большинство (около 90%) частных компаний, занятых в проектах термоядерного синтеза, определяют в качестве основных барьеров на пути коммерциализации технологии проблемы стабильности удержания высокоэнергетической плазмы и отсутствие материалов, способных в течение длительного периода выдерживать воздействие интенсивного нейтронного потока [9]. Именно эти факторы были названы ключевыми причинами задержек в привлечении инвестиционного капитала на стадии демонстрационных реакторов и первой выработки электроэнергии. Аналогичные технологические вызовы подчеркиваются и в отчете Счетной палаты США (GAO-23-105813), где отмечается, что в настоящее время не решены принципиальные научные задачи, связанные с поведением так называемых «горящих» плазм, отсутствует практический опыт промышленного извлечения тепла из термоядерного объема, а также не создана инфраструктура для проведения полномасштабных испытаний композиционных материалов

первой стенки в условиях воздействия нейтронов с энергией около 14 МэВ [9]. Помимо технологических рисков, GAO также указывает на неопределенность в области нормативно-правового регулирования безопасности будущих термоядерных объектов, что существенно осложняет инвесторам оценку потенциальных затрат и сроков лицензирования.

Применительно к российским проектам термоядерного синтеза (Т-15МД, «Игнитор», «Сфера») вышеупомянутые обстоятельства означают, что критической и наиболее рискованной стадией остается именно этап прикладных исследований и разработок. В приоритетных задачах этой стадии находится достижение устойчивых режимов удержания плазмы, разработка и испытание феррито-марганцевых сплавов и высокотемпературных сверхпроводниковых материалов для первой стенки и элементов отвода тепла. До успешного решения указанных технологических задач инвестиции в полномасштабное строительство и запуск энергетических установок (CAPEX-стадия) сопряжены с неоправданно высоким риском финансовых потерь. Именно поэтому логичным и обоснованным является текущий подход государственной поддержки, предусмотренный постановлением Правительства РФ № 1649, предполагающий концентрацию бюджетных субсидий на финансировании прикладных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также испытательных стендов и инфраструктуры, а не на непосредственном сооружении энергоблоков токамаков.

5. Сравнение бюджетных линий

Отчет «Росатома» 2023 г. подтверждает, что расходы на Т-15МД и сопутствующие лаборатории учтены в ФЦП «Ядерные технологии», однако конкретная цифра в открытом сегменте не раскрывается; аналогично лимиты «Игнитора» и «Сферы» публикуются лишь агрегированно в государственной смете. Поэтому количественное сопоставление заменяем на качественное (табл. 4).

Таблица 4

Доступные источники финансирования токамаков

Источник	Форма	Публичность данных	Примечание
ФЦП «Ядерные технологии»	Бюджет	Частичная	Есть квартальные лимиты, но без разбивки
Программа НИОКР «Термоядерный синтез» Минобрнауки	Бюджет	Полная	Паспорта проектов размещены в ЕГИСУ НИОКР
Инвестиции ПАО «Росатом»	Корп. средства	Частичная	Консолидируется в годовом отчете
Международное сотрудничество (ITER-оснастка)	Совместное	Публичная отчетность ITER	Отдельно от Т-15МД

Источник: публичный отчет «Росатом» 2024; ЕГИСУ НИОКР

Низкая детализация бюджетной информации порождает информационный риск для инвесторов и препятствует независимому контролю эффективности расходования бюджетных средств.

6. Экономические перспективы интеграции майнинга в энергетические проекты

Дополнительным инструментом управления финансовыми рисками проектов термоядерного синтеза может выступать интеграция майнинга криптовалют на этапе доводочных пусков, когда энергопотребление токамака превышает генерацию [1]. Такая практика уже используется в некоторых энергопроектах, где майнинг помогает стабилизировать нагрузку на сеть, повышая общую экономическую эффективность установки за счёт дополнительного дохода, особенно при предоставлении льготного тарифа для энергоёмких дата-центров [7]. Включение такого механизма в финансовую модель проектов Т-15МД, «Игнитор» и «Сфера» требует более глубокого экономического и правового обоснования, однако его потенциальная эффективность подтверждается опытом мировых энергетических компаний, применяющих крипто-майнинг как средство балансировки сети и частично-го покрытия эксплуатационных затрат.

Заключение

По мнению Н.Е. Абрамовой [2], переход к «зеленой» экономике в России идет через сочетание ВИЭ и ядерных технологий. Электроэнергия синтеза может занять нишу «чистой базовой нагрузки», но лишь после снижения технологических рисков, что подтверждает отчет GAO 2023: «Economically viable fusion power not expected before 2040» [13].

Технологическая неопределенность остается главным барьером финансирования; господдержка должна фокусироваться на прикладных материалах и гибридных нейтронных источниках. Правовой риск несоблюдения КРП по ПП №1649 может привести к необходимости возврата до 70% полученных средств. Отсутствие публичных LCOE-оценок для Т-15МД и аналогичных установок требует разработки соответствующей методики, рекомендованной IEA. Информационный риск можно смягчить регулярной публикацией отчетов в ЕГИСУ НИОКР с детализацией освоения средств. На горизонте 2035–2040 гг. синтез способен дополнить портфель низкоуглеродных источников РФ, но точно не вытеснить зрелые ВИЭ.

Список источников

1. Болтинова О.В. Финансовый контроль за реализацией научных проектов класса «мегасайенс»: текущее состояние и перспективы совершенствования // *Актуальные проблемы российского права*, 2021, no. 4, с. 39-46.
2. Кучеров И.И., Абрамова Н.Е., Боженок С. Я., Веремеева О.В. *Цифровая сущность финансового права: прошлое, настоящее, будущее*. Москва, ИЗиСП; Юриспруденция, 2022. 272 с.
3. Макаров А.А., Митрова Т.А., Кулагин В.А. *Прогноз развития энергетики мира и России 2019*. ИНЭИ РАН – Московская школа управления «Сколково», Москва, 2019. 210 с.
4. Моттаева А.Б. Трансформация современной модели «низкоуглеродной» экономики // *E-Management*, 2024, no. 2 (7), с. 16-28.

5. Речкина Е.А., Терехов А.М. Энергетический кризис 2021-2022 гг. как предвестник смены энергетического уклада в мире // *Вестник университета*, 2024, no. 10, с. 131-141.
6. Родионова М.Е., Юшков И.В., Митрахович С.П. *Энергетика в современном мире*. Москва, КноРус, 2021, с. 17-35, с. 213-219.
7. *Bitcoin Mining Stabilizes Power Grids Strained by AI Data Centers*. Coindesk, 2024.
8. *Statistical Review of World Energy, Dataset 1965-2023*. London, Energy Institute, 2024.
9. *The Global Fusion Industry in 2023*. Washington DC, FIA, 2023, 96 p.
10. Gilbert A., Bazilian M.D., Gross S. The emerging global natural gas market and the energy crisis of 2021-2022 // *Foreign Policy, Brookings*, 2021, pp. 1-10.
11. *World Energy Outlook 2024*. Paris, IEA, 2024. 353 p.
12. *Renewable Power Generation Costs in 2023*. Abu Dhabi, International Renewable Energy Agency, 2024, 211 p.
13. *Fusion Energy. Potentially Transformative Technology Still Faces Fundamental Challenges (GAO-23-105813)*. Washington DC, GAO, 2023, 36 p.

ECONOMIC AND LEGAL ANALYSIS OF FINANCING RISKS IN NUCLEAR FUSION PROJECTS

Terehov Andrey Mihailovich, Cand. Sci. (Econ.)

Popkova Zhanna Georgievna, Cand. Sci. (Law.)

Skorodumova Ekaterina Alekseevna, B.A.

Volga Region branch of the Federal State Budget-Funded Educational Institution of Higher Education «Russian State University of Justice named after V.M. Lebedev», Gagarin Ave., 17 A, Nizhny Novgorod, Russia, 603022; e-mail: ekaterij03@icloud.com; terehoff.t@yandex.ru; zhp152@yandex.ru

Purpose: this research examines the financial and legal relationships surrounding the implementation of innovative projects for constructing next-generation thermonuclear installations, specifically the T-15MD, Ignitor, and Sfera tokamaks. *Discussion:* the study aims to identify credible risk factors affecting the financial sustainability of Russian tokamaks and benchmark them against the competitive energy generation landscape. *Research design:* the research design employs an analysis of the existing legal framework governing budgetary R&D subsidies, as well as an assessment of fusion energy prospects within the context of global decarbonization trends and a comparison with conventional and renewable energy sources based on data published by the International Energy Agency (IEA) and the Energy Institute. *Results:* the findings confirm the potential of fusion energy for Russia as a complement to renewables, contingent on establishing a comprehensive financing model, reorienting government support toward applied materials and hybrid neutron sources, developing an LCOE (Levelized Cost of Energy) assessment methodology, and mitigating information risks.

Keywords: Budgetary Subsidies, Renewable Energy Sources (RES), Research and Development (R&D), Financing Risks, Tokamak, T-15MD, Energy Strategy 2035.

References

1. Boltinova O.V. Financial control over the implementation of scientific projects of the megascience class: current status and prospects for improvement. *Actual Problems of Russian Law*, 2021, no. 4, pp. 39-46. (In Russ.)
2. Kuchеров I.I., Abramova N.E., Bozhenok S. Ya., Veremeeva O.V. *The digital essence of financial law: past, present, future*. Moscow, ILCL; Jurisprudence, 2022. 272 p. (In Russ.)
3. Makarov A.A., Mitrova T.A., Kulagin V.A. *Forecast of the development of energy in the world and Russia 2019*. ERI RAS – Moscow School of Management «Skolkovo», Moscow, 2019. 210 p. (In Russ.)
4. Mottaeva A.B. Transformation of the modern model of the “low-carbon” economy. *E-Management*, 2024, no. 2 (7), pp. 16-28. (In Russ.)

5. Rechkina E.A., Terekhov A.M. The energy crisis of 2021-2022 as a harbinger of a change in the energy structure in the world. *Vestnik Universiteta*, 2024, no. 10, pp. 131-141. (In Russ.)
6. Rodionova M.E., Yushkov I.V., Mitrokhovich S.P. *Energy in the modern world*. Moscow, KnoRus, 2021, pp. 17-35, 213-219. (In Russ.)
7. *Bitcoin Mining Stabilizes Power Grids Strained by AI Data Centers*. Coindesk, 2024. (In Eng.)
8. *Statistical Review of World Energy, Dataset 1965-2023*. London, Energy Institute, 2024. (In Eng.)
9. *The Global Fusion Industry in 2023*. Washington DC, FIA, 2023, 96 p. (In Eng.)
10. Gilbert A., Bazilian M.D., Gross S. *The emerging global natural gas market and the energy crisis of 2021-2022*. Foreign Policy, Brookings, 2021, pp. 1-10. (In Eng.)
11. *World Energy Outlook 2024*. Paris, IEA, 2024. 353 p. (In Eng.)
12. *Renewable Power Generation Costs in 2023*. Abu Dhabi, International Renewable Energy Agency, 2024, 211 p. (In Eng.)
13. *Fusion Energy. Potentially Transformative Technology Still Faces Fundamental Challenges (GAO-23-105813)*. Washington DC, GAO, 2023, 36 p. (In Eng.)