



DOI: <https://doi.org/10.15688/ek.jvolsu.2025.1.14>

UDC 330.101:339.9:658:504.03

LBC 65.01:65.5:65.2/4

Submitted: 02.09.2024

Accepted: 01.11.2024

USING DIGITAL TWINS TO COMBAT CLIMATE CHANGE IN BRICS COUNTRIES

Tatyana G. Krotova

Moscow State Institute of International Relations (University) of the Ministry of Foreign Affairs
of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

Elena B. Zavyalova

Moscow State Institute of International Relations (University) of the Ministry of Foreign Affairs
of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

Sergei N. Sinitsyn

Moscow State Institute of International Relations (University) of the Ministry of Foreign Affairs
of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

Abstract. The dynamics show that on a global scale there is a steady trend towards an increase in the level of environmental pollution. The main contributors to the global pollution are the most dynamically developing countries, especially the BRICS members. The hypothesis is that in conditions where traditional methods do not lead to the desired result, a tool is necessary. Digital twin technology can serve as such a tool. To check the hypothesis, the authors analyze the practice of creating and implementing digital twins in China, India, Brazil, and Russia. The choice of the countries was based on the data on the share of different countries in total emissions presented by the European Commission. In each country, the authors studied the mostly successful projects in terms of achieving national environmental goals. The significance of the study is in a new approach to the problem of reducing greenhouse gas emissions in the BRICS member countries, which are one of the main sources of pollution in the world. The authors take as a basis for their analysis data on the main sources of environmental pollution and offer options for reducing these emissions by creating digital twins. It is stated that the use of digital twins is not as expensive as switching to renewable energy sources and provides better indicators for modernizing production and management systems. The scientific novelty of the study lies in the fact that the authors are exploring alternative mechanisms for reducing environmental pollution compared to those practiced by the European Commission. Instead of assigning quotas and high fines for industrial emissions, as well as the transition to electric vehicles and renewable energy sources, the authors propose a systematic approach to modernizing production, construction, and urban management methods using digital twins of a real object. The technology allows not only to make management more efficient and reduce costs but also to achieve goals to reduce greenhouse gas emissions.

Key words: digital twins, smart cities, ecology, environmental agenda, achieving carbon neutrality, digital twin of a nuclear power plant, digital twin of a field.

Citation. Krotova T.G., Zavyalova E.B., Sinitsyn S.N. Using Digital Twins to Combat Climate Change in BRICS Countries. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika* [Journal of Volgograd State University. Economics], 2025, vol. 27, no. 1, pp. 167-180. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.15688/ek.jvolsu.2025.1.14>

**ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ
ДЛЯ БОРЬБЫ С ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА
СТРАНАМИ – ЧЛЕНАМИ БРИКС****Татьяна Григорьевна Кротова**Московский государственный институт международных отношений (университет)
Министерства иностранных дел Российской Федерации,
г. Москва, Российская Федерация**Елена Борисовна Завьялова**Московский государственный институт международных отношений (университет)
Министерства иностранных дел Российской Федерации,
г. Москва, Российская Федерация**Сергей Николаевич Сеницын**Московский государственный институт международных отношений (университет)
Министерства иностранных дел Российской Федерации,
г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В первой части исследования авторы последовательно рассматривают динамику выбросов парниковых газов в мировом масштабе и анализируют источники этих выбросов. Анализ данных показал, что в глобальном масштабе за исключением 2020 г. наблюдается устойчивая динамика к увеличению уровня загрязнения окружающей среды. Далее было установлено, что главными источниками глобального загрязнения являются наиболее динамично развивающиеся страны, особенно страны БРИКС. Полученные результаты позволили авторам сформулировать гипотезу, что в условиях, когда традиционные методы не приводят к желаемому результату, необходим поиск новых инструментов. В качестве такого инструмента может выступить технология цифрового двойника. Соответственно, во второй части статьи авторы анализируют опыт создания и внедрения цифровых двойников в Китае, Индии, Бразилии и России. Критерием для выбора стран послужили данные Еврокомиссии по доле разных стран в общем объеме выбросов. Критерием для отбора проектов для анализа послужил успешный опыт в сравнении с другими странами и эффективность с точки зрения реализации национальных экологических целей. Значимость исследования заключается в новом подходе к решению задачи сокращения выбросов парниковых газов в странах – членах БРИКС, которые являются одними из основных источников загрязнения в мире. Авторы берут в качестве базы анализа данные об основных источниках загрязнения окружающей среды и предлагают варианты сокращения этих выбросов, опираясь на опыт различных стран БРИКС в создании цифровых двойников, применение которых не столь затратно, как переход на ВИЭ, и дает лучшие показатели по модернизации производства и систем управления и сокращению вредных выбросов. Научная новизна исследования заключается в том, что авторы исследуют альтернативные механизмы для сокращения загрязнения окружающей среды по сравнению с практикуемыми Еврокомиссией. Вместо назначения квот и высоких штрафов на промышленные выбросы, перехода на электромобили и ВИЭ авторы предлагают системный подход к модернизации производства, строительства и методов ведения городского хозяйства с применением цифровых двойников реального объекта, позволяющих не только сделать эффективнее управление и сократить расходы, но и достичь целей по сокращению выбросов парниковых газов.

Ключевые слова: цифровые двойники, умные города, экология, экологическая повестка, достижение углеродной нейтральности, цифровой двойник АЭС, цифровой двойник месторождения.

Цитирование. Кротова Т. Г., Завьялова Е. Б., Сеницын С. Н. Применение цифровых двойников для борьбы с изменением климата странами – членами БРИКС // Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика. – 2025. – Т. 27, № 1. – С. 167–180. – DOI: <https://doi.org/10.15688/ek.jvolsu.2025.1.14>

Введение

Развитие технологий цифрового двойника на сегодняшний день является одной из самых обсуждаемых тем в научном мире. В основу данного исследования легли теоретические работы, посвященные вопросам влияния цифровых двойников на трансформацию госуправления и менеджмента, влияния этой технологии на изменение макроэкономических показателей, а также отчеты компаний и международных организаций, занятых внедрением технологии на практике.

Среди работ, посвященных теоретическим аспектам влияния цифровых технологий, наиболее значимыми для представленного исследования стали работы К. Шваба, Т. Салдана, Дж.-Л. Арриджи. При рассмотрении и анализе опыта применения цифровых двойников авторы пользовались подходами таких ученых и практиков, как П. Вайл, С. Ворнер, В. Кулагин, А. Сухаревски, Ю. Мефферт, А. Шарма, Г. Шилдт, Д. Альстром. Среди российских исследователей необходимо отметить И.А. Стрелец, Е.Б. Тищенко, М.В. Славянцева, М.В. Сафрончук. Помимо ученых, вопросами, связанными с изучением и созданием цифровых двойников, занимаются множество технологических институтов и компаний мира, среди них: Массачусетский технологический институт, Кембриджский университет, МГТУ им. Баумана, МФТИ, МИФИ, компании GE, Газпром Нефть, Лукойл, РЖД, Статконтроль и многие другие. Главной проблемой остается то, что при всем обилии научной литературы до сих пор не систематизированы предпосылки и подходы к созданию цифровых двойников для снижения именно экологической нагрузки, не проводилось масштабных комплексных исследований, как применение этой технологии может влиять на сокращение вредных выбросов в атмосферу, а следовательно, на достижение национальных экологических целей. Научная задача данной статьи – восполнить этот пробел.

За основу исследования предлагается взять статистику по выбросам парниковых газов по странам мира, которую предоставляет Европейская Комиссия. Согласно опубликованным данным, крупнейшими источниками выбросов парниковых газов в атмосферу в

2022 г. являлись: Китай, США, Индия, 27 стран ЕС, Россия и Бразилия. Их общая доля в мировых выбросах парниковых газов составляла 61,6 %. Три страны из этого списка – участники БРИКС. При этом наибольший прирост выбросов парниковых газов был зафиксирован в Индии (+5 %), а Россия продемонстрировала наибольшее сокращение выбросов (–2,4 %) (EDGAR Report 2023). При этом общий объем выбросов в мировом масштабе неуклонно растет. Так, по данным Глобальной платформы для сбора данных и бизнес-аналитики, глобальные выбросы углекислого газа (CO₂), измеряемые в млрд метрических тонн, с 2000 г. по настоящее время выросли почти в полтора раза. А если учесть, что эксперты платформы оценивают динамику с 1940 г., то за этот период выбросы увеличились в семь с половиной раз [Annual Carbon Dioxide ...].

Эти неутешительные показатели дают основания предположить, что применяемые на сегодняшний день методы недостаточно эффективны. В сложившихся условиях крайне важным представляется применение технологий, позволяющих быстро и эффективно сократить выбросы вредных веществ. Одной из ключевых в этой связи является технология создания цифровых двойников, которая позволяет избежать крупных техногенных аварий, снизить энергопотребление на производстве, контролировать и сокращать выбросы [A Comprehensive Review ... , 2021; Industry 4.0 ... , 2022]. Крупные экологические проекты уже проводятся с использованием технологии цифровых двойников. Например, строительство крупнейшей в Азии станции очистки сточных вод Бэйху в Китае. Индия и Бразилия применяют технологию цифровых двойников при проектировании городов, что помогает снизить энергопотребление в них. Россия активно использует создание цифровых двойников на месторождениях нефти в Сибири и на арктическом шельфе. Российская компания Росатом строит АЭС «Куданкулам» с применением самых передовых технологий, в том числе технологии цифрового двойника для безопасности и защиты окружающей среды.

Цель исследования – определить роль технологий цифровых двойников в достижении положений климатической повестки, заданной Парижским соглашением по климату.

Для достижения цели предполагается решить следующие задачи:

- проанализировать данные о выбросах парниковых газов;
- определить те свойства цифровых двойников, которые могут способствовать снижению нагрузки на окружающую среду;
- проанализировать лучшую практику Индии, Китая, Бразилии и России.

Объекты и методы исследования

При написании работы использовались методы сравнения, статистический и эконометрический методы. Анализ проводился на базе отчетов международных компаний и энергетических агентств. Все выводы, полученные в результате анализа статистики, затем соотносились с опытом практической реализации программ на национальном и корпоративном уровне.

Результаты и обсуждение

Несмотря на принимаемые мировым сообществом меры рост уровня загрязнения окружающей среды остановить пока не удастся. При этом более 70 % выбросов приходится на страны, являющиеся главными драйверами современной мировой экономики.

Согласно отчету Европейской Комиссии «Выбросы парниковых газов стран мира» [GHG Emissions ...], лидерами по загрязнению являются 6 стран (ЕС в составе 27 стран принимается за единое государственное образование): Китай, США, Индия, 27 стран ЕС, Россия и Бразилия (рис. 1).

Суммарная доля выбросов основных шести эмитентов парниковых газов составляет 61,6 %. На три страны – члена БРИКС из них приходится 41,3 % мировых выбросов парниковых газов [EDGAR Report 2023].

Выбросы парниковых газов неуклонно растут с начала тысячелетия. В основном этот рост происходит за счет увеличения выбросов углекислого газа Китаем, США и Индией, связано это с ростом промышленного производства в этих странах и потребностью в связи с этим большого количества энергии [Industry 4.0 ... , 2022].

В ковидный 2020 г., когда производства вынужденно останавливались из-за введенных карантинных мер, показатели выброса парниковых газов снизились. Однако в 2021 г., с открытием производства, выбросы вернулись к уровню 2019 г., в 2022 г. мировые выбросы парниковых газов выросли на 1,4 % [EDGAR Report 2023].

Большая часть выбросов в 2022 г. приходилась на ископаемый CO₂ – 71,6 % суммарного

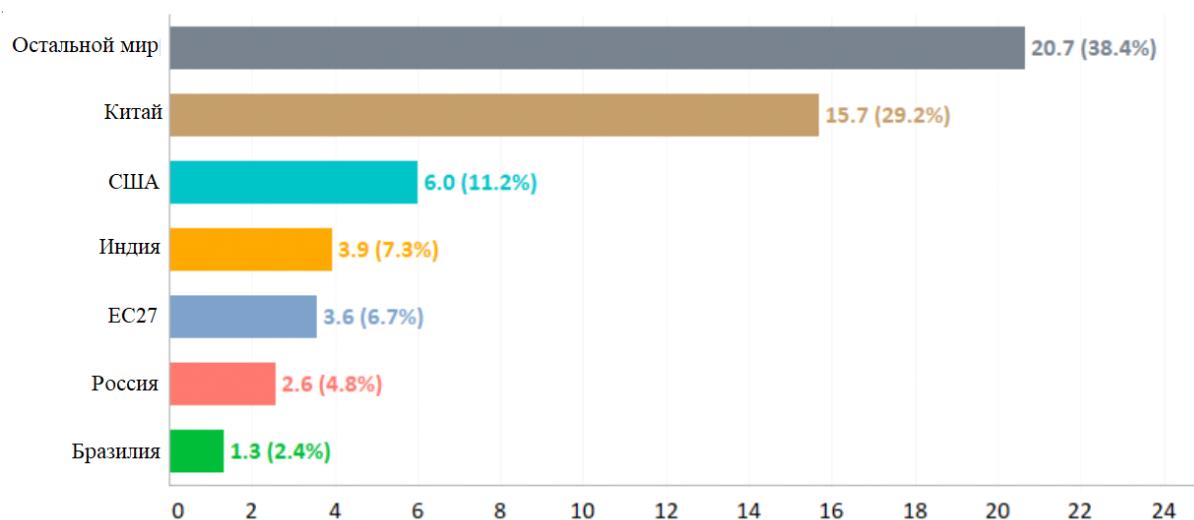


Рис. 1. Выбросы парниковых газов по странам в 2023 г., в абсолютных показателях (Гт в CO₂ эквиваленте) и в процентах от общего количества выбросов парниковых газов на планете

Fig. 1. Greenhouse gas emissions by countries in 2023, in absolute terms (Gt in CO₂ equivalent) and as a percentage of total greenhouse gas emissions on the planet

Примечание. Составлено авторами по: [EDGAR Report 2023].

объема парниковых газов. Доля метана в выбросах составляла 21 %, доля N_2O – 4,8 % и доля F-газов – 2,6 %. Интенсивнее всего выбросы росли в Индии, +5 % по сравнению с 2022 годом. Это связано в первую очередь с тем, что Индия бурно развивает промышленность, требуется много ископаемого топлива для производства энергии.

Заметим, что выбросы ископаемого углекислого газа увеличились более чем на 70 % по сравнению с 1990 г., взятым за базу в отчетах. Рост выбросов метана составил 32,4 %, NO_2 – 36,5 %, а выбросы F-газов увеличились в 4 раза [EDGAR Report 2023].

Для того чтобы принимать меры по сокращению выбросов парниковых газов, надо выявить основные источники выброса парниковых газов.

Как мы видим из рисунка 2, больше всего выбросов в атмосферу парниковых газов производит энергетический и промышленный комплексы, прежде всего из-за сжигания угля для получения электричества, свой вклад вносит транспорт. Особую тревогу вызывает динамика роста выбросов твердых бытовых отходов. Хотя эта категория пока не вошла

в список «лидеров», но в последние годы отмечается ее опережающий рост.

Встает вопрос: как мы можем сократить эти выбросы в ближайшие годы для соблюдения климатической повестки, заданной Парижским соглашением по климату?

Европейцы в «Зеленой сделке» заявляют, что надо переходить на возобновляемые источники энергии, то есть на энергию, генерируемую солнечными панелями, ветрогенераторами или приливными станциями. Помимо высокой стоимости, у этих источников есть масса ограничений, и они не подходят для металлургии, химической и добывающей промышленности из-за высокой энергоемкости этих отраслей и нестабильности энергии, поступающей от ветра и солнца.

Авторы утверждают, что с сокращением выбросов парниковых газов в указанных отраслях может помочь применение технологии цифровых двойников. Причем, технология позволяет сократить выбросы быстро и относительно недорого. Рассмотрим примеры применения технологии цифровых двойников в самых «загрязняющих» отраслях на пространстве БРИКС и дальнейшие перспективы ее использования.

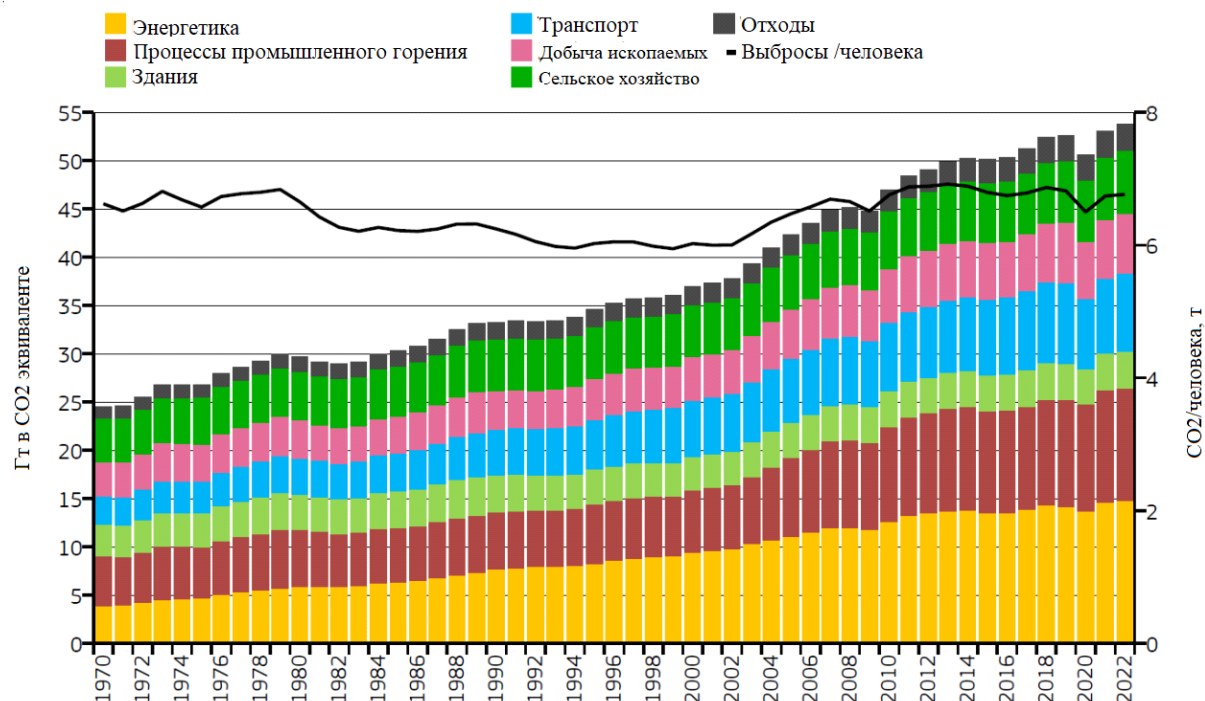


Рис. 2. Основные источники выбросов парниковых газов

Fig. 2. Main sources of greenhouse gas emissions

Примечание. Составлено авторами по данным доклада Европейской Комиссии: [EDGAR Report 2023].

Цифровой двойник – это цифровое представление реального объекта, программный аналог этого объекта, в котором моделируются внутренние процессы и воздействия окружающей среды [Жилкина, 2022]. Цифровой двойник применяется во многих отраслях от медицины до моделирования космических аппаратов. Общая идея создания цифрового двойника сводится к тому, что в цифровой среде создается модель реального объекта (3D-модель или схема), с реального объекта снимаются показатели, обычно это делается с помощью различных датчиков, и затем показатели передаются на созданную модель. Далее добиваются того, чтобы модель вела себя также, как реальный объект. После этого модель будет помогать находить экстремальные значения в различных узлах и сигнализировать об этом, напоминать о необходимости профилактики узлов, находить «узкие» места в работе системы, то есть узлы системы, снижающие пропускную способность всей системы, а следовательно, ее эффективность.

Существует сценарный анализ «что, если». Он применяется как для моделирования аварийных ситуаций, так и для тестирования возможных изменений системы. Например, что будет, если поставить определенный фильтр в системы выброса отработанного газа или в трубе,

через которую сточные воды сливаются в реку. Бывают ситуации, когда объект появляется еще до того, как его сделают в реальности. Так проектируют новые узлы, например, турбины для самолета, или целый самолет, шаттл. Также цифровой двойник помогает при проектировании, строительстве новых объектов или модернизации уже существующих. В данном случае применение технологии помогает значительно сократить время реконструкции или возведения объекта, а также заложить в него все необходимые экологические параметры.

Как было установлено, основными источниками загрязнения стали такие сферы, как энергетика и транспорт, потенциально опасным можно считать увеличение доли показателя «отходы». Рассмотрим, как технологии цифровых двойников применяются в каждой из них и какие последствия в плане улучшения экологической обстановки были отмечены после их внедрения.

Применение цифровых двойников в энергетике

Разберемся, как работает цифровой двойник в энергетике (рис. 3).

Прежде всего, инженеры рисуют схему энергетической системы. Эту схему реализуют

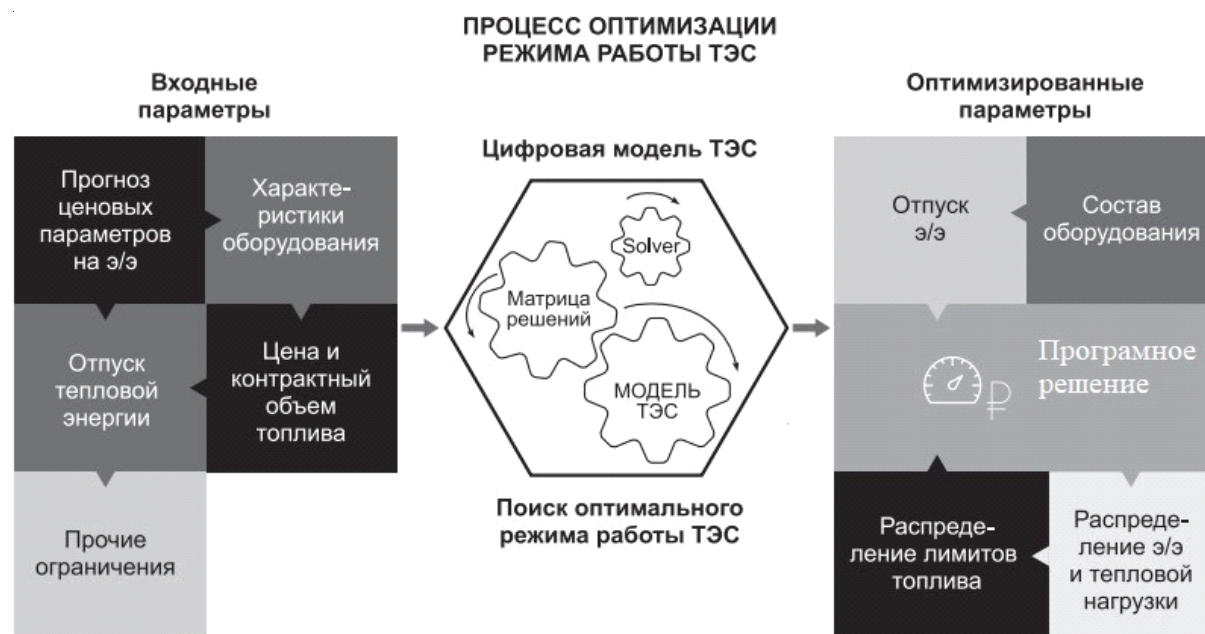


Рис. 3. Схема оптимизации режима работы ТЭС с применением цифрового двойника

Fig. 3. Scheme for optimizing the operating mode of thermal power plants using a digital twin

Примечание. Составлено авторами по: [Оптимизация режимов работы ...].

в программе. Получившееся цифровое зеркало связывают с реальной системой, передавая показания с реальных приборов и датчиков на цифровые аналоги в схеме. Далее идет отладка программы, в ходе которой добиваются практически полного соответствия работы реальной и виртуальной энергетических систем. В обычном режиме работы цифровая система с определенной периодичностью подключается к реальной, получает информацию с датчиков, плюс информацию о температуре наружного воздуха, влажности и других внешних параметрах. Система оповещает операторов об отклонениях системы от нормы и учится на основании принятых решений. Предупреждает о необходимости профилактики и замены узлов энергоблока, помогает предотвратить аварии [A Comprehensive Review ... , 2021]. Представить себе механизм работы такой системы можно на примере цифровой ТЭС, где накоплен самый большой опыт.

Модель цифровой электростанции позволяет просчитывать различные сценарии и находить потери «утечки» в контурах станции, благодаря математическим моделям, лежащим в их основе. Эти модели позволяют просчитать оптимальные сценарии работы электростанции, учитывая наиболее эффективное распределение нагрузки, выполнение условий договоров на поставку топлива и договоров на продажу электроэнергии. Из тысячи возможных сценариев можно выбрать сценарий максимизации прибыли в условиях существующего энергокомплекса или провести сценарный анализ по схеме «что, если», сделать ремонт. Поставить дополнительный узел в энергоустановку. Также можно исходить из приоритета минимизации тепловых потерь и выбросов, то есть поставить во главу угла вопрос экологии. В этом случае цифровая модель подберет режим работы существующей электростанции, позволяющий минимизировать выбросы вредных веществ, а также рассчитать эффект от установки дополнительных блоков в систему, например, новых фильтров.

Цифровые двойники могут применяться практически на любых энергетических установках: ТЭС, ТЭЦ, парогазовых и газотурбинных установках. Например, на ТЭЦ цифровой двойник помогает выбрать наиболее эффективный режим расхода топлива [Digital Twins ... ,

2023], контролируя в реальном времени количество энергии, необходимое тому или иному потребителю, не допуская «перетоков». Это экономит и деньги поставщика энергии, и сокращает количество выбросов вредных веществ в атмосферу и выделение лишнего тепла в системах охлаждения и на отапливаемых объектах [Зачем энергетике ...].

Цифровые двойники позволяют сократить повреждаемость теплосетей в среднем на 10 %, тепловые потери на 1,5 %, снижают потребление топлива и количество выбросов на 0,7–6 % [Оптимизация режимов работы ...].

Анализ опыта стран БРИКС показывает, что нет однозначного лидера по энергетике в целом. Так, Китай более успешен в создании цифровых двойников ТЭС, а Россия – один из мировых лидеров в сфере атомной энергетики.

Представляется, что начать анализ следует с КНР. Как мы видели выше, Китай является лидером по выбросам парниковых газов не только среди стран БРИКС, но и глобальным. Китайское правительство заявило о достижении пика выбросов парниковых газов в 2030 г., но уже в 2060 г. страна должна стать углеродно нейтральной. Для реализации этих амбициозных планов в 2015 г. был разработан план по достижению сверхнизких выбросов угольными ТЭС, подлежащими реконструкции. Это предполагает, что содержание сажи в выбросах должно быть меньше 10 мг/м³, оксида серы – меньше 35 мг/м³, а оксида азота – меньше 50 мг/м³. Благодаря реализации этого плана уже в 2021 г. в Китае был создан целый кластер угольных ТЭС со сверхнизким выбросом загрязняющих веществ в атмосферу, суммарная мощность которого составляет 93 % мощности всех угольных электростанций Китая. Суммарные выбросы страны после этой модернизации составили: сажи – 123 000 т (что на 69 % меньше, чем в 2015 г.), SO₂ – 547 000 т (что на 73 % меньше, чем в 2015 г.), NO_x – 862 000 т (то есть на 52 % меньше аналогичного показателя 2015 г.). Для этого на старых ТЭС были заменены старые энергоблоки и установлены новые, отличающиеся высокой мощностью, эффективностью, сверхнизким уровнем выбросов загрязняющих веществ и расходования воды. Высокий уровень автоматизации и использование программного обеспечения, позволяющего выбрать оптимальный

режим работы энергоблока, помогает достигать таких показателей.

Переходя к опыту России, следует отметить, что атомная энергетика изначально является одной из самых экологически чистых в процессе эксплуатации, то есть АЭС практически не выбрасывают в атмосферу парниковых газов, вырабатывая электроэнергию. Ее развитие и замена угольных электростанций на атомные обозначало бы тотальное снижение выбросов CO_2 . Однако опасность представляют потенциальные аварии на атомных электростанциях, подобные аварии на Чернобыльской АЭС или в Фукусиме. Поэтому главная задача цифрового двойника АЭС – предупредить и избежать такие аварии. Цифровой двойник от Росатома, компании-лидера по применению цифровых двойников в России, называется «Виртуально-цифровая АЭС». Он был разработан в 2020 г. и применен на 6-м энергоблоке Нововоронежской АЭС [Создание цифрового двойника ... , 2018].

В настоящий момент эта технология используется в совместном российско-индийском проекте. Корпорация Росатом строит в Индии атомную электростанцию «Куданкулам», проектная мощность составит 6 ГВт [Машиностроительный дивизион Росатома ...]. В состав АЭС будет входить шесть энергоблоков, работать она будет на современном ядерном топливе, поставляемом из России в восемнадцатимесячном цикле.

Применение цифрового двойника на АЭС «Куданкулам», с одной стороны, сложнее, потому что строительство ведется с нуля, с другой – проще. Дело в том, что сбор данных со всех элементов энергоблоков осуществляется различными датчиками, причем датчики эти должны быть специализированные, готовые к работе в условиях высокой радиации. На действующих энергоблоках их установка весьма затруднена из-за крайне опасных для человека условий внутри энергоблока. При строительстве все датчики могут быть установлены в еще «холодном» реакторе и бассейне с охлаждающей жидкостью.

Далее эти датчики будут собирать данные уже в рабочем процессе и передавать их в центр управления АЭС. Цифровой двойник будет отслеживать состояние ректора (температуру, давление и т. д.), сигнализировать об от-

клонении параметров от нормы, поможет в принятии решений, позволит протестировать различные сценарии работы энергоблока, в том числе и аварии в различных узлах реактора, напомнит о необходимости профилактического обслуживания и замены оборудования.

Это, скорее всего, только начало во взаимодействии Индии и России в сфере мирного атома. Известно, что уже есть договоренности по строительству второй АЭС Росатомом на территории Индии [Машиностроительный дивизион Росатома ...].

Завершая анализ применения цифровых двойников в энергетике, следует уделить особое внимание такому новому важному направлению, как добывающая промышленность. Одним из самых главных источников метана и углеводорода является добыча нефти. Снижение выбросов парниковых газов при добыче – первоочередная задача нефтедобывающей промышленности.

Интересное решение представляет компания «Газпром нефть» в Ханты-Мансийске, где она создала цифровой двойник одного из самых перспективных месторождений нефти. Он показал высокий экономический эффект после внедрения – дополнительный миллиард рублей в год от роста добычи и сокращение затрат на ремонтные работы и простой скважин. Но нас сейчас интересует сокращение выбросов парниковых газов, которому способствовало внедрение двойника [Газпромнефть создала ...].

Выделение парниковых газов при добыче, проработке и транспортировке ископаемых видов топлива является одним из основных источников CO_2 в атмосфере, однако, при современных технологиях, позволяющих использовать попутный газ для генерации электричества, обеспечивая циркуляционность и энергоэффективность производства, выбросы в атмосферу можно сократить до 2–6 % [Примеры оптимизации выбросов ...]. Дело в том, что природный газ, который добывают в составе смеси (нефть, вода, газ) на месторождении, обычно сжигался на факелах, так как его транспортировка зачастую оказывалась экономически невыгодной по сравнению с прокачкой нефти. В ХМАО на месторождении, благодаря сценарному анализу в цифровом двойнике, было принято решение ввести в действие газотурбинные установки, которые

работают на попутном природном газе. Электричество, генерируемое на этих установках, позволяет не только питать месторождение, но и продавать электроэнергию в Россети для снабжения Ханты-Мансийска [ПМЗ поставил ГТУ ... , 2024].

Управление твердыми бытовыми отходами и сточными водами

Еще одной мировой проблемой представляется рост количества бытовых отходов, являющихся источниками метана и других парниковых газов, и загрязняющих почвы и воды.

По данным Всемирного Банка мировые темпы образования твердых бытовых отходов неизменно растут. Только в 2020 г. в мире было образовано 2,24 млрд т, что соответствует 0,79 кг на человека в день, причем в этот ковидный год было образовано большое количество отходов одноразовых изделий: тесты, маски, перчатки. Это легло непомерным грузом на системы переработки мусора [Global Waste Index 2022]. При сохранении современных темпов роста населения и урбанизации, количество твердых бытовых отходов, ежегодно образующихся на планете, к 2050 г. увеличится до 3,88 млрд т, то есть вырастет на 73 %. Стоит отметить, что от нерационального обращения с бытовыми отходами больше страдают жители бедных кварталов в развивающихся и слабо развитых странах. В странах с низким уровнем доходов более 90 % бытовых отходов сжигается открытым способом или вывозится на нерегулируемые свалки. Именно такие свалки являются источниками метана и других вредных веществ.

Исследования Всемирного банка говорят о том, что управление и переработка твердых бытовых отходов очень дорого стоит городским муниципалитетам, от 20 до 50 % всего городского бюджета [Solid Waste Management]. Всемирный банк проводит консультативную поддержку по вопросам управления твердыми отходами, делая упор на займы и финансирование, однако, важно раскрыть, как наиболее эффективно использовать средства для максимально эффективной и наименее затратной технологии переработки мусора [Solid Waste Management].

Вновь начнем анализ с КНР. В стране реализуется ряд интересных проектов, от-

носящихся к переработке твердых бытовых отходов.

Проект Шэньчжэньского восточного завода по переработке отходов в энергию (Shenzhen East Waste-to-Energy Plant) – гигантский завод по переработке отходов в энергию. Он строится в Шэньчжэне. Завод позволяет перерабатывать рекордные 5,6 тыс. т мусора в день. Полученную при сжигании твердых отходов энергию преобразуют в электрическую энергию. Проектная мощность станции составляет 165 МВт. Когда завод выйдет на проектную мощность, он будет перерабатывать треть отходов, образующихся в Шэньчжэне и генерировать 550 млн кВт/ч электроэнергии в год [Герасимов и др., 2023].

При строительстве была использована технология цифрового двойника CNIM Digital Twin [CNIM ENVIRONNEMENT ...]. Проект очень сложный и дорогой, технология WTE (переработки отходов в энергию) на порядок дороже обычного мусоросжигательного завода. Кроме того, перед проектировщиками была поставлена задача минимизации площади строительной площадки для снижения нагрузки на окружающую среду. Было принято решение построить здание круглой формы (а не прямоугольное, как обычно), чтобы сократить объем земляных работ и свести к минимуму площадь установки. Проект разрабатывался с 2016 года. Все шесть колосниковых решеток, система подачи на эти решетки, котел, центральный турбоагрегат со сдвоенными дымовыми трубами, гидравлические системы были сначала реализованы в цифровом пространстве. Кроме того, проект завода предполагает, что на крыше завода, составляющей 66 000 кв. м, будет смонтировано 44 000 кв. м солнечных панелей для производства электричества для нужд завода. Управляться вся сложная система будет из центра принятия решений, куда будут передаваться все показатели с приборов и узлов, в том числе показатели выброса вредных веществ в атмосферу.

Аналогичный проект возводится в другой провинции Китая – Тяньцзине. Использование технологии цифрового двойника позволяет до минимума сократить время проектирования при реализации типовых проектов, максимально сократить ошибки при проектировании и время простоя строительных бригад [Стрелец, 2019].

Китай не единственная страна БРИКС, имеющая положительный опыт в этой сфере. В настоящее время в другой стране БРИКС – ОАЭ – планируется постройка подобного мусороперерабатывающего завода с использованием технологий WTE и цифрового двойника. Он будет располагаться в Шардже. Стоимость проекта составляет 220 млрд долл. США, проектная мощность переработки твердых отходов 37,5 тыс. т в час для 30 МВт электричества [Sharjah Waste-to-Energy Project ...]. Реализация этого проекта позволит достичь нулевого вывоза твердых отходов на свалки в Шардже.

Если говорить об управлении сточными водами, то здесь лидером опять является Китай. В КНР строится крупнейшая в Азии станция по очистке сточных вод. Проект Бэйху покрывает порядка 130 кв. км сетей канализации, которые обслуживают 2,48 млн человек. Площадь самих очистных сооружений будет составлять 532 тыс. кв. км, проектная мощность на финальном этапе будет составлять 1,5 млн т очистных вод в сутки. Для реализации этого сложнейшего проекта компания China Railway Shanghai Engineering применяет технологию цифрового двойника. В данном случае проект сначала был реализован в цифровом пространстве, все 30 объектов: насосные станции, фильтры, сепараторы, распределительные скважины [Стрелец и др., 2020]. Цифровой двойник позволяет смоделировать процессы усадки и деформации, использует интерактивного цифрового двойника при реализации проектов очистных сооружений, включающих высокочувствительные мембранные и биологические бассейны, вышеуказанные процессы в которых могут привести к растрескиванию, затягиванию и удорожанию проекта. Кроме того, перед инженерами поставлена сложно выполняемая задача производства минимальных доработок на местности при монтаже встроенных втулок в конструкциях и размещении технологических отверстий. Чтобы реализовать этот проект, компания использовала технологию BIM [Тищенко и др., 2024]. Создание проекта в цифровом пространстве при таком подходе начинается с скрупулезной съемки местности с беспилотных аппаратов, чтобы точно расположить построенные узлы системы на месте. В цифровом двойнике проектируется все: от моделирования арматуры до проекти-

рования стройплощадки, максимально эффективной и безопасной.

Реализация проекта с использованием этой технологии уже позволила добиться значительной рентабельности инвестиций в проект. Использование математических моделей в расчетах двойника значительно упростило проектирование и сборку высокочувствительных стенок бассейна (на этом этапе было сэкономлено 2,3 млн юаней), изменение способа проектирования и монтажа арматуры, выбранный благодаря двойнику, сэкономило 1,71 млн юаней и 25 рабочих дней; формирование графика выполнения работ бригадами с помощью двойника позволило сократить сроки строительства еще на 121 день, что сэкономило дополнительно 1,27 млн юаней [Шор, 2022].

Снижение выбросов парниковых газов от транспорта благодаря реализации концепции «умного города»

Как правило, транспортная проблема рассматривается в рамках более комплексного подхода, а именно в рамках создания цифровых двойников городов. Решить эту проблему именно таким путем пытаются в Индии и Бразилии, где города очень густо населены. В Индии были созданы цифровые двойники уже более ста городов, от Нью-Дели до Солапура. В Бразилии уже на 2020 г. насчитывалось 166 стартапов в области концепции «умного города», привлечших 50 млн долл. США инвестиций [Smart Cities Report 2020].

Большинство решений было представлено в области городской мобильности. Выбросы от городского транспорта тем больше, чем больше на дороге машин и чем больше времени они простаивают в пробках с не заглушенными двигателями. Следовательно, снижение проблемы выбросов от транспорта в городе – это проблема городской инфраструктуры и доступности общественного транспорта по сравнению с транспортом личным. Цифровой двойник города помогает решить эти проблемы.

Цифровой двойник города – это не только 3D-модель его улиц. В цифровой копии города отражены послойно дорожная сеть, сети водопроводных и электрических, оптоволоконных и газовых коммуникаций. Многочисленные датчики собирают информацию о системах

жизнеобеспечения города и передают ее в центры обработки данных. Благодаря сценарному анализу градостроители могут отрабатывать различные сценарии прокладки новых дорог и модернизации старых, выбирать из них не только реализуемый с учетом существующих коммуникаций, но и добиваться наибольшей пропускной способности дорог. Планирование сетей и маршрутов городского наземного транспорта и моделирование новых веток метро, пересадочных узлов и перехватывающих парковок в самых густонаселенных районах помогает сделать общественный транспорт более привлекательным, что будет стимулировать людей отказаться от личного транспорта и пересесть на общественный. Система датчиков под дорожным покрытием, интеллектуальные дорожные камеры и «умные» светофоры помогают следить за обстановкой на дорогах, быстрее выезжать на места аварий, переключать сигналы светофора в зависимости от загруженности перекрестков.

Повысить энергоэффективность города также поможет цифровой двойник. Датчики освещения помогают реализовать концепцию «умного» уличного освещения. Это возможно в двух вариантах: либо уличное освещение загорается и гаснет в зависимости от продолжительности светового дня и освещенности на улице, либо фонари на улице загораются, реагируя на движение и вовсе не горят, когда на улице никого нет. Подачу тепла в дома также помогает регулировать цифровой двойник города, а также оптимизировать расход ресурсов, электричества, воды – все это помогает стать городу максимально энергоэффективным и снизить экологическую нагрузку.

Помимо всего вышесказанного, цифровое зеркало города помогает предвидеть проблемы и чрезвычайные ситуации, прорабатывать сценарии пожаров, землетрясений, наводнений и других стихийных бедствий, чтобы в случае опасности иметь возможность подготовиться и максимально нивелировать последствия, избежать экологических катастроф.

Выводы

Авторами был произведен анализ источников загрязнения как на мировом уровне, так и в рамках БРИКС. При анализе мировой ста-

тистики преследовалось две цели: оценить эффективность общепринятых мер борьбы с загрязнением окружающей среды и определить основные источники этого загрязнения на текущем этапе. Было установлено, что несмотря на применяемые мировым сообществом усилия, в частности меры, одобренные Еврокомиссией, выбросы в атмосферу растут опережающими темпами. Главными источниками в мировом масштабе с точки зрения географии являются быстро растущие страны БРИКС, а с точки зрения производственной деятельности – энергетика, промышленное производство, транспорт и сельское хозяйство. Кроме этого, опережающими темпами растет доля такого источника, как выбросы твердых коммунальных отходов. Сопоставление этих данных с доступной статистикой по странам БРИКС позволило выделить наиболее актуальные проблемы именно для этой группы стран. А именно, основными источниками для них являются энергетика, транспорт и отходы.

С целью проверки гипотезы, что технологии цифрового двойника могут помочь в решении экологической проблемы, авторами был проведен анализ лучших практик стран БРИКС именно в этих отраслях. Было выявлено, что наибольших успехов смогли добиться только три страны: Россия, Китай и Индия. Китай является бесспорным лидером в создании цифровых двойников ТЭС и в работе с твердыми бытовыми отходами. Индия достигла серьезных успехов с точки зрения уменьшения экологического следа в сфере создания цифровых двойников городов. Россия держит пальму первенства в создании цифровых двойников атомных станций.

Главным ограничением исследования является тот факт, что технологии цифровых двойников объектов в экологических проектах находятся только в самом начале массового внедрения, поэтому нет достаточно масштабной базы данных, тем более за длительный период, чтобы просчитать экономическую и экологическую эффективность. Однако уже сейчас очевидно, что на краткосрочном горизонте в странах, проанализированных авторами, удалось сократить бюджетные расходы, повысить уровень безопасности и привлечь инвестиции в создание новых современных технологических объектов, отвечающих самым строгим экологическим требованиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Газпромнефть создала цифровой двойник месторождения // Газпромнефть. – URL: https://www.gazprom-neft.ru/press-center/news/gazprom_neft_sozdala_tsifrovoy_dvoynik_mestorozhdeniya_imeni_aleksandra_zhagrina/
- Герасимов, В. И. Обзор научно-технологического и инновационного сотрудничества стран БРИКС: тенденции, перспективы и вызовы / В. И. Герасимов, С. И. Коданева // Управление наукой: теория и практика. – 2023. – Т. 5, № 1. – С. 204–229.
- Жилкина, Ю. В. Цифровизация электроэнергетики как «окно возможностей» для повышения эффективности энергосистем государств-участников СНГ / Ю. В. Жилкина // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14, № 4 (56). – С. 142–155.
- Зачем энергетике цифровые двойники // My Energy. – URL: <https://www.myenergy.ru/professional/2022/zachem-ehnergetike-cifrovy-e-dvoyniki/>
- Машиностроительный дивизион Росатома отгрузил оборудование для АЭС «Куданкулам» (Индия) // Росатом. – URL: https://www.rosatom.ru/journalist/news/mashinostroitelnny-divizion-rosatoma-otgruzil-oborudovanie-dlya-aes-kudankulam-indiya/?sphrase_id=5234323
- Оптимизация режимов работы ТЭС // Национальное бюро информации. – URL: <https://nbiservice.ru/energy/sozdanie-cifrovih-dvoynikov/>
- ПМЗ поставил ГТУ для «Газпромнефть-Хантос» // ПромХоз. – URL: <https://mirprom.com/news/pmz-postavil-gtu-dlya-gazpromneft-hantos.html>
- Примеры оптимизации выбросов парниковых газов в нефтегазовой отрасли // Цифровая интеллектуальная библиотека. – URL: <https://silify.ru/2023/02/19/examples-of-optimizing-greenhouse-gas-emissions-in-the-oil-and-gas-industry/>
- Создание цифрового двойника АЭС на основе вычислительной теплогидравлики / А. А. Рябов, А. П. Скибин, В. Ю. Волков [и др.] // CAD/CAM/CAE Observer : сетевой журн. – 2018. – № 7 (123). – URL: <http://www.cadcamcae.lv/N123/41-45.pdf>
- Стрелец, И. А. Перспективы модификации поведения экономических агентов в глобальной информационной системе / И. А. Стрелец // Перспективы экономической глобализации : монография / под ред. А. С. Булатова. – М. : КНОРУС, 2019. – С. 255–272.
- Стрелец, И. А. Цифровизация мировой торговли: масштабы, формы, последствия / И. А. Стрелец, С. В. Чебанов // Мировая экономика и международные отношения. – 2020. – Т. 64, № 1. – С. 15–25.
- Тищенко, Е. Б. Стратегирование координации организаций строительного комплекса стран БРИКС в условиях экономики данных / Е. Б. Тищенко, М. В. Славянцев // Стратегирование: теория и практика. – 2024. – Т. 4, № 1. – С. 110–132. – DOI: <https://doi.org/10.21603/2782-2435-2024-4-1-110-132>
- Шор, И. М. Применение государственно-частного партнерства в сфере информационных технологий / И. М. Шор // Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика. – 2022. – Т. 24, № 3. – С. 146–157. – DOI: <https://doi.org/10.15688/ek.jvolsu.2022.3.12>
- A Comprehensive Review on Digital Twins for Smart Energy Management System / M. Lamagna, D. Groppi, M. M. Nezhad, G. Piras // International Journal of Energy Production and Management. – 2021. – Vol. 6, iss. 4. – P. 323–334. – DOI: 10.2495/EQ-V6-N4-323-334
- Annual Carbon Dioxide (CO₂) Emissions Worldwide from 1940 to 2024 // STATISTA. – URL: <https://www.statista.com/statistics/276629/global-co2-emissions/>
- CNIM ENVIRONNEMENT & ENERGIE EPC. – URL: <https://cnim.com/activites/traitement-et-valorisation-des-dechets#cnim-outils-numeriques>
- Digital Twins for the Future Power System: An Overview and a Future Perspective / Z. Song, C. M. Hackl, A. Anand [et al.] // Sustainability. – 2023. – Vol. 15, iss. 6. – P. 5259. – DOI: <https://doi.org/10.3390/su15065259>
- EDGAR Report 2023 // EDGAR – Emissions Database for Global Atmospheric Research. – URL: https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2023
- GHG Emissions of All World Countries // EDGAR – Emissions Database for Global Atmospheric Research. – URL: https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2023
- Global Waste Index 2022 // SENSONEO. – URL: <https://sensoneo.com/global-waste-index>
- Industry 4.0. Exploring the Consequences of Climate Change / ed. by E. B. Zavyalova, E. G. Popkova. – Cham, Palgrave Macmillan, 2022. – DOI: 10.1007/978-3-030-75405-1
- Sharjah Waste-to-Energy Project // NS Energy. – URL: <https://www.nsenergybusiness.com/projects/sharjah-waste-energy-project/>
- Smart Cities Report 2020 // DISTRITO. – URL: <https://materiais.distrito.me/report/smart-cities>
- Solid Waste Management // World Bank Group. – URL: <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/brief/solid-waste-management>

REFERENCES

- Gazpromneft sozdala tsifrovoy dvoynik mestorozhdeniya [Gazpromneft Has Created a Digital Twin of the Field]. *Gazpromneft* [Gazpromneft]. URL: https://www.gazprom-neft.ru/press-center/news/gazprom_neft_sozdala_tsifrovoy_dvoynik_mestorozhdeniya_imeni_aleksandra_zhagrina/
- Gerasimov V.I., Kodaneva S.I. Obzor nauchno-technologicheskogo i innovacionnogo sotrudnichestva stran BRIKS: tendencii, perspektivy i vyzovy [Review of Scientific, Technological and Innovative Cooperation of the BRICS Countries: Trends, Prospects and Challenges]. *Upravlenie naukoj: teorija i praktika* [Science Management: Theory and Practice], 2023, vol. 5, no. 1, pp. 204-229.
- Zhilkina Yu. V. Tsifrovizatsiya elektroenergetiki kak «okno vozmozhnostei» dlya povysheniya effektivnosti energosistem gosudarstv-uchastnikov SNG [Digitalization of the Electric Power Industry as a “Window of Opportunity” for Increasing the Efficiency of Energy Systems of the CIS Member States]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta* [Bulletin of the Kazan State Energy University], 2022, vol. 14, no. 4 (56), pp. 142-155.
- Zachem energetike tsifrovyye dvoyniki [Why Does the Energy Industry Need Digital Twins]. *My Energy* [My Energy]. URL: <https://www.myenergy.ru/professional/2022/zachem-ehnergetike-cifrovye-dvoyniki/>
- Mashinostroitelnyy divizion Rosatoma otgruzil oborudovaniye dlya AES «Kudankulam» (Indiya) [Rosatom’s Machine-Building Division Ships Equipment for Kudankulam NPP (India)]. *Rosatom* [Rosatom]. URL: https://www.rosatom.ru/journalist/news/mashinostroitelnyy-divizion-rosatoma-otgruzil-oborudovanie-dlya-aes-kudankulam-indiya/?sphrase_id=5234323
- Optimizatsiya rezhimov raboty TES [Optimization of Thermal Power Plant Operating Modes]. *Natsionalnoye byuro informatsii* [National Information Bureau]. URL: <https://nbiservice.ru/energy/sozdanie-cifrovih-dvoynikov/>
- PMZ postavil GTU dlya «Gazpromneft-Khantos» [PMZ Supplied Gas Turbine Unit for Gazpromneft-Khantos]. *PromKhoz* [PromKhoz]. URL: <https://mirprom.com/news/pmz-postavil-gtu-dlya-gazpromneft-hantos.html>
- Primery optimizatsii vybrosov parnikovyx gazov v neftegazovoy otrasli [Examples of Optimizing Greenhouse Gas Emissions in the Oil and Gas Industry]. *Tsifrovaya intellektualnaya biblioteka* [Digital Intellectual Library]. URL: <https://silify.ru/2023/02/19/examples-of-optimizing-greenhouse-gas-emissions-in-the-oil-and-gas-industry/>
- Ryabov A.A., Skibin A.P., Volkov V.Yu., Golibrodo L.A., Krutikov A.A., Kudryavtsev O.V. Sozdaniye tsifrovogo dvoynika AES na osnove vychislitelnoy teplogidravliki [Creation of NPP Digital Twin on the Basis of Computational Thermal Hydraulics]. *CAD/CAM/CAE Observer: setevoy zhurn.* [CAD/CAM/CAE Observer: Web Log], 2018, no. 7 (123). URL: <http://www.cadcamcae.lv/N123/41-45.pdf>
- Strelec I.A. Perspektivy modifikatsii povedeniya ekonomicheskikh agentov v globalnoy informacionnoy sisteme [Prospects for Modifying the Behavior of Economic Agents in the Global Information System]. Bulatov A.S., ed. *Perspektivy ekonomicheskoy globalizatsii: monografiya* [Prospects for Economic Globalization. Monograph]. Moscow, KNORUS Publ., 2019, pp. 255-272.
- Strelets I.A., Chebanov S.V. Cifrovizatsiya mirovoj trgovli: masshtaby, formy, posledstviya [Digitalization of World Trade: Scale, Forms, and Consequences]. *Mirovaya ekonomika i mezhdunarodnye otnosheniya* [World Economy and International Relations], 2020, vol. 64, no. 1, pp. 15-25.
- Tishhenko E.B., Slavjancev M.V. Strategirovanie koordinatsii organizatsiy stroitel'nogo kompleksa stran BRIKS v usloviyakh ekonomiki dannykh [Strategizing the Coordination of Organizations of the Construction Complex of the BRICS Countries in the Conditions of the Data Economy]. *Strategirovanie: teorija i praktika* [Strategy: Theory and Practice], 2024, vol. 4, no. 1, pp. 110-132. DOI: <https://doi.org/10.21603/2782-2435-2024-4-1-110-132>
- Shor I.M. Primenenie gosudarstvenno-chastnogo partnerstva v sfere informatsionnykh tekhnologiy [Application of Public-Private Partnership in the Field of Information Technology]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika* [Bulletin of Volgograd State University. Economy], 2022, vol. 24, no. 3, pp. 146-157. DOI: <https://doi.org/10.15688/ek.jvolsu.2022.3.12>
- Lamagna M., Groppi D., Nezhad M.M., Piras G. A Comprehensive Review on Digital Twins for Smart Energy Management System. *International Journal of Energy Production and Management*, 2021, vol. 6, iss. 4, pp. 323-334. DOI: 10.2495/EQ-V6-N4-323-334
- Annual Carbon Dioxide (CO₂) Emissions Worldwide from 1940 to 2024. *STATISTA*, 2024. URL: <https://www.statista.com/statistics/276629/global-co2-emissions/>

CNIM ENVIRONNEMENT & ENERGIE EPC. URL: <https://cnim.com/activites/traitement-et-valorisation-des-dechets#cnim-outils-numeriques>

Song Z., Hackl C.M., Anand A., Thommessen A., Petzschmann J., Kamel O., Braunbehrens R., Kaifel A., Roos C., Hauptmann S. Digital Twins for the Future Power System: An Overview and a Future Perspective. *Sustainability*, 2023, vol. 15, iss. 6, p. 5259. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15065259>

EDGAR Report 2023. *EDGAR – Emissions Database for Global Atmospheric Research*. URL: https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2023

GHG Emissions of All World Countries. *EDGAR – Emissions Database for Global Atmospheric*

Research. URL: https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2023

Global Waste Index 2022. *SENSONEO*. URL: <https://sensoneo.com/global-waste-index>

Zavyalova E.B., Popkova E.G., eds. *Industry 4.0. Exploring the Consequences of Climate Change*. Cham, Palgrave Macmillan, 2022. DOI: 10.1007/978-3-030-75405-1

Sharjah Waste-to-Energy Project. *NS Energy*. URL: <https://www.nsenergybusiness.com/projects/sharjah-waste-energy-project/>

Smart Cities Report 2020. *DISTRITO*. URL: <https://materiais.distrito.me/report/smart-cities>

Solid Waste Management. *World Bank Group*, 2024. URL: <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/brief/solid-waste-management>

Information About the Authors

Tatyana G. Krotova, Lecturer, Department of Economic Policy and Public-Private Partnership, Moscow State Institute of International Relations (University) of the Ministry of Foreign Affairs of the Russian Federation, Prosp. Vernadskogo, 76, 119454 Moscow, Russian Federation, tatyana.krotova.mgimo@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0491-493X>

Elena B. Zavyalova, Candidate of Sciences (Economics), Associate Professor, Head of the Department of Economic Policy and Public-Private Partnerships, Moscow State Institute of International Relations (University) of the Ministry of Foreign Affairs of the Russian Federation, Prosp. Vernadskogo, 76, 119454 Moscow, Russian Federation, e.zavyalova@inno.mgimo.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6531-7672>

Sergei N. Sinitsyn, Head of the Directorate for Operation and Repair of Buildings and Structures, Moscow State Institute of International Relations (University) of the Ministry of Foreign Affairs of the Russian Federation, Prosp. Vernadskogo, 76, 119454 Moscow, Russian Federation, ssn-nss@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0000-4550-1210>

Информация об авторах

Татьяна Григорьевна Кротова, преподаватель кафедры экономической политики и государственно-частного партнерства, Московский государственный институт международных отношений (университет) Министерства иностранных дел Российской Федерации, просп. Вернадского, 76, 119454 г. Москва, Российская Федерация, tatyana.krotova.mgimo@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0491-493X>

Елена Борисовна Завьялова, кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой экономической политики и государственно-частного партнерства, Московский государственный институт международных отношений (университет) Министерства иностранных дел Российской Федерации, просп. Вернадского, 76, 119454 г. Москва, Российская Федерация, e.zavyalova@inno.mgimo.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6531-7672>

Сергей Николаевич Синицын, руководитель дирекции по эксплуатации и ремонту зданий и сооружений, Московский государственный институт международных отношений (университет) Министерства иностранных дел Российской Федерации, просп. Вернадского, 76, 119454 г. Москва, Российская Федерация, ssn-nss@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0000-4550-1210>