

<https://doi.org/10.17073/2072-1633-2026-3-1683>

Управление эколого-технологической модернизацией промышленности на принципах резильентности и устойчивого развития

Н.В. Шмелева^{1,2}  , Т.О. Толстых^{1,3} , А.Д. Шматко⁴

¹ Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»,
119049, Москва, Ленинский просп., д. 4, стр. 1, Российская Федерация

² НИИ «Центр экологической промышленной политики»,
115054, Москва, Стремянный пер., д. 38, Российская Федерация

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, Российская Федерация

⁴ Институт проблем региональной экономики Российской академии наук,
190013, Санкт-Петербург, ул. Серпуховская, д. 38, Российская Федерация

 nshmeleva@misis.ru

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена необходимостью модернизации промышленности РФ для достижения технологического суверенитета и устойчивого развития за счет реализации эколого-технологических проектов, направленных на повышение ресурсной и энергетической эффективности производства. Несмотря на повышенный интерес к концепциям устойчивого развития, наилучших доступных технологий (НДТ) и резильентности вопросы их использования для повышения эффективности производственных процессов промышленных предприятий остаются не изученными. Целью исследования является анализ и оценка лучших российских практик эколого-технологической и ресурсно-технологической модернизации объектов промышленности как стратегического ориентира пространственного развития. В статье сформулированы стратегические цели и выгоды для промышленности при реализации проектов эколого-технологической модернизации. В качестве основополагающего управленческого инструмента предложено рассматривать концепцию НДТ, являющуюся ядром экологической промышленной политики Российской Федерации. Предложенный инструментальный апробирован на примере стекольного производства во Владимирской области, предприятия по производству цемента в Рязанской области, объекта металлургии на Урале, промышленного симбиоза в г. Новотроицке, «зеленой» интеграции в Республике Коми. В рамках данной статьи на примерах конкретных предприятий показаны результаты эколого-технологической и ресурсно-технологической модернизации на основе наилучших доступных технологий с учетом отраслевых количественных требований к эмиссиям загрязняющих веществ, целевых показателей ресурсной эффективности, а также с учетом региональных аспектов. Подготовлены рекомендации для бизнеса и государственных органов по развитию сотрудничества посредством передачи знаний и технологий для достижения национальных целей. Практическая значимость исследования заключается в разработке рекомендаций по управлению эколого-технологической и ресурсно-технологической модернизацией предприятий на принципах НДТ. Результаты исследования могут быть использованы при разработке стратегий развития предприятий в условиях достижения национальных целей развития и международно принятых целей устойчивого развития.

Ключевые слова: устойчивое развитие, ресурсная эффективность, эколого-технологические проекты, модернизация промышленности, наилучшие доступные технологии

Для цитирования: Шмелева Н.В., Толстых Т.О., Шматко А.Д. Управление эколого-технологической модернизацией промышленности на принципах резильентности и устойчивого развития. *Экономика промышленности*. 2026;16(3):292–308. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2026-3-1683>

Management of environmental and technological modernization in industry based on resilience and sustainable development principles

N.V. Shmeleva^{1,2} , T.O. Tolstykh^{1,3} , A.D. Shmatko⁴

¹ National University of Science and Technology “MISIS”,
4-1 Leninskiy Ave., Moscow 119049, Russian Federation

² Research Institute “Environmental Industrial Policy Centre”,
38 Stremyanny Lane, Moscow 115054, Russian Federation

³ Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskiye Gory, Moscow 119991, Russian Federation

⁴ Institute for Regional Economic Studies of the Russian Academy of Sciences,
38 Serpukhovskaya Str., Saint Petersburg 190013, Russian Federation

✉ nshmeleva@isis.ru

Abstract. The need to modernize Russian industry has become increasingly urgent as the country pursues technological sovereignty and sustainable development. Environmental and technological projects can support this process by improving resource and energy efficiency in production. Despite growing interest in sustainable development, best available techniques (BAT), and resilience, their application to improving industrial production processes remains underexplored. This study aims to analyze and assess leading Russian practices in modernizing industrial facilities to improve their environmental performance and resource efficiency and to consider these practices as strategic benchmarks for spatial development. It identifies the strategic objectives of environmental and technological modernization and the benefits it can bring to industry. BAT, which forms the core of Russia’s industrial environmental policy, is proposed as the principal management framework. The proposed framework is applied to case studies of a glass manufacturing facility in the Vladimir Region, a cement plant in the Ryazan Region, a metallurgical facility in the Urals, an industrial symbiosis initiative in Novotroitsk, and a green integration project in the Komi Republic. Drawing on these cases, the study demonstrates the outcomes of BAT-based environmental and resource-efficiency modernization, taking into account sector-specific quantitative limits on pollutant emissions, resource-efficiency targets, and regional conditions. The study offers recommendations for businesses and public authorities on strengthening cooperation through knowledge and technology transfer in support of national goals. Its practical contribution lies in providing guidance on managing the environmental and resource-efficiency modernization of industrial enterprises in accordance with BAT principles. The findings can inform industrial enterprise development strategies aligned with national development goals and internationally recognized Sustainable Development Goals.

Keywords: sustainable development, resource efficiency, environmental and technological projects, industrial modernization, best available techniques

For citation: Shmeleva N.V., Tolstykh T.O., Shmatko A.D. Management of environmental and technological modernization in industry based on resilience and sustainable development principles. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2026;16(3):292–308. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2026-3-1683>

基于韧性与可持续发展原则的工业生态技术现代化管理

N.V. 什梅廖娃^{1,2} , T.O. 托尔斯特赫^{1,3} , A.D. 什马特科⁴

¹ 国立研究型技术大学MISIS, 119049, 俄罗斯联邦莫斯科列宁大街4号1栋

² 生态工业政策中心研究所, 115054, 俄罗斯联邦莫斯科斯特列米扬内巷38号

³ 莫斯科罗蒙诺索夫国立大学, 119991, 俄罗斯联邦莫斯科列宁山1号

⁴ 俄罗斯科学院区域经济问题研究所, 190013, 俄罗斯联邦圣彼得堡谢尔普霍夫大街38号

✉ nshmeleva@isis.ru

摘要: 本研究的现实意义在于, 俄罗斯工业亟需通过实施旨在提高生产资源与能源效率的生态技术项目实现技术自主与可持续发展。尽管对可持续发展, 最佳可行技术 (BAT) 及韧性等概念的兴趣日益增加, 但如何运用这些概念提升工业企业生产流程效率的问题仍未得到充分研究。本研究的目的是分析和评估俄罗斯在工业企业生态技术及资源技术现代化方面的最佳实践, 将其作

为空间发展战略方向的参考。文章阐述了工业企业实施生态技术现代化项目的战略目标和收益, 作为一个基础的管理工具, 建议将最佳可行技术 (BAT) 概念作为俄罗斯联邦生态工业政策的核心。所提出的工具已在弗拉基米尔州玻璃厂, 梁赞州水泥厂, 乌拉尔冶金厂, 新特罗伊茨克市工业共生项目及科米共和国“绿色”一体化案例中得到验证。本文以具体企业为例, 展示了基于最佳可行技术 (BAT) 的生态技术和资源技术现代化的成果, 同时考虑了行业对污染物排放的量化要求, 资源效率的目标指标以及地区因素。针对企业和政府机构提出了通过知识和技术转让促进合作, 以实现国家目标的建议。本研究的实践意义在于, 提出了基于最佳可用技术原则的企业生态技术与资源技术现代化管理建议。研究成果可在实现国家发展目标及国际公认的可持续发展目标背景下制定企业发展战略时使用。

关键词: 可持续发展, 资源效率, 生态技术项目, 工业现代化, 最佳可行技术

Введение

Проблема взаимодействия природы и общества приобрела особую актуальность на современном этапе развития, который характеризуется как интенсивным технологическим и цифровым развитием, так и нарастанием тройного глобального экологического кризиса: (1) истощением природных ресурсов и загрязнением окружающей среды; (2) изменением климата; (3) потерей биоразнообразия. Экологические, социальные, технологические и политические условия меняются стремительно и сказываются на всех уровнях институциональных и экономических процессов.

В этой ситуации акторам промышленного сектора экономики необходимо искать пути мобилизации внутренних ресурсов, возможности перестройки логистических и бизнес-процессов, модели взаимодействия с другими участниками, позволяющими выстраивать взаимовыгодные партнерские отношения. Создание коллаборативной системы эколого-технологических взаимодействий на региональном уровне требует активного участия всех заинтересованных сторон: и предприятий, и организаций, и органов региональной власти.

В условиях глобальной турбулентности, геополитических конфликтов и быстрых технологических изменений резильентность становится ключевым фактором устойчивого развития промышленности. Резильентность выходит за рамки традиционного понимания экономической устойчивости, что требует определения резильентности систем разного уровня и уточнения основных принципов их функционирования. К.С. Холлинг перечислил три ключевые характеристики социально-экономических систем: резильентность, адаптивность и трансформируемость. Резильентность означает способность системы противостоять возмущениям, сохраняя при этом свои функции и структуры; адаптивность отражает способность участников социально-экономической системы надлежащим образом управлять и повышать жизнестойкость; а трансформируемость оз-

начает способность создавать новую систему, когда существующие структуры становятся неустойчивыми, несопротивляющимися, нерезильентными. Эти три характеристики образуют связующее звено между концепциями резильентности систем, устойчивого развития и их применением в социально-экономическом контексте [1]. На мезоуровне формирование эффективных механизмов повышения резильентности позволяет минимизировать уязвимости экономики, повысить ее способность к реагированию на кризисы и обеспечить защиту национальных интересов в условиях неопределенности внешней среды [2].

Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2036 года, утвержденная Распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2024 г.¹, выступает связующим звеном между национальными целями, отраслевыми программами и принципами пространственного развития в сфере промышленности, призванными максимально вовлечь регионы в экономический рост за счет концентрации ресурсов на ключевых направлениях, главным из которых становится система опорных населенных пунктов.

Роль регионального управления в сфере развития промышленного сектора на принципах устойчивого развития заключается:

- в создании условий для стимулирования модернизации объектов промышленности;
- содействии росту научного и инновационного потенциала агломераций;
- поддержке эколого-технологических проектов участников кроссотраслевых взаимодействий в целях усиления производственной кооперации;
- обеспечении рационального и эффективного использования и воспроизводства природных ресурсов;

¹ Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2036 года, утвержденная Распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2024 г. Режим доступа: <http://government.ru/docs/all/157308/>

- снижении уязвимости к негативным воздействиям, вызванным изменением климата;
- обеспечении поддержки внедрения наилучших доступных технологий;
- расширении производства товаров и оказании услуг с применением вторичного сырья хозяйствующих субъектами всех отраслей экономики.

В связи с вышеизложенным, целью исследования является анализ и оценка лучших российских практик, реализующих модернизацию объектов промышленности как стратегического ориентира пространственного развития.

Подходы и инструменты эколого-технологической модернизации промышленности

В соответствии с Национальными целями развития Российской Федерации до 2030 года и на перспективу до 2036 года² к приоритетным направлениям развития промышленного сектора экономики на принципах устойчивого развития можно отнести разработку и внедрение отечественных инновационных решений и постепенный отказ от устаревших технологий, повышение ресурсной эффективности и снижение негативного воздействия на окружающую среду, вовлечение вторичных ресурсов в экономический оборот и формирование экономики замкнутого цикла, а также создание условий для обеспечения прозрачности и доступа заинтересованных сторон к информации об устойчивом развитии промышленности.

Достижение национальных целей возможно только при их интеграции в стратегии развития мезоуровня (регионы и отрасли) и микроуровня (промышленные предприятия). В **табл. 1** представлены взаимосвязи между целями устойчивого развития (ЦУР) ООН, национальными целями развития РФ и целями промышленных предприятий в сфере эколого-технологического развития. Развитие партнерских взаимоотношений между государством, бизнесом, научными и общественными организациями являются необходимым условием реализации стратегических целей всех заинтересованных сторон.

Основополагающим управленческим инструментом, позволяющим обеспечивать эффективность реализации эколого-технологической и ресурсно-технологической модернизации производства, является концепция наилучших доступных технологий (НДТ), которая была сформу-

лирована еще в 1970–1980-х гг. [3–5]. Идея НДТ состоит в отказе от устаревших технологий и технических решений и последовательном улучшении эффективности производства – ресурсной, экологической и экономической. В ее основу положен принцип превентивности, который означает применение технологий, позволяющих предотвратить или ограничить негативное воздействие на окружающую среду в источнике его образования. В промышленности превентивность обеспечивается за счет: 1) модернизации производственных процессов для минимизации образования отходов; 2) применения нетоксичных или менее токсичных химических веществ; 3) повышения эффективности использования природных ресурсов; 4) внедрения водооборотных циклов; 5) повторного использования вторичных ресурсов [6].

Обеспечение превентивности заключается в применении НДТ на протяжении всего жизненного цикла предприятия – от проектирования и строительства до эксплуатации, модернизации и реконструкции и, наконец, вывода из эксплуатации в целях обеспечения высокой ресурсной и экологической эффективности (как минимум – в соответствии с требованиями законодательства) [7].

Идеология выбора и применения наиболее эффективных новейших разработок в качестве базы для установления условий разрешений на эмиссии реализуется в каждой стране по-своему. Например, в США НДТ в основном сосредоточены на применении средозащитной техники. В Европейском союзе (ЕС) концепция НДТ обеспечивает основу для предоставления крупным предприятиям ресурсоемких отраслей промышленности, так называемых комплексных экологических разрешений и предполагает как предотвращение негативного воздействия основных технологий (путем их модернизации или даже замены принципиально новыми процессами), так и применение средозащитной техники (решений «на конце трубы») [8].

Согласно определению, данному Организацией экономического сотрудничества и развития: «Наилучшие доступные технологии представляют собой современные технологии, которые обеспечивают наилучшие результаты в предотвращении и контроле загрязнения (воздуха, воды и почвы) при одновременном повышении производительности процессов во всех отраслях промышленности. Эти методы разработаны таким образом, чтобы быть экономически и технически осуществимыми, позволяя предприятиям достигать требуемых экологических результатов без чрезмерных затрат или технических барьеров» [9].

² Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года». Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50542>

Таблица 1 / Table 1

**Стратегические цели и выгоды для промышленности
от реализации эколого-технологической модернизации**

Strategic goals and benefits of environmental and technological modernization for industrial enterprises

Цели устойчивого развития (ЦУР) ООН	Стратегические цели управления эколого-технологической модернизацией промышленных предприятий	Стратегические выгоды для промышленных предприятий и эффекты от реализации эколого-технологической модернизации	Национальные цели развития РФ
 ЦУР 4 Качественное образование	Развитие партнерского взаимодействия с научными, образовательными и общественными организациями. Участие в создании образовательных программ, подготовке кадров «под ключ», Участие в реализации эколого-технологических инициатив, программ и проектов	Расширение спектра образовательных услуг через промышленно-экологическое образование. Улучшение условий труда. Удовлетворение потребностей в повышении квалификации и карьерном росте. Решение социальных вопросов, связанных с возможностью обучения на протяжении всей жизни	 Реализация потенциала каждого человека
 ЦУР 9 Инфраструктура, индустриализация и инновации	Разработка и внедрение инновационных решений в производственные и технологические процессы на принципах технологического лидерства, отказ от устаревших технологий. Создание научно-производственных кластеров, способствующих устойчивой индустриализации и внедрению инноваций за счет использования ресурсоэффективных технологий	Создание научно-технологических разработок на принципах технологического лидерства. Внедрение современных решений, соответствующих НДТ или превосходящих их. Обеспечение эффективности производственно-технологических процессов при одновременном совершенствовании параметров экологической эффективности	 Технологическое лидерство
 ЦУР 12 Ответственное потребление и производство	Формирование экономики замкнутого цикла как приоритетное направление стратегического развития предприятий. Выстраивание симбиотических связей в эколого-технологической интеграции, обеспечивающей переход к ответственным моделям потребления и производства	Внедрение устойчивых технологий создания малоотходных производств и переработки отходов. Вовлечение вторичных ресурсов в экономический оборот. Сокращение издержек, экономия ресурсов и повышение производительности	 Комфортная и безопасная среда для жизни
 ЦУР 13 Борьба с изменением климата	Стратегия модернизации процессов предприятий на принципах ресурсной эффективности и снижение углеродоемкости	Повышение ресурсной (прежде всего – энергетической) эффективности, снижение углеродоемкости	 Экологическое благополучие

Окончание табл. 1 / End of Table 1

Цели устойчивого развития (ЦУР) ООН	Стратегические цели управления эколого-технологической модернизацией промышленных предприятий	Стратегические выгоды для промышленных предприятий и эффекты от реализации эколого-технологической модернизации	Национальные цели развития РФ
 15 СОХРАНЕНИЕ ЭКОСИСТЕМ СУШИ ЦУР 15 Защита и восстановление экосистем суши и содействие их рациональному использованию	Сохранение и восстановление экосистем. Разработка и внедрение природосберегающих технологий. Сотрудничество с региональными и федеральными организациями в рамках рационального использования природных ресурсов	Повышение экологической эффективности, сокращение эмиссий загрязняющих веществ и отходов на всех этапах жизненного цикла производственных процессов	  Экологическое благополучие + комфортная и безопасная среда для жизни
 16 МИР, ПРАВОСУДИЕ И ЭФФЕКТИВНЫЕ ИНСТИТУТЫ ЦУР 16 Мир, правосудие и эффективные институты	Разработка и внедрение систем управления и корпоративной культуры на принципах справедливости, доверия, прозрачности	Совершенствование имиджа предприятия, улучшение репутации и укрепление доверия со стороны потребителей и стейкхолдеров, повышение эффективности управления, рост мотивации сотрудников, их взаимодействия и вовлеченности в эколого-технологические инициативы	 Совершенствование управления и социальной сферы
 17 ПАРТНЕРСТВО В ИНТЕРЕСАХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЦУР 17 Укрепление средств осуществления и активизация работы в рамках глобального партнерства в интересах устойчивого развития	Расширение сотрудничества и формирование многостороннего партнерства, обеспечивающего обмен знаниями, технологиями и ресурсами. Формирование межотраслевой и межрегиональной интеграции с предприятиями, научными и общественными организациями, а также органами власти с целью обмена опытом и практиками, продвижение социо-экологических инициатив, участие в эколого-технологических проектах	Внедрение совместных с партнерами эколого-технологических и ресурсно-технологических проектов. Получение поддержки региональных органов власти и ресурсов от партнеров и стейкхолдеров для реализации инициатив, направленных на достижение национальных целей и целей устойчивого развития. Улучшение имиджа предприятия	 Совершенствование управления и социальной сферы

Источник: составлено авторами на основе: Повестка-2030 и ЦУР ООН. Министерство экономического развития РФ. Режим доступа: https://www.economy.gov.ru/material/directions/vneshneekonomicheskaya_deyatelnost/ustoychivoe_razvitie/povestka_2030_i_cur_oon/ (дата обращения: 10.08.2026).

Source: compiled by the authors based on Agenda 2030 and the UN SDGs. Ministry of Economic Development of the Russian Federation. Available at: https://www.economy.gov.ru/material/directions/vneshneekonomicheskaya_deyatelnost/ustoychivoe_razvitie/povestka_2030_i_cur_oon/ (accessed on 10.08.2026).

В научной литературе Российской Федерации НДТ трактуют как «совокупность технологических, технических и управленческих решений, практическое применение которых позволяет промышленным предприятиям достигать высокой ресурсной и экологической эффективности производства и ограничивать углеродоемкость продукции экономически целесообразными методами» [10]. Понятие «технологии» в концепции наилучших доступных технологий относится как к используемым технологиям, так и к способам проектирования, создания, обслуживания, эксплуатации и вывода предприятий из эксплуатации (совокупность технологических, технических и управленческих решений). Доступность технологии означает, что она разработана в масштабах, позволяющих обеспечить ее внедрение в соответствующей отрасли промышленности с технической и экономической целесообразностью. При этом наилучшая технология – это та, которая позволяет достичь высокой ресурсной и экологической эффективности³.

В России НДТ воспринимаются как категория развития, как ядро экологической промышленной политики, реализуемой Министерством промышленности и торговли совместно с Министерством природных ресурсов и экологии РФ. При этом Минпромторг России обеспечивает поддержку промышленных предприятий, стремящихся достичь лидирующих позиций [11].

В рамках данной статьи на примерах конкретных предприятий проанализированы результаты эколого-технологической и ресурсно-технологической модернизации на основе концепции НДТ с учетом отраслевых количественных требований к эмиссиям загрязняющих веществ, целевых показателей ресурсной эффективности, а также региональных аспектов.

**Примеры модернизации промышленности:
аспекты повышения экологической и ресурсной
эффективной на уровне микро- и мезоэкономики**

Стекольная отрасль

Прорыв в будущее: от традиционного стекольного производства к позиции отраслевого лидера

Стекольное производство во Владимирской области возникло в середине XVIII в. В связи с тем, что в 1747 г. указом Сената было запрещено строить под Москвой стекольные и железные

заводы, чтобы удалить производства от города и уберечь от истребления лесные массивы» [12]. В советское время в области насчитывалось более 40 предприятий, но с конца XX в. их число стремительно снижалось, а производственные процессы устаревали. Тем не менее руководители и технологи предприятий активно участвовали в пилотных проектах, стремились обновить парк стеклоформирующих машин и построить новые эффективные стекловаренные печи. Стекольный завод «Красное Эхо», расположенный в городе Уршель, в границах Национального парка «Мещера» ведет свою историю с 1875 г. Сохранить стекольное производство удалось благодаря тому, что оно было отнесено к «традиционным видам деятельности местного населения»: в течение двух столетий многие поколения жителей трудились на стекольных заводах Владимирской области [13].

Ситуацию удалось изменить благодаря позиции молодых руководителей, которые провели масштабную реконструкцию, завершённую в 2019 г. В результате реконструкции предприятие добилося значительного повышения ресурсной эффективности и достигло не только соответствия требованиям НДТ, но и лучших показателей технической, ресурсной и экологической эффективности в отрасли. Особенностью организационно-технических решений стало включение в состав стекольного завода литейного и металлообрабатывающего участков. На территории стекольного завода производятся уникальные формокомплекты, необходимые для превращения горячей стекломассы в банки и бутылки. Применение бронзовых формокомплектов и инжиниринг стеклоформирующих машин позволяют снизить брак на 1–15 %, срок их службы примерно в 1,5 раза продолжительнее, чем чугунных [14]. Кроме того, эти машины практически вечные: бронзу можно многократно переплавлять и готовить новые формы. В данном примере речь идет о создании связей, характерных для экономики замкнутого цикла (ЭЗЦ).

В результате реконструкции предприятия удельное потребление энергии на стекловарение (показатель, характеризующий как энергоёмкость, так и углеродоемкость производства) сократилось с 9,1 до 5,2 ГДж на тонну стекломассы, что соответствует лучшим мировым достижениям. Примерно в 1,5 раза снизились эмиссии загрязняющих веществ. Потребление стеклобоя (фактически – отхода, который может образовываться на производстве и в результате потребления стеклотары), возросло с 0,1 до 0,2 т на тонну стекломассы. Этот показатель мог быть выше,

³ Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 28.12.2025) «Об охране окружающей среды» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2026). Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения: 05.05.2026).

однако для обеспечения бесперебойных поставок предварительно подготовленного стеклобоя необходимо создать инфраструктуру сбора использованной стеклотары и специальное предприятие по «производству» подготовленного стеклобоя. По всей вероятности, такой объект мог быть размещен на границе Московской и Владимирской областей, поскольку Московский регион характеризуется высоким уровнем потребления напитков, консервированных фруктов и овощей, а основные мощности стекольной промышленности сосредоточены в радиусе около 200 км от Москвы. Как следует из описания, именно доля стеклобоя в сырьевой шихте представляет собой показатель, характеризующий ресурсную эффективность производства и формирование связей, типичных для ЭЗЦ.

«Красное Эхо» активно сотрудничает со Стекольным колледжем, расположенным в г. Гусь-Хрустальном. Специалисты предприятия организовали производственную практику, а коллеги из НИИ «Центр экологической промышленной политики» разработали новые образовательные программы. Подготовка высококвалифицированных и преданных делу кадров «под ключ» стала визитной карточкой образовательного кластера, сформированного во Владимирской области.

Таким образом, во Владимирской области удалось достичь эколого-экономических (см. табл. 1). Предприятие – лидер стекольного производства обеспечило разработку и внедрение инновационных решений, которые позволили коренным образом изменить экономическую, ресурсную и экологическую эффективность производства, а также сформировать ряд связей, характерных для ЭЗЦ. В партнерстве с учебными заведениями и научными организациями осуществляется подготовка кадров, которые востребованы не только предприятием-лидером, но и другими стекольными заводами области.

В результате модернизации на предприятии «Красное Эхо» Владимирской области и организации вспомогательного произошли следующие изменения:

- удельное потребление энергии на стекловарение сократилось с 9,1 до 5,2 ГДж на т стекломассы, что соответствует лучшим мировым достижениям;
- примерно в 1,5 раза снизились эмиссии загрязняющих веществ;
- потребление стеклобоя возросло с 0,1 до 0,2 т на т стекломассы;
- в партнерстве с учебными заведениями и научными организациями осуществляется подготовка кадров, которые востребованы не только

предприятием-лидером, но и другими стекольными заводами области.

В настоящее время ООО «Красное Эхо» занимается внедрением систем автоматического контроля эмиссий загрязняющих веществ и оценкой целесообразности создания объекта по подготовке стеклобоя, который мог бы снабжать сырьем из отходов предприятия Владимирской и Московской областей, а также стал бы моделью для других регионов (таких, как Северный Кавказ).

Металлургическая отрасль

Стратегия последовательной модернизации: эколого-технологические проекты развития металлургического производства

Трубная металлургическая компания (ТМК) – один из крупнейших мировых производителей трубной продукции, основные производственные мощности которого расположены в Уральском и Южном федеральных округах. При этом Уральский промышленный регион – это крупнейший и старейший центр российской черной металлургии, в котором соседствуют предприятия, построенные в XVIII–XIX вв., так и объекты, которые были созданы в годы Великой Отечественной войны, во время эвакуации промышленных предприятий на Восток. Челябинский трубопрокатный завод (ЧТПЗ) был основан в 1942 г. В 1970-е гг. завод достиг статуса крупнейшего в мире трубного завода с объемом производства до 3,5 млн т продукции в год. Его продукция использовалась при прокладке магистральных трубопроводов «Дружба», Бухара–Урал, Средняя Азия–Центр, Уренгой–Помары–Ужгород, Сургут–Полоцк, «Сияние Севера» и т.д.

При формировании стратегии компании в 2017 г. одним из ключевых приоритетов стало сокращение эмиссий загрязняющих веществ в соответствии с требованиями НДТ, повышение энергоэффективности производственных процессов и совершенствование системы управления отходами. Перед началом разработки проектов эколого-технологической модернизации специалисты предприятия проанализировали все применимые для деятельности завода отечественные информационно-технические справочники по НДТ и установили факт необходимости существенного сокращения сбросов загрязняющих веществ со сточными водами. Итоги сопоставительного анализа технологических показателей НДТ и фактических значений сбросов показали превышение по взвешенным веществам более чем в 3 раза, по железу – в 1,6 раза, по хлоридам и фосфатам – в 4,4 и 2 раза соответственно, по нефтепродуктам – в 1,7 раза, и лишь содержание

сульфатов в очищенных сточных водах соответствовало значениям, установленным в ИТС 27 «Производство изделий дальнейшего передела черных металлов» и утвержденным приказом Минприроды России⁴. Руководство Челябинского трубопрокатного завода (ЧТПЗ) приняло решение о разработке проекта эколого-технологической модернизации, заключавшегося в строительстве новых очистных сооружений промышленно-ливневого стока.

Результаты реализации проекта схематически представлены на **рис. 1**.

В результате реализации проекта содержания загрязняющих веществ в очищенных сточных водах было снижено в 4–10 раз. Это стратегически важная позиция: при актуализации ИТС 27 и ожидаемом ужесточении требований ЧТПЗ окажется в выгодной позиции – новые очистные сооружения обеспечат ему соответствие новым требованиям наилучших доступных технологий.

В дополнение к повышению экологической эффективности (сокращению содержания маркерных загрязняющих веществ в очищенных сточных водах) предприятию удалось добиться роста ресурсной эффективности: производство продукции выросло более чем на 20 % при сохранении того же объема сточных вод, как

и до начала эколого-технологической модернизации⁵. В этом случае можно говорить о формировании эффекта декаплинга, суть которого состоит в разрыве положительной связи между ростом производства и увеличением потребления ресурсов и негативного воздействия на окружающую среду. Отметим, что в классических работах, посвященных экономике устойчивого развития, обычно обсуждается рост благосостояния [16; 17, с. 156–162; 18], в то время как в прикладных исследованиях, выполненных на уровне отдельного предприятия или отрасли, целесообразно говорить именно о росте производства объемов продукции. Эффекты, связанные с улучшением благосостояния населения, проявляются и оцениваются на местном, региональном и национальном уровнях. Изучение материалов публичной нефинансовой отчетности ЧТПЗ позволяет утверждать, что совершенствование оплаты труда, формирование новых рабочих мест, участие завода в просветительских инициативах, развитии деятельности Корпоративного университета Трубной металлургической компании стали возможными в результате роста производства и повышения качества продукции [19; 20].

В результате модернизации на Челябинском трубопрокатном заводе произошли следующие изменения:

– выполнена программа повышения экологической эффективности;

⁵ Официальный сайт Челябинского трубопрокатного завода. Режим доступа: https://chtpz.tmk-group.ru/eco_actions

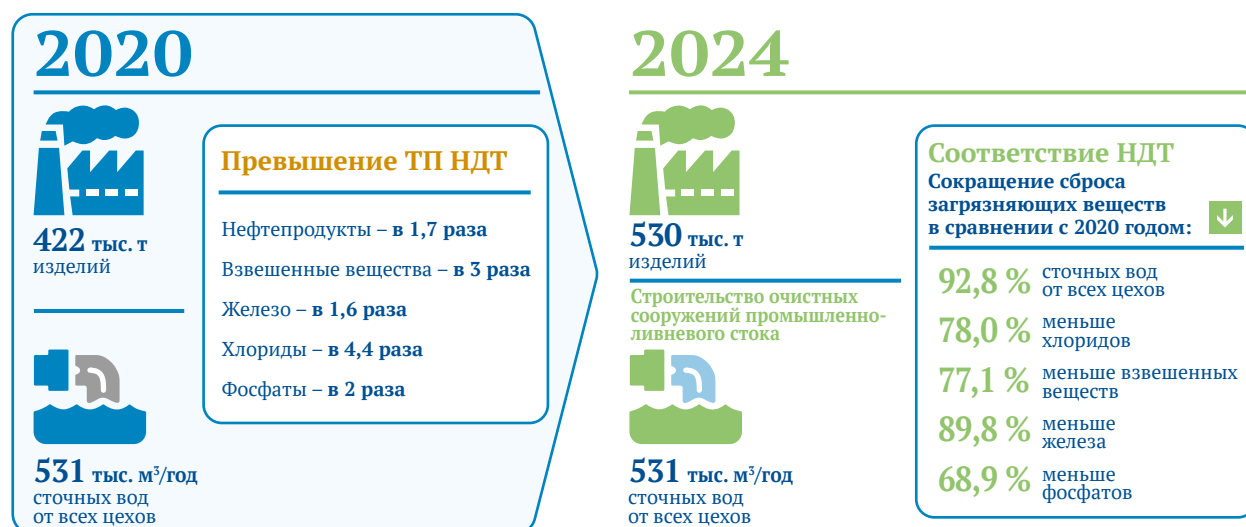


Рис. 1. Результаты эколого-технологической модернизации металлургического предприятия в 2020–2024 гг.

Источник: составлено авторами на основе [15]

Fig. 1. Results of the environmental and technological modernization of a metallurgical enterprise, 2020–2024

Source: compiled by the authors based on [15]

- содержание различных маркерных (наиболее существенных, характеризующих технологические процессы) загрязняющих веществ в сточных водах предприятия снижено в 4–10 раз;

- при росте выпуска продукции более чем на 20 % объем сточных вод не увеличился, а сброс загрязняющих веществ в природные водные объекты сократился. Это свидетельствует о поэтапном формировании эффекта декаплинга, суть которого состоит в разрыве положительной связи между ростом производства и увеличением потребления ресурсов и негативного воздействия на окружающую среду.

Целлюлозно-бумажная промышленность

Зеленая интеграция в Республике Коми: стратегия флага отечественного целлюлозно-бумажного производства

Строительство крупнейшего предприятия целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) было начато в Республике Коми в 1963 г. по решению Совета Министров СССР. На предприятии полного производственного цикла представлены все технологические этапы: от заготовки древесины до отгрузки готовой продукции клиентам. По состоянию на 2025 г. Сыктывкарский лесопромышленный комбинат (СЛПК) ежегодно выпускает 1,3 млн т готовой продукции; на предприятии работают 4500 чел.⁶ В начале 2000-х годов СЛПК столкнулся с целым рядом проблем, многие из которых оказались взаимосвязанными:

- ограниченная мощность оборудования, недостаточная для наращивания производства, в то время как рыночный спрос (в России и за рубежом) увеличивался;

- отток кадров, стремление молодых людей получить не инженерные, а экономические специальности и уехать в столицы;

- перебои в поставках основного сырья (древесины), несоблюдение поставщиками требований к качеству;

- ужесточение природоохранных требований, увеличение количества инспекций; штрафные санкции;

- интерес различных стейкхолдеров к экологическим аспектам;

- лесная сертификация, отказ от хлорного беления целлюлозы, участие в добровольной экологической деятельности, взаимодействие с общественными организациями и особо охраняемыми природными территориями [21].

⁶ Сыктывкарский ЛПК – один из лидеров бумажной отрасли. Сотрудники – наша главная ценность и залог успеха. Режим доступа: <https://slpk.com/career/> (дата обращения: 15.08.2026).

С 2007 г. СЛПК разработал и реализовал масштабную программу технологической модернизации, включавшую ряд проектов, выполненных в условиях взаимодействия бизнеса, государства и общества. Так, муниципальное предприятие (Водоканал) обеспечивает высококачественной водой как городские районы, так и близлежащие промышленные предприятия, СЛПК, в свою очередь, осуществляет очистку производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод Эжвинского района г. Сыктывкара. При этом высушенный осадок сточных вод вместе с кородревесными остатками сжигается для получения «зеленой» энергии. Лесохозяйственные предприятия Республики Коми внедряют передовые методы управления лесами, в то время как СЛПК построил современные теплицы для выращивания саженцев хвойных пород деревьев. Мощность питомника составляет 8,6 млн саженцев ели и сосны в год. К настоящему времени в Республике Коми и близлежащих регионах высажено более 87 млн молодых деревьев на площади более 40 000 гектаров⁷. Вместе с общественными организациями СЛПК осуществляет добровольную экологическую деятельность по расчистке русел рек.

Проведение поэтапной ресурсно-экологической и эколого-технологической модернизации позволило участникам интеграции:

- вдвое увеличить производство высококачественной продукции;

- обеспечить очистку производственных вод предприятия и хозяйственно-бытовых сточных вод в соответствии с требованиями НДТ;

- снизить потребление природного газа на ТЭЦ, достичь удельной энергоемкости 13,1 ГДж/т целлюлозы и увеличить долю «зеленой» энергетики до 87,5 %;

- ограничить выбросы загрязняющих веществ и парниковых газов;

- сократить долю отходов, направляемых на полигон, и обеспечить надлежащее обращение с ними (рис. 2).

В конце 2024 г. СЛПК предоставил комплексное экологическое разрешение, хотя соответствия требованиям НДТ предприятие достигло уже в 2019 г. Анализ достижений СЛПК был проведен российскими и международными экспертами. Проекты модернизации предприятия стали моделью для разработки требований к программам повышения экологической эффективности в Российской Федерации. В 2020 г. достигнутые результаты получили международное призна-

⁷ Национальное информационное агентство «Экология». Режим доступа: <https://nia.eco/2023/09/14/69551/>

ние, СЛПК был исключен из перечня так называемых экологических «горячих точек» Баренцева Евро-Арктического региона [22].

На Сыктывкарском ЛПК в результате масштабной модернизации производства:

- обеспечено увеличение почти вдвое выпуска высококачественной продукции;
- проведена очистка производственных вод предприятия и хозяйственно-бытовых сточных вод близлежащего района города в соответствии с требованиями НДТ;
- снижено потребление природного газа на ТЭЦ, достигнута удельная энергоёмкость 13,1 ГДж/т целлюлозы и увеличена доля «зеленой» энергии (получаемой из кородревесных остатков и осушенных осадков сточных вод) до 87,5 %.

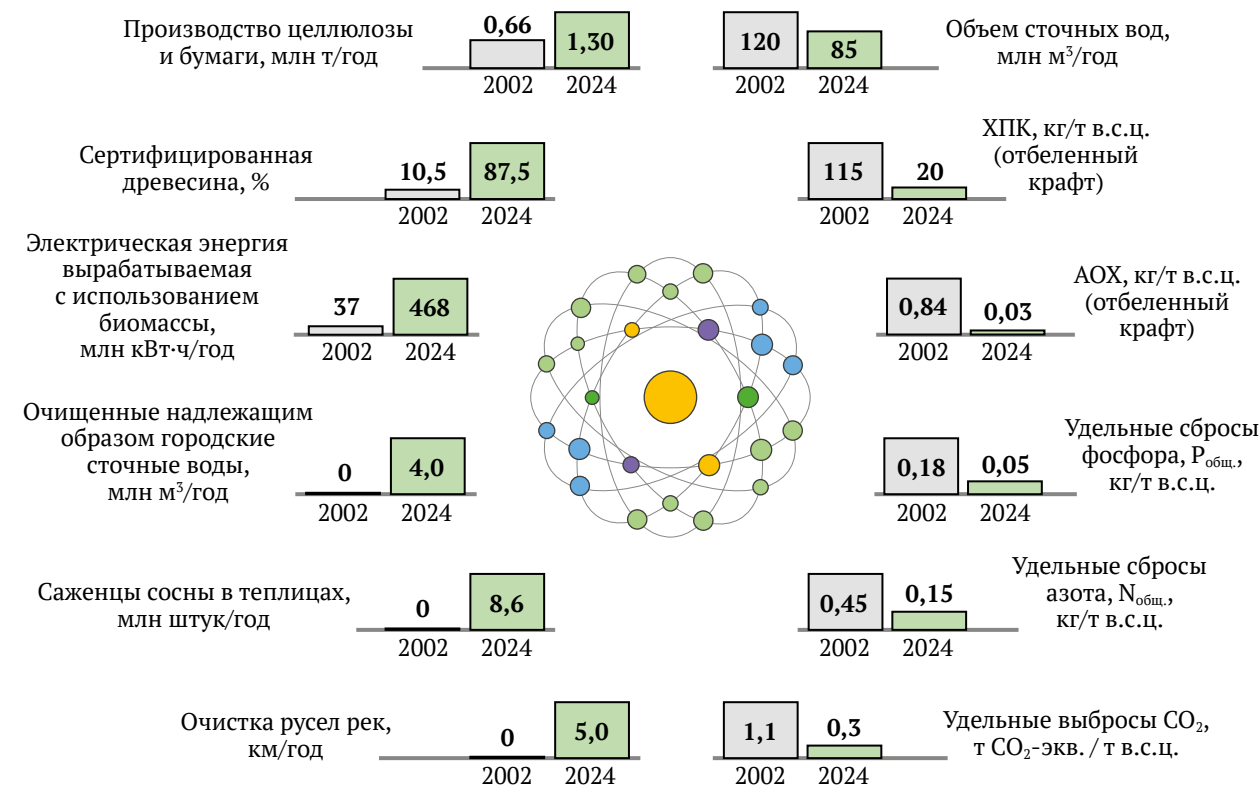
Одним из ключевых факторов в достижении эффектов модернизации стало успешное взаимодействие предприятия и органов власти субъекта федерации. В сентябре 2024 г. СЛПК и Правительство Республики Коми продлили соглашение о социально-экономическом партнерстве до 2027 г.: комбинат окажет поддержку региону в размере 1,5 млрд руб. Средства решено

направить на реализацию комплекса социально значимых мероприятий, ремонт и обслуживание дорог, развитие социальной инфраструктуры, предпринимательства и создание рабочих мест в муниципальных районах.

Формирование экономики замкнутого цикла

Опыт промышленного симбиоза металлургических и цементных предприятий в г. Новотроицке

Уникальное месторождение железной руды в Оренбургской области было открыто советским геологом И.Л. Рудницким в 1929 г., однако постановление Правительства о строительстве Орско-Халиловского металлургического комбината (ОХМК) было выпущено только перед войной, в 1940 г. сегодняшний преемник ОХМК – АО «Уральская сталь» – производитель уникальных марок стали с богатой историей, как технологической, так и экологической. За несколько десятилетий функционирования металлургического производства в г. Новотроицке накопилось огромное количество твердых отходов – шлаков.



* Тонна воздушно-сухой целлюлозы (т в.с.ц.) характеризуется содержанием сухих веществ на уровне 90 %

Рис. 2. Эффекты ресурсно-экологической и ресурсно-технологической модернизации СЛПК, 2002–2024 гг.

Fig. 2. Effects of technological modernization on resource efficiency and environmental performance at the Syktывkar Pulp and Paper Mill (2002–2024)

Поэтому создание новых заводов было направлено на переработку шлаков (как накопленных, так и вновь образующихся) с получением нескольких видов продукции: брикетированного металлоконцентрата, возвращаемого в сталеплавильное производство, вторичных огнеупоров для металлургического производства, а также цемента и щебня для строительного сектора. Таким образом, создание промышленного симбиоза направлено на минимизацию отходов и формирование экономики замкнутого цикла.

Основные акторы симбиоза таковы⁸:

– АО «Уральская сталь», годовые объемы производства: 2,7 млн т чугуна, 1,5 млн т стали, 2,3 млн т агломерата, 1,4 млн т кокса и 0,9 млн т стального проката;

– ООО «Аккерманн Цемент», годовой объем производства: 2,4 млн т цемента;

– Akkermann Metal, годовые объемы производства: 0,4 млн т металлоконцентрата, 0,8 млн т вторичных огнеупоров (произведенных из отходов) и 4,5 млн т строительного щебня;

– лаборатория бетонов #PRO_BETON;

– 11 современных цементных терминалов, расположенных в Поволжском и Уральском федеральных округах.

Производство цементного клинкера характеризуется минимальными для нашей страны показателями удельной энергоемкости (потребления природного газа) и углеродоемкости (выбросами углекислого газа). Эти показатели достигнуты благодаря тому, что в составе сырьевой муки до 30–35 % природного сырья – известняка – заменены металлургическими шлаками. Экономисты нередко обсуждают перспективы получения низкоуглеродного цемента, фокусируя внимание на добавках к клинкеру. В случае ООО «Аккерманн Цемент» низкоуглеродным является уже сам клинкер (0,52 т CO₂-экв/т клинкера), введение же добавок в цемент позволяет получить продукцию с уникальными, лучшими в нашей стране показателями [23].

Следует также принять во внимание повышение экологической эффективности, снижение объемов выбросов загрязняющих веществ (прежде всего – оксидов азота) в атмосферу и достижение требований НДТ. На ООО «Аккерманн Цемент» установлена современная система автоматического контроля выбросов и проводится эксперимент по внедрению предиктивной (цифровизированной) системы контроля [24].

Кроме того, по мере отработки отвалов снижается и их пыление, что весьма важно в контексте сокращения воздействия на здоровье населения. В настоящее время акторы обсуждают с органами местного самоуправления целесообразность обводнения отработанных карьеров. Такое решение позволит улучшить микроклимат и будет способствовать адаптации к климатическим изменениям в условиях резко континентального климата южного Оренбуржья, характеризующегося малым количеством атмосферных осадков и резкими колебаниями температуры.

В промышленном симбиозе (г. Новотроицк Оренбургской области) потребление известняка и выбросы парниковых газов, сокращены в 2 раза по сравнению с типовым производством; энергоемкость – в 1,5 раза ниже, чем на отдельных промышленных предприятиях, не использующих вторичные ресурсы в качестве добавок к сырью. Вовлечение в производство цемента и металлоконцентрата металлургических шлаков позволяют реализовать основные принципы Э3Ц.

Таким образом, создание новых производств в г. Новотроицке позволило сформировать связи, характерные для экономики замкнутого цикла, добиться повышения ресурсной и экологической эффективности производства на региональном уровне и внести вклад в достижение национальной цели развития «Экологическое благополучие».

Технологический лидер от рождения

Повышение экологической эффективности производства цемента в Рязанской области

Серебрянский цементный завод был введен в эксплуатацию в 2013 г. Производство изначально проектировалось в соответствии с принципами обеспечения высокой ресурсной и экологической эффективности; способ производства – так называемый сухой, отличающийся относительно более низкой энерго- и углеродоемкостью, чем комбинированный и мокрый способы. Предприятие полного производственного цикла, включающего доставку и переработку сырьевых компонентов, обжиг клинкера, помол и отгрузку цемента потребителям, расположено в пос. Октябрьский Рязанской области, примерно на полпути из Рязани в Тулу.

Проектная мощность технологической линии составляет 1,6 млн т цемента в год, уровень загрузки мощности в 2022–2025 гг. возрос с 126 до 130 %, хотя на многих предприятиях отрасли наблюдалось сокращение уровня загрузки⁹.

⁸ Официальный сайт правительства Оренбургской области. Режим доступа: <https://orenburg-gov.ru/activity/1643/>

⁹ Официальный сайт Серебрянского цементного завода. Режим доступа: <https://cemros.ru/about/>

С 2013 г. на Серебрянском цементном заводе использовали в качестве топлива каменный уголь и кокс. Однако с 2023 г. было принято решение о поэтапном переходе к использованию природного газа, а также RDF-топлива, получаемого из отходов, и биотоплива [25]. В контексте формирования «зеленой» экономики (низкоуглеродной), со связями между акторами, характерными для экономики замкнутого цикла, низким уровнем негативного воздействия на окружающую среду (в частности – низкими выбросами загрязняющих веществ в воздух) это решение следует считать весьма значимым. Во-первых, природный газ – значительно более низкоуглеродное топливо, чем каменный уголь, кроме того, при его сжигании образуется меньшее количество загрязняющих веществ. Во-вторых, частичная замена ископаемого топлива RDF-топливом и биотопливом позволяет дополнительно сократить выбросы парниковых газов и вовлечь в экономический оборот отходы, образующиеся как в Рязанской, так и в соседней Тульской областях.

За прошедшие 3 года удельный расход тепла на обжиг клинкера снизился с 3,64 до 3,07 ГДж/т, что близко к нижней границе интервала целевых значений энергоемкости, установленного в ИТС 6-2024 «Производство цемента»¹⁰. Содержание загрязняющих веществ в отходящих газах сократилось следующим образом: оксидов азота – с 1350 до 490 мг/м³, диоксида серы – с 150 до 45 мг/м³, монооксида углерода – с 600 до 310 мг/м³.

В 2025 г. в топливном балансе 95 % приходится на долю природного газа. Для повышения энергоэффективности в систему управления цементной мельницей был интегрирован цифровой помощник на базе искусственного интеллекта, что позволило оптимизировать процессы помола, повысить производительность оборудования и снизить потребление электроэнергии на 3 %. Основные сырьевые материалы, применяемые для производства клинкера, – это известняк и глина, в качестве корректирующего компонента используются железосодержащие шлаки (более 5 %), поставляемые из Тульской и Липецкой областей¹¹. Отметим, что этот показатель мог бы быть увеличен (вспомним историю ООО «Аккерманн Цемент»), однако действующее сегодня экологическое законодательство не стимулирует

предприятие к использованию шлаков, которые по сути своей являются отходами, но в официальной отчетности металлургов относятся к категории «побочные продукты». То есть, на деле снижая долю природного сырья в сырьевой муке и заменяя известняк шлаками, ООО «Серебрянский цементный завод» не может в отчетных документах подчеркнуть свой вклад в формирование ЭЗЦ.

Отличительной чертой Серебрянского завода является создание системы подготовки и мотивации кадров – «от детского сада до производственной площадки и университета». Поселок Октябрьский расположен достаточно далеко от региональных столиц (примерно в 100 км) и привлечь на работу молодых людей достаточно сложно. Специалисты по профессиональной ориентации организуют конкурсы, олимпиады, экскурсии на производственную площадку, встречи с руководителями завода и технологами. В школе проводятся специальные занятия по химии, физике и экологии. Наиболее заинтересованные ребята получают специальные стипендии для обучения в колледжах и в Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова.

Реализация инвестиционной программы на Серебрянском цементном заводе позволила:

- снизить удельный расход тепла на обжиг клинкера с 3,64 до 3,07 ГДж/т;
- ограничить выбросы парниковых газов;
- сформировать межотраслевые и межрегиональные связи, характерные для ЭЗЦ;
- организовать программу подготовки и мотивации кадров «от детского сада до производственной площадки и университета» в партнерстве с учебными заведениями Рязанской, Тульской и Белгородской областей.

ООО «Серебрянский цементный завод» – пример ответственного предприятия, которое вносит вклад в достижение национальных целей и целей устойчивого развития. Основные стратегические векторы развития Серебрянского завода – это высокая ресурсоэффективность и декарбонизация производства, формирование экономики замкнутого цикла, социально-экологическая ответственность.

Результаты сопоставления достигнутых проанализированными предприятиями стратегических выгод для промышленных предприятий и эффектов от реализации эколого-технологической и ресурсно-технологической модернизации схематически представлены на **рис. 3**. Лепестковая диаграмма составлена на основе экспертной оценки, выполненной при участии членов экспертного сообщества по НДТ в 2025 г.

¹⁰ ИТС 6-2024. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Производство цемента (утв. Приказом Росстандарта от 16.09.2024 № 2231). Режим доступа: https://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=2276&etkstructure_id=1872

¹¹ Официальный сайт Серебрянского цементного завода. Режим доступа: <https://cemros.ru/about/>



**Рис. 3. Сопоставление результатов ситуационных исследований:
основные выгоды от реализации проектов эколого-технологической и ресурсно-технологической
модернизации промышленности**

Fig. 3. Comparison of case study findings: key benefits of implementing technological modernization projects designed to improve environmental performance and resource efficiency in industry

Можно видеть, что каждое предприятие-лидер имеет свои сильные отличительные стороны:

- ООО «Красное Эхо» ведет собственные научно-технические разработки и внедряет инновационные технологии;

- АО «Челябинский трубопрокатный завод» реализует целую серию проектов и программ, каждая из которых направлена на достижение требований наилучших доступных технологий и сокращение негативного воздействия на окружающую среду; в представленном исследовании показаны снижение сбросов загрязненных сточных вод и наметившийся эффект декарбонизации;

- АО «Сыктывкарский ЛПК» демонстрирует выдающиеся достижения в области производства низкоуглеродной продукции и в сфере социально-экологической ответственности;

- участники «зеленой» интеграции в г. Новотроицке (и прежде всего – ООО «Аккерманн Цемент») вносят весомый вклад в формирование ЭЗЦ, производя высококачественную продукцию для металлургического и строительного секторов; ООО «Серебрянский цементный

завод» создал систему подготовки и мотивации кадров «от детского сада до производственной площадки и университета» и, применяя современные технологии производства, последовательно переходит к использованию менее углеродоемкого топлива.

Заключение

В исследовании проведены анализ и оценка лучших российских практик по повышению экологической и ресурсной эффективности на микро- и мезоуровнях. Концепция наилучших доступных технологий рассмотрена в качестве основополагающего управленческого инструмента, позволяющего обеспечивать эффективность реализации эколого-технологической и ресурсно-технологической модернизации производства. Предложенный инструментариум апробирован на примере стекольного производства во Владимирской области, цементного предприятия в Рязанской области, металлургического производства в Челябинской области, промышленного симбиоза в г. Новотроицке, «зеленой» интеграции в Республике Коми.

Проведенные ситуационные исследования имеют ряд ограничений, которые открывают возможности для будущих научных направлений: 1) разработка инструментов для оценки влияния промышленного производства на экономическое и социально-экологическое развитие регионов; 2) создание моделей организационного взаимодействия между субъектами в рамках региональных промышленных секторов для обеспечения устойчивого развития по всей цепочке создания

стоимости с акцентом на высокую ресурсную и экологическую эффективность; 3) цифровые инструменты, которые интегрируют ресурсоэффективность и устойчивое развитие с технологиями искусственного интеллекта.

Результаты исследования применимы при разработке стратегий развития предприятий в условиях достижения национальных целей развития и международно принятых целей устойчивого развития.

Список литературы / References

- Walker B., Holling C.S., Carpenter S.R., Kinzig A. Resilience, adaptability and transformability in social ecological systems. *Ecology and Society*. 2004;9(2):5. <https://doi.org/10.5751/ES-00650-090205>
- Романова О.А., Сиротин Д.В., Пономарева А.О. От экономики сопротивления – к резильентной экономике (на примере промышленного региона). *AlterEconomics*. 2022;19(4):620–637. <https://doi.org/10.31063/AlterEconomics/2022.19-4>
Romanova O.A., Sirotin D.V., Ponomareva A.O. From resistance economy to resilient economy (the case of an industrial region in Russia). *AlterEconomics*. 2022;19(4):620–637. <https://doi.org/10.31063/AlterEconomics/2022.19-4>
- Geldermann J., Rentz O. The reference installation approach for the techno-economic assessment of emission abatement options and the determination of BAT according to the IPPC-directive. *Journal of Cleaner Production*. 2004;12(4):389–402. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(03\)00032-5](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(03)00032-5)
- Seitz J.S. Identification of candidates for best available control technology (BACT) determinations. United States Environmental Protection Agency. 1977. Режим доступа: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-07/documents/canidats.pdf>
- Hjort M. Best available techniques and sustainable development goals. In: *19th SGEM Inter. multidisciplinary scient. GeoConference. SGEM 19. Conf. proc. Vol. 19. Energy and clean technologies. Vienna, 9–11 декабря 2019 г.* София: Общество с ограниченной ответственностью СТЕФ92 Технологии, 2019. Р. 185–192. <https://doi.org/10.5593/sgem2019V/4.2/S06.025>
- Freeman H., Springer J., Randall P.M., Harten T. Industrial pollution prevention: A critical review. *Journal of Air and Waste Management*. 1992;42(5):619–620. <https://doi.org/10.1080/10473289.1992.10467016>
- Толстых Т.О., Кочетова О.О. Теоретические подходы к технологическому и организационному развитию промышленных предприятий. В: *Сб. материалов XI Междунар. науч.-практ. конф.*
- «Проблемы и перспективы развития промышленности России». Москва, 31 марта 2022 г. М.: Общество с ограниченной ответственностью «Русайнс»; 2022. С. 349–356.
- Phu G.N. Factors affecting the use of best available techniques and the impact on business sustainability. *International Journal of Asian Business and Information Management*. 2023;14(1):1–18. <https://doi.org/10.4018/IJABIM.325651>
- OECD Best Available Techniques (BAT) for Preventing and Controlling Industrial Pollution. Activity 1: Policies on BAT or similar concepts Across the World: Reprot. *OECD Series on Prevention and Control of Pollutant Releases*. OECD Publishing, Paris; 2017. <https://doi.org/10.1787/51381dbf-en>
- Скобелев Д.О. Продвижение концепции наилучших доступных технологий: проблемы и перспективы. *Стандарты и качество*. 2025;(9):24–26.
Skobelev D.O. Promoting the concept of best available technologies: problems and prospects. *Standarty i kachestvo*. 2025;(9):24–26. (In Russ.)
- Волосатова А.А., Ежова О.С., Михайлиди Д.Х., Щелчков К.А. Формирование основ экономики замкнутого цикла. *Стандарты и качество*. 2026;(5):56–59. <https://doi.org/10.35400/0038-9692-2026-5-84-26>
Volosatova A.A., Ezhova O.S., Mikhailidi D.Kh., Shchelchikov K.A. Developing the circular economy basis. *Standarty i kachestvo = Standards and Quality*. 2026;(5):56–59 (In Russ.). <https://doi.org/10.35400/0038-9692-2026-5-84-26>
- Хаустова Д.О., Михайлиди Д.Х., Аверочкин Е.М. Производство стекла в национальном парке «Мещера»: ситуационное исследование. В: *Зеленые проекты. Ситуационные исследования: альманах*. Вып. 2. М.: Деловой экспресс; 2021. С. 62–83.
- Ганявин В.А., Матушанский А.В., Михайлиди Д.Х. Инжиниринг системы автоматизированного управления технологическим процессом стеклоформирующей машины как инструмент формирования отраслевого технологического суверена

- нитета. *Стекло и керамика*. 2024;97(12):39–49. <https://doi.org/10.14489/glc.2024.12.pp.039-049>
- Ganyavin V.A., Matushansky A.V., Mikhailidi D.Kh. Engineering of the automated control system of the glass forming machine technological process as a tool for forming the sectoral technological sovereignty. *Steklo i Keramika = Glass and Ceramics*. 2024;97(12):39–49. (In Russ.). <https://doi.org/10.14489/glc.2024.12.pp.039-049>
14. Климова М.А., Щелчков К.А., Малков А.В. Комплексные подходы к управлению экологическими проектами на предприятиях трубной металлургической компании: применение концепции НДТ. В: *Зеленые проекты. Ситуационные исследования: альманах*. М.: Деловой экспресс; 2025. С. 32–39.
 15. UNEP. Options for decoupling economic growth from water use and water pollution. A report of the International Resource Panel Working Group on Sustainable Water Management; 2015. 78 p. Режим доступа: <https://www.unep.org/resources/report/options-decoupling-economic-growth-water-use-and-water-pollution-report-water>
 16. *Зеленая экономика и цели устойчивого развития для России*. Под ред. С.Н. Бобылева, П. А. Кирюшина, О. В. Кудрявцевой. М.: ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова» (экономический факультет); 2019. 284 с.
 17. Волосатова А.А., Пятница А.А., Гусева Т.В., Almgren R. Наилучшие доступные технологии как универсальный инструмент совершенствования государственных политик. *Экономика устойчивого развития*. 2021;(4(48)):17–23. https://doi.org/10.37124/20799136_2021_4_48_17
Volosatova A.A., Pyatnitsa A.A., Guseva T.V., Almgren R. Best available techniques as a universal instrument for improving state policies. *Economics of Sustainable Development*. 2021;(4(48)):17–23. (In Russ.). https://doi.org/10.37124/20799136_2021_4_48_17
 18. Гусева Т.В., Потапова Е.Н., Малков А.В., Молчанова Я.П. Реализация принципа последовательного улучшения ресурсной и экологической эффективности производства цемента: ситуационное исследование. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2025;27(4(126)):203–214.
Guseva T.V., Potapova E.N., Malkov A.V., Molchanova Ya.P. Implementating principle of continual improvement of resource efficiency and environmental performance of cement production: A case study. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2025;27(4(126)):203–214. (In Russ.)
 19. Shmeleva N., Tolstykh T., Guseva T., Volosatova A. Open environmental collaborations as an innovation tool for sustainable development: Evidence from Russian Pulp and paper industry. *Sustainability*. 2025;17:1154. <https://doi.org/10.3390/su17031154>
 20. Кряжев А.М., Гусева Т.В., Тихонова И.О., Очеретено Д.П., Алмгрен Р. Целлюлозно-бумажное производство: устойчивое развитие и формирование экономики замкнутого цикла. *Экология и промышленность России*. 2020;24(11):48–53. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-11-48-53>
Kryazhev A., Guseva T., Tikhonova I., Ochertenko D., Almgren R. Responsible pulp and paper production: Sustainable development goals and circular economics. *Ecology and Industry of Russia*. 2020;24(11):48–53. (In Russ.). <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-11-48-53>
 21. Mikaelsson Å., Guseva T., Tikhonova I., Shchelchikov K. Best available techniques as criteria for excluding Russian industrial installation from the environmental hot spot list of the Barents region. In: *Proc. of 20th Intern. multidisciplinary sci. geoconf. SGEM 2020. Iss. 5.1. Albena, August 18–24, 2020. Albena, Bulgaria*. STEF92 Technology; 2020. P. 91–98. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1061/1/012010>
 22. Шмелева Н.В. Методические подходы к оценке ресурсной эффективности промышленных экосистем. *Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе*. 2023;(1):70–84. <https://doi.org/10.21685/2227-8486-2023-1-4>
Shmeleva N.V. Methodological approaches to assessing the resource efficiency of industrial ecosystems. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, Systems, Networks in Economics, Technology, Nature and Society*. 2023;(1):70–84. (In Russ.). <https://doi.org/10.21685/2227-8486-2023-1-4>
 23. Скобелев Д.О., Попов А.Ю., Ганявин В.А., Костылева В.М., Малявин А.С. подходы к построению предиктивных систем контроля выбросов для современных промышленных технологических процессов. *Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе*. 2025;(3):46–64. <https://doi.org/10.21685/2227-8486-2025-3-4>
Skobelev D.O., Popov A.Yu., Ganyavin V.A., Kostyleva V.M., Malyavin A.S. Approaches to creating emission forecasting systems for modern industrial processes. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2025;(3):46–64. (In Russ.). <https://doi.org/10.21685/2227-8486-2025-3-4>
 24. Потапова Е.Н., Кунакова Л.И., Сазонов В.А., Сапрыкин Е.В., Корнеев И.С., Тюрина Е.Д., Радюшкин В.В. Реализация экологической промышленной политики в цементной отрасли: ситуационное исследование В: *Зеленые проекты. Ситуационные исследования: альманах*. М.: Деловой экспресс; 2025. С. 40–55.

Информация об авторах

Надежда Васильевна Шмелева – д-р экон. наук, доцент, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», 119049, Москва, Ленинский просп., д. 4, стр. 1, Российская Федерация; НИИ «Центр экологической промышленной политики», 115054, Москва, Стремянный пер., д. 38, Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2564-6241>; e-mail: nshmeleva@misis.ru

Татьяна Олеговна Толстых – д-р экон. наук, профессор, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», 119049, Москва, Ленинский просп., д. 4, стр. 1, Российская Федерация; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4386-9684>; e-mail: tt400t@mail.ru

Алексей Дмитриевич Шматко – д-р экон. наук, профессор, директор, Институт проблем региональной экономики Российской академии наук, 190013, Санкт-Петербург, ул. Серпуховская, д. 38, Российская Федерация; e-mail: info@iresras.ru

Information about the authors

Nadezhda V. Shmeleva – Dr.Sci. (Econ.), Associate Professor, National University of Science and Technology “MISIS”, 4-1 Leninskiy Ave., Moscow 119049, Russian Federation; Research Institute “Environmental Industrial Policy Centre”, 38 Stremyanny Lane, Moscow 115054, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2564-6241>; e-mail: nshmeleva@misis.ru

Tatyana O. Tolstykh – Dr.Sci. (Econ.), Professor, National University of Science and Technology “MISIS”, 4-1 Leninskiy Ave., Moscow 119049, Russian Federation; Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskiye Gory, Moscow 119991, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4386-9684>; e-mail: tt400t@mail.ru

Alexey D. Shmatko – Dr.Sci. (Econ.), Professor, Director, Institute for Regional Economic Studies of the Russian Academy of Sciences, 38 Serpukhovskaya Str., Saint Petersburg 190013, Russian Federation; e-mail: info@iresras.ru

Поступила в редакцию 31.05.2026; поступила после доработки 15.08.2026; принята к публикации 17.08.2026
Received 31.05.2026; Revised 15.08.2026; Accepted 17.08.2026