

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИНЦИПА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО УЛУЧШЕНИЯ РЕСУРСНОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕМЕНТА: СИТУАЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

© 2025 Т. В. Гусева¹, Е. Н. Потапова^{1,2}, А. В. Малков², Я. П. Молчанова²

¹ Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики», г. Мытищи, Россия

² Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева, г. Москва, Россия

Статья поступила в редакцию 14.08.2025

В статье представлены подходы к оценке результатов повышения экологической и ресурсной эффективности промышленных предприятий, выполняющих программы эколого-технологической модернизации и внедряющих наилучшие доступные технологии (НДТ) производства. Актуальность исследования определяется необходимостью формирования системы оценки действенности эколого-технологического регулирования на основе НДТ как механизма, обеспечивающего устойчивое развитие общества при сокращении негативного воздействия и сохранении благоприятного состояния природной среды. Подчеркнуто, что совершенствование технологического потенциала и рост мощностей отечественной промышленности должны обеспечиваться при одновременном повышении эффективности использования природных ресурсов, вовлечении в производственные циклы вторичных ресурсов и сокращении негативного воздействия на окружающую среду (НВОС). Эти задачи решаются путем отказа от устаревших технологий, внедрения НДТ и также формирования замкнутых производственных циклов. В статье представлены результаты ситуационного исследования, выполненного на предприятии по производству цемента, объекте I категории НВОС, расположенном в Центральном федеральном округе. Показано, что поэтапный переход от угля к природному газу, топливу из отходов (RDF-топливу), биотопливу, а также добавка к сырью железо- и кальцийсодержащих отходов металлургического производства позволяет повысить экологическую и ресурсную эффективность, а также сократить углеродоемкость продукции. Применяемые на предприятии решения способствуют как достижению национальных целей развития, международно принятых целей устойчивого развития, так и формированию в стране экономики замкнутого цикла, характеризующейся также низкими выбросами парниковых газов. В порядке оценки действенности механизма эколого-технологического регулирования в статье предложено для отраслей промышленности, отнесенных к областям применения НДТ, провести сравнительный анализ достигнутых к настоящему времени технологических показателей эмиссий, показателей ресурсной эффективности и углеродоемкости. В качестве базы сравнения целесообразно использовать отраслевые показатели, установленные в соответствующих информационно-технических справочниках (ИТС) по НДТ в 2015–2024 гг. Отмечено, что цементная промышленность как один из лидеров по числу предоставленных объектам НВОС комплексных экологических разрешений и применению НДТ может стать пилотной отраслью для проведения сравнительного анализа. Его результаты могут быть также использованы при следующей актуализации ИТС 6-2024 «Производство цемента». Подходы, апробированные в цементной отрасли, целесообразно тиражировать в других областях применения НДТ и масштабировать для оценки действенности механизма эколого-технологического регулирования на национальном уровне.

Ключевые слова: принципы и механизмы устойчивого развития, эколого-технологическое регулирование, наилучшие доступные технологии, производство цемента, эколого-технологическая модернизация, негативное воздействие на окружающую среду, экологическая эффективность, ресурсная эффективность.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-4-203-214

EDN: HTNNNN

ВВЕДЕНИЕ

Основная цель, смысл создания нового механизма эколого-технологического регулирования на основе наилучших доступных технологий (НДТ) в Российской Федерации состоит в поэтапном отказе от устаревших технологий за счет установления для крупных отечественных предприятий тех-

Гусева Татьяна Валериановна, доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе. E-mail: Tatiana.V.Guseva@gmail.com

Потапова Екатерина Николаевна, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры химической технологии композиционных и вяжущих материалов. E-mail: Potapova.E.N@muctr.ru

Малков Александр Владимирович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры ЮНЕСКО «Зеленая химия для устойчивого развития». E-mail: Malkov.A.V@muctr.ru

Молчанова Яна Павловна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры ЮНЕСКО «Зеленая химия для устойчивого развития». E-mail: Molchanova.I.P@muctr.ru

нологически обоснованных, достижимых требований, обеспечивающих сокращение негативного воздействия на окружающую среду¹ [1, 2].

Разработка концепции НДТ, порядок установления эколого-технологических требований и оценки их выполнения относятся к направлению исследований, отвечающему п. 8 паспорта научной специальности 1.5.15 – Экология (отрасль науки – технические): «Разработка принципов и механизмов, обеспечивающих устойчивое развитие общества при сохранении биоразнообразия и стабильного состояния природной среды, юридические вопросы природопользования и охраны окружающей среды»².

При этом, как показывает отечественный и зарубежный опыт, при неизменности основных принципов НДТ сам механизм требует последовательного совершенствования, доработки, для чего необходима периодическая оценка его действенности и учет полученных результатов при установлении новых требований к технологиям, средозащитным сооружениям, оборудованию и др., то есть, требований к экологической и ресурсной эффективности производства.

В ключевых отраслях промышленности достижение соответствия НДТ обеспечивается путем модернизации технологических процессов и оборудования, информация о которых систематизирована в информационно-технических справочниках (ИТС) по НДТ [3-5]. В ИТС представлен анализ состояния отраслей промышленности, экологических проблем, обусловленных несовершенством технологических процессов и техники защиты окружающей среды, и установлены обязательные для достижения показатели НДТ. В настоящее время число объектов НВОС, которые должны доказывать соответствие этим показателям и получать комплексные экологические разрешения (КЭР), превышает пять тысяч. Для системообразующих отраслей промышленности в России разработаны 54 ИТС, которые актуализируются раз в 5-7 лет; таков же период пересмотра, уточнения технологических показателей [5]. Этот подход отражает один из основных принципов НДТ – принцип последовательного отказа от устаревших технологий и сокращения НВОС, который призван обеспечить устойчивое развитие общества при сохранении ... стабильного состояния природной среды, характерный как для российской системы эколого-технологического регулирования, так и для систем, функционирующих в других странах мира [6-8].

Производство цемента является областью применения НДТ; в 2015-2024 гг., по данным статистики, в Российской Федерации было производилось 55-65 млн т цемента; наша страна занимает 9-ое место в мире по выпуску продукции этой отрасли [9]. Цементные предприятия входят в число лидеров по разработке и реализации программ эколого-технологической модернизации, комплексные экологические разрешения получили уже 70 % объектов НВОС [10-12]. Отрасль, в которой в течение многих лет проводятся пилотные проекты в сфере НДТ и реализуются проекты эколого-технологической модернизации, может служить представительным объектом ситуационного исследования.

Цель работы заключается в анализе результатов эколого-технологического регулирования на основе наилучших доступных технологий как механизма, обеспечивающего устойчивое развитие общества при сокращении негативного воздействия и сохранении благоприятного состояния природной среды (на примере российской цементной промышленности).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Информационную основу исследования составили материалы Бюро наилучших доступных технологий; сведения, доступные в открытой отчетности ООО «Серебрянский цементный завод» и других предприятий отрасли [13]; информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 6-2024 «Производство цемента» [14], а также материалы авторов, являющихся членами Экспертного сообщества по НДТ. При выполнении исследования были проведены (1) оценка отраслевой информации; (2) анализ документации, относящейся к внедрению НДТ; (3) обследование производственной площадки предприятия и (4) собраны данные, необходимые для расчета достигнутых предприятием технологических показателей и показателей углеродоемкости продукции. В целом, при подготовке статьи нашли применение методы анализа и синтеза, а также контент-анализа [15], характерные для работ в области промышленной экологии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В порядке достижения поставленной цели необходимо:

- собрать и проанализировать информацию о внедрении НДТ на российских цементных предприятиях в 2019-2025 гг.;

¹ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 19.03.2014 г. № 398-р «Об утверждении комплекса мер, направленных на отказ от использования устаревших и неэффективных технологий».

² Паспорт научной специальности 1.5.15. «Экология» (отрасль науки – технические). URL: <https://vak.gisnauka.ru/search-analytical-system/reference-materials>.

- выбрать критерии оценки результатов применения механизма эколого-технологического регулирования деятельности промышленности применительно к отрасли производства цемента;
- проанализировать практические решения и достигнутые изменения значений ключевых ресурсных и эколого-технологических показателей, характерных для выбранного предприятия;
- разработать рекомендации для проведения аналогичных исследований применительно к другим отраслям (областям применения НДТ).

В контексте данного исследования мы используем следующее определение: «Наилучшие доступные технологии – это совокупность технологических, технических и организационных решений, практическое применение которых позволяет предприятиям добиваться высокой экологической и ресурсной эффективности производства и ограничивать выбросы парниковых газов» [16]. Обеспечение высокой ресурсной (в том числе энергетической) эффективности – принцип НДТ, обоснованный научно и закрепленный законодательно³ [17, 18]. Официальным свидетельством достижения соответствия НДТ следует считать факт предоставления Росприроднадзором объекту I категории НВОС комплексного экологического разрешения.

Внедрение наилучших доступных технологий на российских цементных предприятиях

Рассмотрим динамику получения этих разрешений российскими цементными предприятиями. В 2019 г., когда механизм НДТ получил практическое применение в России, три цементных завода получили КЭР в числе первых 15 объектов НВОС нашей страны [19, 20]. К 14.08.2025 г. комплексные экологические разрешения были предоставлены 36 из 52 действующих предприятий цементной отрасли (см. рис. 1). Подчеркнем, что 21 объект НВОС разрабатывал проекты ППЭЭ, направленные на внедрение средозащитной техники, повышение эффективности использования природных ресурсов; часть ППЭЭ уже успешно выполнена, и предприятиям предоставлены новые разрешения без каких-либо обременений. Предприятия не вынуждены более осуществлять платежи за НВОС в 100- или 25-кратном размере [21, 22].

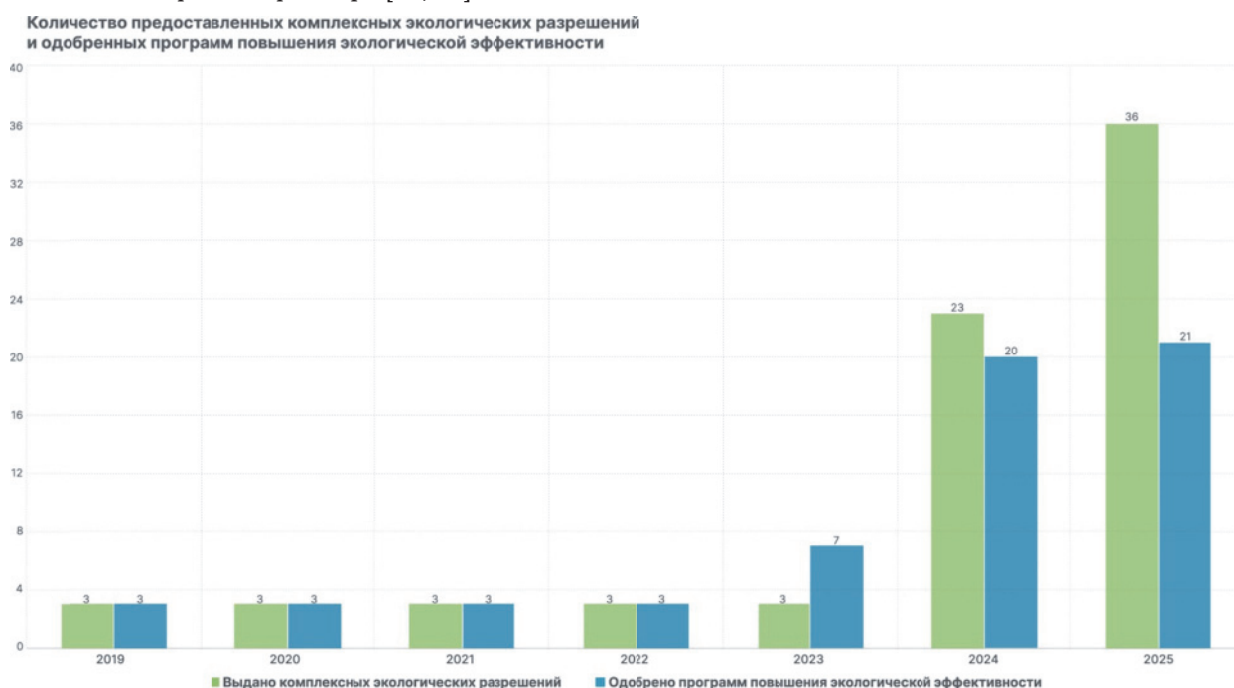


Рис. 1 – Динамика предоставления комплексных экологических разрешений цементным предприятиям России

Источник: рисунок составлен авторами с использованием данных Бюро НДТ

В контексте оценки результатов механизма эколого-технологического регулирования на основе наилучших доступных технологий весьма значима, так как реализация ППЭЭ свидетельствует о последовательном сокращении выбросов загрязняющих веществ, а также, в ряде случаев, о вовлечении в производство вторичных ресурсов – отходов других отраслей промышленности (что также является одним из принципов НДТ) при увеличении масштабов производства, что в целом способ-

³ Федеральный закон от 31.07.2025 г. № 304-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

ствуется устойчивому развитию общества при сохранении стабильного состояния окружающей среды. То есть, доля предприятий отрасли, которым предоставлены комплексные экологические разрешения, в том числе – с условием выполнения ППЭЭ, – это критерий действенности нового механизма эколого-технологического регулирования в России.

При этом цементная отрасль занимает одну из ведущих позиций (см. рис. 2); доля предприятий, прошедших эколого-технологическую модернизацию, в том числе отказываясь последовательно от устаревших технологий, переходя от мокрого (более энергоемкого) способа производства к комбинированному и сухому, превышает 58% [21].

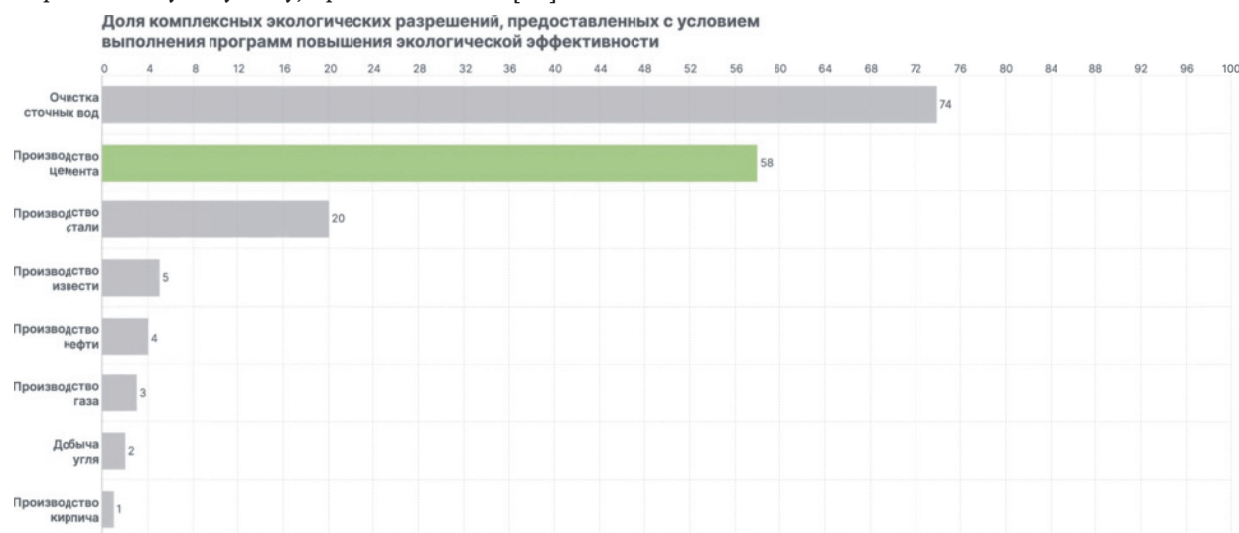


Рис. 2 – Доля комплексных экологических разрешений, предоставленных с условием выполнения программ повышения экологической эффективности, в различных областях применения наилучших доступных технологий

Источник: рисунок составлен авторами с использованием данных Бюро НДТ

Для сравнения: предприятия водоснабжения и водоотведения, которые также относятся к объектам НВОС I категории, разработали 137 ППЭЭ, получивших одобрение Межведомственной комиссии; это самый высокий показатель в стране (более 70 % отрасли). При этом средний показатель по всем областям применения НДТ в России составляет лишь 5 %, и это обстоятельство должно стать предметом самостоятельного исследования.

Повышение экологической и ресурсной эффективности производства цемента

Рассмотрим подробнее экологические и энергетические аспекты производства цемента с тем, чтобы выбрать приоритетные и оценить достигнутые результаты. Термины «экологические и энергетические аспекты» получили распространение благодаря соответствующим стандартам ГОСТ Р ИСО [23, 24]. Приоритетными являются экологические аспекты, «которые могут привести к значительному воздействию на окружающую среду» [23]; при этом «приоритетными энергетическими аспектами считаются те элементы деятельности организации, ее продукции или услуг, которые оказывают значительное влияние на использование энергии или энергопотребление» [24]. Энергетические аспекты во многом определяют аспекты экологические [25]. Первые отраслевые национальные стандарты по НДТ содержали рекомендации по повышению энергоэффективности производства тугоплавких неметаллических материалов (в том числе, цемента), потому что специалисты, составившие в 2015-2017 гг. ядро Экспертного сообщества по НДТ, понимали, что повышение ресурсной эффективности, внедрение решений, встроенных в технологический процесс, позволяет одновременно решать задачи повышения экологической эффективности и снижения НВОС⁴ [26, 27].

Внимание к приоритетным экологическим аспектам, существенным, маркерным для технологических процессов загрязняющим веществам, характерно как для российских, так и для международных справочных (ссылочных) документов по НДТ [13, 28]. В Российской Федерации эти показатели называют технологическими; они утверждаются приказами Минприроды России и носят обязательный характер. Показатели ресурсной (в том числе энергетической) эффективности являются не обязательными, а целевыми во всех странах. Наконец, показатели выбросов парниковых

⁴ Федеральный закон Российской Федерации «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ.

газов называют индикативными, ориентировочными, в нашей стране процедура их определения «встроена» в процесс актуализации отраслевых ИТС [8].

В целом, показатели НДТ образуют систему координат, необходимую разработчикам технологий, средозащитной техники, технологам, энергетикам и экологам предприятий, для принятия решений по созданию и внедрению новой техники, обеспечивающей соответствие требованиям законодательства, повышение экологической и ресурсной эффективности производства.

Рассмотрим результаты последовательного улучшения экологической и ресурсной эффективности цементной отрасли, достигнутые посредством применения механизма эколого-технологического регулирования, используя критерии ресурсной и экологической эффективности, установленные в отраслевом ИТС (см. табл. 1).

Таблица 1. Динамика показателей ресурсной и экологической эффективности производства цемента в Российской Федерации

Критерии (по ИТС 6-2024 [14])	Отраслевые характеристики		Показатели, включенные в ИТС 6-2024 [14]
	2014-2015 гг.	2022-2024 гг.	
Ресурсная эффективность			
Использование сухого или комбинированного способа производства, %	30	60	Сухой способ рассматривается как наиболее современный
Удельный расход тепла на обжиг клинкера:			
– для заводов сухого способа производства, ГДж/т	3,5-4,3	3,0-4,0	3,0-4,12
– для заводов мокрого способа производства, ГДж/т	5,8-6,5	5,5-6,2	5,4-6,45
Удельные выбросы парниковых газов (охват 1), т СО ₂ -экв./т клинкера	Нет данных	0,60-1,25	0,872 (стимулирующий уровень)
Экологическая эффективность: выбросы маркерных загрязняющих веществ			
Уровень выбросов взвешенных веществ, мг/м ³	120-1200	50-250	<25 ¹ <50 ²
Уровень выбросов оксидов азота (NO и NO ₂ суммарно, в пересчете на NO ₂), мг/м ³	500-1800	400-900	<500 ³ <800 ⁴
Уровень выбросов диоксида серы, мг/м ³	200-500	200-350	<400
Уровень выбросов монооксида углерода, мг/м ³	200-800	200-550	<500

¹ для проектируемых и вновь строящихся технологических линий;

² для технологических линий, введенных в эксплуатацию после 2008 г.;

³ для печей с циклонным теплообменником;

⁴ для длинных печей мокрого способа производства и печей Леполь.

Источник: таблица составлена авторами с использованием данных Бюро НДТ.

Степень достижения обязательных технологических показателей эмиссии производства цемента и последовательный сдвиг интервала значений, характерных для отрасли в целом, в меньшую сторону свидетельствуют о сокращении выбросов маркерных загрязняющих веществ – пыли, содержащей диоксид кремния, оксидов азота, диоксида серы и монооксида углерода. Для сокращения выбросов NO_x применяются системы селективного некаталитического восстановления оксидов азота (СНКВ) [14], которые производятся в нашей стране.

В связи с тем, что в государственных докладах «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации» в течение последних 10-12 лет сведения об эмиссиях загрязняющих веществ, характерных для ключевых отраслей промышленности, не приводятся, для получения необходимой информации придется обобщать данные о технологических нормативах всех цементных пред-

приятый, содержащиеся в КЭР и ППЭЭ (в тоннах в год). Подобные работы целесообразно начинать после того, как всем объектам НВОС этой отрасли будут предоставлены комплексные экологические разрешения.

Перспективы снижения углеродоемкости цемента следует рассматривать в контексте достижения национальных целей развития⁵ и реализации Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года⁶ (далее – Стратегия). Первоочередное внимание в Стратегии уделяется следующим отраслям: «производство стали, алюминия, цемента, минеральных удобрений, стекла и целлюлозно-бумажное производство⁷. Для цементной отрасли в российской таксономии зеленых проектов указаны следующие критерии [30, 31]:

- «соответствие показателям ресурсной и энергетической эффективности согласно информационно-техническому справочнику по наилучшим доступным технологиям ИТС 6-2022 «Производство цемента»⁸;

- углеродоемкость... серого клинкера – менее 0,766 т CO₂-экв./т;
- использование сухого способа или комбинированного производства;
- замена 10 % и более природного сырья отходами различных отраслей промышленности».

Показатель 0,766 т CO₂-экв./т был установлен как бенчмарк (показатель, при соблюдении которого производители продукции получают квоты на выбросы парниковых газов на безвозмездной основе) в Европейской системе торговли квотами на период 2013–2020 гг.; в настоящее время действует бенчмарк, равный 0,693 CO₂-экв./т⁹ [27]. Предполагается, что в следующих редакциях российской таксономии зеленых проектов будут даны ссылки на действующие информационно-технические справочники; конкретные показатели указаны не будут [16, 18]. При этом следует ожидать, что аналогично «сдвигу» технологических показателей эмиссии и показателей ресурсной эффективности производства по мере внедрения НДТ и формирования экономики замкнутого цикла российские бенчмарки будут снижаться. Основные направления снижения выбросов парниковых газов в производстве цемента включают:

- повышение энергоэффективности, в том числе за счет перехода к использованию сухого и комбинированного способов производства;
- сжигание менее углеродоемкого топлива за счет перехода к использованию природного газа, RDF-топлива и биотоплива;
- «выбор сырья с низким содержанием органических веществ (органического углерода);
- замена части природного сырья альтернативными сырьевыми материалами (металлургическими шлаками и др.), при обжиге которых не образуется диоксид углерода;
- производство многокомпонентных цементов, позволяющее существенно снижать потребление топлива и выбросы CO₂ в расчете на тонну конечного продукта (цемента)» [14, 31, 32].

Анализ опыта Серебрянского цементного завода

Серебрянский цементный завод был введен в эксплуатацию в 2013 г. Способ производства – сухой, с полным производственным циклом, включающим доставку и переработку сырьевых компонентов, обжиг клинкера, помол и отгрузку цемента потребителям. Выпуск цемента осуществляется в соответствии с ГОСТ 31108-2020 [33].

Проектная мощность технологической линии составляет 1606,5 тыс. т в год, уровень загрузки мощности в 2022–2025 гг. возрос с 126 % до 130 %, хотя на многих предприятиях отрасли наблюдается сокращение уровня загрузки [20].

В соответствии с проектными решениями изначально на Серебрянском цементном заводе в качестве топлива использовался каменный уголь, а также кокс и дизельное топливо. С 2023 г. осуществляется поэтапная замена данных видов топлива природным газом, RDF-топливом и биотопливом. Удельное потребление тепловой энергии составляет 3,07 ГДж/т клинкера, что близко к нижней границе интервала целевых значений энергоемкости, указанного в ИТС 6-2024 «Производство цемента».

⁵ Указ Президента РФ от 07.05.2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года».

⁶ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29.10.2021 г. № 3052-р «Об утверждении стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года».

⁷ Постановление Правительства Российской Федерации от 21.09.2021 г. № 1587 (ред. от 30.12.2023 г.) «Об утверждении критериев проектов устойчивого (в том числе зеленого) развития в Российской Федерации и требований к системе верификации инструментов финансирования устойчивого развития в Российской Федерации».

⁸ ИТС 6 был актуализирован в 2024 г.; в настоящее время действует ИТС 6-2024.

⁹ Commission Delegated Regulation (EU) 2019/331 of 19 December 2018 Determining Transitional Union-Wide Rules for Harmonised Free Allocation of Emission Allowances Pursuant to Article 10a of Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council.

та» [14]. При этом доля тепловой энергии, полученной путем сжигания (1) углеродонейтрального биотоплива и (2) RDF-топлива, характеризующегося удельным образованием парниковых газов ~1,5 т CO₂-экв./т [33] (на порядок ниже, чем при сжигании природного газа), приближается к 5 %; с января 2025 г. 95 % приходится на долю природного газа. К концу 2024 г. предприятие полностью отказалось от сжигания угля, кокса и дизельного топлива. В 2024 г. 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 – известняк и глина; в качестве корректирующего компонента применяются железосодержащие шлаки (более 5 %), поставляемые из Тульской и Липецкой областей.

В табл. 2 представлены этапы энергоперехода, сокращения выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов, рассчитанные для Серебрянского цементного завода.

Таблица 2. Этапы энергоперехода, сокращения выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов, рассчитанные для Серебрянского цементного завода

Критерии (по ИТС 6-2024 [14])	Характеристики 2016-2024 гг.			Показатели, включенные в ИТС 6-2024 [14]
	2016 г.	2022 г.	2024 г.	
Ресурсная эффективность				
Удельный расход тепла на обжиг клинкера, ГДж/т	3,64	3,35	3,07	3,0-4,12
Удельный расход электроэнергии, кВт·час/т цемента	109	105	102	110-140
Удельные выбросы парниковых газов (охват 1), т CO ₂ -экв./т клинкера	Нет данных	0,813	0,696	0,872 (стимулирующий уровень)
Экологическая эффективность: выбросы маркерных загрязняющих веществ				
Уровень выбросов взвешенных веществ, мг/м ³	35	48	40	<50
Уровень выбросов оксидов азота (NO и NO ₂ суммарно, в пересчете на NO ₂), мг/м ³	1350	950	490	<500
Уровень выбросов диоксида серы, мг/м ³	150	125	45	<400
Уровень выбросов монооксида углерода, мг/м ³	600	380	310	<500

Источник: таблица составлена авторами с использованием данных Бюро НДТ.

Анализ данных, приведенных в табл. 2, показывает, что предприятие постоянно повышает экологическую и ресурсную эффективность производства – за прошедшие годы при переходе от каменного угля на газ и альтернативные виды топлива удельный расход тепла на обжиг клинкера снизился с 3,64 ГДж/т до 3,07 ГДж/т. Оптимизация технологических процессов позволила снизить содержание загрязняющих веществ в отходящих газах: оксидов азота – с 1350 мг/м³ до 490 мг/м³, диоксида серы – с 150 мг/м³ до 45 мг/м³, монооксида углерода – с 600 мг/м³ до 310 мг/м³. Содержание взвешенных веществ не превышает значения отраслевого технологического показателя НДТ и поддерживается посредством технического обслуживания и ремонта фильтрующего оборудования.

В продуктовой линейке цемента в 2013-2021 гг. увеличивалась доля многокомпонентного цемента ЦЕМ II/В-Ш 42,5 Н, но с 2022 г., в связи с предпочтениями производителей бетона, возросла доля бездобавочного цемента. По мере усиления позиций зеленой экономики и экономики замкнутого цикла (как направлений экономики устойчивого развития) эта тенденция должна быть переломлена, так как снижение доли клинкера в цементе способствует вовлечению в производство вторичных ресурсов и снижению углеродоемкости продукции, а значит и так называемого «вложенного» в строительных материалах диоксида углерода, во многом определяющего углеродный след зданий и сооружений [18]. Углеродоемкость цементного клинкера Серебрянского цементного

завода по данным на конец 2024 г. составила менее 0,7 т CO₂-экв./т клинкера, что соответствует лучшим мировым значениям.

Таким образом, предприятие, которое изначально проектировалось и строилось с применением международно принятых решений, отнесенных к НДТ, добилось улучшения показателей энергетической и экологической эффективности (снизило выбросы маркерных загрязняющих веществ), а также обеспечило сокращение углеродоемкости продукции. В настоящее время технологи и энергетики завода анализируют возможности увеличения доли альтернативного топлива в топливном балансе, что позволит предприятию разработать климатический проект в соответствии с требованиями действующего законодательства и выпустить углеродные единицы¹⁰.

Отметим, что при сжигании топлива из отходов требования к объекту НВОС ужесточаются, в перечень контролируемых загрязняющих веществ включаются тяжелые металлы, фтористый и хлористый водород, а также диоксины [14, 32]; эти вещества должны быть включены в программу производственного экологического контроля [35]. Концентрации основных маркерных загрязняющих веществ будут определяться с помощью системы автоматического контроля выбросов¹¹, которая должна быть установлена в течение четырех лет после получения КЭР [18].

Подходы Серебрянского цементного завода отражают ключевой принцип эколого-технологического регулирования – принцип последовательного улучшения [25]; технологи, энергетики, экологи и менеджеры разрабатывают, апробируют и внедряют новые решения, направленные на снижение НВОС и повышение эффективности производства.

С учетом опыта аналогичных заводов можно рекомендовать повысить долю металлургических шлаков в сырьевой муке (до 25-30 %), что позволит сократить как технологические, так и энергетические выбросы парниковых газов [32]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Действенность эколого-технологического регулирования на основе наилучших доступных технологий как механизма, обеспечивающего устойчивое развитие общества при сокращении негативного воздействия и сохранении благоприятного состояния природной среды, проявляется в последовательном отказе от устаревших технологий и переходу к более современным, эффективным. Повышение эффективности можно проследить по улучшению показателей НДТ – (1) технологических показателей эмиссий загрязняющих веществ, (2) показателей ресурсной эффективности, отражающих потребление сырья, вспомогательных материалов, энергии, воды и др., а также (3) показателей углеродоемкости производства и продукции.

На отраслевом уровне действенность механизма эколого-технологического регулирования прослежена на примере производства цемента. В качестве базы сравнения использованы отраслевые показатели, установленные в ИТС 6-2024 «Производстве цемента». Показано, что к настоящему времени около 70 % предприятий отрасли (что выше, чем средний показатель по всем областям применения НДТ в России) получили комплексные экологические разрешения и доказали тем самым вклад в сокращение негативного воздействия на окружающую среду, повышение эффективности использования природных ресурсов, а также вовлечение в производство ресурсов вторичных (металлургических шлаков и альтернативного топлива). Последнее обстоятельство способствует формированию межотраслевых связей, необходимых для обеспечения устойчивого развития общества при сохранении благоприятного состояния природной среды. Важно, что более 58 % объектов НВОС отрасли, которым предоставлены КЭР, разработали и выполняют (или уже завершили) программы эколого-технологической модернизации производства. Степень достижения обязательных технологических показателей эмиссий производства цемента и последовательный сдвиг интервала значений, характерных для отрасли в целом, в сторону меньших значений, свидетельствуют о сокращении выбросов в окружающую среду маркерных загрязняющих веществ – пыли, содержащей диоксид кремния, оксидов азота, диоксида серы и монооксида углерода.

Проанализирован опыт Серебрянского цементного завода, на котором с 2022 г. осуществляется переход от сжигания угля и кокса к сжиганию природного газа, RDF-топлива и биотоплива. Показано, что такой энергопереход позволил сократить эмиссии взвешенных веществ, оксидов азота и серы, а также монооксида углерода; достигнутые предприятием показатели соответствуют требованиям НДТ. Показатель углеродоемкости (0,696 т CO₂-экв./т клинкера) ниже стимулирующего уровня индикативного отраслевого показателя в Российской Федерации (0,872 т CO₂-экв./т клинкера), что

¹⁰ Федеральный закон Российской Федерации от 02.07.2021 г. № 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов».

¹¹ Постановление Правительства Российской Федерации от 13.03.2019 г. № 262 «Об утверждении Правил создания и эксплуатации системы автоматического контроля выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ».

открывает для предприятия возможности разработки и реализации климатического проекта в соответствии с законодательно установленными требованиями, а также выпуска углеродных единиц.

Подходы отраслевого анализа целесообразно тиражировать в других областях применения наилучших доступных технологий, а полученные сведения о последовательном снижении показателей эмиссий, энергоемкости и углеродоемкости использовать при очередной актуализации информационно-технического справочника по НДТ «Производство цемента».

Для оценки результатов применения механизма эколого-технологического регулирования на основе НДТ в части сокращения нагрузки на окружающую среду следует обобщить данные о технологических нормативах всех объектов НВОС, содержащиеся в КЭР и ППЭЭ (в тоннах в год). Подобные работы целесообразно начинать после того, как всем 5053 объектам (по состоянию на 15.08.2025 г.) будут предоставлены комплексные экологические разрешения. При организации исследований следует использовать практику проведения ситуационных исследований на примере предприятий областей применения НДТ, которые (1) выполнили ППЭЭ и добились повышения экологической и ресурсной эффективности производства, а также тех, которым (2) были предоставлены КЭР без каких-либо обременений. Это позволит систематизировать сведения о применяемых в настоящее время технологических, технических и управленческих решениях, а также о возможности последовательного уточнения (ужесточения) технологических показателей НДТ и целевых показателей ресурсной эффективности.

Подчеркнуто, что показатели НДТ образуют систему координат, необходимую разработчикам технологий, средозащитной техники, технологам, энергетикам и экологам предприятий, для принятия решений по созданию и внедрению новой техники, обеспечивающей соответствие требованиям законодательства, повышение экологической и ресурсной эффективности производства.

Предварительные результаты, полученные на отраслевом уровне для производства цемента, свидетельствуют о действенности эколого-технологического регулирования на основе наилучших доступных технологий как механизма, обеспечивающего устойчивое развитие общества при сокращении негативного воздействия и сохранении благоприятного состояния природной среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мантуров, Д.В. Устойчивый экономический рост: аспекты гармонизации промышленной и экологической политики России / Д.В. Мантуров // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. – 2018. – Т. 11. – № 4. – С. 132-140.
2. Скобелев, Д.О. Показатели наилучших доступных технологий / Д.О. Скобелев, И.С. Курошев, И.С. Филютин // Качество и жизнь. – 2024. – № 3 (43). – С. 93-96.
3. Доброхотова, М.В. Применение концепции наилучших доступных технологий в целях технологической трансформации промышленности в условиях энергетического перехода / М.В. Доброхотова, А.В. Матушанский // Экономика устойчивого развития. – 2022. – № 2(50). – С. 63-68.
4. Скобелев, Д.О. Энергоменеджмент и энергоэффективность: видение 2025. Руководство по управлению энергопотреблением для промышленных предприятий. В 2-х частях / Д.О. Скобелев, М.В. Степанова, Т.В. Гусева, М.В. Доброхотова. – М.: Гефест, 2025. – 152 с.
5. Скобелев, Д.О. Формирование инфраструктуры ресурсно-технологической трансформации промышленности / Д.О. Скобелев // Экономика устойчивого развития. – 2020. – № 1(41). – С. 162-167.
6. Polders, C. Methodology for Determining Emission Levels Associated with the Best Available Techniques for Industrial Waste Water / C. Polders, L. Van den Abele, A. Derden, et al // Journal of Cleaner Production. 2012. Vol. 29-30. P. 113-121. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.02.008>.
7. Schollenberger H., Treitz M., Geldermann J. Adapting the European Approach of Best Available Techniques: Case Studies from Chile and China // Journal of Cleaner Production. 2008. Vol. 16. Is. 17. P. 1856-1864.
8. Зажигалкин, А.В. Парниковые газы и наилучшие доступные технологии. Инфраструктура стандартизации / А.В. Зажигалкин, М.В. Доброхотова, С.В. Черкасская // Стандарты и качество. – 2023. – № 5. – С. 44-48. – <https://doi.org/10.35400/0038-9692-2023-5-83-23>.
9. Cement Production by Country. – URL: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/cement-production-by-country> (дата обращения: 11.08.2025).
10. Шершнева, М.В. Применение наилучших доступных технологий в строительстве / М.В. Шершнева, А.С. Лагздина // Бюллетень строительной техники. – 2020. – № 9(1033). – С. 56-57.
11. Савина, А.И. Использование наилучших доступных технологий при производстве цемента с целью сокращения эмиссии парниковых газов / А.И. Савина, Т.О. Тагаева // Мир экономики и управления. – 2023. – Т. 23(3). – С. 35-48. – <https://doi.org/10.25205/2542-0429-2023-23-3-35-48>.

12. Потапова, Е.Н. Получение комплексных экологических разрешений предприятиями промышленности строительных материалов: первые итоги / Е.Н. Потапова, Ю.Р. Кривобородов // Техника и технология силикатов. – 2020. – Т. 27. – № 1. – С. 2-6.
13. Щелчков, К.А. Разработка подходов к эколого-технологическому регулированию деятельности промышленных предприятий на протяжении их жизненного цикла : дис. ... канд. техн. наук / К.А. Щелчков. – М., 2023. – 220 с.
14. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 6-2024 «Производство цемента».
15. Колмогоров, Ю.Н. Методы и средства научных исследований / Ю. Н. Колмогоров, А. П. Сергеев, Д. А. Тарасов и др. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 152 с.
16. Волосатова, А.А. Развитие системы критериев таксономии зеленых проектов модернизации промышленных предприятий / А.А. Волосатова // Сборник докладов XII Международного форума «Экология». – М., 2022. – С. 11-17.
17. Волосатова, А.А. Разработка системы экспертной оценки проектов развития и эколого-технологической модернизации промышленности / А.А. Волосатова, И.О. Тихонова, Т.В. Гусева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2023. – Т. 25. – № 4 (114). – С. 154-162.
18. Волосатова, А.А. Разработка системы экспертной оценки проектов эколого-технологической трансформации промышленности : дис. ... канд. техн. наук / А.А. Волосатова. – М., 2024. – 193 с.
19. Потапова, Е.Н. Производство цемента // Энциклопедия технологий 2.0: Производство неметаллов / Е.Н. Потапова, М.А. Волосатова. – М.; СПб, 2022. – С. 207-318.
20. Гузь, В.А. Российская цементная промышленность в 2024 году / В.А. Гузь, Е.В. Высоцкий, А.В. Черников // Цемент и его применение. – 2025. – № 1. – URL: <https://jcement.ru/magazine/vypusk-1-2025/rossiyskaya-tsementnaya-promyshlennost-v-2024-godu/>.
21. Смирнов, Д.А. Налоговый аспект поддержки внедрения наилучших доступных технологий / Д.А. Смирнов, А.А. Заворыкин // Учет. Анализ. Аудит. – 2021. – № 8(6). – С. 21-30. – DOI: 10.26794/2408-9303-2021-8-6-21-30.
22. Зеленый туман [под редакцией к.т.н М. В. Бегака]. – М.: ООО ФИД «Деловой экспресс», 2023. – 152 с.
23. ГОСТ Р ИСО 14001:2015. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению.
24. ГОСТ Р ИСО 50001. Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению.
25. Системы экологического менеджмента для практиков [под ред. С. Ю. Даймана]. – М.: Изд-во РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2004. – 248 с.
26. Волосатова, А.А. Роль и значение экспертных сообществ в процессе принятия управленческих решений: сравнительный анализ национального и международного опыта / А.А. Волосатова, О.В. Гревцов, О.Ю. Жукова и др. // Вестник евразийской науки. – 2020. – Т. 12. – № 5. – URL: <https://esj.today/PDF/19ECVN520.pdf>.
27. Башмаков, И.А. Декарбонизация цементной отрасли и развитие систем экологического и энергетического менеджмента / И.А. Башмаков, Е.Н. Потапова, К.Б. Борисов, и др. // Строительные материалы. – 2023. – № 9. – С. 4-12.
28. Giner-Santonja G., Vázquez Calvo V., Rodríguez Lepe G. Application of AHP and Corrective Factors for the Determination of Best Available Techniques and Emission Limit Values at Installation Level: A Case Study in Four Cement Installations // Science of the Total Environment. 2019. Vol. 660. P. 834-840. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.473>.
29. Акимов, О.М. Зеленые финансы / О.М. Акимов. – М.: КноРус, 2024. – 180 с.
30. Грачева, Е.Ю. Зеленые финансы: приоритеты правового регулирования / Е.Ю. Грачева, Ю.К. Цареградская. – М.: Проспект, 2024. – 144 с.
31. Current and Potential Materials for the Low-Carbon Cement Production: Life Cycle Assessment Perspective / G. Terán-Cuadrado, F. Tahir, A. Nurdawati, et al // Journal of Building Engineering. 2024. Vol. 96. Art. 110528. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.110528>.
32. Тихонова, И.О. Использование металлургических шлаков в производстве строительных материалов как направление формирования экономики замкнутого цикла / И.О. Тихонова, Е.Н. Потапова, А.А. Волосатова и др. // Черные металлы. – 2023. – № 8. – С. 69-73. – <https://doi.org/10.17580/chm.2023.08.12>.
33. ГОСТ 31108-2020. Цементы общестроительные. Технические условия.
34. Greenhouse Gases Emission of Refuse Derived Fuel-5 Production from Municipal Waste and Palm Kernel / P. Nutongkaew, J. Waewsak, T. Chaichana, et al // Energy Procedia. 2014. Vol. 52. P. 362-370. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.07.087>.
35. ГОСТ Р 56828.45-2019. Наилучшие доступные технологии. Производство цемента. Производственный экологический контроль.

IMPLEMENTATING PRINCIPLE OF CONTINUAL IMPROVEMENT OF RESOURCE EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF CEMENT PRODUCTION: A CASE STUDY

© 2025 T.V. Guseva¹, E.N. Potapova^{1,2}, A.V. Malkov², Ya.P. Molchanova²

¹Research Institute “Environmental Industrial Policy Centre”, Mytishchi, Russia

²Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

The article presents approaches to assessing the results of enhancing the environmental performance and resource efficiency performance of industrial installations, which carry out environmental and technological modernization programmes and implement Best Available Techniques (BAT). The relevance of the research is determined by the need to form a system for assessing the effectiveness of the BAT-based environmental and technological regulation as a mechanism providing for the sustainable development, minimisation of negative environmental impacts (NEP), and maintenance of a favourable state of the natural environment. Authors emphasize that the improvement of technological potential and the growth of production capacities of the national industry have to be ensured while increasing the efficiency of the use of natural resources, involving secondary resources in production cycles and reducing NEP. These tasks are solved by abandoning outdated technologies and implementing BAT, as well as forming close-loop processes. The article presents the results of a case study carried out at a cement plant, a category I NEP installation, located in the Central Federal District. Authors show that the gradual replacement of coal with natural gas, waste fuel (RDF fuel), biofuels, as well as the partial replacement of natural raw materials with iron- and calcium-containing metallurgical waste leads to improving environmental performance and resource efficiency and reduce carbon intensity of products. The solutions used by the plant contribute towards the achievement of the national development goals, internationally accepted Sustainable Development Goals as well as towards the formation of a countrywide circular economy with low greenhouse gas emissions. In order to assess the effectiveness of the mechanism of environmental and technological regulation, the article proposes running a comparative analysis of the BAT-associated emission levels, resource efficiency, and carbon intensity indicators achieved by industries classified as areas of BAT implementation. As a comparison base, it is advisable using the indicators established in the relevant sector Reference Documents on BAT (BREFs) issued in 2015-2022. Authors note that the cement industry, as one of the leaders in being granted Integrated Environmental Permits and implementing BAT, may become a pilot industry for running the comparative analysis. Results obtained can also be used during the next review of BREF 6-2024 “Cement Production”. The approaches tested in the cement industry should be replicated in other areas of BAT implementation and scaled up to assess the effectiveness of environmental industrial policy at the national level.

Keywords: principles and mechanisms of sustainable development, environmental and technological regulation, Best Available Techniques, cement production, environmental and technological modernization, negative environmental impacts, environmental performance, resource efficiency.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-4-203-214

EDN: HTHNH

REFERENCES

1. Manturov, D.V. Ustojchivyy ekonomicheskij rost: aspekty garmonizacii promyshlennoj i ekologicheskoy politiki Rossii / D.V. Manturov // Nauchno-tehnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politehnicheskogo universiteta. Ekonomicheski nauki. – 2018. – T. 11. – № 4. – S. 132-140.
2. Skobelev, D.O. Pokazateli nailuchshih dostupnyh tekhnologij / D.O. Skobelev, I.S. Kuroshev, I.S. Filyutich // Kachestvo i zhizn'. – 2024. – № 3 (43). – S. 93-96.
3. Dobrohotova, M.V. Primenenie koncepcii nailuchshih dostupnyh tekhnologij v celyah tekhnologicheskoy transformacii promyshlennosti v usloviyah energeticheskogo perekhoda / M.V. Dobrohotova, A.V. Matushanskij // Ekonomika ustojchivogo razvitiya. – 2022. – № 2(50). – S. 63-68.
4. Skobelev, D.O. Energomenedzhment i energoeffektivnost': videnie 2025. Rukovodstvo po upravleniyu energopotrebleniyem dlya promyshlennyh predpriyatij. V 2-h chastyah / D.O. Skobelev, M.V. Stepanova, T.V. Guseva, M.V. Dobrohotova. – M.: Gefest, 2025. – 152 s.
5. Skobelev, D.O. Formirovanie infrastruktury resursno-tekhnologicheskoy transformacii promyshlennosti / D.O. Skobelev // Ekonomika ustojchivogo razvitiya. – 2020. – № 1(41). – S. 162-167.
6. Polders, C. Methodology for Determining Emission Levels Associated with the Best Available Techniques for Industrial Waste Water / C. Polders, L. Van den Abeele, A. Derden, et al // Journal of Cleaner Production. 2012. Vol. 29-30. P. 113-121. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.02.008>.
7. Schollenberger H., Treitz M., Geldermann J. Adapting the European Approach of Best Available Techniques: Case Studies from Chile and China // Journal of Cleaner Production. 2008. Vol. 16. Is. 17. P. 1856-1864.
8. Zazhigalkin, A.V. Parnikovyie gazy i nailuchshie dostupnye tekhnologii. Infrastruktura standartizacii / A.V. Zazhigalkin, M.V. Dobrohotova, S.V. Cherkasskaya // Standarty i kachestvo. – 2023. – № 5. – S. 44-48. – <https://doi.org/10.35400/0038-9692-2023-5-83-23>.
9. Cement Production by Country. – URL: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/cement-production-by-country> (data obrashcheniya: 11.08.2025).
10. Shershneva, M.V. Primenenie nailuchshih dostupnyh tekhnologij v stroitel'stve / M.V. Shershneva, A.S. Lagzdina // Byulleten' stroitel'noj tekhniki. – 2020. – № 9(1033). – S. 56-57.
11. Savina, A.I. Ispol'zovanie nailuchshih dostupnyh tekhnologij pri proizvodstve cementa s cel'yu sokrashcheniya

- emissii parnikovyh gazov / A.I. Savina, T.O. Tagaeva // *Mir ekonomiki i upravleniya*. – 2023. – Т. 23(3). – С. 35-48. – <https://doi.org/10.25205/2542-0429-2023-23-3-35-48>.
12. Potapova, E.N. Poluchenie kompleksnyh ekologicheskikh razreshenij predpriyatiyami promyshlennosti stroitel'nyh materialov: pervye itogi / E.N. Potapova, Yu.R. Krivoborodov // *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*. – 2020. – Т. 27. – № 1. – С. 2-6.
 13. Shchelchikov, K.A. Razrabotka podhodov k ekologo-tekhnologicheskomu regulirovaniyu deyatel'nosti promyshlennyh predpriyatij na protyazhenii ih zhiznennogo cikla : dis. ... kand. tekhn. nauk / K.A. Shchelchikov. – M., 2023. – 220 с.
 14. Informacionno-tekhnicheskij spravocnik po nailuchshim dostupnym tekhnologiyam ITS 6-2024 «Proizvodstvo cementa».
 15. Kolmogorov, Yu.N. Metody i sredstva nauchnyh issledovanij / Yu. N. Kolmogorov, A. P. Sergeev, D. A. Tarasov i dr. – Ekaterinburg : Izd-vo Ural. un-ta, 2017. – 152 s.
 16. Volosatova, A.A. Razvitie sistemy kriteriev taksonomii zelenyh proektov modernizacii promyshlennyh predpriyatij / A.A. Volosatova // *Sbornik dokladov XII Mezhdunarodnogo foruma «Ekologiya»*. – M., 2022. – С. 11-17.
 17. Volosatova, A.A. Razrabotka sistemy ekspertnoj ocenki proektov razvitiya i ekologo-tekhnologicheskoy modernizacii promyshlennosti / A.A. Volosatova, I.O. Tihonova, T.V. Guseva // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*. – 2023. – Т. 25. – № 4 (114). – С. 154-162.
 18. Volosatova, A.A. Razrabotka sistemy ekspertnoj ocenki proektov ekologo-tekhnologicheskoy transformacii promyshlennosti : dis. ... kand. tekhn. nauk / A.A. Volosatova. – M., 2024. – 193 с.
 19. Potapova, E.N. Proizvodstvo cementa // *Enciklopediya tekhnologij 2.0: Proizvodstvo nemetallov* / E.N. Potapova, M.A. Volosatova. – M.; SPb, 2022. – С. 207-318.
 20. Guz', V.A. Rossijskaya cementnaya promyshlennost' v 2024 godu / V.A. Guz', E.V. Vysockij, A.V. Chernikov // *Cement i ego primenenie*. – 2025. – № 1. – URL: <https://jcement.ru/magazine/vypusk-1-2025/rossijskaya-tsementnaya-promyshlennost-v-2024-godu/>.
 21. Smirnov, D.A. Nalogovyy aspekt podderzhki vnedreniya nailuchshih dostupnyh tekhnologij / D.A. Smirnov, A.A. Zavorykin // *Uchet. Analiz. Audit*. – 2021. – № 8(6). – С. 21-30. – DOI: 10.26794/2408-9303-2021-8-6-21-30.
 22. Zelenyj tuman [pod redakciej k.t.n M. V. Begaka]. – M.: OOO FID «Delovoj ekspress», 2023. – 152 s.
 23. GOST R ISO 14001:2015. Sistemy ekologicheskogo menedzhmenta. Trebovaniya i rukovodstvo po primeneniyu.
 24. GOST R ISO 50001. Sistemy energeticheskogo menedzhmenta. Trebovaniya i rukovodstvo po primeneniyu.
 25. Sistemy ekologicheskogo menedzhmenta dlya praktikov [pod red. S. Yu. Dajmana]. – M.: Izd-vo RHTU im. D. I. Mendeleeva, 2004. – 248 s.
 26. Volosatova, A.A. Rol' i znachenie ekspertnyh soobshchestv v processe prinyatiya upravlencheskih reshenij: sravnitel'nyj analiz nacional'nogo i mezhdunarodnogo opyta / A.A. Volosatova, O.V. Grevcov, O.Yu. Zhukova i dr. // *Vestnik evrazijskoj nauki*. – 2020. – Т. 12. – № 5. – URL: <https://esj.today/PDF/19ECVN520.pdf>.
 27. Bashmakov, I.A. Dekarbonizaciya cementnoj otrasli i razvitie sistem ekologicheskogo i energeticheskogo menedzhmenta / I.A. Bashmakov, E.N. Potapova, K.B. Borisov, i dr. // *Stroitel'nye materialy*. – 2023. – № 9. – С. 4-12.
 28. Giner-Santonja G., Vázquez Calvo V., Rodríguez Lepe G. Application of AHP and Corrective Factors for the Determination of Best Available Techniques and Emission Limit Values at Installation Level: A Case Study in Four Cement Installations // *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 660. P. 834-840. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.473>.
 29. Akimov, O.M. Zelenye finansy / O.M. Akimov. – M.: KnoRus, 2024. – 180 s.
 30. Gracheva, E.Yu. Zelenye finansy: priority pravovogo regulirovaniya / E.Yu. Gracheva, Yu.K. Caregradskaya. – M.: Prospekt, 2024. – 144 s.
 31. Current and Potential Materials for the Low-Carbon Cement Production: Life Cycle Assessment Perspective / G. Terán-Cuadrado, F. Tahir, A. Nurdiawati, et al // *Journal of Building Engineering*. 2024. Vol. 96. Art. 110528. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.110528>.
 32. Tihonova, I.O. Ispol'zovanie metallurgicheskikh shlakov v proizvodstve stroitel'nyh materialov kak napravlenie formirovaniya ekonomiki zamknutogo cikla / I.O. Tihonova, E.N. Potapova, A.A. Volosatova i dr. // *Chernye metally*. – 2023. – № 8. – С. 69-73. – <https://doi.org/10.17580/chm.2023.08.12>.
 33. GOST 31108-2020. Cementy obshchestvoitel'nye. Tekhnicheskie usloviya.
 34. Greenhouse Gases Emission of Refuse Derived Fuel-5 Production from Municipal Waste and Palm Kernel / P. Nutongkaew, J. Waewsak, T. Chaichana, et al // *Energy Procedia*. 2014. Vol. 52. P. 362-370. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.07.087>.
 35. GOST R 56828.45-2019. Nailuchshie dostupnye tekhnologii. Proizvodstvo cementa. Proizvodstvennyj ekologicheskij kontrol'.

Tatiana Guseva, Doctor of Science (Engineering), Professor, Deputy Director (Research). E-mail: Tatiana.V.Guseva@gmail.com
Ekaterina Potapova, Doctor of Science (Engineering), Professor, Professor at the Department of Chemical Technology of Composite and Binding Materials. E-mail: Potapova.E.N@muctr.ru
Alexander Malkov, Doctor of Science (Engineering), Professor, Professor at the UNESCO Department «Green Chemistry for Sustainable Development». E-mail: Malkov.A.V@muctr.ru
Yana Molchanova, PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor at the UNESCO Department «Green Chemistry for Sustainable Development». E-mail: Molchanova.I.P@muctr.ru