

EDN: WDACSE
УДК 332.146

Effects of Reducing Greenhouse Gas Emissions by Introducing the Best Available Technologies in the Processing Industry of the Novosibirsk Region

Tatiana O. Tagaeva^{*a, b} and Anzhelika I. Savina^{a, b}

^a*Institute of Economics and Industrial Engineering of SB RAS
Novosibirsk, Russian Federation*

^b*Novosibirsk State University
Novosibirsk, Russian Federation*

Received 09.05.2024, received in revised form 08.11.2024, accepted 18.11.2024

Abstract. Information and technical reference books on the best available technologies are analyzed and their application in various industrial processes is considered. The article examines the possibilities of applying BAT in the production of cement and glass at specific enterprises through the prism of their greenhouse gas emissions, which emphasizes the novelty of the research. Using the example of the cement industry enterprises JSC Iskitimcement and JSC Spasskcement, which have a significant volume of greenhouse gas emissions, as well as the glass industry enterprise Sibsteklo LLC, for the first time, calculations of direct and indirect greenhouse gas emissions in the production of cement and container glass were made and assessed opportunities to reduce greenhouse gas emissions by introducing the best available technologies in industrial processes. The calculations of greenhouse gas emissions and assessments of their reduction make it possible to apply the results obtained when developing a low-carbon development strategy for the Novosibirsk region.

Keywords: green economy, best available technologies, direct and indirect greenhouse gas emissions, cement production, glass production.

The research was carried out within the framework of the scientific project No. 24–28–20096 “Using the best available technologies to reduce the carbon footprint at enterprises in the Novosibirsk region” with the support of the Russian National Science Foundation and the Government of the Novosibirsk Region.

Research area: Social Structure, Social Institutions and Processes; Economics.

Citation: Tagaeva T. O., Savina A. I. Effects of reducing greenhouse gas emissions by introducing the best available technologies in the processing industry of the Novosibirsk region. In: *J. Sib. Fed. Univ. Humanit. soc. sci.*, 2024, 17(12), 2481–2493. EDN: WDACSE



Эффекты сокращения выбросов парниковых газов при внедрении наилучших доступных технологий в обрабатывающей промышленности Новосибирской области

Т.О. Тагаева^{а,б}, А.И. Савина^{а,б}

^аИнститут экономики и организации
промышленного производства СО РАН
Российская Федерация, Новосибирск

^бНовосибирский национальный исследовательский
государственный университет
Российская Федерация, Новосибирск

Аннотация. Проанализированы информационно-технические справочники по наилучшим доступным технологиям (НДТ), рассмотрено их применение в различных промышленных процессах. В статье обсуждаются возможности применения НДТ при производстве цемента и стекла на конкретных предприятиях через призму их выбросов парниковых газов, что подчеркивает новизну исследования. На примере предприятий цементной промышленности АО «Искитимцемент» и АО «Спасскцемент», которые обладают значительным объемом выбросов парниковых газов, а также предприятий стекольной промышленности ООО «Сибстекло» были впервые сделаны расчеты прямых и косвенных выбросов парниковых газов при производстве цемента и тарного стекла и оценены возможности снижения выбросов парниковых газов при внедрении НДТ в промышленных процессах. Произведенные расчеты выбросов парниковых газов и оценки их снижения позволяют применить полученные результаты при разработке стратегии низкоуглеродного развития Новосибирской области.

Ключевые слова: зеленая экономика, наилучшие доступные технологии, прямые и косвенные выбросы парниковых газов, производство цемента, производство стекла.

Исследование выполнено в рамках научного проекта № 24–28–20096 «Использование наилучших доступных технологий в целях сокращения углеродного следа на предприятиях Новосибирской области» при поддержке РНФ и Правительства Новосибирской области.

Научная специальность: 5.4.4. Социальная структура, социальные институты и процессы (социологические науки); 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика.

Цитирование: Тагаева Т.О., Савина А.И. Эффекты сокращения выбросов парниковых газов при внедрении наилучших доступных технологий в обрабатывающей промышленности Новосибирской области. *Журн. Сиб. федер. ун-та. Гуманитарные науки*, 2024, 17(12), 2481–2493. EDN: WDACSE

Введение

В структуре выбросов парниковых газов (ПГ) согласно национальному кадастру энергетический сектор занимал 77,9 % в 2021 году, а сектор «Промышленные процессы и исполь-

зование продукции» – 12 %¹. По сравнению с 1990 годом доля выбросов ПГ последнего

¹ Nacional'nyj doklad RF o kadastre antropogennyh vybrosov iz istochnikov i absorbcii poglotitelyami parnikovyh gazov ne reguliruemyh Monreal'skim protokolom za 1990–2021 gg. Pp.11.

сектора выросла на 9 %. Перед промышленными предприятиями ставятся амбициозные цели по снижению ресурсоемкости, повышению энергоэффективности, сокращению выбросов вредных веществ и парниковых газов в окружающую среду. Одним из ключевых направлений в решении данных проблем является внедрение наилучших доступных технологий в промышленности. Внедрение современных технологий и методов производства позволяет сократить потребление энергии, сырья и воды, а также минимизировать выбросы вредных веществ в окружающую среду. В статье рассмотрены возможности применения НДТ при производстве цемента и стекла на конкретных предприятиях через призму сокращения выбросов парниковых газов. Объект исследования – предприятия обрабатывающей промышленности (на примере АО «Искитимцемент», АО «Спасскцемент» и ООО «Сибстекло»). Цель исследования – на примере рассматриваемых предприятий обосновать необходимость внедрения НДТ на предприятиях, которые образуют значительные объемы парниковых газов. Обозначенная цель определила следующие задачи: 1) проанализировать информационно-технические справочники по наилучшим доступным технологиям и их применению в различных промышленных процессах; 2) рассчитать прямые и косвенные выбросы парниковых газов при производстве цемента и тарного стекла; 3) оценить возможности снижения выбросов парниковых газов при внедрении НДТ в промышленных процессах.

Обзор литературы

Концепция наилучших доступных технологий в научной литературе и законодательных актах появилась на фоне экологического движения в 1960–1970 годы (Machado et al., 2020; Benjamin et al., 2022; Napp et al., 2014; Nan et al., 2017; Bataille, 2020; Wesseling et al., 2017; Griffin, Hammond, 2019). Пионерами в разработке концепции НДТ стали США с законом о чистом воздухе 1970 года (Clean Air Act) и Европейский Союз с директивой о комплексном предотвращении и контроле загрязнения окружающей среды 1996 года (Integrated Pollution Prevention and

Control – IPPC). В принятой директиве впервые было прописано обязательное условие для получения комплексного экологического разрешения – это достижение уровней эмиссии, основанных на НДТ. До этой директивы показатели эмиссии, основанные на НДТ, служили всего лишь ориентирами для управляющих органов и предприятий. В России в литературных источниках также отмечается важность внедрения НДТ (Guseva, 2015; Tyaglov, Voskresova, 2019; Bobylev, Solov'eva, 2020). В период с 2015 по 2018 годы в России осуществлялся отбор НДТ и определение их критериев, в настоящее время НДТ активно применяются в российской практике в различных отраслях и секторах экономики. Приведем некоторые примеры описания НДТ в российской литературе.

Металлургическая промышленность.

В черной металлургии электродуговой способ производства стали позволил отказаться от мартеновского способа производства. В результате использования новых НДТ сократился износ основных фондов в отрасли, улучшились условия труда работников, увеличилась производительность труда, снизились выбросы загрязняющих атмосферу веществ. Новые НДТ используются на Нижнетагильском МК, Магнитогорском МК, Новолипецком МК, ПАО «ГМК «Норильский никель», ОМК и других предприятиях (Kolemasova, Alenkova, 2015).

Техногенные отходы предприятий медного производства имеют сложный химический состав, включая следующие компоненты: железо, цинк, свинец, олово, индий, кадмий, медь, золото и серебро. Техногенные отходы подвергаются пирометаллургической переработке (способу восстановления металлов при высокой температуре) во вращающихся трубчатых печах с переводом в летучие соединения ценных компонентов и последующим их улавливанием для дальнейшей переработки. В результате переработки цинк переводится в сульфатный раствор для дальнейшей электроэкстракции металла. Медь и большая часть драгоценных металлов переводятся в клинкер, направляемый на предприятия медного

производства. Свинец, часть олова и часть драгметаллов переходят в свинцовый кек, направляемый на свинцовое производство. НДТ применяется в АО «Челябинский цинковый завод», на предприятиях Уральской горно-металлургической компании (Zagrebina et al., 2022).

Аналогичная проблема извлечения полезных компонентов из отходов возникает на предприятиях алюминиевой промышленности. При производстве алюминия в процессе электролиза образуются такие загрязняющие вещества, как фтористые соединения, диоксид серы, оксид углерода, к выбросам которых в атмосферу предъявляются весьма жесткие требования. Существующие в настоящее время способы очистки газов, отходящих от электролизеров для производства алюминия, условно можно разделить на «сухой» и «мокрый». На заводах компании «Русал» используется НДТ, позволяющая применять комбинированные системы очистки отходящих газов: сначала газ очищают от пыли и смол в электрофильтрах («сухая» очистка), а затем направляют на вторую – «мокрую» ступень очистки. Способ «мокрой» очистки отходящих газов основан на способности различных жидкостей сорбировать вредные примеси из отходящих газов и получать солевые растворы, из которых далее регенерируются полезные вещества. На многих алюминиевых предприятиях газоочистное оборудование «сухого» способа очистки – электрофильтры – вводилось в эксплуатацию еще в 70-х гг. прошлого века. Оборудование морально устарело и находится в ограниченно работоспособном состоянии. Поэтому на заводах компании «Русал» в настоящее время проводится масштабная модернизация устаревшей системы очистки электролизных газов, которая включает в себя строительство новых газоочистных сооружений с «сухой» очисткой электролизных газов и модернизацию «мокрой» газоочистки в качестве второй ступени (Rebrik et al., 2022).

Электроэнергетика. Впервые в отечественной металлургии основным топливом для энергогенерирующего объекта ста-

нут вторичные ресурсы – попутные газы металлургического производства (75 % топливного баланса ТЭЦ обеспечат конвертерный и доменный газ). В результате использования НДТ предполагается ежегодное сокращение эмиссий парниковых газов на 650 тыс. тонн, оксида углерода – на 6 тыс. тонн. НДТ внедрена на Новолипецком МК².

Химическая промышленность. Одним из продуктов химической промышленности является аммиачная селитра (нитрат аммония NH_4NO_3), которая широко используется в сельском хозяйстве как простое азотное удобрение и является перспективным компонентом для приготовления комплексных удобрений. Однако при гранулировании высококонцентрированного плава аммиачной селитры в грануляционных башнях образуются загрязняющие вещества – нитрат аммония и аммиак, которые в большинстве действующих агрегатов поступают в атмосферу с воздухом из грануляционных башен. В новых технологиях значительное сокращение атмосферных выбросов достигается с использованием принципа замкнутого цикла подачи воздуха в грануляционную башню. Такая технология была впервые применена в России в 2015 году и с тех пор все более широко используется (например, на предприятиях Объединенной химической компании «Уралхим», в ОАО «Куйбышев Азот») (Saharov, Mahotkin, 2021).

Целлюлозно-бумажная промышленность. НДТ, применяемые в целлюлозно-бумажной промышленности, предполагают использование выпарных станций нового поколения. Выпарная станция ЦБК работает на основе процесса выпаривания растворителя из материала с помощью воздушного потока, в результате чего образуются загрязненные сточные воды. Инженерные решения, положенные в основу новой выпарной станции, соответствующей НДТ (введена в строй в конце 2020 года), пред-

² “Green technologies” of Russian industry (2020). Available at: <https://prom-siberia.ru/ecology/zelenye-tehnologii-rossijskoj-promyshlennosti> (accessed 12.12.2023).

³ ITS NDT 2–2019 «Proizvodstvo ammiaka, mineral'nyh udobrenij i neorganicheskikh kislot».

ложены и используются сотрудниками Архангельского ЦБК. В результате использования этой НДТ сброс сточных вод сокращается на 80 %⁴ (Skobelev, 2022).

Производство строительных материалов. В качестве примера инновационного материала, применяемого в строительстве, можно привести листовое флоат-стекло, основными характеристиками которого является энергосберегаемость, низкоэмиссионность, солнцезащитность. Флоат-стекло производится путем формирования расплавленной стекломассы на поверхности расплавленного олова под действием сил поверхностного натяжения. В результате использования НДТ обеспечивается сокращение выбросов CO₂ -экв. на 9220 тыс. т в год. Одиннадцать заводов листового стекла функционируют в РФ (ОАО «Салаватстекло», ООО «Пилкингтон Гласс» (Московская обл.), ОАО «Саратовстройстекло», ООО «Гардиан Стекло» (Рязань, Ростов), ОАО «Борский стекольный завод», ОАО «Востек» (Тверская обл.) и др.), продукция которых использована, например, при строительстве зданий Московского международного делового центра «Москва-Сити» (Skobelev, 2021).

НДТ активно применяются не только в промышленности, но и в других отраслях экономики, например в *сельском хозяйстве*. В качестве НДТ в сельском хозяйстве перспективными являются технологии для переработки сельскохозяйственных отходов в биологические удобрения и энергию. В качестве примера можно привести технологию по обращению с пометом птицы – ускоренное компостирование, которая является современным экологически чистым экономически эффективным способом переработки птичьего помета. В сравнении с другими способами переработки органических отходов способ ускоренного промышленного компостирования является более простым и эффективным. Еще одним решением для утилизации неиспользуемого в качестве органического удобрения помета предполагается его сжигание с получением тепловой энергии. Оба способа нашли

⁴ ITS NDT 1–2022 «Cellyulozno-bumazhnoe proizvodstvo».

свое применение на сельскохозяйственных предприятиях Ленинградской области. Такие же НДТ применимы для переработки отходов крупного рогатого скота. Для отходов свиноводства предпочтителен второй способ (Astrahanov et al., 2022).

Рассмотренные работы отличаются общим описанием технологий и воздействием их на окружающую природную среду, однако даже если в них и дается оценка сокращения такого воздействия, то не приводятся методики и сами расчеты, чем и выделяется наше исследование.

Методы и данные

В исследовании были использованы материалы российских информационно-технических справочников (ИТС) по НДТ. Согласно справочникам, НДТ – это технология, которая определяется на основе современных достижений науки и техники, а также лучшего сочетания критериев достижения целей охраны окружающей среды при наличии технической возможности ее применения⁵. При определении технологических процессов, оборудования, технических способов и методов в качестве наилучшей доступной технологии⁶ члены рабочей группы по разработке НДТ должны учитывать следующие критерии:

- минимальное негативное воздействие на окружающую среду;
- экономическая эффективность внедрения и эксплуатации;
- применение методов, способствующих экономии ресурсов и энергии;
- научно обоснованное время внедрения;
- промышленное использование технологических процессов, оборудования, технических способов и методов на двух или более объектах в Российской Федерации, которые оказывают негативное воздействие на окружающую среду.

⁵ Nailuchshie dostupnye tekhnologii. Available at: <https://www.gost.ru/portal/gost/home/activity/NDT> (accessed 15.03.2024).

⁶ Prikaz ot 23 avgusta 2019 g. № 3134 «Ob utverzhdenii metodicheskikh rekomendacij po opredeleniyu tekhnologii v kachestve nailuchshej dostupnoj tekhnologii». Available at: <https://rulings.ru/acts/Prikaz-Minpromtorga-Rossii-ot-23.08.2019-N-3134/?ysclid=lnif3zefpo45873114> (accessed 15.03.2024).

В настоящее время существует 53 информационно-технических справочника по НДТ в разных областях экономики, начиная от добычи нефти и заканчивая утилизацией отходов. В каждом справочнике описывается область его применения, делается подробный анализ отрасли за последний период времени с объемом отрасли, участниками отрасли, рынками сбыта продукции. Также перечисляются уже используемые технологии на предприятиях и потребление ресурсов и эмиссии на них. Подробно описываются наилучшие доступные технологии для этой отрасли, маркерные и технологические показатели, а также перспективные тех-

На основе информации по предприятиям, находящейся в открытом доступе, были сделаны расчеты прямых и косвенных выбросов парниковых газов на предприятиях с целью оценки сокращения выбросов парниковых газов при внедрении наилучших доступных технологий, описанных в ИТС НДТ 6–2022 «Производство цемента»⁷ и ИТС НДТ 5–2022 «Производство стекла»⁸.

Результаты

Прямые выбросы парниковых газов при производстве цемента, в частности портландцемента, образуются на стадии «Обжига цементного клинкера» (рис. 1).

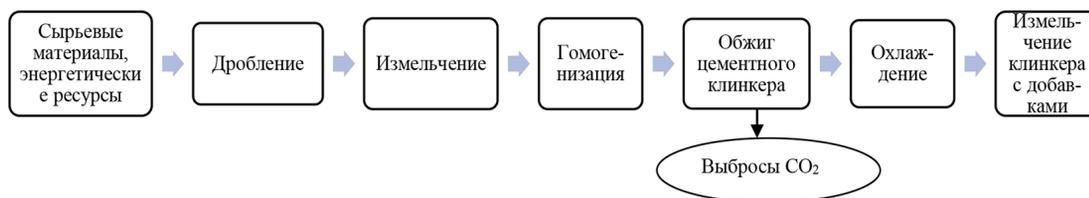


Рис. 1. Схема технологического процесса производства портландцемента
Fig. 1. The scheme of the technological process of production of Portland cement

нологии для развития отрасли. В разработке справочников по НДТ участвуют не только ведомственные структуры и научные институты, но и сами предприятия отрасли через анкетирование о своей деятельности.

В статье в качестве иллюстрации возможного внедрения НДТ и обоснования его необходимости рассмотрены два процесса обрабатывающей промышленности: производство цемента и производство стекла. В производстве цемента выделяют три способа производства: «мокрый», «сухой» и «комбинированный». АО «Искитимцемент» и АО «Спасскцемент» производят цементную продукцию, но первый использует «мокрый» способ производства, а второй – «сухой». В производстве стекла выделяют такие области, как производство листового стекла, тарного стекла, сортового стекла, стекловолокна и силиката натрия растворимого. В производстве тарного стекла в Новосибирской области абсолютным лидером является ООО «Сибстекло».

В технологическом процессе производства тарного стекла прямые выбросы парниковых газов образуются на двух стадиях «Варка стекломассы» и «Отжиг стеклоизделий» (рис. 2)

Прямые выбросы ПГ для двух промышленных процессов рассчитывались на основании Методических рекомендаций Минприроды⁹ с помощью коэффициентов конверсии объема производства в выбросы ПГ. Было сделано допущение, что 100 % выпускаемого цемента относится к портландцементу и фракция клинкера в портландцементе составляет 95 %. В производстве тарного стекла объемы продукции в штуках переводились в тонны, и коэффициент стеклобоя принимался равным 30 %.

⁷ ITS NDT 6–2022 «Производство цемента». Available at: <https://burondt.ru/itc> (accessed 15.03.2024).

⁸ ITS NDT 5–2022 «Производство стекла». Available at: <https://burondt.ru/itc> (accessed 15.03.2024).

⁹ Rasporyazhenie Minprirody Rossii ot 16 aprelya 2015 g. № 15-r. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_256422 (accessed 15.03.2024).

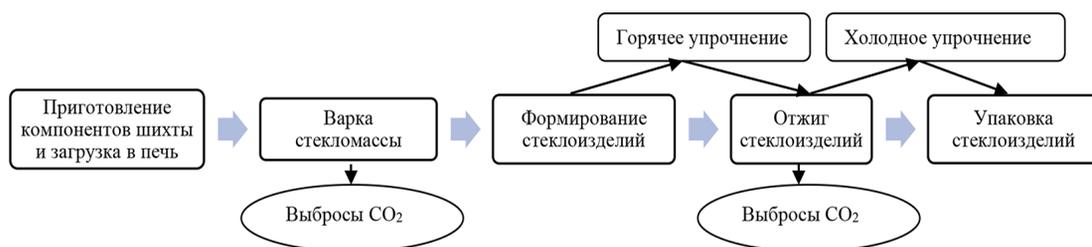


Рис. 2. Схема технологического процесса производства тарного стекла

Fig. 2. Diagram of the technological process of container glass production

Источник: составлено авторами на основе данных¹⁰

Косвенные выбросы ПГ (охват 2) по энергетическим ресурсам рассчитывались по Методике¹⁰, в которой для тепловой энергии предусмотрен только региональный метод, а для электрической энергии – оба метода: региональный и рыночный. В региональном методе рассчитываются региональные коэффициенты выбросов ПГ по тепловой и электрической энергии с применением данных о количестве использованного топлива на объекте и количестве тепло- и электроэнергии, произведенной на объекте. Региональный коэффициент выбросов ПГ по тепловой энергии может рассчитываться как по конкретному объекту, поставляющему тепловую энергию в анализируемое предприятие, так и по всем объектам региона, генерирующим тепловую энергию. В рыночном методе используются данные об электрической энергии, полученной по договорам купли-продажи энергии оптового рынка электрической энергии.

Совокупные выбросы парниковых газов и удельные показатели прямых и косвенных выбросов парниковых газов на единицу продукции на анализируемых предприятиях цементной промышленности представлены в табл. 1.

Среднеотраслевые выбросы ПГ при производстве 1 тонны цемента в России составляют в 2020 году по охвату 1–594 кг CO₂/т цемента, а по охватам 1 и 2–628 кг

CO₂/т цемента. Удельный показатель прямых выбросов ПГ на 1 тонну в АО «Искитимцемент» превышает среднеотраслевой на 16,2 %, а в АО «Спаскцемент» – на 27,9 %, но при переходе в 2020 году на использование природного газа вместо угля превышение в 2021 году уже составило всего 12,8 %.

Для улучшения эффективности производства особое внимание уделяется технологическому процессу. Среди мер по улучшению технологического процесса выделяют: работу с сырьевыми материалами в сторону их однородности, точность дозирования топлива в процессе, оптимизацию стадий производственного процесса (таких, как обжиг и охлаждение), цифровизацию систем управления оборудованием.

В АО «Искитимцемент» в 2021–2022 годах проводились мероприятия инвестиционной программы, направленные на снижение выбросов, такие как: техническое перевооружение аспирации колосниковых холодильников вращающихся печей № 7 и № 9 с повышением эффективности очистки до 99,9 %; замена газовых горелок на новые с низким выделением оксидов азота NO_x на всех вращающихся печах, оснащение печей автоматическими средствами измерения и учета показателей выбросов загрязняющих веществ, установка сепаратора на цементной мельнице № 5, реконструкция электрических сетей с переходом на более высокое напряжение, реконструкция производственных мощностей цеха «Погрузка», внедрение корпоративной информационной системы Ахартal2, обновление автопарка и лабораторного обо-

¹⁰ Приказот 09 iyunya 2017 g. № 330 «Ob utverzhdenii metodicheskikh ukazaniy po kolichestvennomu opredeleniy ob'emov ennyhenergeticheskikh vybrosov parnikovoyh gazov». Available at: <https://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201710230028?index=2> (accessed 15.03.2024).

Таблица 1. Совокупные выбросы и удельные показатели выбросов ПГ на единицу продукции на предприятиях цементной промышленности

Table 1. Total emissions and specific GHG emissions per unit of production at cement industry enterprises

Показатель	Год	АО «Искитимцемент»		АО «Спасскцемент»	
		Выбросы CO ₂ экв, тыс.тонн	Выбросы CO ₂ экв/тонн цемента	Выбросы CO ₂ экв, тыс.тонн	Выбросы CO ₂ экв/тонн цемента
Прямые выбросы ПГ (охват1)	2020	669,63	0,69	1 450,58	0,76
	2021	828,01	0,70	1 484,30	0,67
	2022	802,86	0,70	1 645,41	0,66
Косвенные выбросы ПГ (охват 2)	2020	48,38	0,05	118,92	0,06
	2021	57,46	0,05	123,64	0,06
	2022	53,93	0,05	129,10	0,05
ВСЕГО	2020	718,01	0,73	1 569,50	0,83
	2021	885,47	0,75	1 607,94	0,73
	2022	856,79	0,75	1 774,51	0,71

Источник: расчеты авторов

рудования. Объем инвестиционной программы по модернизации производства в АО «Искитимцемент» составил 555 млн рублей без НДС за два года. АО «Спасскцемент» планомерно с 2018 года улучшал качество цемента: объем производства портландцемента без минеральных добавок вырос с 90 % от всего объема цемента в 2018 году до 96 % в 2021 году. Основным способом уменьшения прямых выбросов ПГ был переход в 2021 году на использование природного газа в промышленном процессе, что привело к сокращению прямых выбросов ПГ на 18,3 %.

В соответствии с наилучшими доступными технологиями, направленными на увеличение энергоэффективности, сохранение ресурсов и снижение выбросов вредных веществ, особое внимание уделяется также утилизации отходов и вторичных продуктов производства, что косвенно содействует уменьшению выбросов парниковых газов. Основные выбросы ПГ при производстве цемента приходятся на обжиг клинкера, и одним из подходов к их сокращению является добавление техногенных материалов к уже используемому сырью и далее – их измельчение, что приводит к уменьшению объема топлива при «мо-

кром» способе производства. Теплотехнические расчеты и испытания, проведенные на ряде цементных заводов, показали, что каждый процент введенной в шлам горючей массы обеспечивает экономию около 15 кг условного топлива на тонну клинкера⁷.

Еще одним направлением в сторону уменьшения выбросов ПГ при производстве цемента является использование альтернативных топлив вместо ископаемых, что также соответствует целям циркулярной экономики. В странах Европейского Союза, где особое внимание уделяется переработке отходов (которые по новым правилам 2018 года должны в большей степени перерабатываться, а не отправляться на свалки), были сформулированы цели о достижении доли переработанных отходов до 55 % к 2025 году, до 60 % – к 2030 году, до 65 % – к 2035 году и до 90 % – к 2050 году. Средний цементный завод может использовать от 40 до 100 тысяч тонн альтернативного топлива при замещении до 30 % обычного топлива. В 2019 году доля альтернативных источников топлива в Европейском Союзе составила 32 %, при этом на биомассу пришлось 18 %, а на ископаемые топлива – лишь 50 %. Есть примеры успешной совместной работы по переработке отходов и производству

цемента в США: мусороперерабатывающая установка обеспечивала альтернативным топливом цементный завод, производящий 1,6 млн тонн цемента в год. Данный проект окупился за три года. Эффективность совместного использования минеральных и топливных техногенных материалов в «мокрое» процессе производства цемента оценивается по снижению удельного расхода технологического ценного форсуночного топлива ниже 100 килограммов углерода на тонну клинкера, что приближено к расходу по «сухому» методу⁷.

Также в качестве альтернативного топлива возможно использование отработанных автомобильных шин. Применение данной технологии в «мокрое» способе производства цемента подразумевает дополнительное оборудование, а именно специальный шлюзовый раствор в зоне декарбонизации. При «сухом» методе отработанные шины поступают непосредственно в зону горения вращающейся печи и в декарбонизатор. Предприятие «Кавказцемент» внедрило технологию использования отработанных автомобильных шин в своем производстве, что позволило им сэкономить до 10 % основного топлива.

Существует большое разнообразие видов альтернативного топлива, которые можно использовать как замену части основного топлива при производстве цемента, но все они требуют приобретения дополнительного оборудования. Инвестиционные затраты на эту модернизацию составляют

от 5 до 15 млн евро, при этом операционные расходы должны уменьшиться до уровня от 2 до 2,5 евро за тонну клинкера⁷. Помол цемента является последним этапом технологического процесса при производстве цемента. Для достижения высокой дисперсности клинкера и добавок, соответствующей удельной поверхности от 300 до 500 м²/кг, применяют сепаратор. Эффективность его использования может достигать до 20 %. В 2021 году на цементной мельнице предприятия «Искитимцемент» был установлен сепаратор.

Внедрение НДТ на анализируемых цементных заводах может привести к сокращению выбросов ПГ в АО «Искитимцемент» до 25 %, а в АО «Спасскцемент» – до 15 % (табл. 2). «Сухой» способ производства цемента является наиболее экологичным по сравнению с «мокрым», и можно было бы предложить провести модернизацию технологической линии для цементных заводов, использующих «мокрый» способ, но затраты на эту модернизацию оцениваются в 180 млн долларов. Переход на комбинированный способ производства позволяет уменьшить инвестиционные затраты в 5–8 раз по сравнению со строительством «сухой» линии.

Производство тарного стекла занимает более 60 % рынка всей стеклопродукции. Наиболее распространено производство бутылок для вина, пива, безалкогольных напитков, банок с широким горлышком для пищевой промышленности. ООО «Сиб-

Таблица 2. Оценка снижения выбросов ПГ при применении НДТ АО «Искитимцемент» и АО «Спасскцемент» по данным 2022 г.

Table 2. Assessment of GHG emission reduction in the application of BAT «Iskitimcement» JSC and «Spasskcement» JSC according to 2022 data

Наименование	Прямые выбросы ПГ от сжигания топлива, тыс. т CO ₂ экв.	Оценка прямых выбросов ПГ при применении НДТ, тыс. т CO ₂ экв.		
		Техногенные материалы в сырье	АТ при мокром способе производства	Отработанные автомобильные шины
Применение наилучших доступных технологий				
АО «Искитимцемент»	221,86	188,56	177,46	199,65
АО «Спасскцемент»	387,27	329,18	-	348,54

Источник: расчеты авторов

стекло» выпускает 120 видов продукции, от бесцветного до цветного тарного стекла. Предприятие обладает рядом патентов на способы производства стекла, в 2022 году была изготовлена «суперлегкая» бутылка, вес которой составил 235 граммов при сохранении прочностных характеристик, что улучшает удельные показатели ресурсной и энергетической эффективности. Предприятие целенаправленно работает над увеличением доли стеклобоя в составе сырья. Совокупные выбросы ПГ и удельные показатели выбросов парниковых газов при производстве тарного стекла представлены в табл. 3.

чение стеклобоя в производственные процессы. Стеклобой, который плавится при гораздо более низкой температуре, чем песок, подлежит вторичной переработке и снижает общие потребности в энергии. В среднем на каждые 10 % используемого стеклобоя потребности в энергии снижаются на 3 %. В расчетах выбросов ПГ, сделанных авторами, доля стеклобоя составила 30 %. На предприятии доля стеклобоя для производства коричневого тарного стекла составляет 40 %, а для прозрачного стекла – 20 %. В планах предприятия увеличить долю стеклобоя в производстве прозрачного стекла – до 40 %, а коричневого –

Таблица 3. Совокупные выбросы и удельные показатели выбросов ПГ на единицу продукции в ООО «Сибстекло»

Table 3. Total emissions and specific GHG emissions per unit of production in «Sibsteklo» LLC

Показатель	Год	Выбросы CO ₂ , тыс.тонн	Выбросы CO ₂ т/т стекла
Прямые выбросы ПГ (охват 1)	2020	120,68	0,45
	2021	81,89	0,42
	2022	95,70	0,42
Косвенные выбросы ПГ (охват 2)	2020	25,85	0,10
	2021	26,32	0,09
	2022	28,97	0,08
ВСЕГО	2020	146,53	0,54
	2021	108,21	0,51
	2022	124,67	0,50

Источник: рассчитано авторами

Углеродный след производства 1 тонны стекломассы зависит от доли использования стеклобоя и энергоэффективности стекловаренной печи и составляет более 450 кг CO₂-экв по охвату 1 и более 550 кг CO₂-экв по охватам 1 и 2. Прямые выбросы ПГ по охвату 1 на анализируемом предприятии даже меньше среднеотраслевых на 7,1 %, а совокупные выбросы – на 10 %, что подчеркивает экологический подход предприятия в своем развитии.

Одним из способов сокращения энергии и выбросов ПГ, описанных в ИТС НДТ «Производство стекла»⁸, является вклю-

до 70 %¹¹, что не только увеличит энергоэффективность технологического процесса, но и позволит уменьшить объемы твердых коммунальных отходов на свалках области.

Согласно методике¹⁰ для целей учёта парниковых газов для стекольной отрасли используются эмиссии диоксида углерода CO₂, которые на 30–35 % связаны с разложением карбонатных компонентов шихты, остальной вклад даёт сжигание топлива.

¹¹ Svarit' steklopravil'no: bol'shereciklinga, men'sheenergore-sursov. Available at: <https://sibenco.online/news/element/svarit-steklo-pravilno-bolshe-retsiklinga-menshe-energore-sursov/?ysclid=lumbyzp1nx580518231> (accessed 15.03.2024).

Данные табл. 3 показывают, что доля прямых выбросов ПГ, образующихся при сгорании содержащегося в топливе углерода, составляет 65 %, а оставшаяся доля прямых выбросов ПГ в размере 35 % приходится на производственный процесс, что также соответствует среднеотраслевым показателям.

Среди перспективных технологий при производстве стекла выделяют: использование гранулированных компонентов шихты и стеклобоя, применение электрофильтров для очистки отходящих газов печи, использование водорода при условии снижения его себестоимости, использование газогенераторов для производства энергии и т.д. Также снижение веса стеклотары и проведение маркетинговых мероприятий по убеждению потребителя в использовании стандартных видов стеклянной продукции приведут к уменьшению ассортимента продукции и, соответственно, к увеличению удельных показателей ресурсо-, энергоэффективности. Оценка снижения выбросов ПГ при применении НДТ на предприятии ООО «Сибстекло» представлена в табл. 4.

Существует предел, который является собой минимально достижимый углеродный след при использовании экономически рентабельной организации технологического процесса. Согласно Commission Implementing Regulation, 2021: 29–34, этот уровень для 10 % наилучших европейских предприятий составляет 421 кг CO₂/т стекломассы для предприятий листового стекла и 265–323 кг CO₂/т для предприятий тарного стекла (охват 1). Более низкие показатели в Европей-

ском Союзе по тарному стеклу (особенно по цветному) связаны с высокими нормативами использования стеклобоя (до 80 %), что объясняется удобной и дешёвой логистикой по сравнению с Российской Федерацией, а также использованием регуляторных компенсирующих механизмов, мотивирующих к увеличению оборота стеклобоя (например, использование механизма залоговой стоимости стеклянной тары).

Таким образом, увеличение стеклобоя до 70 % в производственном процессе предприятия ООО «Сибстекло» даже позволит обойти показатели 10 % наилучших европейских предприятий и уменьшить текущие прямые выбросы ПГ в 2,3 раза, а совокупные выбросы ПГ – в 1,7 раза.

Выводы

В настоящее время изменения технологического процесса с целью повышения ресурсо-, энергоэффективности, использование альтернативного топлива или топлива с низким коэффициентом конверсии в CO₂, производство многокомпонентных сортов цемента, увеличение доли стеклобоя в технологической линии производства стекла, которые описаны в соответствующих отраслевых ИТС НДТ, являются основным направлением промышленной политики. Проанализированные информационно-технические справочники по наилучшим доступным технологиям и рассмотрение их применения в различных промышленных процессах позволяет сделать вывод о возможности их использования в технологических процессах как с точки зрения ресурсо-,

Таблица 4. Оценка снижения выбросов ПГ при применении НДТ ООО «Сибстекло» по данным 2022 г.

Table 4. Assessment of GHG emission reduction in the application of BAT «Sibsteklo» LLC according to 2022 data

НДТ	Выбросы ПГ, (тыс. тонн CO ₂)	Экономия	Оценка снижения до (тыс. тонн CO ₂)
Увеличение стеклобоя в производстве стекла до 70 % при текущем 30 %	51,58	на каждые 10 % используемого стеклобоя потребность в энергии снижается на 3 %	22,11
Увеличение энергоэффективности за счет увеличения стеклобоя	26,94		23,71

Источник: расчеты авторов

энергоэффективности, так и со стороны уменьшения выбросов вредных загрязняющих веществ и выбросов парниковых газов на промышленных предприятиях. В статье рассмотрены возможности применения НДТ при производстве цемента и стекла на конкретных предприятиях через призму их выбросов парниковых газов, что подчеркивает новизну исследования. На примере предприятий цементной промышленности АО «Искитимцемент» и АО «Спаскцемент», которые обладают значительным объемом выбросов ПГ, а также предприятия

стекляной промышленности ООО «Сибстекло» были впервые сделаны расчеты прямых и косвенных выбросов парниковых газов при производстве цемента и тарного стекла и оценены возможности снижения выбросов парниковых газов при внедрении наилучших доступных технологий в промышленных процессах. Произведенные расчеты выбросов парниковых газов и оценки их снижения позволяют применить полученные результаты при разработке стратегии низкоуглеродного развития Новосибирской области.

Список литературы / References

Astrahanov M. E., Grevcov O. V., Silitrina E. V. Osnovnye napravleniya pererabotki ispol'zovaniya navoza i pometa na territorii Leningradskoj oblasti [The main directions of processing and use of manure and litter in the Leningrad region]. In: *Zelenye proekty [Green Projects]*, 2022, 156.

Bataille C. *Low and zero emissions in the steel and cement industries: Barriers, technologies and policies*. OECD Green Growth Papers, OECD Publishing, Paris, 2020, 35.

Benjamin K. *et al.* Industrial clusters for deep decarbonization. In: *Science*, 2022, 378, 601–604. DOI:10.1126/science.add0402

Bobylev C. N., Solov'eva S. V. Cirkulyarnaya ekonomika i ee indicatory dlya Rossii [Circular economy and its indicators for Russia.]. In: *Mir novoj ekonomiki [The world of the new economy]*, 2020, 14(2), 63–72. DOI: 10.26794/2220–6469–2020–14–2–63–72

Commission Implementing Regulation (EU). Determination of reference values for the free distribution of emission allowances for the period from 2021 to 2025 (English). In: *Official Journal of the European Union*. 2021, 87, 29–34.

Griffin P. W., Hammond G. P. Industrial energy use and carbon emissions reduction in the iron and steel sector: A UK perspective. In: *Applied Energy*, 2019, 249, 109–125.

Guseva T. V. Nailuchshie dostupnye tekhnologii kak instrument promyshlennoj i ekologicheskoy politiki [Best available technologies as an instrument of industrial and environmental policy]. In: *Vestnik RHTU im. D. I. Mendeleeva. Gumanitarnye i social'no-ekonomicheskie issledovaniya [Bulletin of Russian Chemical Technical University named after. D. I. Mendeleev. Humanities and socio-economic research]*, 2015, 2(6), 64–78.

Kolemasova YU. A., Alenkova I. V. Restrukturizaciya staleplavil'nogo proizvodstva [Restructuring of steel production. In: *SITU*, 2015, 5, 42–45.

Machado C. G., Winroth M. P., Ribeiro da Silva E. H. D. Sustainable manufacturing in Industry 4.0: an emerging research agenda. In: *International Journal of Production Research*, 2020, 58(5), 1462–1484.

Nan L., Ding M., Wenying Ch. Quantifying the impacts of decarbonisation in China's cement sector: A perspective from an integrated assessment approach. In: *Applied Energy*, 2017, 185(2), 1840–1848.

Napp T. A. *et al.* A review of the technologies, economics and policy instruments for decarbonising energy-intensive manufacturing industries. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, 30(C), 616–640.

Rebrik I. I., Bernyackij A. G., Tihonova I. O. Sovershenstvo vanie system ochistki othody ashchihgazov zavoda kompanii Rusal s ispol'zovanie mothodov I formirovanie ekonomiki zamknutogo cikla [Improving exhaust gas purification systems of the Rusal plant using waste and creating a circular economy], Moscow, Delovoj ekspress, 2022, 156.

Saharov I. YU., Mahotkin A. F., Saharov YU. N., Mahotkin I. A. Sokrashchenie vybrosos vrednyh veshchest v iintensifik aciyatekh nologii proizvodstva ammiachnojselitry [Reducing emissions of harmful sub-

stances and intensifying ammonium nitrate production technology]. *Sbornik materialov III Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchenoj 90-letiyu SGEU [Collection of materials of the III All-Russian scientific and practical conference with international participation, dedicated to the 90th anniversary of SSEU]*, Samara, 2021, 3. 187–191.

Skobelev D.O. *Zelenye proekty [Green projects]*. Moscow, Delovoj ekspres, 2022, 20–21.

Skobelev D.O. *Proizvodstvo listovogo stekla / Zelenye proekty [Flat glass production / Green projects]*. Moscow, Delovoj ekspres, 2021, 160.

Tyaglov S. G., Voskresova, G. N. Osobennosti opredeleniya tekhnologii v kachestve NDT: Rossijski-jizarubezhnyjopyt [Features of determining a technology as BAT: Russian and foreign experience]. In: *Voprosy regulirovaniya ekonomiki [Journal of Economic Regulation]*, 2019, 2, 96–112.

Wesseling J.H. *et. al.* The transition of energy intensive processing industries towards deep decarbonization: Characteristics and implications for future research. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 1303–1313.

Zagrebin S.A. *et. al.* *Integraciya pre dpriyatijcvetnoj metallurgii UGMK s cel'yukompleksnojpererabotki tekhnogennogosyr'ya [Integration of non-ferrous metallurgy enterprises of UMMC for the purpose of comprehensive processing of technogenic raw materials]*, Moscow, Delovoj ekspres, 2022, 156.