

Научная статья

УДК 332.146

JEL K050

DOI 10.25205/2542-0429-2023-23-3-35-48

Использование наилучших доступных технологий при производстве цемента с целью сокращения эмиссии парниковых газов

Анжелика Ивановна Савина¹

Татьяна Олеговна Тагаева²

^{1,2}Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН
Новосибирск, Россия

^{1,2}Новосибирский национальный исследовательский государственный университет
Новосибирск, Россия

¹sai1417@mail.ru

²tagaeva@ieie.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9467-6436>

Аннотация

В статье анализируются подходы к уменьшению выбросов парниковых газов с использованием наилучших доступных технологий (НДТ) для достижения стратегической цели низкоуглеродного экономического развития России. Исследование фокусируется на разработке стратегии по сокращению выбросов парниковых газов на региональном уровне с учетом вклада каждого сектора в общий объем эмиссии парниковых газов в углеродном балансе Новосибирской области. Особое внимание уделяется сектору «Промышленные процессы» и его влиянию на климатические изменения, в частности при производстве цемента. На примере АО «Искитимцемент», крупнейшего производителя цемента в Новосибирской области (НСО), рассчитаны прямые и косвенные выбросы парниковых газов, а также проанализированы удельные показатели на единицу продукции за период 2018–2021 годов. В статье представлены различные НДТ, применяемые в производстве цемента, включая использование нетрадиционных сырьевых компонентов, альтернативных видов топлива, утилизацию тепла отходящих газов для генерации электроэнергии, а также снижение доли клинкера в цементе и др. Проведена оценка климатического эффекта в результате применения этих технологий. Данные исследования позволяют разработать стратегии для снижения выбросов парниковых газов в данном регионе и способствуют устойчивому экологическому развитию.

Ключевые слова

зеленая экономика, углеродный баланс, наилучшие доступные технологии, производство цемента, прямые и косвенные выбросы парниковых газов

© Савина А. И., Тагаева Т. О., 2023

Финансирование

Статья выполнена в рамках НИР ИЭОПП СО РАН, проект «Методы и модели обоснования стратегии развития экономики России в условиях меняющейся макроэкономической реальности», № 121040100281-8.

Для цитирования

Савина А. И., Тагаева Т. О. Использование наилучших доступных технологий при производстве цемента с целью сокращения эмиссии парниковых газов // Мир экономики и управления. 2023. Т. 23, № 3. С. 35–48. DOI 10.25205/2542-0429-2023-23-3-35-48

Using the Best Available Technologies in the Production of Cement to Reduce Greenhouse Gas Emissions

Anzhelika I. Savina¹, Tatiana O. Tagaeva²

^{1,2}Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS

Novosibirsk, Russian Federation

^{1,2}Novosibirsk State University

Novosibirsk, Russian Federation

¹sai1417@mail.ru

²tagaeva@ieie.nsc.ru, <https://orsid.org/0000-0002-9467-6436>

Abstract

The article analyzes approaches to reducing greenhouse gas emissions using the best available technologies (BAT) to achieve the strategic goal of low-carbon economic development in Russia. The study focuses on the development of a strategy to reduce greenhouse gas emissions at the regional level, taking into account the contribution of each sector to the total greenhouse gas emissions in the Novosibirsk Region's carbon balance. Particular attention is paid to the Industrial Processes sector and its impact on climate change, in particular within cement production. Using the example of JSC Iskitimcement, the largest cement producer in the Novosibirsk Region (NSO), direct and indirect greenhouse gas emissions are calculated, and the specific indicators per unit of production for the period 2018–2021 are analyzed. The article presents various BAT, applied in cement production, including the use of non-traditional raw material components, alternative fuels, utilization of waste heat for power generation, and reduction of clinker share in cement, among others. The climate effect of these technologies has been assessed. These studies make it possible to develop strategies to reduce greenhouse gas emissions in the region and contribute to sustainable environmental development.

Keywords

green economy, carbon balance, best available technologies, cement production, direct and indirect greenhouse gas emissions

Funding

The article was carried out as part of the research work of IEIE SB RAS, project “Methods and models for substantiating the strategy for the development of the Russian economy in the context of a changing macroeconomic reality”, № 121040100281-8.

For citation

Savina A. I., Tagaeva T. O. Using the best available technologies in the production of cement to reduce greenhouse gas emissions. *World of Economics and Management*, 2023, vol. 23, no. 3, pp. 35–48. (in Russ.) DOI 10.25205/2542-0429-2023-23-3-35-48

Глобальные тренды низкоуглеродного развития

Несмотря на геополитическую ситуацию, Россия продолжает развиваться в направлении зеленой экономики, разрабатывать и утверждать методики расчета выбросов парниковых газов (ПГ), рассчитывать углеродные балансы регионов, составлять климатические паспорта предприятий и информационно-технические справочники наилучших доступных технологий.

Страны Евросоюза поставили цель достижения климатической нейтральности к 2050 г. (нулевых нетто-выбросов всех парниковых газов). При этом планируется, что к 2030 г. выбросы парниковых газов будут уменьшены на 55 % к уровню 1990 г. Китайская Народная Республика планирует достичь углеродной нейтральности к 2060 г., а к 2030 г. – сократить выбросы CO₂ минимум на 65 % по сравнению с 2005 г. Сокращать выбросы парниковых газов Китай собирается за счет снижения зависимости от углеродных носителей, в том числе за счет ускоренного наращивания мощностей зеленой энергетики.

Стратегия социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г. была разработана и подписана в 2021 г. В стратегии описаны два варианта развития: инерционный и целевой (взятый за основу), которые отличаются мерами по декарбонизации российской экономики. Согласно целевому сценарию, Россия планирует достичь углеродной нейтральности к 2060 г. Реализация этого сценария приведет в 2050 г. к сокращению нетто-выбросов парниковых газов на 60 % по сравнению с уровнем 2019 г. и на 80 % по сравнению с уровнем 1990 г.¹

На национальном уровне Россия с 2006 г. приступила к составлению национального доклада о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, за 1990–2015 гг. Данный доклад ежегодно представляется в соответствии с международными требованиями и процедурами руководящих принципов Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК)² в комитет Рамочной конвенции ООН по изменению климата как подтверждение обязательств государства по регулированию выбросов ПГ и для оценки проводимой внутри страны климатической политики. Национальные кадастры всех стран доступны для изучения на сайте комитета.

В национальных кадастрах оценка выбросов ПГ осуществляется для пяти секторов: энергетика, промышленные процессы и использование продукции (ППИП), сельское хозяйство, землепользование, изменение землепользования и лесное хозяйство (ЗИЗЛХ), отходы.

В соответствии с Протоколом о парниковом газе (протокол GHG) от 2003 г. для оценки выбросов ПГ со стороны субъекта выбросов используют три способа

¹ Распоряжение Правительства РФ от 29 октября 2021 года №3052-о «Об утверждении стратегии социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года». URL: <http://static.government.ru/media/files/ADKkCzp3fWO32e2yA0BhtlpyzWfHaiUa.pdf> (дата обращения: 06.07.2023).

² Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006 г. URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/pdf/0_Overview/V0_0_Cover.pdf (дата обращения: 21.07.2023).

в зависимости от источника выбросов парниковых газов, включаемых в оценку (score 1–3)³. Первый способ (score 1) включает прямые выбросы из источников, принадлежащих субъекту (включая используемый транспорт) или контролируемых им. Второй способ (score 2) оценивает косвенные выбросы, связанные с потреблением субъектом энергии из внешних источников, при этом энергия, которая генерируется на собственных мощностях, в этой категории не учитывается. Все прочие выбросы, не контролируемые субъектом, но связанные в той или иной мере с осуществлением субъектом хозяйственной и иной деятельности, включая последующее использование продукции вплоть до удаления отходов, учитываются при 3-м способе (score 3). В основном это выбросы от складирования продукции в сторонних логистических центрах, энергия, потребляемая при использовании клиентами продукции компании, выбросы парниковых газов от утилизации отходов продукции, выбросы франшиз. Согласно протоколу GHG, выбросы этой категории необязательны для подсчета и декларирования.

Углеродный баланс Новосибирской области

Для разработки стратегии по снижению выбросов ПГ на уровне региона необходимо рассчитать и верифицировать углеродный баланс региона, который позволит проанализировать вклад каждого сектора в общий объем эмиссии ПГ. Климатический центр Новосибирского государственного университета в 2022 г. рассчитал и верифицировал аккредитованным органом углеродный баланс области за период 2017–2020 гг.⁴. В укрупненном виде по секторам углеродный баланс НСО с учетом поглощений по сектору ЗИЗЛХ представлен в табл. 1.

За период 2017–2022 гг. в секторе «Энергетика» выбросы ПГ уменьшились на 9,72 %. Однако обращает на себя внимание неблагоприятная тенденция сокращения поглощения ПГ в секторе ЗИЗЛХ – на 6,06 % за рассматриваемый период. В целом выбросы ПГ с учетом ЗИЗЛХ уменьшились в НСО в 2020 г. по сравнению с 2017 г. на 7,64 %, но при этом в секторах «Промышленные процессы», «Сельское хозяйство» и «Отходы» произошло увеличение выбросов ПГ на 4,55, 1,22 и 3,97 % соответственно.

В углеродном балансе выбросы парниковых газов рассчитываются в основном по данным из Единой межведомственной информационно-статистической системы первым способом оценки выбросов ПГ (score 1). Однако при этом не учитываются сопутствующие выбросы при производственных процессах и выбросы от использования автотранспорта.

В углеродном балансе НСО рассчитаны выбросы ПГ в секторе «Промышленные процессы», в который включаются выбросы ПГ при производстве продукции из минерального сырья, учитывая производство цемента. Данные представлены в табл. 2.

³ Всемирный институт ресурсов совместно с Всемирным советом бизнеса по устойчивому развитию создали протокол о парниковом газе (GHG Protocol). URL: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg_project_accounting.pdf (дата обращения: 21.07.2023).

⁴ Климатический центр НГУ рассчитал углеродный баланс Новосибирской области. 15.09.2022. URL: https://www.nsu.ru/n/media/news/nauka/klimaticheskij-tsentr-ngu-rasschital-uglerodnyy-balans-novosibirskoy-oblasti/?sphrase_id=1542325 (дата обращения: 06.07.2023).

Таблица 1

**Выбросы парниковых газов в Новосибирской области,
млн тонн CO₂ эквивалента**

Table 1

GHG emissions in the NSO, mln tons CO₂ eq.

Сектор	2017	2018	2019	2020
ВСЕГО по НСО (с учетом ЗИЗЛХ)	24,20	24,94	24,34	22,35
Энергетика	23,87	24,45	23,39	21,55
А) от сжигания ископаемых топлив	22,52	22,76	21,81	20,16
В) от потерь и технологических выбросов в атмосферу	1,35	1,69	1,58	1,39
Промышленные процессы	1,32	1,32	1,37	1,38
А) производство продукции из минерального сырья	0,97	0,93	0,93	0,91
Д) использование растворителей и неэнергетических продуктов из топлива	0,03	0,03	0,03	0,04
Ф) использование фторированных заменителей озоноразрушающих веществ	0,31	0,35	0,39	0,42
Г) производство и использование другой продукции	0,01	0,01	0,01	0,01
Сельское хозяйство	2,46	2,42	2,48	2,49
А) внутренняя ферментация сельскохозяйственных животных	1,12	1,11	1,13	1,10
В) системы сбора и хранения навоза	0,33	0,32	0,34	0,33
Д) сельскохозяйственные почвы	1,01	0,98	1,01	1,06
ЗИЗЛХ	-4,95	-4,78	-4,46	-4,65
А) лесные земли	-8,01	-7,69	-7,74	-7,83
В) обрабатываемые земли	3,03	2,90	3,19	3,02
С) сенокосы и пастбища	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03
Е) земли поселений	0,01	0,00	0,02	0,00
Ф) другие земли	0,04	0,04	0,10	0,19
Отходы	1,51	1,54	1,56	1,57
А) захоронение твердых отходов	1,03	1,05	1,07	1,09
Д) очистка жидких отходов и стоков	0,48	0,49	0,49	0,48

Источник: по данным Климатического центра НГУ.

Таблица 2

**Выбросы парниковых газов при производстве продукции
из минерального сырья в Новосибирской области, тонн CO₂ эквивалента**

Table 2

**GHG emissions in production of products from mineral raw materials
in the NSO, tons of CO₂ eq.**

А. Производство продукции из минерального сырья	2017	2018	2019	2020
1. Производство цемента	768	739	738	722
2. Производство извести	104	104	104	96
3. Производство керамики	63	58	54	51
4. Производство стекла	34	29	40	41
ВСЕГО	969	930	936	910

Источник: по данным Климатического центра НГУ.

**Прямые и косвенные выбросы парниковых газов
при производстве цемента на АО «Искитимцемент»**

Основным производителем цемента в НСО является АО «Искитимцемент». Данное предприятие вносит весомый вклад в российское производство продукции данной отрасли (табл. 3). На примере этого предприятия рассчитаем недостающие прямые выбросы (score 1), не учтенные в углеродном балансе НСО, включающие выбросы от сопутствующих производственных процессов (в случае АО «Искитимцемента» – от сжигания природного газа) и от используемого транспорта, а также косвенные выбросы (score 2), возникающие от использования тепловой и электрической энергии.

В этих целях были определены объемы использованных энергетических ресурсов на предприятии (табл. 4) и на основании Методических рекомендаций Минприроды⁵ были рассчитаны выбросы парниковых газов при производстве цемента. Для этого использовались коэффициенты конверсии объема использованного топливного ресурса в выбросы ПГ (табл. 5). Было сделано допущение, что 100 % выпускаемого цемента относится к портландцементу и фракция клинкера в портландцементе составляет 95 %. При отсутствии данных о загрузке карбоната или региональных данных о производстве клинкера, для оценки производства клинкера можно использовать данные о производстве цемента, учитывая при этом количества и типы произведенного цемента, а также содержание в нем клинкера и делая поправку на ввоз и вывоз клинкера из региона.

⁵ Распоряжение Минприроды России от 16 апреля 2015 г. №15-р. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_256422 (дата обращения: 19.06.2023).

Таблица 3

**Данные об отгрузке цемента заводами РФ
и АО «Искитимцемент»**

Table 3

**Data on the shipment of cement by the plants of the Russian Federation
and JSC “Iskitimcement”**

Показатель	2018	2019	2020	2021
Отгружено цемента АО «Искитимцемент», тыс. т	1 010	985	977	1 185
Отгружено цемента заводами РФ, тыс. т	53 381	57 505	55 738	60 241
Доля АО «Искитимцемент», %	1,89	1,71	1,75	1,97

Источник: по данным годовых отчетов АО «Искитимцемент» за 2018–2021 гг. (<https://iskitimcement.ru>, дата обращения: 19.06.2023) и Росстандарта (<https://www.gost.ru/portal/gost/home/activity/NDT>, дата обращения: 19.06.2023).

Таблица 4

**Информация об использованных энергетических ресурсах
в АО «Искитимцемент»**

Table 4

Information on the volume of energy resources used by JSC “Iskitimcement”

Показатель	ед. изм.	2018	2019	2020	2021
Топливо автомобильное, в том числе	тонна		1 350	1 294	1 453
бензин	тонна		65	56	59
дизельное топливо	тонна		1 285	1 238	1 394
Газ природный	тыс.м ³		107 811	96 250	125 530
Тепловая энергия	гКал		32 230	29 143	31 379
Электроэнергия	тыс. кВт·час		130 386	122 578	147 985

Источник: по данным годовых отчетов АО «Искитимцемент» за 2018–2021 гг. (<https://iskitimcement.ru>, дата обращения: 19.06.2023).

Выбросы метана (CH₄) и закиси азота (N₂O) пересчитаны в CO₂ эквивалент с помощью коэффициентов потенциала глобального потепления⁶. Совокупные прямые выбросы ПГ (score 1) при производстве цемента представлены в табл. 6.

⁶ Коэффициент потенциала глобального потепления для метана (CH₄) составляет 25, для закиси азота (N₂O) – 298.

Таблица 5

**Коэффициенты пересчета в энергетические единицы
и удельные выбросы парниковых газов**

Table 5

Energy conversion coefficient and specific GHG emissions

Вид топливного ресурса	Единицы измерения	Коэффициенты перевода физ. ед. в энергетические		Коэффициенты		
				выбросов CO ₂	выбросов CH ₄	выбросов N ₂ O
		тыс. т. у.т./ед.	ТДж/ед.	кг парникового газа на ТДж		
Природный газ	млн м ³	1,154	33,82	54,4	1	0,1
Бензин автомобильный	тыс. тонн	1,49	43,67	69,3	3	0,6
Топливо дизельное	тыс. тонн	1,45	42,50	74,1	3	0,6

Источник: составлено авторами.

Таблица 6

**Выбросы парниковых газов в АО «Искитимцемент»,
тыс. тонн CO₂ эквивалента**

Table 6

**GHG emissions in JSC “Iskitimcement”,
thousand tons of CO₂ eq.**

Показатель	2018	2019	2020	2021
Производство цемента без учета сжигания природного газа	504,70	492,20	488,21	592,14
Сжигание природного газа	209,82	198,55	177,26	231,18
Выбросы от автотранспорта:	3,82	4,35	4,17	4,68
бензин	0,19	0,20	0,17	0,18
дизельное топливо	3,63	4,15	4,00	4,50
ВСЕГО	718,34	695,10	669,63	828,01

Источник: рассчитано авторами.

Выбросы ПГ в производстве цемента выросли в 2021 г. по сравнению с 2018 г. на 17,3 %, от сжигания природного газа – на 10,2 %, а от автотранспорта – на 22,5 %.

Для расчета косвенных энергетических выбросов парниковых газов (scope 2), согласно Методическим указаниям⁷, используются региональный и рыночный методы. При региональном методе применяются региональные коэффициенты косвенных энергетических выбросов, рассчитанные организацией на основе статистических данных о потреблении топлива и об объемах отпущенной электрической и тепловой энергии от всех внешних генерирующих объектов, находящихся в регионе анализируемой организации. Рыночный метод используется при потреблении организацией электрической энергии, полученной по договорам купли-продажи энергии, заключенным в соответствии с правилами оптового рынка электрической энергии и основными положениями функционирования розничных рынков электрической энергии. Оба метода с небольшой погрешностью дали единые результаты, представленные в табл. 7.

Таблица 7

**Косвенные энергетические выбросы ПГ в АО «Искитимцемент»,
тыс. тонн CO₂ эквивалента**

Table 7

**Indirect energy GHG emissions in JSC “Iskitimcement”,
thousand tons of CO₂ eq.**

Показатель	2018	2019	2020	2021
Выбросы по тепловой энергии	8,38	7,95	7,19	7,74
Выбросы по электроэнергии	43,59	43,81	41,19	49,72
ВСЕГО	51,97	51,76	48,38	57,46

Источник: рассчитано авторами.

Совокупные выбросы парниковых газов в АО «Искитимцемент» по подходам 1–2 (scope 1 и 2) представлены в табл. 8.

Таблица 8

**Совокупные выбросы парниковых газов в АО «Искитимцемент»,
тыс. тонн CO₂ эквивалента**

Table 8

**Cumulative GHG emissions at Iskitimcement JSC,
thousand tons of CO₂ eq.**

Показатель	2018	2019	2020	2021
Прямые выбросы ПГ (scope 1)	718,34	695,10	669,63	828,01
Косвенные выбросы ПГ (scope 2)	51,97	51,76	48,38	57,46
Совокупные выбросы (scope 1 + scope 2)	770,31	746,86	718,01	885,47

Источник: рассчитано авторами.

⁷ Приказ Минприроды № 330 от 29.06.2017. URL: <https://O:/AngDownloads/0001201710230028.pdf>

В среднем по России удельные прямые выбросы при производстве 1 т цемента в 2020 г. были равны 594 кг CO₂/т цемента и 771 кг CO₂/т клинкера (score 1); совокупные (score 1 + score 2) выбросы (прямые и косвенные) – 682 кг CO₂/т цемента (табл. 9).

Таблица 9

**Сравнение прямых и косвенных выбросов парниковых газов
при производстве 1 т цемента в 2020 г., кг**

Table 9

**Comparison of direct and indirect GHG emissions in the production
of 1 ton of cement in 2020, kg**

Показатель	Прямые выбросы (score 1)	Совокупные выбросы (score 1 + score 2)
Россия	594	682
АО «Искитимцемент»	685	735

Источник: составлено авторами.

Видно, что в АО «Искитимцемент» используются менее эффективные технологии с точки зрения климатических последствий, чем в среднем по России: прямые выбросы CO₂ при производстве 1 тонны цемента на предприятии превышают средние по России на 15,3 %, а совокупные прямые и косвенные выбросы – на 7,8 %.

**Использование наилучших доступных технологий
при производстве цемента**

Обратимся к наилучшим доступным технологиям, описанным в ИТС НДТ 6-2022 «Производство цемента»⁸, которые направлены, в основном, на повышение энергоэффективности, ресурсосбережения, снижения эмиссий загрязняющих веществ.

В цементной промышленности используют три способа производства [1; 2], в основе которых лежат различные технологические приемы подготовки сырьевого материала:

1) мокрый, когда сырьевые компоненты измельчают совместно с водой с получением суспензии влажностью 40 %, называемой шламом, из которого воду в последующем удаляют испарением;

2) сухой, при котором влажные компоненты подвергают сушке и измельчению с получением сырьевой смеси с влажностью 1 %;

3) комбинированный способ подразделяют на два варианта:

а) полумокрый, когда шлам, полученный по мокрому способу, обезвоживают с применением пресс-фильтров с получением кека с влажностью 20 %;

⁸ ИТС НДТ 6-2022 «Производство цемента». 2015. URL: <https://burondt.ru/itc> (дата обращения: 12.07.2023).

б) полусухой, при котором сухую сырьевую муку увлажняют до влажности 3 % и гранулируют или брикетируют.

В России более 60 % цемента производится на заводах мокрого способа. АО «Искитимцемент» также использует мокрый способ производства цемента. Среди недостатков мокрого способа по сравнению с другими способами выделяют: высокий расход топлива и огнеупоров, что приводит к повышенному выбросу в атмосферу парниковых газов.

Для повышения энергоэффективности в производстве цемента [3–5], что приведет в конечном итоге к снижению выбросов парниковых газов, выделяют следующие направления:

- использование «нетрадиционных» сырьевых компонентов;
- использование альтернативного топлива;
- утилизация тепла отходящих газов для выработки электрической энергии;
- снижение доли клинкера в цементе;
- использование новых перспективных способов производства цемента;
- использование более совершенного технологического оборудования.

С нашей точки зрения, наиболее перспективными являются первые два способа. Одним из способов экономии топлива при обжиге клинкера является использование техногенных материалов. При мокром способе производства наиболее рациональный вариант применения материалов, содержащих горючие вещества, – совместный помол техногенного продукта с традиционными сырьевыми компонентами. В этих условиях достигается заданный стабильный химический состав шлама, так как при совместном помоле сырьевых компонентов и топливосодержащих техногенных материалов корректировка производится традиционным способом. 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 клинкера, что для анализируемого предприятия привело бы к сокращению выбросов ПГ до уровня 196,51 тыс. тонн в 2021 г. по сравнению с 231,18 тыс. тонн (табл. 10).

Применение альтернативного топлива (АТ) как замены части традиционного топлива показывает долгосрочный рост, особенно в странах ЕС [6]. Альтернативное топливо – это отходы, материалы из отходов, содержащие твердые или жидкие горючие компоненты и(или) биомассу. В 2019 г. в ЕС на долю АТ пришлось 32 %, биомассы – 18 %, а ископаемых топлив – только 50 % всех используемых энергетических ресурсов. В США есть опыт обеспечения альтернативным топливом цементного завода мощностью 1,6 млн тонн цемента в год с помощью мусороперерабатывающей установки, окупаемость которой составляет до трех лет. Эффективность совместного применения минеральных материалов и АТ в мокром способе производства цемента оценивается в снижении удельного расхода технологического ценного форсуночного топлива ниже 100 кг у.т./т клинкера, что приближено к расходу по сухому способу.

Одним из видов АТ являются отработанные автомобильные шины. При мокром способе их необходимо подавать через шлюзовый затвор в зону декарбонизации. Такой способ был успешно осуществлен на АО «Кавказцемент» и в насто-

Таблица 10

**Оценка снижения выбросов парниковых газов в результате применения
НДТ на АО «Искитимцемент» по данным 2021 г., тыс. тонн CO₂
эквивалента**

Table 10

**Estimation of GHG emission reduction as a result of application of BAT in JSC
“Iskitimcement” according to 2021 data, thousand tons of CO₂ eq.**

НДТ	Выбросы ПГ текущие	Экономия	Оценка снижения выбросов ПГ
Использование техноген- ных материалов при обжиге klinkera	231,18	до 15 кг у.т./т klinkera	до 196,51
Совместное применение минеральных и топливосод- ержащих техногенных ма- териалов в мокром способе		до 100 кг у.т./т klinkera	до 184,95
Сжигание отработанных автомобильных шин		до 10 % основного топлива	до 208,07

Источник: рассчитано авторами.

ящее время работает в Беларуси на цементно-шиферном комбинате. Ввод шин обеспечивает экономию до 10 % основного топлива.

В целом переход от традиционных видов ископаемого топлива к АТ (включая биомассу) связан с затратами на модернизацию существующего оборудования установки. Как правило, инвестиционные затраты составляют от 5 до 15 млн евро, в то время как операционные расходы, по оценкам, должны снизиться до 2–2,5 евро за тонну клинкера.

Согласно проведенной оценке, в результате применения НДТ первых двух направлений в АО «Искитимцемент» выбросы ПГ можно сократить с 10 до 25 %.

Обратим также внимание на два последних направления НДТ при производстве цемента. На предприятии стараются использовать новейшее технологическое оборудование, позволяющее снижать энергозатраты. Помол цемента является последней технологической операцией при производстве цемента. Цемент производят измельчением клинкера и добавок до высокой дисперсности, соответствующей удельной поверхности 300–500 м²/кг. Для снижения энергозатрат на помол цемента устанавливают сепаратор, эффект от использования которого составляет до 20 % снижения энергопотребления. АО «Искитимцемент» в 2021 г. установило такой сепаратор на цементной мельнице.

Что касается других способов производства цемента, то переход на сухой способ приводит к наибольшему уменьшению выбросов ПГ, но это фактически постройка нового цементного завода. По предварительным расчетам, затраты на модернизацию всей технологической цепочки составляют около 180 млн долларов. Также возможен переход на комбинированный способ производства, при котором более половины содержащейся в шламе воды удаляется механическим отжатием, что позволяет снизить затраты на удаление воды в 10 раз, а объем инвестиций, по сравнению со строительством сухой линии, – в 5–8 раз [7].

В настоящее время разрабатываются новые НДТ для сокращения выбросов ПГ для цементной промышленности. К таким мероприятиям можно отнести совершенствование технологического процесса с целью повышения энергоэффективности, использование альтернативного топлива или топлива с низким коэффициентом конверсии в CO_2 , производство многокомпонентных сортов цемента.

Список литературы

1. Гусева Т. В., Потапова Е. Н., Тихонова И. О. Переход к нормированию по принципам наилучших доступных технологий: перспективы и вызовы для предприятий по производству цемента // Цемент и его применение. 2018. № 6. С. 34–38.
2. Коробова О. С., Ткачева А. С. Перспективы внедрения наилучших доступных технологий при производстве цемента // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 11. С. 90–95.
3. Потапова Е. Н., Гусева Т. В., Тихонова И. О., Аверочкин Е. М. Наилучшие доступные технологии как движущая сила эколого-технологической модернизации производства цемента // Цемент и его применение. 2022. № 6. С. 40–43.
4. Скорород А. М. Внедрение наилучших доступных технологий при производстве цемента // Экономика и предпринимательство. 2023. № 7 (156). С. 1124–1126.
5. Подлесных А. И. О проблеме разработки и внедрения национальных стандартов по наилучшим доступным технологиям // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 4-2 (46). С. 149–151.
6. Озерова Е. М., Кайгородов О. Н. Использование отходов в российской цементной промышленности // Цемент и его применение. 2020. № 4. С. 33–35.
7. Коробова О. С., Михина Т. В. Инвентаризация выбросов парниковых газов при производстве цемента // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 5. С. 253–265.

References

1. Guseva T. V., Potapova E. N., Tihonova I. O. Transition to Best Available Techniques: Prospects and Challenges for Cement Producers. *Cement and its applications*, 2018, no. 6, pp. 34–38. (in Russ.)
2. Korobova O. S., Tkacheva A. S. Prospects for implementation of the best available technologies in cement production. *Mining information and analytical Bulletin*, 2016, no. 11, pp. 90–95. (in Russ.)

3. **Potapova E. N., Guseva T. V., Tihonova I. O., Averochkin E. M.** Best available technologies as a driving force of ecological and technological modernization of cement production. *Cement and its applications*, 2022, no. 6, pp. 40–43. (in Russ.)
4. **Skorohod A. M.** Implementation of the best available technologies in cement production. *Economics and Entrepreneurship*, 2023, no. 7 (156), pp. 1124–1126. (in Russ.)
5. **Podlesnyh A. I.** On the problem of development and implementation of national standards on the best available technologies. *International research journal*, 2016, no. 4-2 (46), pp. 149–151. (in Russ.)
6. **Ozerova E. M., Kajgorodov O. N.** Waste utilization in the Russian cement industry. *Cement and its applications*, 2020, no. 4, pp. 33–35. (in Russ.)
7. **Korobova, O. S., Mihina, T. V.** Inventory of greenhouse gas emissions in cement production. *Mining information and analytical Bulletin*, 2008, no. 5, pp. 253–265. (in Russ.)

Информация об авторах

Анжелика Ивановна Савина, кандидат экономических наук, старший научный сотрудник Института экономики и организации промышленного производства СО РАН; старший преподаватель Новосибирского национального исследовательского государственного университета
РИНЦ: 426356

Татьяна Олеговна Тагаева, доктор экономических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Института экономики и организации промышленного производства СО РАН; профессор кафедры экономической теории Новосибирского национального исследовательского государственного университета
РИНЦ: 71056
Scopus Author ID: 6507464776
Research ID: AAA-4504-2021

Information about the Authors

Anzhelika I. Savina, Candidate of Economic Science, Senior Researcher, Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS; Senior Lecturer, Novosibirsk State University (Novosibirsk, Russia)
РИНЦ: 426356

Tatiana O. Tagaeva, Doctor of Economic Science, Lead Researcher, Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS; Professor, Novosibirsk State University (Novosibirsk, Russia)
РИНЦ: 71056
Scopus Author ID: 6507464776
Research ID: AAA-4504-2021

*Статья поступила в редакцию 12.07.2023;
одобрена после рецензирования 20.08.2023; принята к публикации 15.09.2023*

*The article was submitted 12.07.2023;
approved after reviewing 20.08.2023; accepted for publication 15.09.2023*