

УДК 504.062

## СИСТЕМА БЕНЧМАРКИНГА УГЛЕРОДОЕМКОСТИ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

© 2024 И. А. Башмаков<sup>1</sup>, О. В. Лебедев<sup>1</sup>, Т. В. Гусева<sup>2</sup><sup>1</sup> ООО «Центр энергоэффективности – XXI век», г. Москва<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики», г. Мытищи, Россия

Статья поступила в редакцию 02.04.2024

В статье рассмотрены возможности и пути сокращения выбросов парниковых газов, образующихся при производстве керамических изделий. Представлены методы декарбонизации, рекомендованные международными, а также национальными профильными ассоциациями и агентствами. Выделены направления снижения технологических (образующихся при обжиге сырьевых материалов) и энергетических (обусловленных сжиганием топлива) выбросов. На примере производства керамического кирпича проанализированы уровни углеродоемкости продукции, достигнутые предприятиями различных стран и регионов. Выявлена ключевая роль бенчмаркинга в установлении целевых показателей углеродоемкости продукции и представлены основные международные и национальные системы бенчмаркинга. Предложен методический подход и описан созданный на его основе программный комплекс «Оценка углеродоемкости (бенчмаркинг) производства керамических изделий в Российской Федерации». Показано, что по результатам пилотного применения этого программного комплекса сформирована система бенчмаркинга для предприятий отрасли в целях определения индикативных отраслевых показателей выбросов парниковых газов для производства керамических изделий.

*Ключевые слова:* производство керамических изделий, кирпич, углеродоемкость, индикативные показатели, декарбонизация, расчет выбросов парниковых газов, наилучшие доступные технологии, информационно-технические справочники, системы менеджмента, методы стимулирования промышленности.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-2-152-164

EDN: TMBUXC

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность создания системы бенчмаркинга по удельным расходам энергии и удельным выбросам парниковых газов (ПГ) в производстве керамических изделий определяется (но не ограничивается) следующими факторами. Во-первых, Россия поставила цель выйти на углеродную нейтральность к 2060 г. Без заметного снижения выбросов ПГ в промышленности в целом и в производстве керамических изделий в частности эту задачу решить нельзя. Для целей эффективного углеродного регулирования в промышленности необходима система бенчмаркинга по удельным выбросам ПГ. Во-вторых, Россия предполагает реализовать программу повышения энергоэффективности до 2035 г. с амбициозными целями по снижению

энергоёмкости валового внутреннего продукта (ВВП) за счет технологического фактора. Для решения этой задачи важно давать целевые задания по снижению удельных расходов энергии отдельным отраслям и предприятиям, включая производство керамических изделий (и прежде всего – кирпича). Для этих целей необходима система бенчмаркинга по удельным расходам энергии. В-третьих, важным инструментом углеродного регулирования могут стать государственные и корпоративные закупки (в первую очередь – для госкорпораций) с ограничениями по углеродному следу закупаемой продукции или возводимых объектов. Это означает введение требований к углеродному следу используемых строительных материалов, включая кирпич и прочие продукты (плитку, черепицу). Эффективный бенчмаркинг в этом случае становится важным инструментом регулирования закупок низкоуглеродной продукции. В-четвертых, введение пограничного корректирующего углеродного механизма (ПКУМ) и других подобных ограничений требует оценки углеродоемкости продукции в соответствии с методиками бенчмаркинга, принятыми в странах-импортерах. В-пятых, для общего повышения эффективно-

*Башмаков Игорь Алексеевич, доктор технических наук, лауреат Нобелевской премии мира, генеральный директор. E-mail: senef@so.ru*

*Лебедев Олег Вадимович, кандидат технических наук, исследователь. E-mail: olegleb@gmail.com*

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

сти работы отрасли России необходимо, чтобы руководство предприятий располагало инструментом сравнительной оценки эффективности собственного производства для выявления потенциала повышения эффективности на основе бенчмаркинга.

Принятие Федерального закона № 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов» от 02.07.2021 г. [1] заложило основы для формирования нормативной базы по регулированию деятельности и отчетности предприятий за выбросы ПГ, в том числе для предприятий, производящих керамические изделия. Для достижения заявленной цели необходимо иметь инструменты мониторинга целевых заданий для конкретных заводов. Давать единые целевые задания по снижению выбросов всем предприятиям – и лидерам, и аутсайдерам – можно, но малопродуктивно. Для формирования индивидуальных заданий предприятиям и мониторинга их достижения необходимы инструменты бенчмаркинга. Целевые показатели могут устанавливаться для регулируемых организаций, к которым с 01.01.2024 г. относятся объекты с массой выбросов ПГ более 50 тыс. т CO<sub>2</sub>/год [1].

На территории Российской Федерации керамический неогнеупорный строительный кирпич выпускают 100 крупных и средних предприятий. По оценке Центра энергоэффективности – XXI век (ЦЭНЭФ-XXI), суммарная масса выбросов ПГ при производстве керамических неогнеупорных строительных кирпичей в России достигает 2240 тыс. т CO<sub>2</sub>, из которых 1260 тыс. т CO<sub>2</sub> приходится на сжигание топлива и еще 980 тыс. т CO<sub>2</sub> – на технологические процессы [2]. В отрасли, по-видимому, есть несколько предприятий, выбросы которых превышают 50 тыс. т CO<sub>2</sub>/год и 150 тыс. т CO<sub>2</sub>/год.

Цель исследования заключается в разработке методического подхода и создании на его основе программного комплекса для оценки углеродоемкости (бенчмаркинга) производства керамических изделий в Российской Федерации и формировании тем самым системы координат для обоснования целей и задач экологического и энергетического менеджмента и для оказания помощи в формировании отчетности по выбросам парниковых газов.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Информационную основу исследования составили материалы профильных международных и национальных ассоциаций и агентств, занимающихся сбором, систематизацией и анализом сведений о ресурсной эффективности и углеродоемкости производства керамических изделий. Используются сведения о российских предприятиях, содержащиеся в Базе данных Российского бюро наилучших до-

ступных технологий (НДТ) и полученные в ходе актуализации в 2023 г. информационно-технического справочника по НДТ, который был опубликован как ИТС 4-2023 «Производство керамических изделий» [3]. Расчеты выбросов парниковых газов проведены на основе методик Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [2]. В ходе выполнения исследования разработаны методический подход и программный комплекс для оценки углеродоемкости (бенчмаркинга) производства керамических изделий в Российской Федерации.

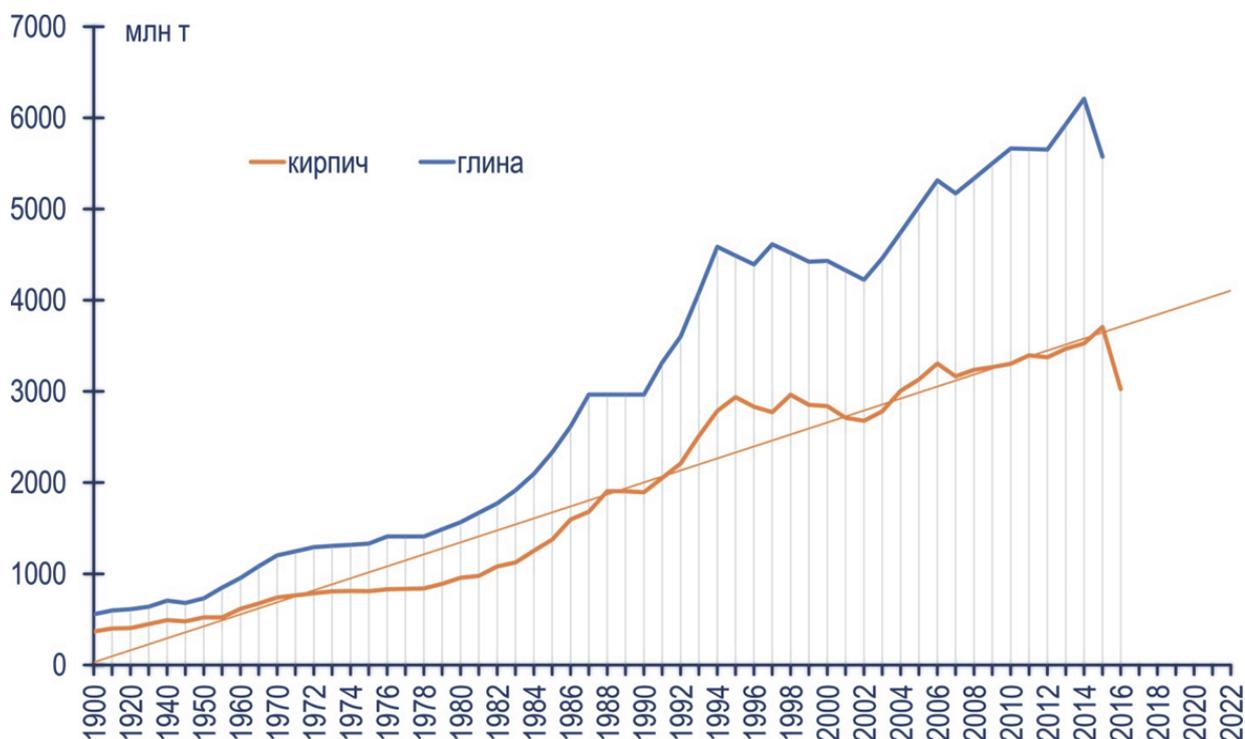
## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### Перспективы декарбонизации производства керамических изделий в мире

Данных о динамике удельных выбросов ПГ в производстве керамики (прежде всего – строительной) в мире в целом или даже в отдельных странах довольно мало [2]. Доступны данные о выбросах ПГ от сектора строительных материалов, но в них не выделяются керамические изделия [4, 5, 6]. Есть данные по отдельным странам и регионам с оценкой выбросов ПГ, например, по ЕС и Китаю [7], но не приводятся данные об удельных выбросах ПГ или о масштабах производства кирпича, на базе которых можно было бы оценить удельные выбросы. Есть оценки не производства, а прироста запаса кирпича во всех построенных объектах по странам за длительный отрезок времени [8]. Приняв гипотезу о масштабах сноса зданий и возможностях вторичного использования кирпича, можно оценить масштабы его производства, но не сопряженных выбросов ПГ. Поэтому для определения ретроспективной динамики снижения удельных выбросов ПГ в керамической промышленности приходится прибегать к широкому набору допущений, на основании которых делаются оценки.

На рис. 1 показано, что в 2016 г. производство кирпича резко упало из-за его снижения в Китае с 2208 млн т в 2015 г. до 1489 млн т в 2016 г. Это равнозначно падению мирового производства кирпича на 19 %. В 2005-2015 гг. производство в Китае держалось на уровне 2000-2200 млн т в год. Поскольку в 2015 г. на Китай пришлось 60 % мирового производства кирпича, очевидно, что именно эта страна определяла тренды (рис. 2). Тренд на снижение производства кирпича в Китае сохранился до 2021 г. Видимо, поэтому до 2022 г. мировые масштабы производства кирпича существенно не превышали уровень 2015 г.

Многие развитые страны находятся на этапе снижения производства и использования кирпича или стабилизации этих показателей на низком уровне после динамичного снижения. Во многих развивающихся странах, например, в Индии, Бангладеш и Пакистане, напротив, ожи-



**Рис. 1.** Производство кирпича и использование глины в мире  
 Источник: рисунок подготовлен авторами по данным [8]

дается рост производства кирпича. По оценкам Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), равнодействующая всех этих сил приведет к выходу на пик мирового производства кирпича ниже 4 Гт к 2030 г. с последующим медленным снижением до 3,6 Гт к 2060 г., при этом производство прочих керамических изделий может вырасти с нынешних 2,5 Гт до 6,3 Гт к 2060 г. [9].

По оценке ЦЭНЭФ-XXI, выбросы ПГ от производства керамических изделий в мире в 1970-2021 гг. выросли в 3,3 раза и достигли 1149 млн т  $\text{CO}_2$  [2]. На производство кирпича приходится 756 млн т  $\text{CO}_2$ , еще 393 млн т  $\text{CO}_2$  – на производство прочей продукции. На технологические выбросы пришлось 324 млн т  $\text{CO}_2$ , на выбросы от сжигания топлива – 825 млн т  $\text{CO}_2$  [2].

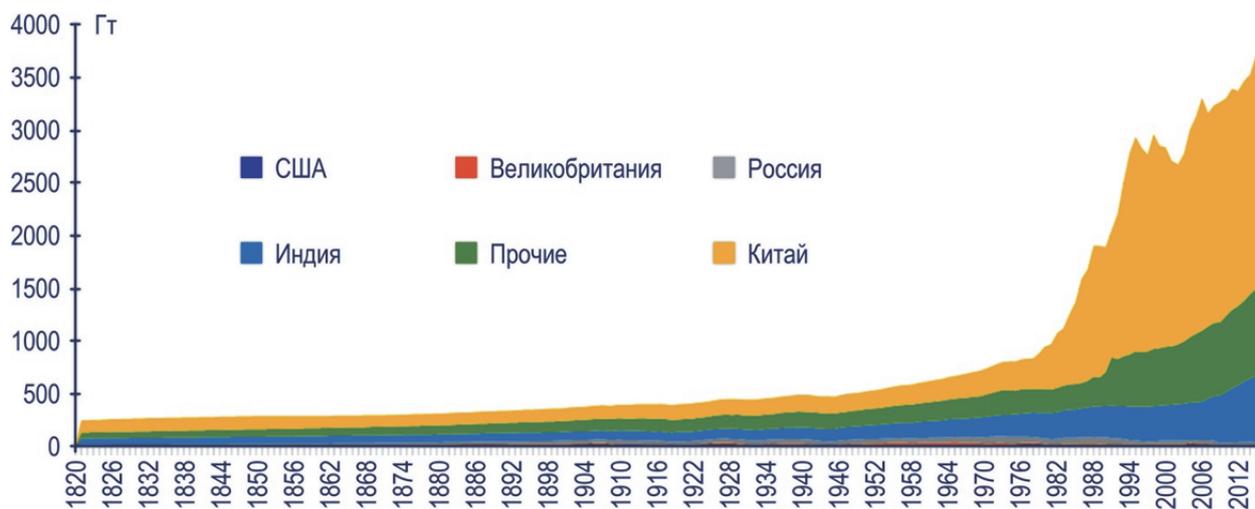
В известных базах данных выбросы ПГ, сопряженные с производством кирпича, не выделяются. В литературе удалось найти лишь одну оценку глобальной эмиссии от “brick industry” – 1072 млн т  $\text{CO}_2$  в 2020 г. [10]. По-видимому, под “brick industry” в этой работе понимается производство керамических изделий в целом. В этом случае результаты получаются близкими к оценке авторов. Тогда среднемировые удельные выбросы составляют примерно 180 кг  $\text{CO}_2$ /т продукции. Есть также региональные и страновые оценки выбросов ПГ. Так, суммарные выбросы  $\text{CO}_2$  от производства кирпича в Китае, Индии, Пакистане, Бангладеш и Вьетнаме в 2009-2010 гг. оценены в 370 млн т  $\text{CO}_2$  [11]. Производство кирпича в этих странах в 2009-2010 гг. составило

2,67-2,68 Гт, то есть, удельные выбросы близки к 138 кг  $\text{CO}_2$ /т. Согласно другой оценке, в 2015 г. только в Индии выбросы составили 400 млн т  $\text{CO}_2$  [12]. При производстве в 2023 г. 630 млн т кирпича удельные выбросы получаются равными 635 кг  $\text{CO}_2$ /т. Это завышенная оценка. В ЕС выбросы ПГ от производства керамики в 2019 г. составили только 19 млн т  $\text{CO}_2$  [7].

Оценка глобальных выбросов ПГ сделана на базе следующих допущений:

1. Данные по масштабам использованию глины и производству кирпича за 1970-2019 гг. взяты из двух источников [8, 9].
2. Технологические выбросы оценены с помощью коэффициента выбросов, используемого в российской инвентаризации – 0,04453515 т  $\text{CO}_2$ /т глины.
3. Доля потерь глины при производстве керамической продукции принята равной 10 %.
4. Средний по миру удельный расход энергии определен на основе анализа большого числа публикаций [13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20] и принят линейно снижающимся с уровня 3,5 ГДж/т в 1970 г. до 1,5 ГДж/т в 2020 г.
5. Средняя углеродоемкость использованной энергии принята равной средней по отрасли «неметаллические высокотемпературные материалы» на основе деления выбросов  $\text{CO}_2$  от процессов сжигания в этой отрасли на количество использованной в ней энергии по данным Международного энергетического агентства (МЭА).

В итоге получается, что за полвека удельные выбросы ПГ снизились в 2 раза – с 310 кг  $\text{CO}_2$ /т в

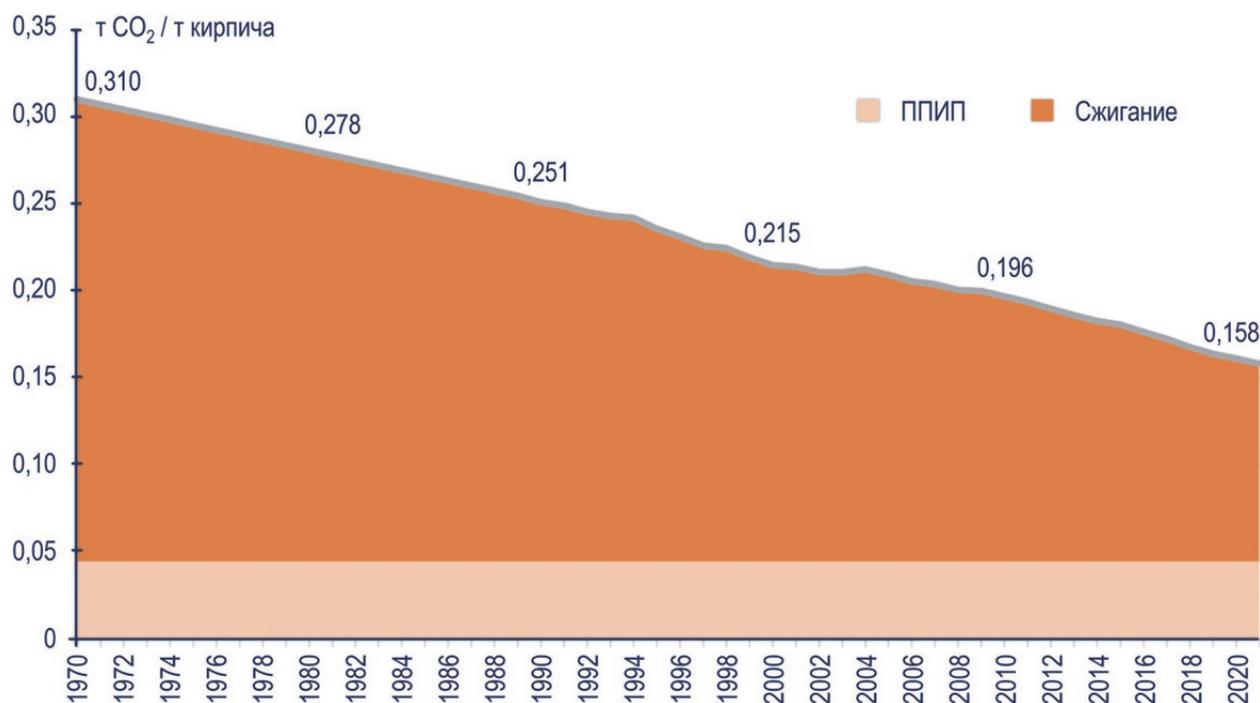


**Рис. 2.** Мировое производство кирпича в 1820-2016 гг.  
 Источник: рисунок подготовлен авторами по данным [8]

1970 г. до 158 кг CO<sub>2</sub>/т в 2021 г. (рис. 3). Главным фактором снижения удельных выбросов CO<sub>2</sub> стало повышение энергоэффективности в основном за счет внедрения новых типов печей для обжига кирпича. Что касается углеродоемкости использованной энергии, то после 1970 г. значительных успехов в ее снижении не было. Колебания этого показателя определялись изменением доли стран Азии (которые в основном используют уголь в качестве топлива) в суммарном производстве строительных материалов. Удельные выбросы при производстве всех керамических изделий в мире в 1970-2021 гг. снизились в 3 раза: с 0,56 до 0,18 т CO<sub>2</sub>/т продукции [14].

Задачи декарбонизации производства керамических изделий в явном виде сформулированы только в отдельных странах [2]:

- Европейский союз (ЕС) предполагает достичь углеродной нейтральности сектора производства керамических изделий к 2050 г. [7];
- Великобритания поставила задачу достичь нулевого уровня выбросов ПГ к 2050 г.;
- Германия поставила цель сократить выбросы ПГ на 50 % к 2030 г. [21];
- Китай принял нормативный акт по повышению энергоэффективности производства кирпича и поставил цель снизить потребление энергии в отрасли к 2023 г. на 10 % по сравнению с 2013 г.;



**Рис. 3.** Ретроспективная динамика глобальных удельных выбросов парниковых газов от производства кирпича  
 Источник: оценки авторов

– Индия поставила цель производить 40 % кирпича с использованием золы уноса с 2022 г., что приведет к сокращению выбросов ПГ на 20 млн т в год, что больше нынешних выбросов от производства керамических изделий в ЕС;

– Бразилия запустила программу по продвижению использования биомассы в производстве кирпича, что позволит сократить выбросы ПГ на 3,5 млн т в год.

В ряде работ оценены перспективы декарбонизации отрасли. В анализе для Бангладеш предполагается, что до 2030 г. за счет мер по повышению энергоэффективности (смены технологий обжига) можно обеспечить декаплинг (стабилизацию или даже некоторое снижение выбросов ПГ при значительном наращивании масштабов выпуска кирпича) [15, 19]. Аналогичный вывод получен для Индии [12] на горизонте прогноза до 2050 г. Основной эффект достигается за счет перехода к современным энергоэффективным печам обжига непрерывного действия [22].

Основные направления декарбонизации производства керамических изделий включают:

- контроль уровня потребления сырья и энергии;
- снижение содержания углерода в исходном сырье;
- повышение энергоэффективности за счет перехода на новые технологии обжига;
- повышение эффективности использования керамических изделий;
- повторное их использование, в т. ч. для замены клинкера;
- электрификация печей обжига;
- использование альтернативных видов энергии и топлива, включая биомассу, геотермальную энергию (тепловые насосы), «зеленый» водород;
- применение технологий улавливания, использования и хранения углерода (CCUS).

Направления декарбонизации производства керамических изделий в целом сходны с направлениями, характерными для цементной промышленности [23, 24, 25]. Далее специфика декарбонизации отрасли показана на примере ЕС.

Повышение энергоэффективности за счет использования наилучших доступных технологий как при модернизации существующих, так и при строительстве новых предприятий (печи, сушила, внедрение автоматизированного контроля технологических процессов, совершенствование теплоизоляции за счет использования новых видов огнеупорной футеровки, покрытий, утилизация вторичного тепла).

Использование альтернативных топлив – переход на биогаз, биомассу (Бразилия), биометан, синтетические газы на основе использования «зеленого» водорода и захваченного в системах CCUS. Компания Michelmersh пред-

ставляет технологию HyBrick™ – первые в мире кирпичи, изготовленные исключительно на базе водородного топлива [26].

Электрификация процесса обжига. Электрификация печей рассматривается в большинстве подотраслей как экономически невыгодное решение, поскольку электроэнергия в последние годы заметно подорожала. Тем не менее, первый проект запущен компанией Wienerberger.

Снижение содержания углеродсодержащих добавок в сырье – оптимизация использования сырья с содержанием углерода в глиняных смесях, внедрение новых технологий (например, увеличение использования золы уноса в Индии).

Применение CCUS. Использование этих технологий необходимо для снижения технологических выбросов, но оно существенно затрудняется из-за сравнительно небольших масштабов установок на кирпичных заводах по сравнению с черной металлургией или цементной промышленностью.

Отдельно поднимается вопрос об экономической доступности мер по декарбонизации. В ЕС суммарные затраты на декарбонизацию производства керамических изделий оцениваются в 27 млрд евро. К 2030 г. ежегодные затраты достигнут 500 млн евро, к 2040 г. – 1 млрд евро, а к 2050 г. – 1,2 млрд евро. Европейская отрасль крайне озабочена проблемой «утечки углерода» и сохранением конкурентоспособности, и вероятность распространения механизма ПКУМ на производство керамических изделий довольно высока.

### **Системы бенчмаркинга керамической промышленности, используемые в мире**

В производстве керамических изделий существует несколько международных и национальных систем бенчмаркинга по уровню удельных расходов энергии и удельных выбросов ПГ. Среди них можно выделить бенчмаркинг Ассоциации производителей кирпича в Великобритании (Brick Development Association), систему бенчмаркинга “GHG Emissions Benchmarking & South African Carbon Tax” (ЮАР), систему бенчмаркинга “Energy Efficient Enterprise (E3)” (Индия) и систему бенчмаркинга, используемую при бесплатном распределении квот на выбросы ПГ в рамках системы торговли квотами ЕС [2].

Оценок среднего по миру удельного расхода топлива и энергии на производство кирпича в литературе нет, но есть оценки для разных стран и разных технологий. Их анализ позволяет в качестве нижней границы удельного расхода топлива определить значение 700 МДж/т кирпича [17], а в качестве верхней – 2900 МДж/т [11], хотя на устаревших печах в развивающихся странах встречаются и более высокие удельные расходы – вплоть до 4500 МДж/т кирпича [27].

ЦЭНЭФ-XXI оценил средние удельные выбросы ПГ при производстве кирпича для мира в целом в 158 кг CO<sub>2</sub>/т в 2021 г., в том числе от сжигания топлива – 113,5 кг CO<sub>2</sub>/т, от технологических процессов – 44,5 кг CO<sub>2</sub>/т. В системе европейской торговли квотами на выбросы в 2013 г. был установлен бенчмарк на выбросы при производстве облицовочного кирпича на уровне 139 кг CO<sub>2</sub>/т. Для периода 2021-2025 гг. он был понижен до 106 кг CO<sub>2</sub>/т, а среднее значение для 10 % наиболее эффективных установок в 2016-2017 гг. составляло 94 кг CO<sub>2</sub>/т [17].

Проблема сопоставимости бенчмарков в системах углеродного регулирования разных стран заключается в единицах измерения. Так, Ассоциация производителей кирпича в Великобритании – Brick Development Association – нормирует выбросы в расчете на 1 м<sup>2</sup> кирпичной кладки. Общие выбросы диоксида углерода для всех предприятий по производству кирпича в Великобритании были рассчитаны на уровне 26 кг CO<sub>2</sub>/м<sup>2</sup> кирпичной кладки. Целевой уровень на 2021 г. составляет 22,5 кг CO<sub>2</sub>/м<sup>2</sup> кирпичной кладки [27]. Выбросы только от сжигания топлива равны 26 кг CO<sub>2</sub>/м<sup>2</sup> кирпичной кладки. Если допустить, что масса 1 м<sup>2</sup> кирпичной кладки варьирует в интервале 200-264 кг, получается, что удельные выбросы на 1 т кирпича составляют 98-130 кг CO<sub>2</sub>/т. В Великобритании, как и в России, в качестве топлива используется в основном природный газ, поэтому получаются сопоставимые уровни удельных выбросов.

Для ЮАР бенчмарк установлен на уровне 120 кг CO<sub>2</sub>/т [28]. Для Бангладеш удельные выбросы даны на 1 млн кирпичей. Если принять средний вес кирпича в Бангладеш за 3,5 кг [8, 29], то в зависимости от технологии производства выбросы от сжигания составляют 103-206 CO<sub>2</sub>/т продукции [30]. Если выбросы от разложения сырья равны 45 кг CO<sub>2</sub>/т, то удельные прямые выбросы примерно 250 кг CO<sub>2</sub>/т. можно считать наихудшим мировым показателем. Аналогичная практика оценки удельных выбросов на 1 млн кирпичей используется и в Индии. Если принять средний вес кирпича в Индии за 2,2 кг [29], то в зависимости от технологии производства удельные выбросы получают равными 237 кг CO<sub>2</sub>/т, а для Непала – 224 кг CO<sub>2</sub>/т [11]. Для США была получена оценка 0,17 кг CO<sub>2</sub>/кирпич [18]. При среднем весе кирпича 1,8 кг [29] выбросы составляют 94 кг CO<sub>2</sub>/т. Это, по-видимому, заниженная оценка. В работе иранских специалистов выбросы от сжигания топлива в зависимости от конструкции печи оцениваются равными 70-166 кг CO<sub>2</sub>/т [29]. Вместе с технологическими выбросами общие выбросы составят 115-211 кг CO<sub>2</sub>/т продукции.

Известно, что компания Wienerberger, которая предполагает достичь углеродной нейтраль-

ности к 2030 г., запустила в Бельгии первую в отрасли производственную линию с нулевыми энергетическими выбросами. Сушило и печь полностью электрифицированы; 25 % необходимой электроэнергии вырабатывается фотоэлектрической установкой на самом заводе, а остальная безуглеродная энергия закупается [31].

### **Система оценки углеродоемкости (бенчмаркинг) производства керамических изделий в России**

ЦЭНЭФ-XXI создал программный комплекс «Оценка углеродоемкости (бенчмаркинг) производства керамических изделий в Российской Федерации» («Бенчмарки<sup>прмччнг</sup>»). Далее описан первый опыт его применения. Исходные данные, используемые при оценке удельных выбросов парниковых газов, применительно к производству кирпича можно разделить на две группы: компоненты на входе в технологический процесс (сырье, промышленные газы, энергия) и на выходе из него (основные и побочные продукты и вторичные энергетические ресурсы). В целом, для сбора информации используется набор из 3 групп и 11 подгрупп входных показателей. Прежде всего учитываются ассортимент продукции, способ и мощность производства, способ обжига кирпича и основное оборудование, включая тип печей, потребление ресурсов (сырья, отошающих материалов, топлива (ископаемого, альтернативного), электроэнергии, различных добавок, отходов и / или материалов из отходов). Для этих показателей прежде всего рассчитывают выбросы парниковых газов. Выходные показатели включают выпуск разных видов керамических изделий и полуфабрикатов (например, кирпич-сырец), а также образование побочной продукции и характеристики вторичных энергетических ресурсов.

При производстве керамических изделий в Бенчмарки<sup>прмччнг</sup> учитываются:

1. Прямые выбросы (область охвата 1) из источников, которые принадлежат предприятию или контролируются им, прежде всего, выбросы от следующих источников:

- обжиг сырья, разложение карбонатов и сжигание органического углерода, содержащегося в сырье (технологические выбросы);
- сжигание технологического топлива (природное топливо, альтернативное топливо, смешанное топливо с содержанием биогенного углерода, биомассы и др.), связанное с производством кирпича и / или сушкой сырьевых материалов, минеральных добавок и топлива;
- сжигание топлива для прочих нужд, связанных с оборудованием и транспортными средствами на предприятии, отопление и / или охлаждение помещений;

– сжигание топлива для производства электроэнергии на территории организации (собственные электростанции);

– сжигание углерода, содержащегося в сточных водах.

2. Энергетические косвенные выбросы парниковых газов (область охвата 2), образующиеся в результате производства электроэнергии, приобретаемой предприятием и потребляемой на принадлежащем или контролируемом им оборудовании.

3. Прочие косвенные выбросы парниковых газов (область охвата 3), в том числе выбросы, связанные с закупаемым сырьем, а также с производством, подготовкой и транспортировкой альтернативного топлива за пределами организации.

Для предприятий кирпичной промышленности РФ бенчмаркинг проводился по следующим характеристикам:

– Уровень энергоэффективности (энергетический уровень). К нему относится проведение сопоставительного анализа кирпичных производств по уровню энергоэффективности по следующим энергетическим показателям:

- удельный расход топлива (тепла) на обжиг 1 т кирпича;
- удельный расход электроэнергии на производство 1 т кирпича;
- удельный расход тепловой энергии на производство 1 т кирпича;
- доля использования альтернативных видов топлива.

– Уровень углеродоемкости. К нему относится проведение сопоставительного анализа кирпичных производств по удельным выбросам парниковых газов на единицу продукции (кирпич):

- удельные прямые выбросы ПГ на 1 т кирпича (от сжигания топлива и обжига сырья, охват 1);
- удельные прямые и косвенные выбросы ПГ на 1 т кирпича (охват 1+2);
- удельные прямые и косвенные выбросы ПГ на 1 т кирпича (охват 1+2+3);
- удельные прямые и косвенные выбросы ПГ на 1 т кирпича (охват 1+3).

На основании фактических величин удельного расхода определяется положение рассматриваемого кирпичного завода на кривой бенчмаркинга относительно среднего по России значения, а также в сравнении с лучшими зарубежными предприятиями (минимальные и средние мировые значения). Результаты работы системы бенчмаркинга для кирпичных заводов РФ представлены на рис. 4.

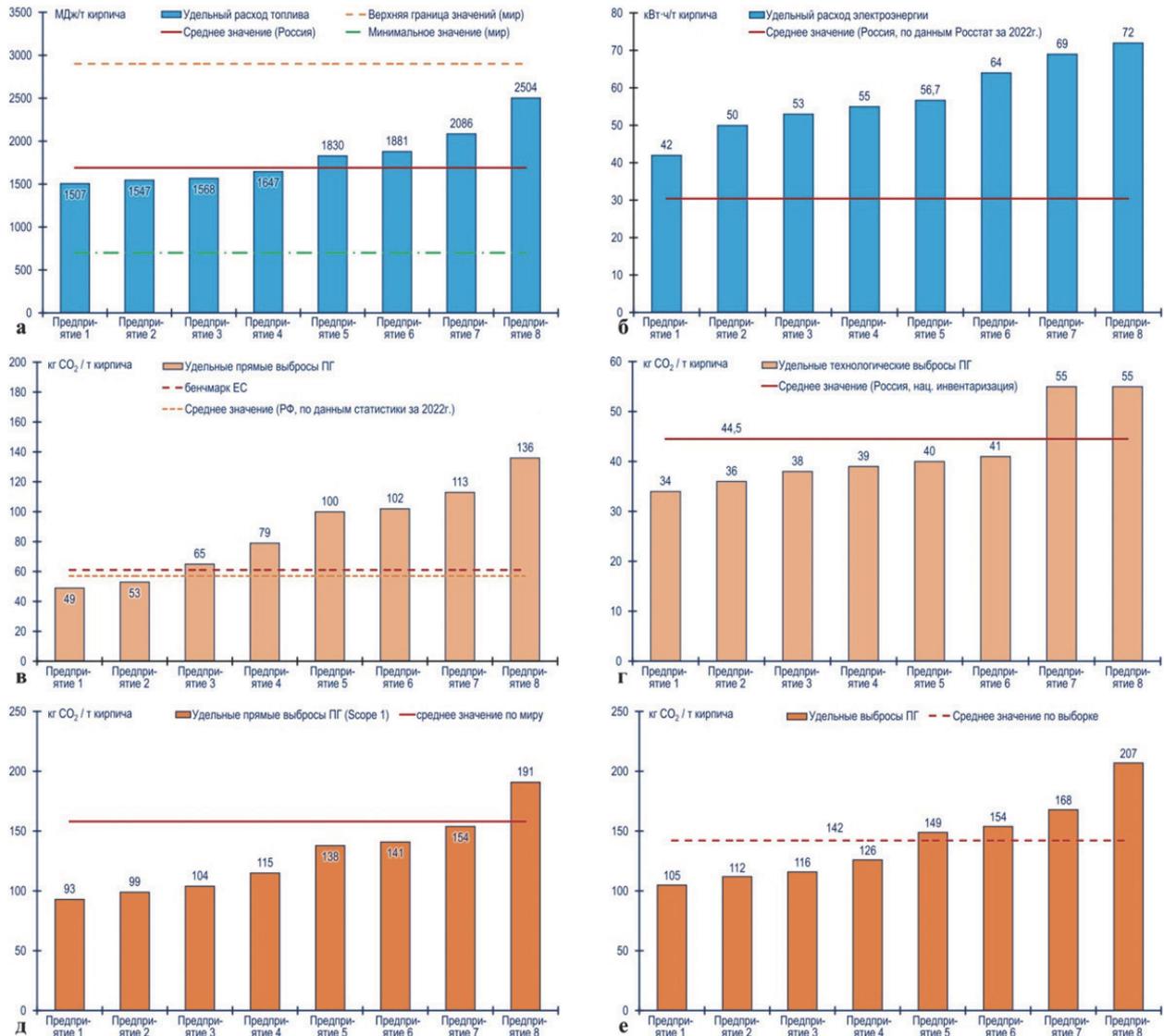
Бенчмаркинг величин удельных прямых выбросов ПГ при производстве кирпича (рис. 4в) показал, что существует 2,8-кратный разрыв в удельных прямых выбросах ПГ при обжиге кир-

пича между предприятиями из выборки. Только у одного предприятия удельные прямые выбросы ПГ при обжиге кирпича оказались выше средних по миру, а у двух предприятий удельные прямые выбросы ПГ при обжиге кирпича оказались ниже бенчмарка для ЕС (61 кг CO<sub>2</sub>/т). На основании фактических величин удельных выбросов ПГ при производстве кирпича выявлено, что 7 из 8 предприятий имеют прямые выбросы ниже среднемировых значений (106 кг CO<sub>2</sub>/т), а три предприятия из выборки проходят по бенчмарку для ЕС (106 кг CO<sub>2</sub>/т).

В Российской Федерации результаты бенчмаркинга удельных выбросов парниковых газов стали основой для установления индикативных показателей удельных выбросов парниковых газов в рамках актуализации информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям ИТС 4-2023 «Производство керамических изделий». Верхний уровень показателя, так называемый ограничительный, составляет 155 кг CO<sub>2</sub>/т, а нижний, стимулирующий предприятия к выполнению проектов, направленных на сокращение углеродоемкости продукции (в том числе, при господдержке), составляет 106 кг CO<sub>2</sub>/т продукции. При этом предполагается, что верхний уровень индикативного показателя может использоваться в рамках правового регулирования отношений, связанных с ограничением выбросов парниковых газов [3, 32]. Как следует из опыта других отраслей промышленности (таких, как металлургия или производство цемента и стекла), нижний уровень показателя может найти применение в таксономии зеленых проектов [33].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате выполнения исследования разработан методический подход, на основе которого создан программный комплекс для оценки углеродоемкости (бенчмаркинга) производства керамических изделий в Российской Федерации. Применение программного комплекса позволяет определить состояние отрасли в целом и позиции основных предприятий в контексте углеродоемкости продукции. Пилотная эксплуатация разработанного программного комплекса показала, что он дает адекватные сопоставимые оценки уровня энергетической, экологической и климатической эффективности предприятий, которые производят керамические изделия. Практическое внедрение этого программного комплекса позволит создать надежную информационную основу для внедрения механизмов энергетического, экологического и углеродного регулирования в отрасли, стимулировать переход предприятий, выпускающих керамические изделия, к применению наилучших



**Рис. 4.** Кривые бенчмаркинга по удельным расходам энергии и выбросам ПГ при производстве кирпича, построенные с применением системы Бенчмарки<sup>ПНП</sup>чнг:

- а) удельный расход топлива на обжиг (природное топливо); б) удельный расход электроэнергии при производстве кирпича;
- в) удельные прямые выбросы парниковых газов от сжигания топлива при производстве кирпича;
- г) Кривые бенчмаркинга по удельным технологическим выбросам ПГ в процессе кальцинирования;
- д) удельные суммарные прямые выбросы парниковых газов при производстве кирпича;
- е) удельные прямые и косвенные выбросы парниковых газов при производстве кирпича

Источник: оценки авторов по данным кирпичных заводов РФ

доступных технологий, совершенствовать системы экологического и энергетического менеджмента и реализацию строительных проектов с низким углеродным следом.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об ограничении выбросов парниковых газов: Федеральный закон Российской Федерации от 02.07.2021 г. № 296-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. 05.07.2021 г. – № 27 (Часть I). – Ст. 5124.
2. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 3. Industrial Processes and Product Use. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol3.html>.
3. ИТС 4-2023. Производство керамических изделий: Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Издание официальное. Москва : Бюро НДТ, 2023. 319 с.
4. Lamb W. F., Wiedmann T., Pongratz J. et al. A Review of Trends and Drivers of Greenhouse Gas Emissions by Sector from 1990 to 2018 // Environmental Research Letters. 2021. 16 (7). 073005. DOI: 10.1088/1748-9326.
5. Minx J. C. et al. 2021: A comprehensive dataset for global, regional and national greenhouse gas emissions by sector 1970-2019 // Earth Syst. Sci. Data. 2021. July. 1-63. DOI: 10.5194/essd-2021-228.
6. CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion. IEA, 2021.

- URL: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-co2-emissions-in-2021-2>.
7. Ceramic Roadmap to 2050. Continuing Our Path Towards Climate Neutrality. URL: <https://www.ceramicroadmap2050.eu/chapters/continuing-our-path-towards-climate-neutrality/>.
  8. *Plank B., Streeck J., Vir'ag D. et al.* From Resource Extraction to Manufacturing and Construction: Flows of Stock-building Materials in 177 Countries from 1900 to 2016 // *Resources, Conservation & Recycling*. 2022. 17. 106122. DOI: 10.1016/j.resconrec.2021.106122.
  9. Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences. OECD Publishing, Paris. 2019. DOI: 10.1787/9789264307452-en.
  10. Brick Industry: A High Emitter of CO<sub>2</sub> – Habla Zig Zag Kilns. URL: <https://hablakilns.com/environment/co2-emissions/>.
  11. *Eil A., J. Li, P. Baral, and E. Saikawa* Dirty Stacks, High Stakes: An Overview of Brick Sector in South Asia. The World Bank. April 2020.
  12. *Jajal P., K. Tibrewal, T. Mishra, and C. Venkataraman* Economic Assessment of Climate Mitigation Pathways (2015-2050) for the Brick Sector in India / *Climate Change Signals and Response*, 2019. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-13-0280-0>.
  13. *Chena W., S. Yangb, X. Zhangc, N. D. Jordana, J. Huang* Embodied energy and carbon emissions of building materials in China. Bartlett School of Environment, Energy and Resources. University College London. London, 2020.
  14. Climate and Clean Air Coalition leaders. 2019. URL: [nep.org/news-and-stories/press-release/climate-and-clean-air-coalition-leaders-we-must-significantly-reduce](http://nep.org/news-and-stories/press-release/climate-and-clean-air-coalition-leaders-we-must-significantly-reduce).
  15. *Eil A., J. Li, P. Baral, and E. Saikawa* Dirty Stacks, High Stakes: An Overview of Brick Sector in South Asia. The World Bank. April 2020.
  16. Brick Sector in Nepal National Policy Framework. Katmandu, 2017. URL: [https://www.ccacoalition.org/sites/default/files/resources/2017\\_bricks-sector-nepal\\_minergy-icimod.pdf](https://www.ccacoalition.org/sites/default/files/resources/2017_bricks-sector-nepal_minergy-icimod.pdf).
  17. *Abbas A., M. B. Sajid, M. A. Iftikhar, A. H. Khoja, M. M. Ahmad, M. Shahid, K. Ullah* Assessment of Long-term Energy and Environmental Impacts of the Cleaner Technologies for Brick Production Energy Reports. 2021. 7. 7157-7169.
  18. *Islam K., Motoshita M., Murakami S.* Environmental Sustainability of Bricks in an Emerging Economy: Current Environmental Hotspots and Mitigation Potentials for the Future // *Sustainability*. 2023. 15. 5228. DOI: 10.3390/su15065228.
  19. *Maheshwari H., K. Jain* Carbon Footprint of Bricks Production in Fixed Chimney Bull's Trench Kilns in India. 2017.
  20. *Sazedj S., A. J. Morais, S. Jalali* Comparison of embodied energy and carbon dioxide emissions of brick and concrete based on functional units. London, 2021. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/62468024.pdf>.
  21. Summary Roadmap for a greenhouse gas neutral brick and roof tile industry in Germany. Transition of the German brick and roof tile industry to greenhouse gas neutrality by 2050. Berlin, 2020.
  22. *Heierli U., S. Maithel* Brick by brick: the Herculean task of cleaning up the Asian brick industry. Swiss Agency for Development and Cooperation, 2008.
  23. *Башмаков, И.А.* Перспективы декарбонизации цементной промышленности мира / И.А. Башмаков // *Фундаментальная и прикладная климатология*. – 2023. – Т. 9. – № 2. – С. 33-64. – DOI: 10.21513/2410-8758-2023-2-33-64.
  24. *Bashmakov I. A. et al.* Industry / Climate Change 2022. Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the IPCC Sixth Assessment Report (AR6) [Skea J. et al., (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. 2022.
  25. *Башмаков, И.А.* Выбросы парниковых газов от мировой черной металлургии: прошлое, настоящее и будущее / И.А. Башмаков // *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. – 2021. – № 77 (8). – С. 882-901. – DOI: 10.32339/0135-5910-2021-8-882-901.
  26. HyBrick – Hydrogen Fired Clay Bricks. UK, 2023. URL: <https://www.mbhplc.co.uk/sustainability/hybrick/>.
  27. Resource Efficiency Action Plans. Bricks, Blocks & Concrete. 1<sup>st</sup> Progress Report. MPA The Concrete Centre. Brick Development Association. March 2017.
  28. Impact of the South African Carbon Tax on the Clay Brick Industry Africa. Ecometrix Africa (Pty) Ltd. March 2014.
  29. *Solgi E., Gitinavard H., Tavakkoli-Moghaddam R.* Sustainable High-Tech Brick Production with Energy-Oriented Consumption: An Integrated Possibilistic Approach Based on Criteria Interdependencies // *Sustainability*. 2022. 14 (1). 202. DOI: 10.3390/su14010202.
  30. Report Bangladesh Brick Sector Roadmap 2019-2030, 2019. URL: <https://www.ccacoalition.org/resources/bangladesh-brick-sector-road-map>.
  31. First CO<sub>2</sub>-neutral brick production line launched in Kortemark. Ceramic World Web. URL: <https://ceramicworldweb.com/en/news/wienerberger-first-co2-neutral-brick-production-line-launched-kortemark>.
  32. *Доброхотова, М.В.* Применение концепции наилучших доступных технологий в целях технологической трансформации промышленности в условиях энергетического перехода / *Доброхотова М. В., Матушанский А. В.* // *Экономика устойчивого развития*. – 2022. – № 2 (50). – С. 63-68.
  33. *Гусева, Т. В.* Направления совершенствования таксономии зеленых проектов для устойчивого развития промышленности / Т.В. Гусева, А.А. Волосатова, И.О. Тихонова // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. – 2022. – Т. 24. – № 5 (109). – С. 28-35.

## CARBON INTENSITY BENCHMARKING SYSTEM FOR THE CERAMIC INDUSTRY

© 2024 I. A. Bashmakov<sup>1</sup>, O. V. Lebedev<sup>1</sup>, T. V. Guseva<sup>2</sup><sup>1</sup>Center for Energy Efficiency – XXI, Moscow, Russia<sup>2</sup>Research Institute “Environmental Industrial Policy Center”, Mytishchi, Russia

The article discusses the opportunities and methods to reduce greenhouse gas emissions generated in the manufacture of ceramic products. It presents decarbonization methods recommended by international as well as national specialized associations and agencies. The authors discuss approaches to reducing technological (generated by decarburization of raw materials) and energy (caused by fuel combustion) emissions. Using the example of ceramic brick production, authors analyze the carbon intensity levels achieved by enterprises of various countries and regions. They emphasize the key role of benchmarking in setting targets for the carbon intensity of products and discuss the main international and national benchmarking systems. The authors propose the methodological approach and the software package “Assessment of carbon intensity (benchmarking) of the ceramic industry in the Russian Federation” based on the abovementioned methodological approach. Based on the pilot software runs, a benchmarking system was developed for the enterprises of the ceramic industry to establish indicative sectoral greenhouse gas emission values.

**Keywords:** ceramic industry, bricks, carbon intensity, decarbonization, calculation of greenhouse gas emissions, best available techniques, reference documents, management systems, incentives for industry.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-2-152-164

EDN: TMBUXC

## REFERENCES

1. Ob ogranichenii vybrosov parnikovyh gazov: Federalnyj zakon Rossijskoj Federacii ot 02.07.2021 g. № 296-FZ // Sobranie zakonodatelstva Rossijskoj Federacii. 05.07.2021 g. – № 27 (CHast I). – St. 5124.
2. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 3. Industrial Processes and Product Use. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol3.html>.
3. ITS 4-2023. Proizvodstvo keramicheskikh izdelij: Informacionno-tehnicheskij spravocnik po nailuchshim dostupnym tekhnologiyam/Federalnoe agentstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii. Izdanie oficialnoe. Moskva : Byuro NDT, 2023. 319 s.
4. Lamb W.F., Wiedmann T., Pongratz J. et al. A Review of Trends and Drivers of Greenhouse Gas Emissions by Sector from 1990 to 2018 // Environmental Research Letters. 2021. 16 (7). 073005. DOI: 10.1088/1748-9326.
5. Minx J.C. et al. 2021: A comprehensive dataset for global, regional and national greenhouse gas emissions by sector 1970-2019 // Earth Syst. Sci. Data. 2021. July. 1-63. DOI: 10.5194/essd-2021-228.
6. CO2 Emissions from Fuel Combustion. IEA, 2021. URL: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-co2-emissions-in-2021-2>.
7. Ceramic Roadmap to 2050. Continuing Our Path Towards Climate Neutrality. URL: <https://www.ceramicroadmap2050.eu/chapters/continuing-our-path-towards-climate-neutrality/>.
8. Plank B., Streeck J., Vir'ag D. et al. From Resource Extraction to Manufacturing and Construction: Flows of Stock-building Materials in 177 Countries from 1900 to 2016 // Resources, Conservation & Recycling. 2022. 17. 106122. DOI: 10.1016/j.resconrec.2021.106122.
9. Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences. OECD Publishing, Paris. 2019. DOI: 10.1787/9789264307452-en.
10. Brick Industry: A High Emitter of CO2 – Habla Zig Zag Kilns. URL: <https://hablakilns.com/environment/co2-emissions/>.
11. Eil A., J. Li, P. Baral, and E. Saikawa Dirty Stacks, High Stakes: An Overview of Brick Sector in South Asia. The World Bank. April 2020.
12. Jajal P., K. Tibrewal, T. Mishra, and C. Venkataraman Economic Assessment of Climate Mitigation Pathways (2015-2050) for the Brick Sector in India / Climate Change Signals and Response, 2019. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-13-0280-0>.
13. Chena W., S. Yangb, X. Zhangc, N. D. Jordana, J. Huang Embodied energy and carbon emissions of building materials in China. Bartlett School of Environment, Energy and Resources. University College London. London, 2020.
14. Climate and Clean Air Coalition leaders. 2019. URL: [nep.org/news-and-stories/press-release/climate-and-clean-air-coalition-leaders-we-must-significantly-reduce](https://nep.org/news-and-stories/press-release/climate-and-clean-air-coalition-leaders-we-must-significantly-reduce).
15. Eil A., J. Li, P. Baral, and E. Saikawa Dirty Stacks, High Stakes: An Overview of Brick Sector in South Asia. The World Bank. April 2020.
16. Brick Sector in Nepal National Policy Framework. Katmandu, 2017. URL: [https://www.ccacoalition.org/sites/default/files/resources/2017\\_bricks-sector-nepal\\_minergy-icimod.pdf](https://www.ccacoalition.org/sites/default/files/resources/2017_bricks-sector-nepal_minergy-icimod.pdf).
17. Abbas A., M. B. Sajid, M. A. Iftikhar, A. H. Khoja, M. M. Ahmad, M. Shahid, K. Ullah Assessment of Long-term Energy and Environmental Impacts of the Cleaner Technologies for Brick Production Energy Reports. 2021. 7. 7157-7169.
18. Islam K., Motoshita M., Murakami S. Environmental Sustainability of Bricks in an Emerging Economy: Current Environmental Hotspots and Mitigation

- Potentials for the Future // Sustainability. 2023. 15. 5228. DOI: 10.3390/su15065228.
19. Maheshwari H., K. Jain Carbon Footprint of Bricks Production in Fixed Chimney Bull's Trench Kilns in India. 2017.
20. Sazedj S., A. J. Morais, S. Jalali Comparison of embodied energy and carbon dioxide emissions of brick and concrete based on functional units. London, 2021. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/62468024.pdf>.
21. Summary Roadmap for a greenhouse gas neutral brick and roof tile industry in Germany. Transition of the German brick and roof tile industry to greenhouse gas neutrality by 2050. Berlin, 2020.
22. Heierli U., S. Maithel Brick by brick: the Herculean task of cleaning up the Asian brick industry. Swiss Agency for Development and Cooperation, 2008.
23. Bashmakov, I.A. Perspektivy dekarbonizacii cementnoj promyshlennosti mira / I.A. Bashmakov // Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya. – 2023. – Т. 9. – № 2. – С. 33-64. – DOI: 10.21513/2410-8758-2023-2-33-64.
24. Bashmakov I.A. et al. Industry / Climate Change 2022. Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the IPCC Sixth Assessment Report (AR6) [Skea J. et al., (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. 2022.
25. Bashmakov, I.A. Vybrosy parnikovyh gazov ot mirovoj chernoj metallurgii: proshloe, nastoyashchee i budushchee / I.A. Bashmakov // Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoy i ekonomicheskoy informacii. – 2021. – № 77 (8). – С. 882-901. – DOI: 10.32339/0135-5910-2021-8-882-901.
26. HyBrick – Hydrogen Fired Clay Bricks. UK, 2023. URL: <https://www.mbhplc.co.uk/sustainability/hybrick/>.
27. Resource Efficiency Action Plans. Bricks, Blocks & Concrete. 1st Progress Report. MPA The Concrete Centre. Brick Development Association. March 2017.
28. Impact of the South African Carbon Tax on the Clay Brick Industry Africa. Ecometrix Africa (Pty) Ltd. March 2014.
29. Solgi E., Gitinavard H., Tavakkoli-Moghaddam R. Sustainable High-Tech Brick Production with Energy-Oriented Consumption: An Integrated Possibilistic Approach Based on Criteria Interdependencies // Sustainability. 2022. 14 (1). 202. DOI: 10.3390/su14010202.
30. Report Bangladesh Brick Sector Roadmap 2019-2030, 2019. URL: <https://www.ccacoalition.org/resources/bangladesh-brick-sector-road-map>.
31. First CO2-neutral brick production line launched in Kortemark. Ceramic World Web. URL: <https://ceramicworldweb.com/en/news/wienerberger-first-co2-neutral-brick-production-line-launched-kortemark>.
32. Dobrohotova, M.V. Primenenie koncepcii nailuchshih dostupnyh tekhnologij v celyah tekhnologicheskoy transformacii promyshlennosti v usloviyah energeticheskogo perekhoda / Dobrohotova M. V., Matushanskij A. V. // Ekonomika ustojchivogo razvitiya. – 2022. – № 2 (50). – С. 63-68.
33. Guseva, T.V. Napravleniya sovershenstvovaniya taksonomii zelenyh proektov dlya ustojchivogo razvitiya promyshlennosti / T.V. Guseva, A.A. Volosatova, I.O. Tihonova // Izvestiya Samarского nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2022. – Т. 24. – № 5 (109). – С. 28-35.

Igor Bashmakov, Doctor of Science (Economics), 2007 Nobel Peace Prize winner (as an IPCC member), Director.  
E-mail: [cenef@co.ru](mailto:cenef@co.ru)

Oleg Lebedev, PhD (Engineering), Leading Expert.  
E-mail: [olegleb@gmail.com](mailto:olegleb@gmail.com)

Tatiana Guseva, Doctor of Science (Engineering), Professor, Deputy Director (Research).  
E-mail: [Tatiana.V.Guseva@gmail.com](mailto:Tatiana.V.Guseva@gmail.com)

**Известия Самарского научного центра Российской академии наук**

Учредитель: федеральное государственное бюджетное учреждение науки Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук  
Журнал зарегистрирован в Роскомнадзоре, свидетельство ПИ № ФС77-61347 от 07.04.2015

Главный редактор: академик РАН Ф.В. Гречников

Том 26, номер 2 (118), 26.04.2024

Индекс: 36622. Распространяется бесплатно

Адрес учредителя, издателя и редакции – 443001, Самарская область, г. Самара, Студенческий пер., 3а. Тел. 8 (846) 340-06-20

Издание не маркируется

Сдано в набор 15.04.2024 г.

Офсетная печать

Подписано к печати 26.04.2024 г.

Усл. печ. л. 18,833

Тираж 200 экз.

Формат бумаги А4

Зак. 40