

**Б. В. Намаконов, канд. техн. наук, Е. С. Сытник, канд. техн. наук,
С. Е. Волков, Д. К. Калугин**

**Автомобильно-дорожный институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Донецкий национальный технический университет»
в г. Горловка**

ВЫБРОСЫ ПРИ ПЕРВИЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ И РЕНОВАЦИИ ИЗДЕЛИЙ

Исследование предлагает методику снижения углеродного следа промышленности через реновацию технических изделий в условиях ускорения климатических изменений. Разработанный алгоритм расчета, учитывающий коэффициенты материалоемкости, энергоэффективность процессов, показатели жизненного цикла продукции, позволяет количественно оценить сокращение выбросов относительно первичного производства. Результаты демонстрируют снижение выбросов в 100 раз при реновации, а также возможность интеграции методики в системы экологического менеджмента предприятий.

***Ключевые слова:** реновация, углеродный след, жизненный цикл изделий, выбросы, декарбонизация, автомобильный транспорт, экология*

Введение

Современное общество стремительно увеличивает производство техники и потребление невозобновляемых ресурсов, что приводит к масштабным загрязнениям окружающей среды и изменению климата. Климатические наблюдения фиксируют ускорение антропогенного воздействия на атмосферу.

С 1950 года скорость накопления CO_2 увеличилась на порядок величины по сравнению с доиндустриальной эпохой: если ранее увеличение концентрации на 30 млн^{-1} требовало около 1 000 лет, то в современный период аналогичный прирост происходит всего за 17 лет. При этом концентрация парниковых газов превышает доиндустриальные показатели в четыре раза. Параллельно глобальная температура в XX веке выросла на $0,74 \text{ }^\circ\text{C}$ вследствие усиления парникового эффекта. По данным европейской службы Copernicus 2024 год стал самым жарким за всю историю наблюдений. Вместе с тем на 29-й Конференции сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата (COP 29, Баку, ноябрь 2024 г.) было отмечено критическое состояние климатической системы вследствие рекордных выбросов CO_2 и стабильное увеличение глобальных температур.

Такие изменения приближают климатическую систему к критическим точкам, при которых запускаются необратимые изменения. Однако современные исследования показывают, что активные меры по декарбонизации могут смягчить наиболее тяжелые последствия и создать условия для постепенной стабилизации климатической системы. Для этого требуется сокращение углеродных выбросов: втрое в краткосрочной перспективе и восьмикратное снижение к 2030 году относительно текущих показателей на душу населения в Европе.

Цель работы – определение потенциала снижения выбросов CO_2 за счет массового внедрения процесса реновации технических изделий.

Постановка задачи

Климатологи свидетельствуют о значительном увеличении частоты и интенсивности экстремальных гидрометеорологических явлений, включая термальные аномалии, катастрофические осадки, тропические циклоны, которые причиняют существенный экономический ущерб многим странам. Они однозначно демонстрируют причинно-следственную связь между антропогенными выбросами CO_2 и изменением климатической системы.

В данном контексте задача определения и контроля выбросов CO_2 через реновацию технических изделий приобретает ключевое значение.

Основная часть

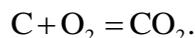
Главная причина загрязнения окружающей среды – это ежегодное прогрессивное потребление невозобновляемых природных ресурсов. Промышленные предприятия (горнодобывающая, металлургическая, энергетическая, машиностроительная, химическая отрасли и др.) являются основными (более 90 %) потребителями природных ресурсов, которые полезно используются всего на 1,5–2,0 % [1, 2]. Они представляют собой основной источник загрязнения окружающей среды, в том числе углеродных выбросов, которые образуются при сжигании топлива.

Количество выбросов (B) при сжигании топлива для производства технических изделий определяется по формуле:

$$B = B_{\text{уд}} \mathfrak{E}_{\text{уд}} \frac{M_{\text{изд}} K_{\text{перв}}}{K_{\text{им}} K_{\text{долг}}},$$

где $B_{\text{уд}}$ – удельные выбросы на единицу энергоресурсов в кг/Дж (или кг/кг у. т.).

Качественный и количественный состав выбросов при сгорании топлива зависит от многих факторов: от качества самого топлива, конструкции энергетических установок, условий сгорания и т. д. Точное их определение – это задача специального исследования. Однако в данном случае для сравнительного анализа загрязнений при сгорании топлива в процессе производства различных материалов можно принять условную величину выбросов из уравнения реакции горения углерода:



Согласно этой реакции, при сгорании выделяется 3,7 кг CO_2 на 1 кг углерода, а также оксиды азота, серы и другие вещества. Т. е. на 1 кг условного топлива (7 000 ккал/кг) образуется примерно 3,7 кг условных выбросов. Принимаем эту величину как постоянную ($B_{\text{уд}} = 3,7$), одинаковую для сжигания всех невозобновляемых энергетических ресурсов [2, 3];

$M_{\text{изд}}$ – масса материала изделия;

$K_{\text{им}}$ – коэффициент использования материала.

$$K_{\text{им}} = \frac{M_{\text{изд}}}{M_{\text{заг}}},$$

где $M_{\text{заг}}$ – масса заготовки изделия.

$K_{\text{им}}$ в основном зависит от способа получения заготовки и изменяется в пределах 0,5–0,8. Для некоторых деталей и технологий $K_{\text{им}}$ может значительно отклоняться в ту или иную сторону. При реновации изделий $K_{\text{им}} = 0,98–0,99$, так как затраты материала на восстановление деталей составляют не более 2 % от массы детали;

$K_{\text{перв}}$ – коэффициент, учитывающий количественную долю первичного природного материала в заготовке изделия.

$$K_{\text{перв}} = \frac{M_{\text{перв}}}{M_{\text{заг}}},$$

где $M_{\text{перв}}$ – масса первичного материала в заготовке изделия, получаемого из первичных природных ресурсов.

Если при изготовлении изделия используются только первичные материалы, $K_{перв} = 1,0$ и $M_{заг} = M_{перв}$. Если используется и вторичный материал, тогда $K_{перв} = 0,3-0,7$, т. е. в общем объеме заготовки 30–70 % приходится на первичный материал, а 70–30 % – на вторичный (утильсырье).

При реновации изделий и восстановлении деталей для компенсации износа используется не более 2 % первичного материала [3], поэтому для них $K_{перв} = 0,01-0,02$;

$K_{долг}$ – коэффициент повышения долговечности нового изделия по сравнению с аналогичным существующим.

Если долговечность изделия не меняется, то $K_{долг} = 1,0$. Если долговечность увеличивается в несколько раз, то для выполнения того же объема потребительских функций во столько же раз требуется меньше изделий и затрачиваемое на их изготовление количество природных ресурсов, использование которых и определяет многократный уровень снижения загрязнений окружающей среды.

$\mathcal{E}_{уд}$ – количество энергоресурсов (в кг у. т./кг), необходимое для производства единицы материала. Этот показатель определяется по статистическим данным [4].

Расчетное количество выбросов при изготовлении и реновации изделий из различных материалов приведено в таблице.

Таблица – Сравнение выбросов при производстве и реновации изделий

Материал изделия	Количество выбросов в тоннах на 1 тонну изделия (затраты материала и других ресурсов при реновации не более 1 % от массы изделия)		
	Изготовление	Реновация	Кратность
Сталь, чугун	5,735	0,57	100
Медь	10,545	0,11	100
Алюминий	43,142	0,43	100
Свинец	30,525	0,31	100

Проанализируем выбросы при изготовлении и реновации объектов производства на примере автомобильной промышленности (для условного автомобиля с весовым содержанием стали 2 т). Такой подход позволяет наглядно продемонстрировать разницу в экологических показателях. Полученные закономерности характерны и для других отраслей машиностроения, что подтверждает универсальность предлагаемой методики оценки.

Для выплавки 1 т стали требуется 1,55 т у. т. [4], при сжигании которого в атмосферу выделяется

$$(1,55 \cdot 3,7) = 5,735 \text{ т CO}_2.$$

Мировое производство стали в 2023 г. составило 1,888 млрд т, а мировое производство автомобилей, которое потребляет примерно 7 % стали, – 66 266 842 шт. Тогда количество стали, использованное для производства этих автомобилей составляет

$$66\,266\,842 \cdot 2 = 132\,533\,684 \text{ т.}$$

Согласно данным агентства Hedgesand Company (США) на конец 2023 года по всему миру насчитывалось около 1,47 миллиарда автомобилей. За последние 15 лет их количество увеличилось в 1,5 раза. Ежегодно из оборота выводится (по разным причинам) порядка 10 % годового выпуска автомобилей, а это 13 253 368,4 тонн стали, выплавка которой сопровождается годовыми эмиссиями CO_2 в атмосферный воздух:

$$5,735 \cdot 13\,253\,368,4 = 76\,008\,067,7 \text{ т.}$$

При пересчете на среднесуточные показатели величина эмиссии CO_2 составляет:

$$76\,008\,067,7 / 365 = 208\,241,3 \text{ т.}$$

Для реновации списанных автомобилей (взамен изготовления новых) и возвращения их в эксплуатацию требуется в 100 раз меньше материала и других ресурсов ($K_{перв} = 0,01$), поэтому выбросы при реновации сокращаются в 100 раз: до 2 082,4 тонн в день.

При массовом восстановлении всех списанных технических изделий количество промышленных выбросов и других загрязнений атмосферы уменьшится приблизительно в 100 раз в сравнении с их первичным изготовлением [5].

Выводы

Проведенное исследование демонстрирует, что системное внедрение реновации в промышленное производство создает реальные предпосылки для смягчения антропогенного воздействия на окружающую среду [2]. Массовая реновация только в автомобильной отрасли может сократить глобальные выбросы CO₂ примерно на 75,9 млн т/год. При этом сохраняется потенциал дополнительного уменьшения нагрузки при оптимизации технологий.

Предложенная методика может быть адаптирована для других металлоемких производств (авиа- и судостроение, тяжелое машиностроение), где потенциал снижения выбросов выше. А возможность интеграции в системы экологического менеджмента предприятий позволит обеспечить автоматизированный учет углеродного следа, оптимизацию экологических показателей и производственных процессов. Такой подход трансформирует реновацию из экологической инициативы в инструмент стратегического управления.

Представленное решение является частью комплексного подхода к экологической трансформации промышленности. Его реализация позволит замедлить приближение к точкам необратимых изменений климата, создать временной запас для разработки и внедрения дополнительных мер и постепенно смещать баланс в сторону устойчивых моделей производства.

Список литературы

1. Канило, П. М. Автомобиль и окружающая среда / П. М. Канило, И. С. Бей, А. И. Ровенский. – Харьков : Прапор, 2000. – 304 с.
2. Намаконов, Б. В. Реновационно-экологическая концепция промышленного производства : монография : посвящается 65-летию АДИ ДонНТУ / Б. В. Намаконов, Э. Л. Мельников. – Донецк : Донецкий национальный технический университет, 2024. – 106 с. – EDN MZNBVP. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=68479206> (дата обращения: 28.04.2025). – Текст : электронный.
3. Намаконов, Б. В. Методика расчета производственной экологичности машин / Б. В. Намаконов. – Текст : электронный // Тяжелое машиностроение. – 2009. – № 3. – С. 28–30. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24303036> (дата обращения: 28.04.2025).
4. Методика энергетического анализа технологических процессов в сельскохозяйственном производстве / А. Н. Никифоров, В. А. Токарев, В. А. Борзенков [и др.]. – Москва : ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 1995. – 95 с. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24303036> (дата обращения: 29.04.2025). – Текст : электронный.
5. Сытник, Е. С. Реновация технических изделий как инновационная технология формирования экологически устойчивой транспортной системы / Е. С. Сытник, Б. В. Намаконов. – Текст : электронный // Вести Автомобильно-дорожного института = Bulletin of the Automobile and Road Institute. – 2024. – № 3(50). – С. 23–30. – URL: <https://ojs.donntu.ru/index.php/vestiadi/article/view/427> (дата обращения: 30.04.2025).

Б. В. Намаконов, Е. С. Сытник, С. Е. Волков, Д. К. Калугин

Автомобильно-дорожный институт (филиал)

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения

высшего образования «Донецкий национальный технический университет» в г. Горловка

Выбросы при первичном производстве и реновации изделий

В условиях нарастающего антропогенного воздействия на климатическую систему, характеризующегося ускоренным ростом концентрации CO₂ и повышением глобальной температуры, исследование предлагает методику количественной оценки снижения углеродного следа промышленности через внедрение реновации технических изделий. Разработанный алгоритм расчета учитывает ключевые параметры производственного цикла, включая коэффициенты материалоемкости, энергоэффективности и показатели долговечности продукции.

Проведенный анализ демонстрирует значительное экологическое преимущество реновации перед первичным производством. Установлено, что восстановление изделий позволяет сократить выбросы парниковых

газов в 100 раз для различных материалов (сталь, медь, алюминий). На примере автомобильной отрасли показан существенный потенциал снижения эмиссий CO₂ – до 75,9 млн тонн ежегодно при массовом внедрении реновации.

Особую ценность представляет универсальность предложенной методики, которая может быть адаптирована для различных металлоемких отраслей промышленности, включая авиа- и судостроение. Интеграция подхода в системы экологического менеджмента предприятий создает основу для автоматизированного учета углеродного следа и оптимизации производственных процессов.

Результаты исследования имеют важное практическое значение для реализации стратегий декарбонизации промышленности в соответствии с целями Парижского соглашения. Внедрение реновации как инструмента стратегического управления позволяет не только существенно снизить экологическую нагрузку, но и создать экономические предпосылки для перехода к циклической модели экономики.

Работа предназначена для инженеров-экологов, специалистов по вопросам исследования, проектирования, конструирования, изготовления и использования технических изделий.

РЕНОВАЦИЯ, УГЛЕРОДНЫЙ СЛЕД, ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ИЗДЕЛИЙ, ВЫБРОСЫ, ДЕКАРБОНИЗАЦИЯ, АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ, ЭКОЛОГИЯ

B. V. Namakonov, E. S. Sytnik, S. E. Volkov, D. K. Kalugin
Automobile and Road Institute (Branch) of the Federal State Budget Educational Institution
of Higher Education «Donetsk National Technical University» in Gorlovka
Emissions from Primary Production and Renovation of Products

In the context of increasing anthropogenic impact on the climate system, characterized by accelerated growth of CO₂ concentration and rising global temperatures, the study proposes a methodology for quantitatively assessing the reduction of the carbon footprint of industry through the renovation of technical products. The developed calculation algorithm takes into account key parameters of the production cycle, including material consumption coefficients, energy efficiency and product durability indicators.

The analysis conducted demonstrates a significant environmental advantage of the renovation over the primary production. It is established that the restoration of products allows for a 100-fold reduction in greenhouse gas emissions for various materials (steel, copper, aluminum). The example of the automotive industry shows the significant potential for reducing CO₂ emissions – up to 75,9 million tons annually with the mass implementation of renovation.

The universality of the proposed methodology, which can be adapted for various metal-intensive industries, including aircraft and shipbuilding, is of particular value. The integration of the approach into the environmental management systems of enterprises creates the basis for automated accounting of the carbon footprint and the optimization of production processes.

The results of the study have important practical significance for the implementation of industrial decarbonization strategies in accordance with the goals of the Paris Agreement. The introduction of the renovation as a strategic management tool allows not only to significantly reduce the environmental burden, but also to create economic prerequisites for the transition to a cyclical economic model.

The work is intended for environmental engineers, specialists in research, design, construction, manufacture and use of technical products.

RENOVATION, CARBON FOOTPRINT, PRODUCT LIFE CYCLE, EMISSIONS, DECARBONIZATION, AUTOMOBILE TRANSPORT, ECOLOGY

Сведения об авторах:

Б. В. Намаконов

SPIN-код РИНЦ: 5382-5043
AuthorID: 866363
Телефон: +7 949 375-59-07
Эл. почта: bnamakonov@mail.ru

Е. С. Сытник

SPIN-код РИНЦ: 2595-6775
AuthorID: 1209280
Телефон: +7 949 720-59-57
Эл. почта: ess007@bk.ru

С. Е. Волков

SPIN-код РИНЦ: 8730-2881
AuthorID: 1115120
Телефон: +7 949 335-72-90
Эл. почта: s.vlkv@ya.ru

Д. К. Калугин

SPIN-код РИНЦ: 4938-1570
AuthorID: 1290471
Телефон: +7 949 392-54-84
Эл. почта: kalugin-dma@yandex.ru

Статья поступила 13.05.2025

© Б. В. Намаконов, Е. С. Сытник, С. Е. Волков, Д. К. Калугин, 2025

Рецензент: Н. И. Мищенко, д-р техн. наук, проф.,

*Автомобильно-дорожный институт
(филиал) ДонНТУ в г. Горловка*