Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Том 77, № 3. С. 73–86.

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья
УДК 338.467.6 DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-77-07 EDN: KMZELC

Повышение эффективности предприятий общественного питания малого формата на основе управления образованием пищевых отходов с учетом их углеродного следа

Дарья Александровна Попович [1], Елена Велориевна Глебова [2], Евгения Петровна Лаптева [3]
Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия
[1] alieksandrovma_daria@bk.ru
[2] glebova.ev@dgtru.ru
[3] lapteva.ep@dgtru.ru

Аннотация. Предложена и апробирована оригинальная методика количественной оценки углеродного следа пищевых отходов для предприятий общественного питания формата «кофейня», интегрирующая подходы Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК, IPCC) и данные исследований Poore & Nemecek. В отличие от существующих работ, методика позволяет разделять вклад эмиссий на этапе производства продуктов и на этапе их анаэробного разложения на полигоне, что устраняет методологическую неопределенность, характерную для предшествующих исследований. На основе четырех ключевых потоков отходов (молочная продукция, кофейный жмых, выпечка/десерты, овощные/фруктовые остатки) рассчитан углеродный след в кг CO_2-экв. в неделю и год. Разработан коэффициент эколого-экономической приоритетности, позволяющий ранжировать потоки отходов не по массе, а по интегральному вкладу в структуру выбросов и стоимость сырья. Определены «горячие точки» генерации отходов с применением диаграммы Парето и предложены точки контроля на основе инструментов бережливого производства. Научная новизна заключается в разработке параметрической формулы трансформации пищевых отходов в парниковые выбросы и обосновании критерия выбора Lean-инструментов, ориентированного не на массу отходов, а на удельный углеродный эквивалент. Результаты апробации показали, что годовой углеродный след кофейни-объекта исследования (300-400 посетителей в день) составляет 4,22 т CO2-экв., что эквивалентно сжиганию 1780 л бензина. Внедрение предложенных мер контроля позволяет снизить выбросы по категории «молочные отходы» на 42 % (390 кг CO2-экв./год).

Ключевые слова: углеродный след, пищевые отходы, кофейня, бережливое производство, Lean, коэффициенты эмиссии, протокол парниковых газов, Scope 3, диаграмма Парето, эколого-экономическая приоритетность

Для цитирования: Попович Д. А., Глебова Е. В., Лаптева Е. П. Повышение эффективности предприятий общественного питания малого формата на основе управления образованием пищевых отходов с учетом их углеродного следа // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 77, № 3. С. 73–86.

© Попович Д. А., Глебова Е. В., Лаптева Е. П., 2026

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 77, no. 3. P. 73–86.

FOOD SYSTEMS

Original article

Improving the efficiency of small-format food service enterprises through food waste man-agement that accounts for the carbon footprint

Darya A. Popovich [1], Elena V. Glebova [2], Evgenia P. Lapteva [3]
Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia
[1] alieksandrovma_daria@bk.ru
[2] glebova.ev@dgtru.ru
[3] lapteva.ep@dgtru.ru

Abstract. An original methodology has been proposed and tested for quantifying the carbon footprint of food waste in coffee-shop-style foodservice establishments, integrating approaches from the Intergov-ernmental Panel on Climate Change (IPCC) with research data from Poore & Nemecek. Unlike ex-isting studies, this methodology distinguishes between emissions generated during the product pro-duction stage and those resulting from anaerobic decomposition in landfills, thereby eliminating the methodological uncertainty characteristic of previous research. Based on fore key waste streams (dairy products, spent coffee grounds, pastries/desserts, and vegetable/fruit scraps), the carbon footprint was calculated in kg CO_2-equivalent per week and per year. An eco-economic priority coefficient was developed to rank waste streams based on their integrated contribution to the emissions profile and raw material costs rather than simply by mass. Waste generation "hotspots" were identified using Pareto analysis, and control points were proposed based on lean manufacturing tools. The scientific novelty lies in the development of a parametric formula for converting food waste into greenhouse gas emissions and the justification of a selection criterion for Lean tools based on specific carbon equivalent values rather than waste mass. Testing results demonstrated that the annual carbon footprint of the coffee shop under study (serving 300-400 customers daily) is 4.22 tonnes of CO_2-equivalent, an amount equivalent to burning 1,780 liters of gasoline. Implementing the proposed control measures enables a 42 % reduction in emissions within the "dairy waste" category (390 kg CO_2-equivalent/year).

Keywords: carbon footprint, food waste, coffee shop, lean production, Lean, emission factors, Greenhouse Gas Protocol, Scope 1–3, Pareto chart, environmental-economic priority

For citation: Popovich D. A., Glebova E. V., Lapteva E. P. Improving the efficiency of small-format foodservice enterprises through food waste management accounting for carbon footprint. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 77(3):73–86. (In Russ.).

Введение

Сектор общественного питания, особенно сегмент кофеен, характеризуется высокой интенсивностью образования пищевых отходов. Скоропортящиеся продукты (молочная продукция, выпечка, десерты) и технологические потери (кофейный жмых) формируют до 90 % углеродного следа предприятия (Girotto et al., 2015 [1]; Salemdeeb et al., 2017 [2]). В условиях глобальной климатической повестки и перехода к экономике замкнутого цикла проблема количественной оценки и сокращения выбросов парниковых газов от пищевых отходов приобретает критическое значение.

В концепции бережливого производства (Lean) пищевые отходы традиционно рассматриваются как один из видов потерь (муда), устранение которых дает экономический эффект

(Womack & Jones [3]; Ohno [4]). Однако в современном контексте устойчивого развития возникает необходимость интеграции экологической составляющей в Lean-подход. Эколого-ориентированный Lean (Green Lean) предполагает, что приоритизация мероприятий должна определяться не только экономией сырья, но и снижением углеродного следа (Verrier et al., [5]; Thanki et al. [6]).

Проблемное поле исследования заключается в отсутствии универсальной методики, позволяющей количественно сопоставить углеродный след различных потоков пищевых отходов в объектах общественного питания малого формата и на этой основе обосновать выбор Lean-инструментов. Существующие подходы (IPCC [7]; Clune et al. [8]; Poore & Nemecek [9]) либо дают общие коэффициенты без привязки к специфике предприятий общепита, либо не учитывают разделение эмиссий по этапам жизненного цикла продукта.

Цель настоящей работы – разработать и апробировать методику управления образованием пищевых отходов на предприятиях общественного питания малого формата на основе количественной оценки их углеродного следа, обеспечивающую повышение эффективности предприятия за счет обоснованного выбора Lean-мероприятий.

Задачи исследования:

1. Разработать методику управления образованием пищевых отходов на предприятиях общественного питания малого формата, включающую параметрическую формулу трансформации отходов в парниковые выбросы (на основе методологии МГЭИК и данных Poore & Nemecek) и критерий эколого-экономической приоритетности (*EEP*) для обоснования управленческих решений по сокращению отходов.

2. Определить «горячие точки» образования пищевых отходов и обосновать точки контроля на основе инструментов бережливого производства, ориентированных на удельный углеродный эквивалент, а не на массу отходов, для повышения эффективности предприятия.

3. Апробировать предложенную методику управления образованием пищевых отходов на примере типовой кофейни:

- выполнить количественную оценку углеродного следа по основным потокам отходов;
- провести ранжирование потоков по удельному вкладу в структуру выбросов с использованием диаграммы Парето;
- выполнить эколого-экономическое ранжирование потоков на основе критерия *EEP*;
- оценить потенциальный эффект от внедрения предложенных мер управления образованием отходов (Lean-мероприятий) и сформулировать практические рекомендации для предприятий малого формата;
- оценить повышение эффективности предприятия по результатам внедрения предложенных мер.

4. Разработать и обосновать практические рекомендации по управлению образованием пищевых отходов для предприятий общественного питания малого формата, обеспечивающие снижение углеродного следа и повышение эффективности предприятия.

В международной практике сложилось несколько подходов к количественной оценке выбросов парниковых газов от пищевых отходов. Базовым документом служит «Уточнения 2019 года к Руководящим принципам МГЭИК 2006 года по национальным кадастрам парниковых газов» (IPCC), который определяет коэффициенты эмиссии для различных типов отходов при сценариях захоронения на полигонах, компостирования и сжигания [7].

Принципиальное методологическое ограничение IPCC заключается в том, что коэффициенты эмиссии рассчитаны для разложения усредненной органической массы без учета специфики пищевых продуктов (молоко, мясо, растительные остатки). Данное ограничение было частично преодолено в работах Clune et al. [8]), которые провели систематический обзор и предложили дифференцированные коэффициенты для различных категорий свежих продуктов питания с учетом вариативности от региона и технологии производства.

Наиболее детальные данные по углеродному следу продовольственных товаров на этапе производства представлены в исследовании Poore & Nemecek, опубликованном в журнале Science [9]. Авторы проанализировали более 38 000 фермерских хозяйств и 1600 поставщиков,

что позволило получить статистически обоснованные коэффициенты для молочной продукции, мяса, зерновых, овощей и фруктов. Эти данные широко используются для расчета экологического следа продуктов питания, однако их применение к отходам требует учета дополнительных эмиссий на этапе депонирования (захоронения) [9].

Бережливое производство в пищевой промышленности (применение Lean-подходов в управлении пищевыми отходами) традиционно фокусируется на снижении операционных потерь: сокращение избыточных запасов (FIFO), стандартизация рецептур, визуальный контроль сроков годности (Liker [10]; Emiliani [11]). Однако, как отмечают Verrier et al. [5], классический Lean недостаточно учитывает экологический аспект, что привело к появлению концепции Green Lean.

Green Lean предполагает расширение традиционного понимания муда за счет включения экологических потерь (энергопотребление, выбросы, отходы) (Thanki et al. [6]). Для пищевой промышленности это означает, что мероприятия по сокращению отходов должны оцениваться не только по экономическому, но и по экологическому эффекту.

Однако в доступной литературе отсутствует методика, которая позволяла бы:

- количественно оценивать углеродный след каждого потока пищевых отходов в объектах общественного питания малого формата;
- разделять вклад эмиссий на этапе производства продукта и на этапе его разложения;
- ранжировать потоки отходов по интегральному критерию с учетом массы, удельного углеродного следа, стоимости сырья для обоснованного выбора Lean-инструментов.

Настоящее исследование направлено на заполнение данного пробела.

Объекты и методы исследования

Исследование проведено на базе кофейни формата «кофе с собственной кухней» (выпечка, сэндвичи, блюда из лаваша, обеды, кофе, горячие и холодные напитки), оснащенной следующим оборудованием: профессиональная кофемашина, холодильные и морозильные шкафы, линии раздачи, жарочное оборудование. Средняя проходимость составляет 300-400 посетителей в день.

Сбор данных проводился в течение 4 последовательных календарных недель (февраль-март 2026 года) для исключения сезонных колебаний, характерных для общественного питания (пиковые нагрузки в праздничные дни отсутствовали). Метод сбора данных – сплошной хронометраж с ежедневным взвешиванием отходов по четырем категориям. Обработка данных выполнена в MS Excel с использованием инструментов описательной статистики (среднее, стандартное отклонение, коэффициент вариации).

Результаты и их обсуждение

На основе анализа технологических процессов кофейни была разработана структурно-логическая схема авторской методики управления образования пищевых отходов на основе оценки углеродного следа (рис. 1).

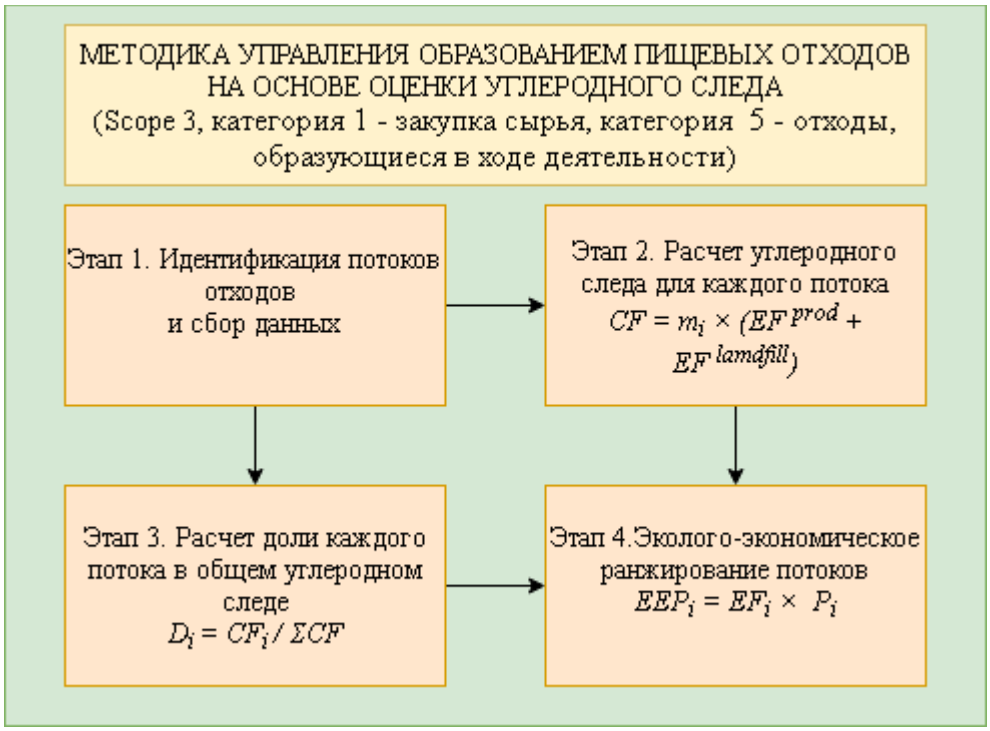


Рис. 1. Структурно-логическая схема авторской методики управления образованием пищевых отходов на основе оценки углеродного следа (Scope 3, категория 1 – закупка сырья, категория 5 – отходы, образующиеся в ходе деятельности GHG Protocol): четыре этапа от сбора данных до выбора Lean-инструментов [12]. Составлено авторами

Fig. 1. Structural-logical diagram of the authors' methodology for managing food waste generation based on carbon footprint assessment (Scope 3, Category 1 – raw material procurement, Category 5 – waste generated during operations under the GHG Protocol): four stages ranging from data collection to the selection of Lean tools [12]. Compiled by the authors

Следует отметить, что в разработанной модели (рис. 1) учитываются эмиссии, возникающие до поступления сырья в кофейню (производство у поставщика) и после утилизации отходов (разложение на полигоне ТБО), относящиеся к Scope 3. Выбросы от энергопотребления оборудования кофейни (относящиеся к Scope 1 и Scope 2) в рамках предлагаемого методического подхода не рассматриваются, так как не зависят от массы конкретного потока пищевых отходов и требуют отдельного инструментального учета. Такой подход позволяет ранжировать потоки именно по «пищевому» углеродному следу.

Представленная структурно-логическая схема задает границы системы для количественного расчета. На основе выделенных на рис. 1 двух источников эмиссий (производство у поставщика и разложение на полигоне) разработана авторская параметрическая формула (1). Она представляет собой аддитивную свертку удельных коэффициентов эмиссии EF_i^{prod} и $EF_i^{landfill}$, умноженных на массу отходов m_i. Именно данное суммирование, отсутствующее в предшествующих работах, составляет научную новизну методики, так как позволяет впервые разделить вклад двух этапов Scope 3 для потоков отходов общественного питания.

$$CF_i = CF_i^{prod} + CF_i^{landfill} = m_i \times \left(EF_i^{prod} + EF_i^{landfill}\right), \quad (1)$$

где CF_i – суммарный углеродный след i-го потока отходов, кг CO_2 - экв./нед;

m_i – масса отходов i-го типа, кг/нед;

EF_i^{prod} – коэффициент эмиссии на этапе производства продукта, кг CO_2 - экв./кг (по данным Poore & Nemecek);

$EF_i^{landfill}$ – коэффициент эмиссии на этапе анаэробного разложения на полигоне без улавливания газа, кг CO_2 - экв./кг (по данным IPCC [7], с дифференциацией по типам отходов).

Коэффициенты эмиссии, используемые в формуле (1), с обоснованием их выбора, представлены в табл. 1. Выбор конкретных значений из интервальных оценок обосновывался индивидуально для каждого потока (см. столбец «Метод обоснования», табл. 1).

Таблица 1

Коэффициенты эмиссии для потоков пищевых отходов кофейни

Table 1

Emission factors for coffee shop food waste streams

Поток отходов	EF_i^{prod}, кг CO_2-экв./кг	$EF_i^{landfill}$, кг CO_2-экв./кг	Принятый суммарный EF, кг CO_2-экв./кг	Метод обоснования
Молоко цельное, сливки	2,5–3,0 (Poore & Nemecek [9])	0,4–0,6 (IPCC, 2019, Vol. 5, Ch. 2)	3,0	Верхняя граница интервала EF_i^{prod} (3,0) взята как консервативная оценка, $EF_i^{landfill}$ не учитывается, так как такого вида отходы на полигон практически не вывозятся, а сливаются в канализацию
Кофейный жмых	0,5–0,9 (Starbucks [13]; собственные данные)	0,3–0,5 (IPCC, 2019, Vol. 5, Ch. 2)	1,2	Медианное значение интервала (0,7) для EF_i^{prod} и верхней границы (0,5) для $EF_i^{landfill}$ с учетом высокой влажности жмыха (60–70 %) и данных Starbucks [13]
Выпечка, десерты, заготовки	1,5–1,6 (Clune et al. [8])	0,2–0,3 (IPCC, 2019, Vol. 5, Ch. 2)	1,8	Сумма медианных значений интервалов EF_i^{prod} и $EF_i^{landfill}$ (1,8)
Овощи, фрукты	0,6–1,0 (Poore & Nemecek [9])	0,4–0,6 (IPCC, 2019, Vol. 5, Ch. 2)	0,8	Медианное значение интервала EF_i^{prod} (0,8) с учетом неопределенности $EF_i^{landfill}$, так как такие отходы частично компостируются

Примечание. Данные Starbucks получены из открытых отчетов компании по устойчивому развитию и скорректированы с учетом влажности кофейного жмыха (60–70 % влаги) [13]. Для жмыха, учитывая его высокую влажность и содержание органических кислот, принят консервативный повышенный коэффициент 1,2 кг CO_2-экв./кг.

Обобщая представленные выше теоретические положения, авторами разработана методика количественной оценки углеродного следа пищевых отходов для предприятия общественного питания. Методика представляет собой последовательный четырехэтапный алгоритм (см. рис. 1), реализация которого позволяет от первичных данных о массе отходов перейти к обоснованному выбору Lean-инструментов. Структура методики и ее математический аппарат приведены ниже.

Этап 1. Идентификация потоков отходов и сбор данных. На основе технологической карты предприятия выделяются ключевые потоки пищевых отходов (молочная продукция, выпечка, кофейный жмых, овощные/фруктовые остатки). Проводится сплошной хронометраж с ежедневным взвешиванием отходов по каждому потоку в течение не менее 4 недель.

Этап 2. Расчет углеродного следа потока. Для каждого потока определяется суммарный коэффициент эмиссии как сумма двух составляющих:

- EF_i^{prod} – эмиссии на этапе производства сырья (по данным Poore & Nemecek [9]);
- $EF_i^{landfill}$ – эмиссии на этапе анаэробного разложения на полигоне (по данным IPCC [7]).

Умножением суммарного *EF* на массу отходов m_i получается абсолютный углеродный след потока *CFi* (кг CO_2-экв./нед).

Ключевое отличие от известных подходов: в предшествующих работах [1, 2, 8] эмиссии на этапе производства и на этапе разложения рассматривались раздельно либо использовался только один из коэффициентов. В предлагаемой методике впервые применено их системное аддитивное суммирование для потоков отходов предприятий питания, что позволяет корректно учесть полный «пищевой» углеродный след в границах Scope 3 (категории 1 и 5 GHG Protocol [12]).

Этап 3. Расчет доли каждого потока в общем углеродном следе. Для сравнительного анализа потоков рассчитывается доля каждого потока в общем углеродном следе предприятия (*Di*). На основе кумулятивных долей строится диаграмма Парето, позволяющая визуально идентифицировать «горячие точки» – потоки, дающие наибольший вклад в выбросы.

Этап 4. Эколого-экономическое ранжирование потоков. Для выбора приоритетных Lean-мероприятий вводится авторский интегральный показатель эколого-экономической приоритетности (*EEP*). Он учитывает не только углеродный след потока, но и стоимость замещаемого сырья (*Pi*), что позволяет ранжировать потоки по критерию «высокий углеродный след × высокая стоимость сырья». Для потоков с нулевой стоимостью сырья (кофейный жмых) приоритет определяется напрямую по величине *CF*.

Предложенная четырехэтапная методика является универсальной и может быть адаптирована для любых объектов общественного питания малого формата при наличии данных о массе отходов и закупочных ценах на сырье.

Апробацию предложенной методики проводили в условиях предприятий общественного питания формата «кофейня» проходимостью 300–400 человек и на основе недельного баланса пищевых отходов, по всем четырем этапам.

Этап 1. Математически углеродный след для i-го потока отходов определяется по формуле (1):

Рассчитанные по формуле (1) абсолютные значения углеродного следа CF_i представлены в табл. 2 и позволяют оценить масштаб выбросов по каждому потоку, однако для сравнительного анализа и идентификации приоритетных категорий необходим показатель определяющий долю каждого потока в совокупном углеродном следе предприятия.

Этап 2. Доля углеродного следа i-го потока в общем углеродном следе предприятия (CF^{total}) рассчитывается по формуле (2):

$$D_i = \frac{CF_i}{\sum_{j=1}^{n} CF_j} \times 100\ \%. \qquad (2)$$

Расчетные значения D_i также представлены в табл. 2 и служит основой для построения диаграммы Парето (рис. 2), визуализирующей кумулятивный вклад потоков и позволяющей выделить «критические 20 %» категорий, формирующих основную массу выбросов (правило 80/20).

Таблица 2

Недельный баланс пищевых отходов и углеродного следа кофейни

Table 2

Weekly balance of food waste and carbon footprint for a coffee shop

Поток отходов	Масса, кг/нед. (m_i)	Суммарный CF_i, кг CO_2 - экв./нед. (CF_i,)	Доля в общем CF^{total}, % (D_i)	Кумулятивная доля, % (Парето)
Кофейный жмых	35,0 ± 5,2	42,0	51,7	51,7
Выпечка, десерты, заготовки	10,0 ± 1,8	18,0	22,2	73,9
Молоко	6,0 ± 0,9	18,0	22,2	96,1
Овощи, фрукты	4,0 ± 0,6	3,2	3,9	100,0
	55,0 ± 8,5	81,2	100,0	–

Примечание. Среднеквадратическое отклонение по массе отходов варьировалось от 15 до 18 % от недельной средней, что указывает на умеренную устойчивость технологического процесса.

Годовой углеродный след (52 недели, с учетом поправки на сезонность ± 10 %): CF^{total} = 81,2 × 52 = 4222,4 CO_2-экв. ≈ 4,22 т CO_2-экв./год, что соответствует следующему экологическому эквиваленту: 4,22 т CO_2-экв./год эквивалентно сжиганию 1780 л бензина (исходя из коэффициента 2,37 кг CO_2/л бензина согласно EPA, [14]).

На основе данных табл. 2 построена диаграмма Парето (рис. 2), которая визуализирует кумулятивный вклад каждого потока в общий углеродный след.

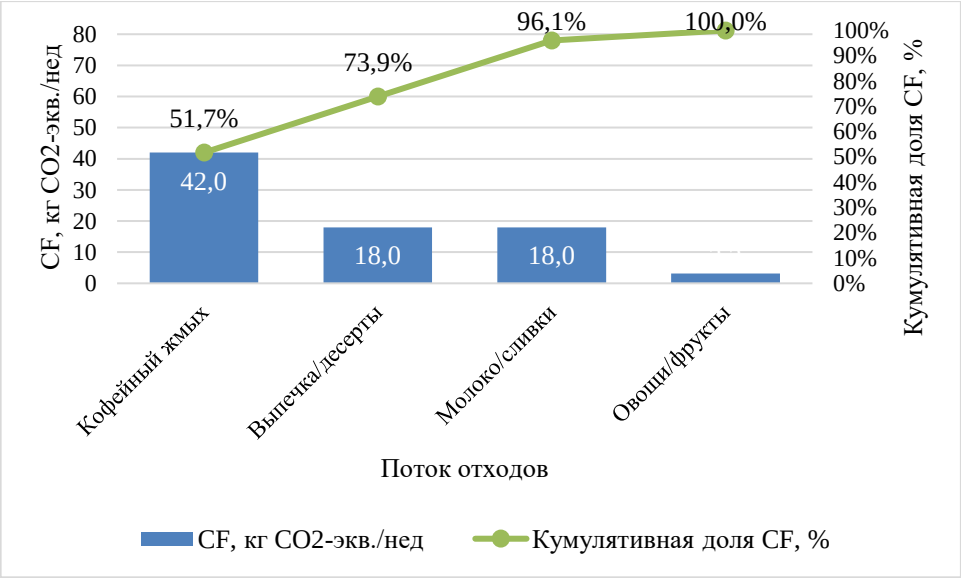


Рис. 2. Диаграмма Парето для потоков пищевых отходов кофейни: углеродный след потока (столбцы, кг CO_2-экв./нед.) и кумулятивная доля в общем углеродном следе (кривая, %). Составлено авторами
Fig. 2. Pareto chart for coffee shop food waste streams: stream carbon footprint (bars, kg CO2e/week) and cumulative share of the total carbon footprint (curve, %). Prepared by the authors

Исходя из рис. 2, кофейный жмых доминирует по массе (63,6 %), однако его вклад в углеродный след составляет лишь 51,7 %. Три из четырех потоков (75 % категорий) формируют 96,1 % совокупного углеродного следа, что свидетельствует о существенной концентрации выбросов в ограниченном числе категорий (при таком малом числе категорий классическое правило 80/20 применимо лишь условно). Разрыв между массой и *CF* для молока (10,9 % массы, 22,2 % *CF*) указывает на высокий приоритет данной категории для Green Lean. Овощи/фрукты имеют минимальный вклад как по массе (7,3 %), так и по *CF* (3,9 %).

В качестве ключевого научно значимого результата следует отметить, что три потока – кофейный жмых, выпечка и молочная продукция – формируют 96,1 % общего углеродного следа. При этом доминирование кофейного жмыха по массе (63,6 % от всей массы отходов) не является прямым отражением его углеродного вклада (51,7 %), что подтверждает необходимость дифференцированного подхода.

Если бы приоритет определялся только по массе отходов, первым в очереди на сокращение был бы кофейный жмых, однако его коэффициент эмиссии (1,2 кг CO_2-экв./кг) значительно ниже, чем у выпечки (1,8) и молока (3,0). Это подтверждает гипотезу о том, что классический Lean (ориентированный на массу) не эквивалентен Green Lean (ориентированному на углеродный след).

Этап 3. Для обоснованного выбора Lean-инструментов предложен интегральный показатель эколого-экономической приоритетности (*EEP*), определяемый по формуле (3):

$$EEP_i = \frac{CF_i \times P_i}{m_i} = EF_i \times P_i, \quad (3)$$

где EEP_i – эколого-экономическая приоритетность i-го потока отходов, кг CO_2-экв. × руб./кг^2;

P_i – средняя стоимость сырья i-го типа, руб./кг (по данным закупочных цен предприятия);

EF_i – суммарный коэффициент эмиссии, кг CO_2-экв./кг.

Данный показатель позволяет ранжировать потоки отходов по критерию «высокий углеродный след × высокая стоимость сырья», что определяет максимальный интегральный эффект от сокращения отходов. Показатель *EEP* применим для сопоставления потоков, обладающих ненулевой стоимостью замещаемого сырья; для потоков без рыночной стоимости сырья (например, кофейный жмых, $P = 0$) приоритет Lean-мероприятий должен определяться напрямую по величине *EF* или *CF*, поскольку при $P = 0$ значение *EEP* обнуляется независимо от реального вклада потока в углеродный след.

Расчет *EEP* (формула 3) показал неожиданные результаты (табл. 3), меняющие традиционные приоритеты Lean.

Таблица 3

Ранжирование потоков отходов по эколого-экономической приоритетности

Table 3

Ranking of waste streams by environmental and economic priority

Поток отходов	EF_i кг CO_2 -экв./кг	P_i, руб./кг	EEP_i *(EF×P)*	Приоритет для Lean
Молоко	3,0	180	540	1 (высший)
Выпечка, десерты	1,8	250	450	2
Кофейный жмых	1,2	0 (отход)	0	4 (низший)
Овощи/фрукты	0,8	120	96	3

Несмотря на то, что кофейный жмых доминирует по массе, его экономическая ценность равна нулю (отход), поэтому с точки зрения эффекта для бизнеса сокращение его потерь не дает прямой экономии. Напротив, молочные отходы, хотя и занимают лишь 10,9 % по массе, имеют максимальный *EEP* из-за высокого коэффициента эмиссии и высокой стоимости сырья. Таким образом, приоритет номер один для Lean-мероприятий по критерию *EEP* – молочная продукция. При этом низкий *EEP* кофейного жмыха отражает лишь нулевую стоимость сырья, а не малозначимость его углеродного следа (51,7 % от общего *CF*, наибольший показатель среди всех потоков) – соответствующее Lean-мероприятие для жмыха обосновывается напрямую по величине *CF*, а не по *EEP*.

Этап 4. На основе анализа операционной карты кофейни и данных табл. 2–3 выделены критические узлы образования отходов (табл. 4).

Таблица 4

Детализация «горячих точек» образования отходов и предлагаемые Lean-инструменты

Table 4

Detailed breakdown of waste generation hotspots and proposed Lean tools

Поток отходов	Операция возникновения	Тип потерь (муда) по Lean	Предлагаемый Lean-инструмент	Ожидаемое снижение отходов, %
Молоко, сливки	Приготовление напитков (капучинатор, дозирование)	Перепроизводство, дефекты (проливы), излишние запасы	- мерные дозаторы с фиксацией объема; - питчеры с метками; - система FIFO в холодильнике; - ежедневная проверка сроков годности	42

Выпечка, десерты	Приготовление и хранение готовых изделий	Ожидание (непроданная продукция), излишние запасы	- внедрение системы FIFO при выкладке (цветные стикеры); - ежечасный контроль наличия; - сокращение партий при низком трафике	25
Кофейный жмых	Приготовление эспрессо	Технологически неизбежные потери (невозможно устранить полностью)	- сбор в герметичную тару для компостирования/биогаза (изменение сценария утилизации, а не сокращение массы); - контроль массы через взвешивание	0 (снижение CF за счет изменения утилизации)
Овощи, фрукты	Предварительная обработка (чистка, нарезка)	Дефекты (обрезки), ожидание (порча)	- стандартизация нарезки; - контроль температуры хранения; - закупка частично обработанных овощей	30

Полученная величина 4,22 т CO_2-экв./год для кофейни с проходимостью 300–400 человек/день соотносится с результатами Salemdeeb et al. [2], которые оценивали углеродный след одного заведения общественного питания в Великобритании в диапазоне 3,5–5,0 т CO_2-экв./год. Однако прямое сравнение затруднено из-за различий в учете Scope (наша методика учитывает эмиссии Scope 3, возникающие на двух этапах жизненного цикла: при производстве сырья у поставщиков (категория 1 GHG Protocol) и при анаэробном разложении отходов на полигоне (категория 5 GHG Protocol) [12].

Если рассматривать показатель удельного углеродного следа на одного посетителя, то он составляет: 4,22 т/год / (365×350 посетителей) = 0,033 кг CO_2-экв. на посетителя = 33 г CO_2-экв.

Это значительно ниже, чем углеродный след от производства мяса или молочных продуктов в рационе (Poore & Nemecek [9]), что объясняется тем, что в кофейне преобладают растительные и мучные изделия, а не мясо.

Следует отметить, что настоящее исследование имеет следующие ограничения:

1. Исключение выбросов от упаковки. Выбросы от производства одноразовых стаканчиков, упаковочных материалов были исключены из анализа, так как в соответствии с методикой рассматривался только «пищевой» углеродный след.

2. Сезонная и территориальная вариативность. Данные собраны в зимне-весенний период (февраль-март) для одного региона (Дальний Восток). В летние месяцы структура отходов может меняться (увеличение доли фруктов, мороженого, холодных напитков), что требует повторных замеров для валидации.

3. Неопределенность коэффициентов эмиссии. Использование интервальных оценок из литературы (Poore & Nemecek, [9]; IPCC, [7]) требует учета неопределенности. В следующем этапе исследования планируется проведение Монте-Карло-анализа для построения доверительных интервалов *CF*.

4. Кофейный жмых. Принятый коэффициент 1,2 кг CO_2-экв./кг для влажного кофейного жмыха требует эмпирической верификации через лабораторное моделирование анаэробного разложения.

На основе полученных результатов сформулированы следующие практические рекомендации:

1. Пересмотр приоритетов управления образованием отходов. Внедрение системы FIFO и мерных дозаторов для молочной продукции дает наибольший эколого-экономический эффект, несмотря на малую массу отходов. Эффект от внедрения дозатора молока: снижение молочных отходов с 6,0 до 3,5 кг/нед (42 %), годовое предотвращение выбросов – 390 кг CO_2-экв./год (табл. 5). Данная мера рекомендуется к первоочередному внедрению на предприятиях общественного питания малого формата.

Таблица 5

Оценка эффекта от внедрения мер контроля (молочная продукция)

Table 5

Assessment of the impact of implementing control measures (dairy products)

Показатель	До внедрения	После внедрения	Снижение, %
Молочные отходы, кг/нед.	6,0 ± 0,9	3,5 ± 0,5	42
Углеродный след (молоко), кг CO_2-экв./нед.	18,0	10,5	42
Годовое предотвращение выбросов, кг CO_2-экв./год	–	390	–

2. Изменение сценария обращения с отходами для жмыха. Поскольку сокращение массы жмыха невозможно (технологический норматив), экологический эффект достигается за счет изменения сценария утилизации: передача на компостирование или в биогазовые установки. Из принятого суммарного *EF* = 1,2 кг CO_2-экв./кг на этап анаэробного разложения приходится 0,5 кг CO_2-экв./кг (верхняя граница интервала, табл. 1), на этап производства – оставшиеся 0,7 кг CO_2-экв./кг. При переходе от полигона к компостированию коэффициент эмиссии этапа разложения снижается с 0,5 до 0,1 кг CO_2-экв./кг (IPCC [7]), формируя новый суммарный *EF* = 0,8 кг CO_2-экв./кг, что позволяет снизить *CF* по жмыху на 33 % (с 42,0 до 28,0 кг CO_2-экв./нед.).

3. Внедрение ежедневного чек-листа управления образованием отходов. Разработана и предложена к внедрению форма еженедельного баланса и ежедневного чек-листа (в статье не приводится ввиду ограниченного объема), заполняемого ответственным сотрудником за 10 мин до закрытия. Это обеспечивает непрерывный мониторинг образования отходов и обратную связь для корректировки управленческих решений.

4. Адаптация методики для других объектов общественного питания. Предложенная четырехэтапная методика является универсальной и может быть адаптирована для любых объектов общественного питания малого формата при наличии данных о массе отходов и закупочных ценах на сырье.

Экономический эффект от предложенных мер можно оценить, используя уже приведенные в статье данные о закупочных ценах на сырье (табл. 3) и сокращении массы отходов (табл. 4, 5), без привлечения дополнительных данных. Для молочной продукции, где эффект подтвержден апробацией (табл. 5), сокращение отходов с 6,0 до 3,5 кг/нед. (экономия сырья 2,5 кг/нед.) при цене молока 180 руб./кг дает прямую экономию 450 руб./нед., или 23 400 руб./год. Для выпечки и овощей/фруктов, где эффект носит прогнозный характер (ожидаемое снижение отходов на 25 и 30 % соответственно, табл. 4), аналогичный расчет (2,5 кг/нед. выпечки при 250 руб./кг и 1,2 кг/нед. овощей/фруктов при 120 руб./кг) дает потенциальную экономию 32 500 руб./год и 7 488 руб./год соответственно. Для кофейного жмыха прямой экономический эффект отсутствует (P = 0), поскольку это сырье не имеет рыночной стоимости – эффект от изменения сценария его утилизации носит исключительно экологический характер. Таким образом, суммарный потенциальный экономический эффект от полного внедрения предложенных мер управления образованием отходов составляет около 63 400 руб./год (без учета затрат на внедрение самих мероприятий – дозаторов, маркировки FIFO и др.), что наряду со снижением углеродного следа обеспечивает повышение эффективности предприятия в его экономическом измерении.

Заключение

1. Разработана методика управления образованием пищевых отходов на предприятиях общественного питания малого формата, ядром которой является параметрическая формула

(1), интегрирующая эмиссии на этапе производства (Poore & Nemecek [9]) и на этапе анаэробного разложения на полигоне (IPCC [7]), что позволяет разделять два источника выбросов Scope 3 – категорию 1 и категорию 5 [12].

2. Определены «горячие точки» образования пищевых отходов с использованием диаграммы Парето (рис. 2): три из четырех потоков (кофейный жмых, выпечка, молочная продукция) формируют 96,1 % совокупного углеродного следа. Эмпирически подтверждена гипотеза о несовпадении приоритетов классического Lean и Green Lean при управлении образованием отходов: доминирующий по массе поток (кофейный жмых, 63,6 % массы) не является приоритетным по углеродному следу (51,7 % *CF*) и экономической эффективности (*EEP* = 0). Приоритетным для управленческих воздействий является молочная продукция (*EEP* = 540), что обеспечивает повышение эффективности предприятия за счет сокращения потерь наиболее ценного сырья.

3. Предложен критерий эколого-экономической приоритетности (*EEP*) как элемент методики, позволяющий ранжировать потоки отходов по интегральному показателю *CF* × стоимость сырья и обосновывать выбор мер управления образованием отходов (Lean-инструментов) для повышения эффективности предприятия.

4. Апробирована методика управления образованием пищевых отходов на примере типовой кофейни: выполнена количественная оценка углеродного следа по основным потокам отходов (табл. 2), проведено ранжирование потоков по удельному вкладу с использованием диаграммы Парето (рис. 2), выполнено эколого-экономическое ранжирование потоков на основе критерия *EEP* (табл. 3). Годовой углеродный след кофейни-объекта исследования составляет 4,22 т CO_2-экв., что эквивалентно сжиганию 1780 л бензина.

5. Оценен потенциальный эффект от внедрения предложенных мер управления образованием отходов: внедрение дозаторов молока и системы FIFO позволяет снизить выбросы по молочной категории на 42 % (390 кг CO_2-экв./год) и повысить эффективность предприятия за счет сокращения потерь сырья приблизительно на 63 400 руб./год.

6. Разработаны и обоснованы практические рекомендации по управлению образованием пищевых отходов для предприятий общественного питания малого формата: пересмотр приоритетов управления (молочная продукция – первоочередная мера); изменение сценария обращения с отходами для жмыха (компостирование/биогаз); внедрение ежедневного чек-листа управления образованием отходов; адаптация методики для других объектов общественного питания. Рекомендации обеспечивают снижение углеродного следа и повышение эффективности предприятия.

Список источников

1. Girotto F., Alibardi L., Cossu R. Food waste generation and industrial uses: A review // Waste Management. 2015. Vol. 45. P. 32–41. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26130171/ (дата обращения : 07.09.2026).

2. Salemdeeb R., Font Vivanco D., Al-Tabbaa A., zu Ermgassen E.K.H.J. A holistic approach to the environmental evaluation of food waste prevention // Waste Management. 2017. Vol. 59. P. 442–450. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27712945/ (дата обращения : 08.09.2026).

3. Womack J. P., Jones D. T. Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. New York : Free Press, 2003. 396 p. ISBN: 978-0743249270.

4. Ohno T. Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production. - Cambridge, Mass.: Productivity Press, 1988. 143 p. ISBN: 0915299140. URL: https://doi.org/10.4324/9780429273018 (дата обращения : 08.09.2026).

5. Verrier B., Rose B., Caillaud E. Lean and Green strategy: The Lean and Green House and maturity deployment model // Journal of Cleaner Production. 2016. Vol. 116. P. 150–156. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.12.022. URL: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.022 (дата обращения : 09.09.2026).

6. Thanki S., Govindan K., Thakkar J. An investigation on lean-green implementation practices in Indian SMEs using analytical hierarchy process (AHP) approach // Journal of Cleaner Production. 2016. Vol. 135. P. 284–298. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.06.105. URL: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.105 (дата обращения : 07.09.2026).

7. Intergovernmental Panel on Climate Change. About the IPCC. URL: https://www.ipcc.ch/about/ (дата обращения : 07.09.2026).

8. Clune S., Crossin E., Verghese K. Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 140, Part 2. P. 766–783. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616303584?via%3Dihub (дата обращения : 08.09.2026).

9. Poore J., Nemecek T. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers // Science. 2018. Vol. 360, Issue 6392. P. 987–992. URL: https://r.jordan.im/download/environmentalism/poore2018.pdf (дата обращения : 08.09.2026).

10. Liker J. K. The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer. New York : McGraw-Hill, 2004. 330 p. ISBN: 0071392319. URL: https://ebooks.mpdl.mpg.de/ebooks/Record/EB001951503 (дата обращения : 07.09.2026).

11. Emiliani B. Real Lean: Understanding the Lean Management System (Volume One). Kensington, Conn. : Center for Lean Business Management, 2007. 164 p. ISBN: 9780972259118. URL: https://www.researchgate.net/publication/235272181_Lean_behaviors (дата обращения : 08.09.2026).

12. Greenhouse Gas Protocol. A Corporate Accounting and Reporting Standard (Revised Edition). Washington, DC : World Resources Institute, World Business Council for Sustainable Development, 2004/2015. URL: https://ghgprotocol.org/corporate-standard (дата обращения : 08.09.2026).

13. Starbucks. 2020 Global Environmental & Social Impact Report. - Seattle: Starbucks Corporation, 2021. 23 p. URL: https://www.starbucks.ca/en-CA/responsibility/reporting-hub/ (дата обращения : 08.09.2026).

14. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2018. Washington, DC : U.S. EPA, 2020. 430-R-20-002. URL: https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2018 (дата обращения : 09.09.2026).

Сведения об авторах

Д. А. Попович – аспирант.

Е. В. Глебова – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления техническими системами, SPIN-код: 9540-4656, AuthorID: 740901.

Е. П. Лаптева – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления техническими системами, AuthorID: 364951.

Information about the authors

D. A. Popovich – Postgraduate student.

E. V. Glebova – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Deartment of Technical Systems Management, SPIN-code: 9540-4656, AuthorID: 740901.

E. P. Lapteva – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Deartment of Technical Systems Management, AuthorID: 364951.

Статья поступила в редакцию 15.09.2026; одобрена после рецензирования 22.09.2026; принята к публикации 22.09.2026.

The article was submitted 15.09.2026; approved after reviewing 22.09.2026; accepted for publication 22.09.2026.

© Попович Д. А., Глебова Е. В., Лаптева Е. П., 2026.
«Повышение эффективности предприятий общественного питания малого формата на основе управления образованием пищевых отходов с учетом их углеродного следа» [Попович Д. А., Глебова Е. В., Лаптева Е. П., 2026] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).