

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 656.073.9

doi: 10.30987/2782-5957-2025-9-38-45

ИССЛЕДОВАНИЕ ПО СНИЖЕНИЮ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ТЕРМИНАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗКАХ

Сергей Васильевич Ленич✉

Луганский государственный университет имени Владимира Даля, Луганск, Россия
mouselenich@yandex.ru

Аннотация

Несмотря на высокую долю грузового автомобильного транспорта в суммарном объёме перевозок грузов он продолжает оставаться одним из основных источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Для решения этой проблемы в зарубежной и отечественной практике активно внедряются современные экологичные логистические технологии. Автомобильные терминальные системы позволяют за счёт укрупнения партий поставок в определённом направлении сократить количество перевозок и тем самым снизить загрязнение окружающей среды.

Методы исследования – определение расчётным способом величины наиболее значимых вредных выбросов в зависимости от межтерминального расстояния и загрузки грузового автомобиля. Новизна работы – установлен характер снижения вы-

бросов диоксида углерода, диоксида серы, оксидов азота и твёрдых частиц при использовании автомобильных терминальных перевозок.

Результаты исследования – показано, что рассматриваемая логистическая технология позволяет сократить выбросы CO₂, SO₂, NO_x и РМ, причём при увеличении грузоподъёмности автомобиля – это сокращение проявляется в большей степени.

Выводы – терминальная система автомобильных перевозок позволяет повысить уровень логистического обслуживания клиентов, снизить вредные выбросы и улучшить позиции автомобильного транспорта на рынке перевозочных услуг.

Ключевые слова: «экологичная» логистика, оптимизация, перевозоки, транспорт, автопоезд, грузопереработка, выбросы.

Ссылка для цитирования:

Ленич С.В. Исследование по снижению вредных выбросов при автомобильных терминальных перевозках / С.В. Ленич // Транспортное машиностроение. – 2025. - № 9. – С. 38-45. doi: 10.30987/2782-5957-2025-9-38-45

Original article

Open Access Article

RESEARCH ON REDUCING HARMFUL EMISSIONS IN CASE OF AUTOMOBILE TERMINAL TRANSPORTATION

Sergey Vasilyevich Lenich✉

Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk, Russia
mouselenich@yandex.ru

Abstract

Despite the high share of road freight transport in the total volume of cargo transportation, it continues to be one of the main sources of pollutants into the atmosphere. To solve this problem, modern eco-friendly logistics technologies are being actively introduced in foreign countries and domestically. Automotive terminal systems make it possible to reduce the number of shipments in a certain direction by enlarging shipments and thereby reduce environmental pollution.

The research methods are the calculated determination of the most significant harmful emissions, depending on the terminal distance and loading of the truck.

The novelty of the work is the following: the nature of reducing emissions of carbon dioxide, sulfur dioxide, nitrogen oxides and solid particles when using automobile terminal transportation are found out.

The study results show that the logistics technology under consideration makes it possible to reduce

CO₂, SO₂, NO_x and PM emissions, and with an increase in vehicle load capacity, this reduction becomes greater.

Conclusions: the terminal system of automobile transportation allows to increase the level of logistic customer service, reduce harmful emissions and im-

Reference for citing:

Lenich SV. Research on reducing harmful emissions in case of automobile terminal transportation. Transport Engineering. 2025;9:38-45. doi: 10.30987/2782-5957-2025-9-38-45.

Введение

Автомобильный грузовой транспорт продолжает оставаться наиболее популярным способом перевозки грузов благодаря своей гибкости, быстрой доставке и возможности поставлять товары «от двери до двери». Указанные преимущества автомобильных перевозок позволяют использовать современные технологии логистики как система поставок «точно в срок» и метод быстрого реагирования, когда логистическая система должна своевременно удовлетворить возникший рыночный спрос. Исследование, проведенное в [1], показывает, что автомобильные перевозки контейнеров, с использованием двух водителей, позволяют в ряде случаев сократить срок доставки в сравнении с железнодорожным транспортом до четырёх раз.

Доля грузового автомобильного транспорта в суммарном объеме перевозок грузов в Российской Федерации и европейских странах превышает 80%, и в ближайшие годы этот показатель будет только увеличиваться [2]. Таким образом, можно констатировать, что автомобильному транспорту отведена решающая роль в секторе грузовых перевозок и он будет в дальнейшем способствовать экономическому развитию нашей страны.

Однако автомобильные грузовые перевозки являются одним из секторов логистики с самыми высокими выбросами парниковых газов и потреблением топлива. Поэтому в последние годы из-за увеличения выбросов углекислого газа

prove the position of motor transport in the transportation services market.

Keywords: eco-friendly logistics, optimization, transportation, transport, road train, cargo handling, emissions.

многие компании ищут возможности их сокращения в своей повседневной логистической деятельности за счет внедрения технологий «зелёной логистики» [3].

В соответствии с Парижским соглашением по климату (2015 г.) Россия входит в число стран, взявших на себя обязательство по снижению выбросов парниковых газов в атмосферу, вплоть до 2050 г. «Зелёная» логистика, как новое научное направление, разрабатывает способы и технологии, позволяющие снизить негативное влияние логистической, в том числе, транспортной деятельности на окружающую природную среду. Для участников цепей поставок она позволяет найти экологичные решения, которые будут востребованы обществом и соответствовать целям устойчивого развития [4].

В последнее время, логистические операторы и автотранспортные компании всё больше внимания уделяют вопросам экологии на транспорте, они модернизируют подвижной состав и условия его эксплуатации, применяют «зелёные» технологии при планировании и организации перевозок [5].

Целью работы является исследование по снижению выбросов диоксида углерода CO₂, диоксида серы SO₂, оксидов азота NO_x и твёрдых частиц PM при выполнении автомобильных грузовых перевозок путём применения терминальной технологии.

Описание автомобильных терминальных систем

Автомобильный транспорт благодаря развитой инфраструктуре обеспечивает транспортную доступность практически для любой компании и осуществляет перевозки грузов как в местном сообщении, так

и в глобальных цепях поставок. Совершенствование LTL-перевозок способствовало развитию терминальных систем доставки на автомобильном транспорте. Одномодальные терминалы используемые автопе-

ревозчиками можно подразделить на терминалы для самовывоза и доставки, терминалы для сборных грузов и перевалочные терминалы [6]. Создание таких терминалов обусловлено необходимостью консолидации грузов от нескольких грузоотправителей и перевозкой в один район назначения. На сегодняшний день, автотранспортные терминалы выполняют множество функций и широко используются в транспортной логистике [7-8].

В услугах автотранспортных терминалов заинтересованы не только владельцы грузов, но и компании, занимающиеся LTL-перевозками, логистические провайдеры и транспортные посредники. На терминалах помимо основных терминальных функций выполняется также ряд вспомогательных операций, создающих добавленную стоимость. Основным фактором при выборе местоположения автотранспортно-

го терминала является необходимость обслуживать большое скопление объектов экономической деятельности, представляющих собой рыночную зону терминала

Терминальная технология представляет собой систему «хаб-энд-спик», предполагающая размещение терминалов в зоне обслуживания клиентов (рис. 1). Основная цель терминала в районе размещения грузоотправителей – это обеспечить промежуточную точку, где грузы с одинаковыми пунктами назначения объединяются в одну перевозку для перемещения на терминал, с которого будет осуществлена доставка грузополучателям. Таким образом, повышается эффективность перевозочного процесса, в том числе и в экологическом аспекте. При этом, все участники процесса доставки товаров активно взаимодействуют с сотрудниками терминалов.

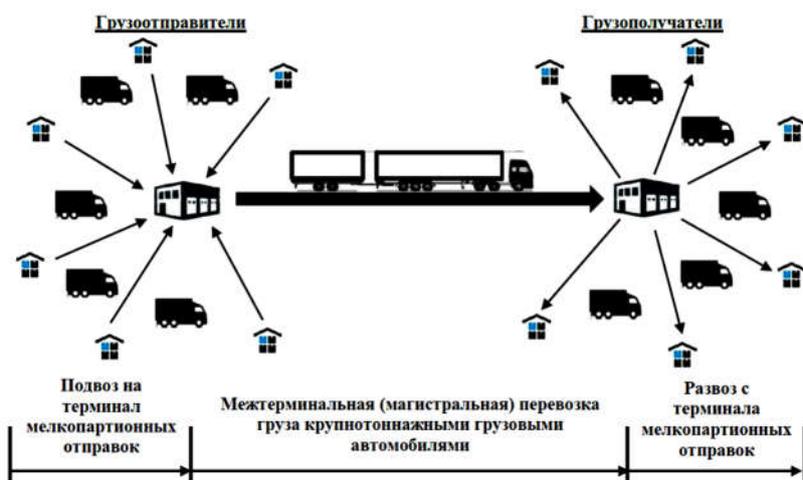


Рис. 1. Технология автомобильных терминальных перевозок
 Fig. 1. Road terminal transportation technology

Автомобильная терминальная технология включает в себя пять этапов: сбор грузов → терминальные операции → межтерминальная перевозка → терминальные операции → развоз грузов.

Сбор и доставка грузов на терминал отправления осуществляется маятниковыми (в некоторых случаях автомобилями грузовладельцев) и сборочными маршрутами (с привлечением LTL-провайдеров). Для постоянных клиентов может быть составлено расписание, по которому осуществляется вывоз их товаров. На этом

этапе широко используются логистические методы оптимизации местных перевозок.

На терминале отправления осуществляется консолидация партий грузов и их подготовка к магистральной перевозке. В необходимых случаях возможно хранение грузов на складе, как правило, до двух суток. В специальных помещениях могут выполняться упаковка и сборка товаров, кросс-докинг и другие логистические операции, обеспечивающие индивидуальный подход для клиентов. При международных перевозках на терминалах производится

оформление товаро-транспортных, таможенных и страховых документов.

Для магистральной межтерминальной перевозки грузов используются крупнотоннажные автопоезда грузоподъемностью до 60 тонн [9]. Это позволяет увеличить транспортную работу, отнесённую к единице подвижного состава, уменьшить количество перевозок и сократить суммарные вредные выбросы. Примером такого подхода являются европейские автопоезда, состоящие из тягача, полуприцепа и дополнительного прицепа. В последнее время, также всё большее распространение получают двух-ярусные полуприцепы с подъёмной крышей, позволяющие увеличить коэффициент использования грузоподъемности автомобиля до двух раз.

Терминальные операции на терминале назначения связаны в основном с разукрупнением партий поступивших грузов, и подготовкой их к развозу потребителям:

Материалы и методы исследования

Для расчёта по методике, приведенной в [10] величин основных выбросов при автомобильных терминальных перевозках воспользуемся схемой, представленной на рис. 1. Рассмотрим варианты прямой доставки товаров поставщиков до потребителей и через автотранспортные терминалы. Принимаем следующие исходные данные: количество поставщиков – 6, количество потребителей – 6, количество вывозимого груза от каждого отправителя – 10 т, коли-

сортировка товара на меньшие партии, управление товарным ассортиментом, складирование и хранение (до 5 суток), комплектование партий для клиентов. Помимо перечисленных функций автотранспортный терминал назначения может использоваться как распределительный склад, позволяющий улучшить логистическое обслуживание клиентов в регионе.

Развоз груза с терминала назначения получателям предполагает использование методов первого этапа. Отличие заключается в оптимизации развозочных маршрутов и перевозочных процессов «последней мили», при этом в качестве критериев могут учитываться расстояние, выбросы или время. Для повышения эффективности перевозок «последней мили» может использоваться многокритериальная оптимизация, получившая широкое применение на транспорте в последнее время.

чество ввозимого груза каждому получателю – 10 т, расстояние подвоза и развоза грузов – 20 км. Расстояние между терминалами варьируем от 100 до 1500 км с шагом 100 км. Для перевозки грузов между терминалами используем автомобили грузоподъемностью 20 и 30 т. Удельные значения вредных выбросов (ВВ) были приняты на основании методических рекомендаций [10] и приведены в таблице.

Таблица

Удельные значения вредных выбросов [10]

Table

Specific values of harmful emissions [10]

Полная масса автомобиля, т	Экологический класс автомобиля	Наименование ВВ	Удельные значения ВВ, г/км
7,5-16	3 (Евро 3 и выше)	CO ₂	679,5
		SO ₂	0,741
		NO _x	2,3
		PM	0,10
16-32	3 (Евро 3 и выше)	CO ₂	865,8
		SO ₂	1,054
		NO _x	3,1
		PM	0,13
Более 32	3 (Евро 3 и выше)	CO ₂	980,0
		SO ₂	1,116
		NO _x	4,7
		PM	0,18

Сравнение значений вредных выбросов по вариантам приведено на рис. 2, а на рис. 3 и 4 показаны графики зависимости

снижения выбросов (в %) при терминальной перевозке от расстояния между терминалами.

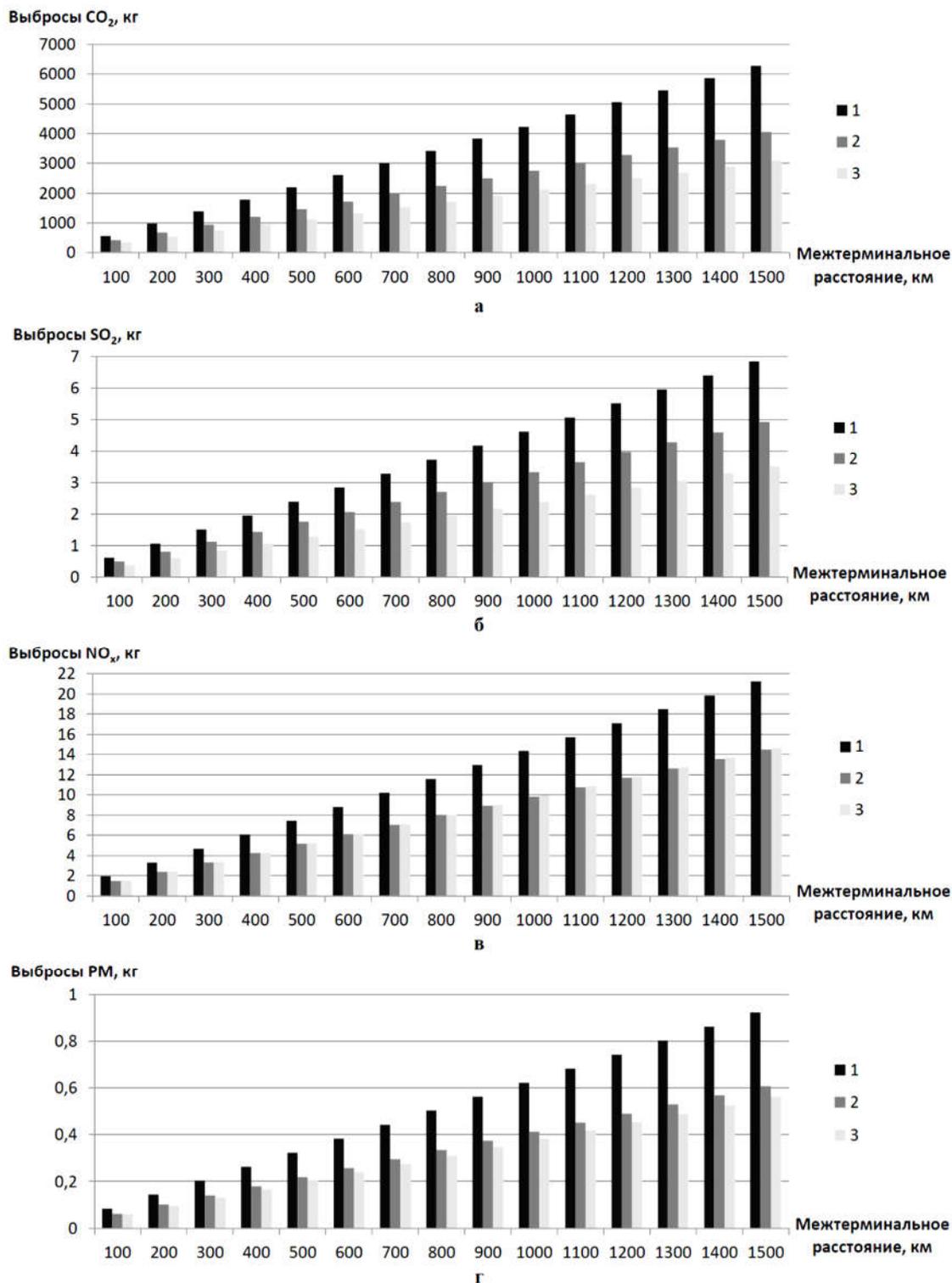


Рис. 2. Сравнение вредных выбросов при различных вариантах доставки груза:
 а – диоксид углерода (CO₂); б – диоксид серы (SO₂); в – оксид азота (NO_x); г – твёрдые частицы (PM);
 1 – прямая доставка автомобилями грузоподъёмностью 10 т; 2 – терминальная перевозка автопоездами грузоподъёмностью 20 т; 3 – терминальная перевозка автопоездами грузоподъёмностью 30 т

*Fig. 2. Comparison of harmful emissions from different cargo delivery options:
 а – carbon dioxide (CO₂); б – sulfur dioxide (SO₂); в – nitrogen oxides (NO_x); г – particulate matter (PM);
 1 – direct delivery by vehicles with a lifting capacity of 10 tons; 2 – terminal transportation by road trains with a lifting capacity of 20 tons; 3 – terminal transportation by road trains with a lifting capacity of 30 tons*

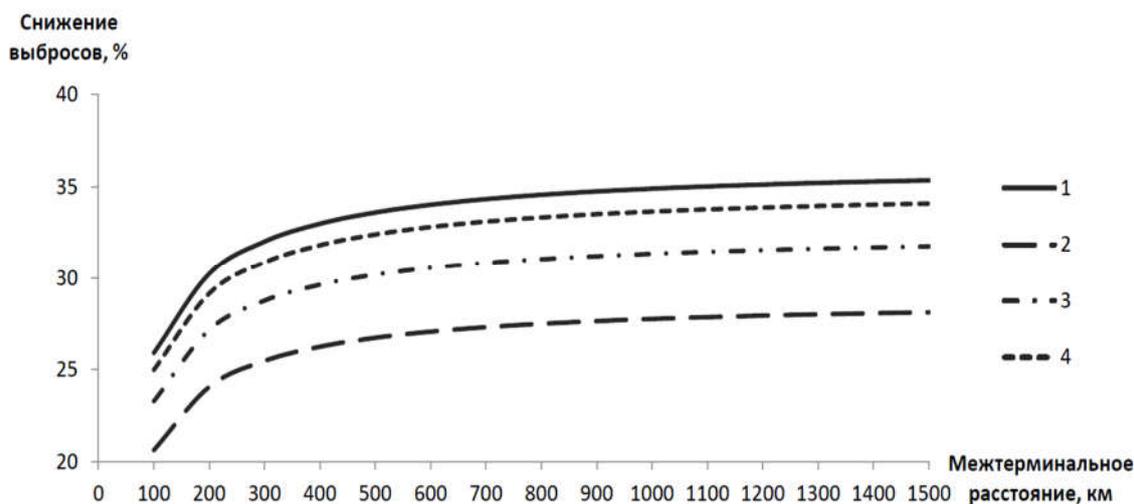


Рис. 3. Зависимости снижения выбросов при замене прямых перевозок на терминальные перевозки автопоездами грузоподъёмностью 20 т от расстояния между терминалами: 1 – диоксид углерода (CO₂); 2 – диоксид серы (SO₂); 3 – оксид азота (NO_x); 4 – твёрдые частицы (PM)
 Fig. 3. The dependence of emissions reduction when replacing direct transportation with terminal transportation by road trains with a load capacity of 20 tons on the distance between terminals: 1 – carbon dioxide (CO₂); 2 – sulfur dioxide (SO₂); 3 – nitrogen oxides (NO_x); 4 – particulate matter (PM)

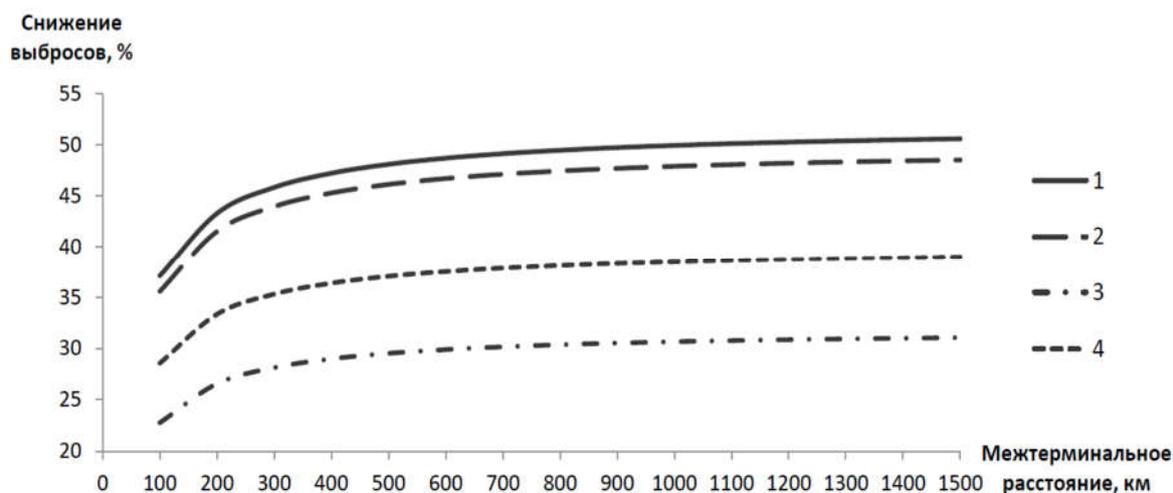


Рис. 4. Зависимости снижения выбросов при замене прямых перевозок на терминальные перевозки автопоездами грузоподъёмностью 30 т от расстояния между терминалами: 1 – диоксид углерода (CO₂); 2 – диоксид серы (SO₂); 3 – оксид азота (NO_x); 4 – твёрдые частицы (PM)
 Fig. 4. The dependence of emissions reduction when replacing direct transportation with terminal transportation by road trains with a load capacity of 30 tons on the distance between terminals: 1 – carbon dioxide (CO₂); 2 – sulfur dioxide (SO₂); 3 – nitrogen oxides (NO_x); 4 – particulate matter (PM)

Анализ рис. 2–4 указывает на значительное снижение вредных выбросов при использовании технологии автомобильных терминальных перевозок. При этом для автомобилей грузоподъёмностью 20 т наибольшее снижение наблюдается для диоксида углерода и твёрдых частиц. Для автопоездов грузоподъёмностью 30 т в

наибольшей степени проявляется снижение выбросов диоксида углерода и диоксида серы. При расстояниях между терминалами 100...500 км происходит ускоренный рост кривых, показывающих снижение выбросов (в %), при дальнейшем увеличении межтерминального расстояния этот рост замедляется.

Заключение

Проведенные исследования показали, что автомобильные терминальные перевозки дают существенную выгоду в плане снижения вредных выбросов в сравнении с прямыми доставками малых и средних

партий товаров. Проведенные расчёты показали, что при увеличении межтерминального расстояния до 1500 км наблюдается снижение выбросов CO₂ до 50 %, SO₂ – до 48 %, NO_x – до 31 % и РМ – до 38 %.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Gladunov V.A., Bondarenko E.M. Выбор оптимальных логистических схем поставок товаров из Китая в Российскую Федерацию при использовании контейнеров // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2023. № 1 (64). С. 15-23. DOI 10.52170/1815-9265_2023_64_15.
2. Батищев И.И., Можайская И.А. Некоторые тенденции развития грузового автомобильного транспорта в Российской Федерации и в европейских странах // Научный вестник автомобильного транспорта. 2023. № 3. С. 3-9.
3. Gil A.F., Lalla-Ruiz E., Sanchez M.G., Castro C. A Review of Heuristics and Hybrid Methods for Green Vehicle Routing Problems considering Emissions. *Journal of Advanced Transportation*. 2022; 5: 1-38. <https://doi.org/10.1155/2022/5714991>.
4. Ленич С.В., Никишкин Ю.А. Формирование транспортно-складских «зелёной» логистики // Научный информационный сборник «Транспорт: наука, техника, управление». 2022. № 4. С. 22-26.
5. Ленич С.В. Применение инструментов «зелёной» логистики на автомобильном транспорте //

- Научный информационный сборник «Транспорт: наука, техника, управление». 2023. № 12. С. 53-56.
6. Yang X. Green Hub Location-Routing Problem for LTL Transport. Doctoral Dissertation, University of Brittany Loire, Nantes, France, 2018.
 7. Кузьмина М.А., Надирян С.Л., Ачмиз Ш.М. Перспективы развития терминальной системы грузовых автомобильных перевозок в международном сообщении России // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2022. № 3. С. 32-25.
 8. Heilig L., Voß S. Inter-terminal transportation: an annotated bibliography and research agenda. *Flexible Services and Manufacturing Journal*. 2017; 29: 35-63. <https://doi.org/10.1007/s10696-016-9237-7>.
 9. Файзуллин Г.Р. Организация магистральных автомобильных перевозок на терминальной технологии // Аллея науки. 2019. Т. 2. № 12 (39). С. 190-192.
 10. Расчетные инструкции (методики) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ автотранспортными средствами и дорожно-строительными машинами в атмосферный воздух. М.: Автополис-плюс, 2008. 84 с.

REFERENCE

1. Gladunov VA, Bondarenko EM. The choice of optimal logistics schemes for the supply of goods from China to the Russian Federation using containers. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2023;1(64):15-23. DOI 10.52170/1815-9265_2023_64_15.
2. Batishchev II, Mozhayskaya IA. Some trends in the development of truck transport in the Russian Federation and in European countries. *The Bulletin of Road Transport Research*. 2023;3:3-9.
3. Gil AF, Lalla-Ruiz E, Sanchez MG, Castro C. A review of heuristics and hybrid methods for green vehicle routing problems considering emissions. *Journal of Advanced Transportation [Internet]*. 2022;5:1-38. Available from: <https://doi.org/10.1155/2022/5714991>.
4. Lenich SV, Nikishkin YuA. Formation of transport and warehouse chains based on the principles of "green" logistics. *Transport: Science, Equipment, Management*. 2022;4:22-26.
5. Lenich SV. Application of "green" logistics tools in automobile transport. *Transport: Science, Equipment, Management*. 2023;12:53-56.

6. Yang X. Green hub location-routing problem for LTL transport [dissertation]. [Nantes (France)]: University of Brittany Loire; 2018.
7. Kuzmina MA, Nadiryana SL, Achmiz ShM. Prospects for the development of the terminal system of road freight transportation in the international traffic of Russia. *Science. Engineering. Technology (Polytechnical Bulletin)*. 2022;3:32-25.
8. Heilig L, Voß S. Inter-terminal transportation: an annotated bibliography and research agenda. *Flexible Services and Manufacturing Journal [Internet]*. 2017;29:35-63. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10696-016-9237-7>.
9. Fayzullin G.R. The organization of magical automobile transfers on terminal technology // *Alley of Science*. 2019. Vol. 2. No. 12 (39). pp. 190-192.
10. Calculation instructions (methods) for the inventory of emissions of pollutants by vehicles and road construction machinery into atmospheric air. Moscow: Avtopolis-plus; 2008.

Информация об авторе:

Ленич Сергей Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортных технологий Луганского государственного университета имени Владимира Даля, тел. +79591448022.

Lenich Sergey Vasilyevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport Technologies at Lugansk State University named after Vladimir Dahl, phone: +79591448022.

Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 09.07.2025; одобрена после рецензирования 15.07.2025; принята к публикации 28.08.2025. Рецензент – Нагоркин М.Н., доктор технических наук, доцент Брянского государственного технического университета.

The article was submitted to the editorial office on 09.07.2025; approved after review on 15.07.2025; accepted for publication on 28.08.2025. The reviewer is Nagorkin M.N., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Bryansk State Technical University.



***Продолжается подписка на научно-технический журнал
«Транспортное машиностроение» на 2025 год***

Подписку на журнал можно оформить в любом почтовом отделении или непосредственно в редакции журнала. Подписные индексы по интернет-каталогу «Пресса по подписке» – Э80859 – https://www.akc.ru/itm/vestnik-bry_anskogo-gosudarstvennogo-tehnic_heskogo-universiteta/ и Объединенному каталогу «Пресса России» – 80859.

Стоимость подписки на минимальный срок – от 4846 руб.

Информация об опубликованных статьях регулярно направляется в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) – <https://www.elibrary.ru/contents.asp?titleid=79505>.

Сайт электронной редакции журнала: <https://bstu.editorum.ru/ru/nauka/journal/169/view>

E-mail: trans-eng@tu-bryansk.ru.

Журнал входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук (категория К2) по группам научных специальностей:

2.5. Машиностроение (2.5.2; 2.5.3; 2.5.5; 2.5.6; 2.5.8),

2.6. Химические технологии, науки о материалах, металлургия (2.6.1; 2.6.17),

2.9. Транспортные системы (2.9.1; 2.9.3; 2.9.5).