

Транспортные системы Transport systems

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 656.073.9

doi: 10.30987/2782-5957-2023-10-31-38

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ТЕРМИНАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК

Сергей Васильевич Ленич✉

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

Аннотация

Целью настоящего исследования является решение актуальной проблемы по снижению затрат и негативного влияния на окружающую среду при выполнении грузовых автомобильных перевозок. В данной работе решается задача по установлению характера снижения затрат и выбросов CO₂ в зависимости от расстояния между автотранспортными терминалами.

Методы исследования: определение затрат на доставку груза и выбросов загрязняющих веществ в зависимости от расстояния перевозки и грузоподъемности грузового автомобиля. Новизна работы – получены зависимости снижения затрат и выбросов CO₂ от расстояния между автотранспортными терминалами в сравнении с прямыми перевозками в транспортной сети.

Результаты исследования: показано, что автомобильные терминальные технологии как ин-

струмент «зелёной» логистики позволяют одновременно повысить как экономическую, так и экологическую эффективность перевозок. Подробно рассмотрены основные этапы терминальной технологии по подвозу-развозу груза, терминальной грузопереработки и магистральной перевозки груза автопоездами.

Выводы: применение автомобильных терминальных перевозок по сравнению с прямыми перевозками между грузоотправителями и грузополучателями позволяет уменьшить затраты на доставку товаров при расстояниях между терминалами свыше 500 км и снизить негативное влияние на окружающую среду, выбросы CO₂ сокращаются до двух раз.

Ключевые слова: логистика, технология, перевозки, доставка, товары, транспорт.

Ссылка для цитирования:

Ленич С.В. Исследование экономической и экологической эффективности автомобильных терминальных перевозок / С.В. Ленич // Транспортное машиностроение. – 2023. - № 10. – С. 31-38. doi: 10.30987/2782-5957-2023-10-31-38.

Original article

Open Access Article

STUDY OF ECONOMIC AND ECOLOGICAL EFFICIENCY OF MOTOR TERMINAL TRUCKING

Sergey Vasilyevich Lenich✉

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

Abstract

The study objective is to solve the urgent problem of reducing costs and negative impact on the environment during motor trucking. This paper solves the

problem of determining the nature of cost reduction and CO₂ emissions depending on the distance between the transport terminals.

© Ленич С. В., 2023

Research methods: determination of the cost of cargo delivery and emissions of pollutants depending on the distance of transportation and the truck carrying capacity. The novelty of the work is that the dependences of cost reduction and CO₂ emissions on the distance between transport terminals in comparison with direct transportation in the transport network are obtained.

Study results: it is shown that motor terminal technologies as a tool of "green" logistics can simultaneously improve both the economic and ecological efficiency of transportation. The main stages of termi-

nal technology for cargo transportation, terminal cargo handling and trunk cargo transportation by linehaul trains are considered in detail.

Conclusions: the use of motor terminal trucking in comparison with direct transportation between shippers and consignees allows to reduce the cost of delivering goods at distances between terminals over 500 km and reduce the negative impact on the environment, CO₂ emissions are cut by up to two times.

Keywords: logistics, technology, transportation, delivery, goods, transport.

Reference for citing:

Lenich SV. Study of economic and ecological efficiency of motor terminal trucking. *Transport Engineering*. 2023;10:31-38. doi: 10.30987/2782-5957-2023-10-31-38.

Введение

Автомобильные грузовые перевозки жизненно важны для функционирования экономики и цепей поставок. Они продолжают оставаться предпочтительным вариантом перевозки и по-прежнему занимают основную долю в распределении видов транспорта в мире [1]. К преимуществам автомобильного транспорта с точки зрения логистики является быстрая доставка, гибкость и приспособляемость к требованиям клиентов.

Однако автомобильный транспорт является одним из основных источников выбросов диоксида углерода (углекислого газа) CO₂ от транспорта, которые негативно воздействуют на людей и окружающую среду и влияют на изменение климата [2]. По оценкам [3], грузовой автомобильный транспорт является крупнейшим источником таких выбросов как CO₂ (до 50 г/т·км), SO_x (до 0,31 г/т·км), NO_x (до 0,00006 г/т·км) и твёрдых частиц (до 0,005 г/т·км). Кроме того, грузовые автомобильные перевозки на дальних расстояниях, являются наиболее дорогими в расчёте на единицу транспортной работы, уступая по этому показателю только воздушному транспорту. Поэтому, грузовладельцы и автоперевозчики ищут транспортные решения, поз-

воляющие получить оптимальные экономические и экологические результаты (минимальные суммарные затраты при сниженных выбросах и загрязнении окружающей среды).

В последние десятилетия, активно развивается такое направление, как «зелёная» логистика, основной задачей которой является снижение негативного воздействия логистических услуг на окружающую среду. «Зеленая» логистика применяет экологические технологии и инструментарий, позволяющие управлять воздействием на окружающую среду во всех звеньях цепей поставок [4]. Традиционно, при планировании и оптимизации грузовых автомобильных перевозок, экономическая и экологическая цели вступают в противоречие между собой. Одним из вариантов решения этой проблемы с позиций «зелёной» логистики является внедрение автомобильных терминальных перевозок.

Целью работы является исследование по снижению затрат на доставку и выбросов диоксида углерода CO₂ при выполнении автомобильных грузовых перевозок путём применения терминальной технологии.

Описание автомобильной терминальной технологии

Традиционно автомобильный транспорт работает по схеме «от двери до двери», что считается одним из его преимуществ. Однако, для получения эффекта масштаба и повышения привлекательности

автомобильных грузовых перевозок были внедрены (одномодальные) терминальные технологии [5]. Создание терминалов также было вызвано необходимостью подгруппировки (консолидации) мелких пар-

тий отправок. С течением времени автотранспортные терминалы превратились в многофункциональные логистические объекты, играющие важную роль в транспортной логистике [6-7].

Пользователями услуг терминалов являются не только грузоотправители и грузополучатели, но также транспортные агенты и брокеры, операторы перевозки, экспедиторы и другие участники транспортно-логистических цепей. На терминалах осуществляется взаимодействие между транспортно-логистическими посредниками, выполняются услуги по погрузке и выгрузке транспортных средств, по консо-

лидации и кратковременному хранению грузов, ремонту транспортного оборудования и т.д.

Применение терминальных технологий перевозок на автомобильном транспорте реализуется в транспортных схемах «узел-спица» (рис. 1). При этом основная (магистральная) перевозка грузов осуществляется между автотранспортными терминалами (хабами), обслуживающими определённый район и клиентуру. В результате уменьшается суммарный объём транспортной работы, что ведёт к снижению вредных выбросов и негативного воздействия на окружающую среду.

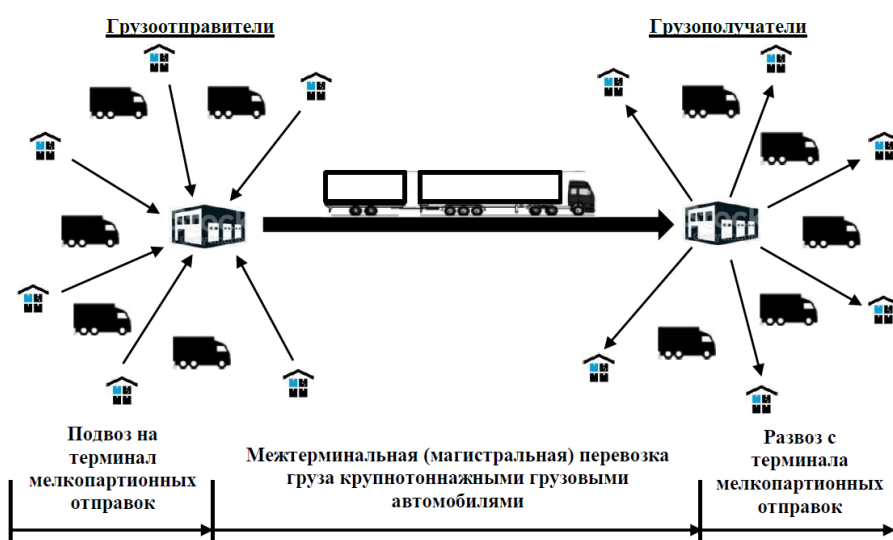


Рис. 1. Схема автомобильной терминальной технологии
Fig.1. Outline of automotive terminal technology

При этом процесс доставки груза разбивается на следующие этапы:

1. Подвоз груза от грузоотправителей на терминал опрвления, при этом используются грузовые автомобили малой и средней грузоподъёмности. В процессе доставки груза на терминал используются как маятниковые, так и кольцевые (сборочные) маршруты. На этом этапе применяются точные и приближённые методы локальной оптимизации перевозок.

2. Выполнение грузовых и коммерческих операций (терминальная грузопереработка) на терминале отправления. Прежде всего на терминале осуществляются услуги, связанные с перевозкой: приём грузов от грузоотправителей и их консолидация, формирование транспортных па-

кетов, оформление транспортных документов, краткосрочное хранение грузов, обслуживание и мелкий ремонт транспортного оборудования и т.д. В последнее время на автотранспортных терминалах предоставляются услуги, связанные с процессом товародвижения (услуги, создающие добавленную стоимость), такие как: маркировка, упаковка и сортировка товаров, технологические операции с товарами и т.д.

3. Магистральная перевозка груза между терминалом отправления и терминалом назначения, при этом используются грузовые автомобили максимальной грузоподъёмности. Повышение экономической эффективности магистральных автомобильных перевозок может быть достиг-

нута использованием крупнотоннажных автопоездов, грузоподъёмностью до 60 т [8]. Помимо снижения загруженности автодорог, достижение эффекта масштаба позволяет снизить удельные затраты на единицу транспортной работы, количество потребляемого топлива и, соответственно, вредные выбросы. Примером эксплуатации таких автопоездов, является технология перевозки EuroComby, существующая в двух вариантах – для перевозки объёмных или весовых грузов. Увеличение коэффициента использования грузоподъёмности автопоездов может быть достигнуто путём оснащения полуприцепа механизмом второго яруса с подъёмной крышей. При этом вместимость полуприцепа увеличивается вдвое – до 82 паллет.

4. Терминальная грузопереработка на терминале назначения. На этом этапе выполняются операции, связанные с подготовкой товара для грузополучателей: разукрупнение грузов (сортировка груза на более мелкие партии, предназначенные нескольким грузополучателям), управление ассортиментным составом, краткосрочное хранение и комплектация партии груза для отправки грузополучателям. Автотранспортный терминал назначения, помимо разукрупнения партий груза, может использоваться как региональный распределительный центр, предоставляя высокий уровень логистического обслуживания потребителей.

5. Развоз груза с терминала назначения грузополучателям, при этом, также как и на первом этапе используются грузовые автомобили малой и средней грузоподъёмности. На этом этапе решаются задачи маршрутизации и оптимизации местных перевозок («последней мили»), где в качестве критерия могут выступать расстояние, выбросы или время. Важным фактором выполнения оперативного и ритмичного развоза товара к получателям является тесное взаимодействие терминала и перевозчиков, для этой цели разрабатывается единая согласованная технология их работы.

Возникающие при автомобильных терминальных перевозках затраты, связанные с содержанием терминалов, грузовы-

ми операциями при перевалке грузов и подвозом-развозом, компенсируются экономией при консолидации грузовых партий в определённом направлении. То есть, вместо нескольких магистральных перевозок в одном направлении выполняется всего одна.

Терминалы, как правило, располагаются на пересечении основных грузопотоков города, области или региона. Они размещаются в крупных промышленных районах, на территории морских и речных портов, аэропортов и логистических центров. Часто расположение автотранспортного терминала определяется удобством выхода на магистральные дороги или автодорожные сети с высокими осевыми нагрузками, что необходимо для эксплуатации крупнотоннажных автопоездов.

Характерной особенностью автомобильной терминальной технологии является кооперация и сотрудничество между компаниями, проявляющиеся в самых различных формах. Мелкие компании обычно занимаются подвозом-развозом в зонах действия терминалов. Обычной является практика совместной эксплуатации автомобильного подвижного состава и ремонтной базы. В отдельных случаях мелкие перевозки «по эстафете» передают груз друг другу, выполняя таким образом перевозки на дальние расстояния, в том числе и международные. Зарубежные специалисты считают подобное сотрудничество одним из важных факторов, обеспечивающих стабильность отрасли в условиях непрекращающейся конкуренции с другими видами транспорта [9].

Автотранспортные терминалы не предназначены для длительного хранения товаров, однако, в современных транспортно-логистических цепях на их территории сооружаются складские здания, управляемые одним владельцем (оператором). Таким образом, автотранспортные терминалы интегрируются в систему товарораспределения.

Дополнительные экономический (технологический) и экологический эффекты в автомобильных терминальных системах могут быть получены путём применения принципов и инструментария

«зелёной» логистики. При организации перевозок это может быть внедрение мероприятий по уменьшению пробок на автодорогах, мониторинга скорости движения, эко-вождения. Значительное снижение вредных выбросов может дать модернизация подвижного состава: внедрение

«гибридных» (электрических) транспортных средств, применение устройств нейтрализации и очистки выбросов от токсичных компонентов, использование более экономичных и менее токсичных двигателей, использование более «экологических» видов ГСМ и топлива.

Материалы и методы исследования

Для определения экономической эффективности автомобильных терминаль-

ных перевозок используем схему, приведенную на рис. 1.

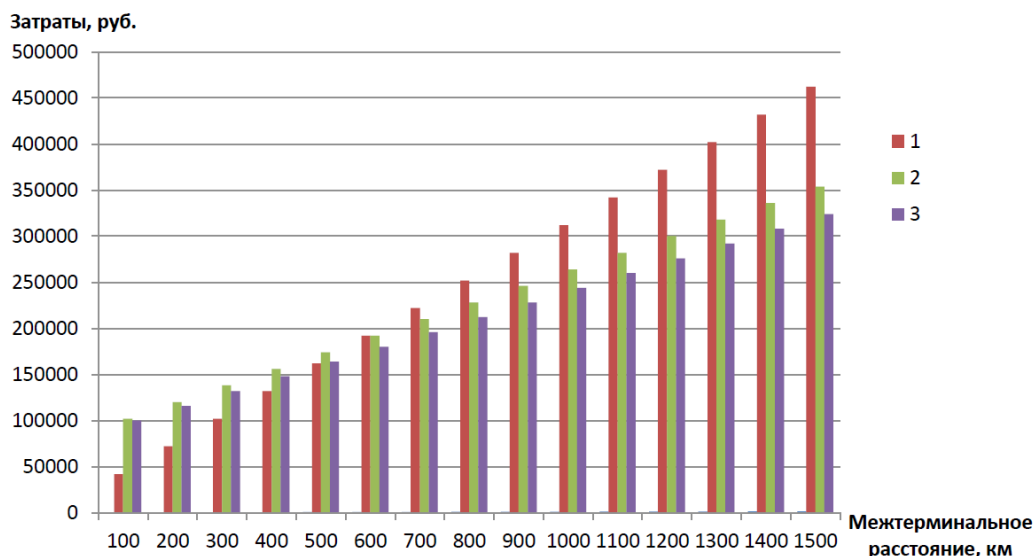


Рис. 2. Сравнение затрат при различных вариантах доставки груза: 1 – прямая доставка автомобилями грузоподъемностью 10 т; 2 – терминальная перевозка автопоездами грузоподъемностью 20 т; 3 – терминальная перевозка автопоездами грузоподъемностью 30 т

Fig. 2. Comparison of costs for different options for cargo delivery: 1 - direct delivery by cars with a carrying capacity of 10 tons; 2 - terminal transportation by road trains with a carrying capacity of 20 tons; 3 - terminal transportation by road trains with a carrying capacity of 30 tons

Сравним два варианта: доставка напрямую от грузоотправителей до грузополучателей и доставка через терминальную систему. Для упрощения задачи примем следующие исходные данные: количество грузоотправителей и грузополучателей – по 6; предложение и спрос поставщиков и потребителей – 10 т; среднее расстояние местной перевозки (подвоза-развоза) – 20 км; затраты на терминальную грузопереработку – 1200 руб./т. Расстояние межтерминальной перевозки варьируем от 100 до 1500 км с шагом 100 км. Для магистральной перевозки используем автопоезда грузоподъемностью 20 и 30 т. Затраты на перевозку примем на основании прайс-листов крупнейших автоперевозчиков России: для местных перевозок

грузовыми автомобилями грузоподъемность 10 т – 50 руб./км; для магистральных перевозок автопоездами грузоподъемностью 20 т – 60 руб./км, 30 т – 80 руб./км. Сравнение затрат по вариантам приведено на рис. 2, а на рис. 3 показан график зависимости снижения затрат (в %) при терминальной перевозке от расстояния между терминалами.

Анализ рис. 2 и 3 показывает, что автомобильные терминальные перевозки становятся экономически эффективными при расстоянии между терминалами 500 км и более. При меньших расстояниях суммарные затраты на терминальную грузопереработку превышают затраты на перевозку. Увеличение межтерминального расстояния ведёт к снижению затрат в

сравнении с прямыми перевозками между грузоотправителями и грузополучателями, при чём это снижение проявляется в большей степени для автопоездов большей грузоподъёмности. Прежде всего, это объяс-

няется тем, что суммарный объём перевозимого груза (60 т) доставляется за два-три раза. Таким образом, достигается эффект масштаба.

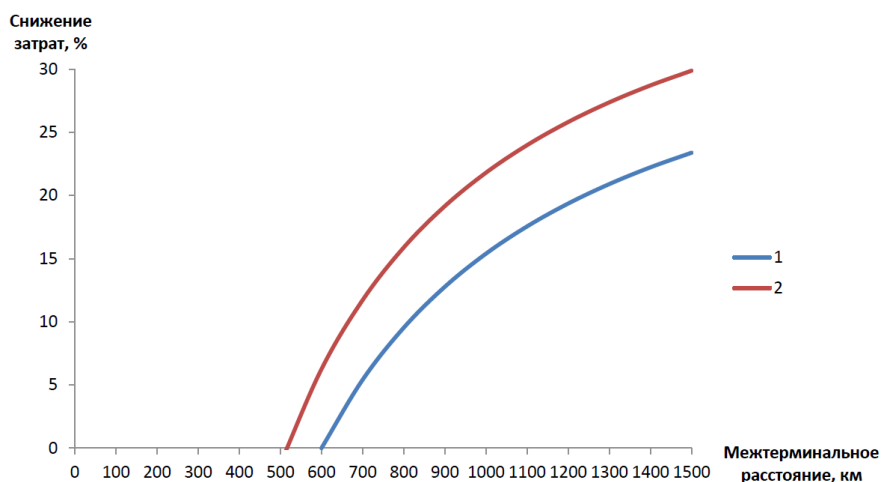


Рис. 3. Зависимости снижения затрат при замене прямых перевозок на терминальные от расстояния между терминалами: 1 – терминальная перевозка автопоездами грузоподъёмностью 20 т; 2 – терминальная перевозка автопоездами грузоподъёмностью 30 т

Fig. 3. Dependencies of cost reduction when replacing direct transportation to terminals from the distance between terminals: 1 - terminal transportation by road trains with a load capacity of 20 tons; 2 - terminal transportation by road trains with a carrying capacity of 30 tons

Для определения экологической эффективности автомобильных терминальных перевозок выполним расчёт выбросов CO₂ по приведенным выше вариантам доставки груза. Удельные выбросы CO₂ прием на основании методических рекомендаций [10]: при перевозке автомобилями

грузоподъёмностью 10 т – 679,5 г/км; 20 т – 865,8 г/км; 30 т – 980,0 г/км. Сравнение выбросов CO₂ по вариантам приведено на рис. 4, а на рис. 5 показан график зависимости снижения выбросов CO₂ (в %) при терминальной перевозке от расстояния между терминалами.

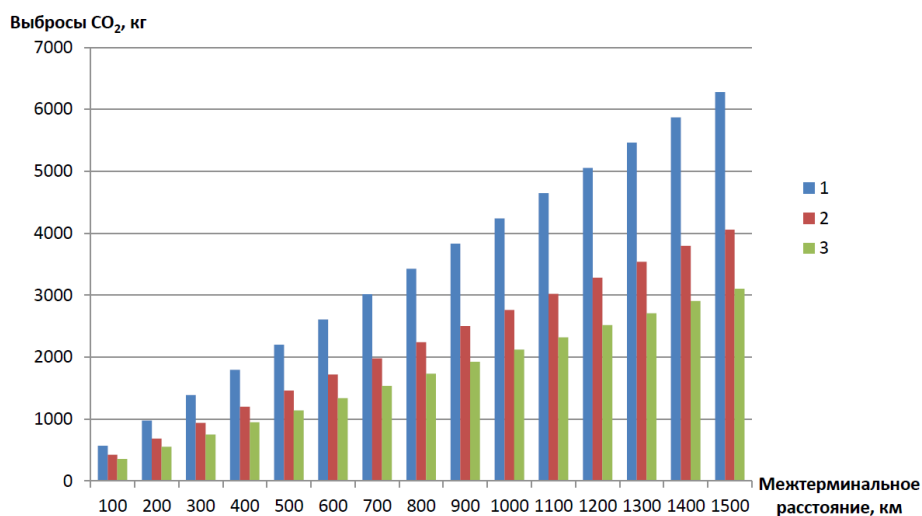


Рис. 4. Сравнение выбросов CO₂ при различных вариантах доставки груза: 1 – прямая доставка автомобилями грузоподъёмностью 10 т; 2 – терминальная перевозка автопоездами грузоподъёмностью 20 т; 3 – терминальная перевозка автопоездами грузоподъёмностью 30 т

Fig.4. Comparison of CO₂ emissions for different delivery options: 1 - direct delivery by cars with a carrying capacity of 10 tons; 2 - terminal transportation by road trains with a carrying capacity of 20 tons; 3 - terminal transportation by road trains with a carrying capacity of 30 tons

Анализ рис. 4 и 5 показывает, что автомобильные терминальные перевозки становятся экологически эффективными при использовании автопоездов с разной грузоподъемностью. Увеличение межтерминального расстояния ведёт к снижению выбросов CO₂ в сравнении с прямыми перевозками между грузоотправителями и

грузополучателями, при чём при увеличении расстояния между терминалами более 500 км это снижение проявляется в меньшей степени. При этом использование автопоездов грузоподъемностью 30 т при увеличении межтерминального расстояния позволяет сократить выбросы CO₂ вдвое.

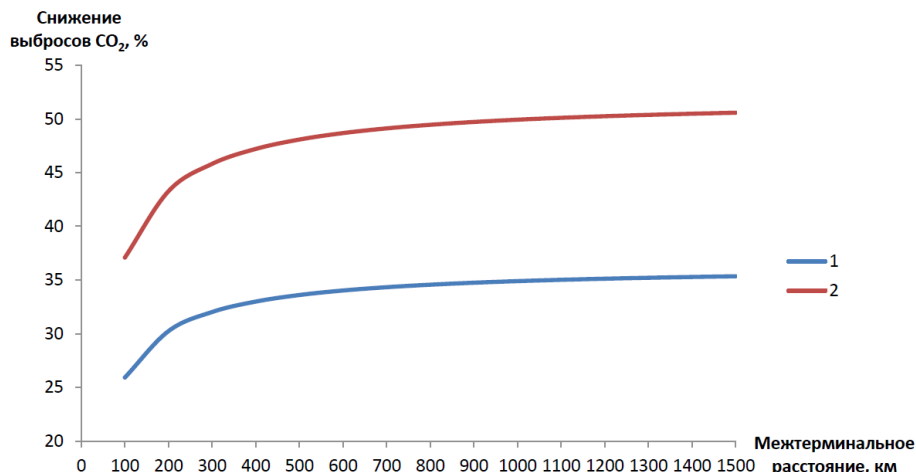


Рис. 5. Зависимости снижения выбросов CO₂ при замене прямых перевозок на терминальные от расстояния между терминалами: 1 – терминальная перевозка автопоездами грузоподъемностью 20 т; 2 – терминальная перевозка автопоездами грузоподъемностью 30 т
 Fig. 5. Dependences of CO₂ emission reduction when replacing direct transportation with terminal from the distance between the terminals: 1 - terminal transportation by road trains with a carrying capacity of 20 tons; 2 - terminal transportation by road trains with a carrying capacity of 30 tons

Заключение

На основании проведенных исследований можно сделать следующий вывод: применение автомобильных терминальных перевозок по сравнению с прямыми перевозками между грузоотправителями и грузополучателями позволяет уменьшить за-

траты на доставку товаров при межтерминальных расстояниях свыше 500 км и снизить негативное влияние на окружающую среду, как было продемонстрировано выбросы CO₂ сокращаются до двух раз.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Hrusovsky M., Demir E., Jammernegg W., Woensel T.V. Hybrid simulation and optimization approach for green intermodal transportation problem with travel time uncertainty. *Flexible Services and Manufacturing Journal*. 2018; 30 (3): 486-516. <https://doi.org/10.1007/s10696-016-9267-1>.
2. Lai D., Costa Y., Demir E., Florio A.M., Woensel T.V. The Pollution-Routing Problem with Speed Optimization and Uneven Topography. arXiv:2105.09229v1 [math.OC]. 19 May 2021; 32 p. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2105.09229>.
3. Sarkis J., Dou Y. *Green supply chain management*. New York. Routledge. 2018.
4. Ленич С.В., Никишкин Ю.А. Формирование транспортно-складских цепей на принципах «зелёной» логистики // Научный информационный сборник «Транспорт: наука, техника, управление». 2022. № 4. С. 22-26.
5. Yang X. Green Hub Location-Routing Problem for LTL Transport. Doctoral Dissertation, University of Brittany Loire, Nantes, France, 2018.
6. 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.
7. Heilig L., Voß S. Inter-terminal transportation: an annotated bibliography and research agenda. *Flexi-*

ble Services and Manufacturing Journal. 2017; 29: 35-63, <https://doi.org/10.1007/s10696-016-9237-7>.

8. Файзуллин Г.Р. Организация магистральных автомобильных перевозок на терминальной технологии // Аллея науки. 2019. Т. 2. № 12 (39). С. 190-192.
9. Кравченко Е.А., Бабий А.В., Ушмаев Е.Н. Эффективность терминальной системы перевозок

грузов // Фундаментальные исследования. 2007. № 12-1. С. 61-65.

10. Расчетные инструкции (методики) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ автотранспортными средствами и дорожно-строительными машинами в атмосферный воздух. М.: Автополис-плюс, 2008. 84 с.

REFERENCES

1. Hrusovsky M, Demir E, Jammerneegg W, Woensel TV. Hybrid simulation and optimization approach for green intermodal transportation problem with travel time uncertainty. Flexible Services and Manufacturing Journal [Internet]. 2018;30(3):486-516. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10696-016-9267-1>.
2. Lai D, Costa Y, Demir E, Florio AM, Woensel TV. The Pollution-routing problem with speed optimization and uneven topography. arXiv:2105.09229v1 [math.OC] [Internet]. 2021 May 19; 32. Available from: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2105.09229>.
3. Sarkis J, Dou Y. Green supply chain management. New York: Routledge; 2018.
4. Lenich SV, Nikishkin YuA. Formation of transport and warehouse chains according to the principles of "green" logistics. Scientific Information Collection, 2022: Transport: Science, Technology, Management. 2022;4:22-26.
5. Yang X. Green hub location-routing problem for LTL transport [dissertation]. [Nantes (France)]: University of Brittany Loire; 2018.
6. Kuzmina MA, Nadiryan SL, Achmiz ShM. Prospects for the development of the terminal system of freight road transport in international communication of Russia. Science. Engineering. Technology (polytechnic bulletin). 2022;3:32-25.
7. 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>.
8. Fayzullin GR. Organization of line hauling according to terminal technology. Alleya Nauki. 2019;2(12(39)):190-192.
9. Kravchenko EA, Babiy AV, Ushmaev EN. Efficiency of cargo line hauling system. Fundamental Research. 2007;12(1):61-65.
10. Calculation instructions (methods) for the inventory of pollutant emissions by motor vehicles and road-building machines into the atmospheric air. Moscow: Avtopolis-plus; 2008.

Информация об авторе:

Ленич Сергей Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортных технологий, Луганский государственный университет име-

ни Владимира Даля, e-mail: mouselenich@yandex.ru, тел. +79591448022.

Lenich Sergey Vasilyevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport Technologies, Luhansk State University

named after Vladimir Dal, e-mail: mouselenich@yandex.ru, phone: +79591448022.

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

Статья поступила в редакцию 09.08.2023; одобрена после рецензирования 21.08.2023; принята к публикации 27.09.2023. Рецензент – Антипин Д.Я., кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог», директор учебно-научного института транспорта Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 09.08.2023; approved after review on 21.08.2023; accepted for publication on 27.09.2023. The reviewer is Antipin D.Ya., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Railway Rolling Stock, Director of the Educational and Scientific Institute of Transport at Bryansk State Technical University, member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.