

МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ ТРАНСПОРТНОМ ОБСЛУЖИВАНИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В. Н. Мукаев

ООО «Транспортная компания «ПассажТранс»», Магнитогорск, Россия
e-mail: mukaev.vn@gmail.com

Аннотация. Актуальность выбранной темы исследования обусловлена стремлением собственников металлургических предприятий повысить эффективность транспортного обслуживания производственных процессов. Надёжность транспортного обслуживания металлургического производства, как правило, обеспечивается избыточной провозной способностью автопарка, что снижает производительность подвижного состава и эффективность его эксплуатации. Это происходит вследствие вынужденных простоев на линии, несоответствия технических параметров автомобилей весогабаритным характеристикам перевозимых грузов, больших холостых пробегов. Ситуация осложняется особенностью автотранспортного обслуживания металлургического производства, состоящая в том, что большая часть автопарка состоит из специализированной или переоборудованной для нужд производственных цехов техники, а его выпуск на линию и режим эксплуатации определяется ритмом работы металлургических агрегатов.

Результативным решением обозначенной проблемы является автоматизация мониторинга потерь провозной способности автопарка на основе использования цифровых систем управления транспортной деятельностью (Transportation Management System, TMS). Однако для цифровизации перевозок необходимо исследовать влияние параметров транспортного процесса на производительность автомобилей и себестоимость перевозок технологических грузов металлургического производства, для чего требуется разработать математический аппарат количественной оценки потерь провозной способности автопарка и методику повышения производительности автомобилей.

В этой связи можно утверждать, что цель настоящего исследования, состоящая в разработке математического аппарата количественной оценки потерь провозной способности автопарка и методики повышения производительности автомобилей, направлена на решение актуальной научно-практической задачи.

Теоретические исследования выполнены на основе анализа научной и нормативно-технической литературы, системного, факторного и технико-экономического анализа, математического моделирования, экспертных оценок. Экспериментальные исследования выполнялись в условиях действующих автотранспортных предприятий с использованием методов математической статистики, компьютерного моделирования, натурных наблюдений.

Основными результатами, имеющими научную новизну, являются: математические модели расчёта провозной способности автопарка при перевозке технологических грузов и показатели количественной оценки потерь провозной способности. Практическая значимость полученных результатов обеспечивается предложенной методикой повышения производительности автомобилей при транспортном обслуживании металлургического предприятия.

Дальнейшие исследования предполагается вести в направлении развития цифровых систем управления автомобильными перевозками.

Ключевые слова: грузовые перевозки, производительность автомобилей, автомобильный транспорт, провозная способность автопарка.

Для цитирования: Мукаев В. Н. Методика повышения производительности автомобилей при транспортном обслуживании металлургического предприятия // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2023. – № 4. – С. 58–71, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-4-58>.



Original article

METHODOLOGY FOR INCREASING THE PRODUCTIVITY OF VEHICLES IN THE TRANSPORT SERVICE OF A METALLURGICAL ENTERPRISE

V. N. Mukaev

Transport company «PassageTrans» LLC, Magnitogorsk, Russia

e-mail: mukaev.vn@gmail.com

Abstract. *The relevance of the chosen research topic is due to the desire of the owners of metallurgical enterprises to increase the efficiency of transport services for production processes. The reliability of transport services for metallurgical production, as a rule, is ensured by the excess carrying capacity of the fleet, which reduces the productivity of the rolling stock and the efficiency of its operation. This is due to forced downtime on the line, discrepancies between the technical parameters of vehicles and the weight and size characteristics of the goods being transported, and large idle runs. The situation is complicated by the peculiarity of motor transport services for metallurgical production, which consists in the fact that most of the fleet consists of specialized or re-equipped equipment for the needs of production workshops, and its release to the line and mode of operation is determined by the rhythm of the work of metallurgical units.*

An effective solution to this problem is the automation of monitoring the loss of carrying capacity of an industrial fleet based on the use of digital transport management systems (Transportation Management System, TMS). However, for the digitalization of transportation, it is necessary to study the influence of the parameters of the transport process on the performance of vehicles and the cost of transportation of technological goods of metallurgical production. It is also required to develop a mathematical apparatus for quantifying the loss of carrying capacity of the vehicle fleet and a methodology for increasing the productivity of vehicles.

In this regard, it can be argued that the purpose of this study, which consists in the development of a mathematical apparatus for quantifying the loss of the carrying capacity of the fleet and a methodology for improving the performance of vehicles, is aimed at solving an urgent scientific and practical problem.

Theoretical studies were carried out on the basis of the analysis of scientific and normative-technical literature, system, factorial and technical and economic analysis, mathematical modeling, expert assessments. Experimental studies were carried out in the conditions of operating motor transport enterprises using the methods of mathematical statistics, computer modeling, field observations.

The main results that have scientific novelty are: mathematical models for calculating the carrying capacity of a vehicle fleet during the transportation of technological goods and indicators for quantifying the loss of carrying capacity. The practical significance of the results obtained is provided by the proposed method for increasing the productivity of vehicles in the transport service of a metallurgical enterprise.

Further research is supposed to be carried out in the direction of the development of digital control systems for road transport.

Key words: *freight transportation, vehicle productivity, road transport, fleet capacity.*

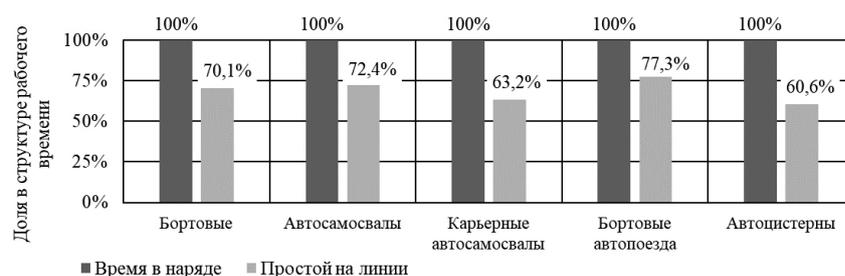
Cite as: Mukaev, V. N. (2023) [Methodology for increasing the productivity of vehicles in the transport service of a metallurgical enterprise]. *Интеллект. Инновации. Инвестиции* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 4, pp. 58–71, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-4-58>.

Введение

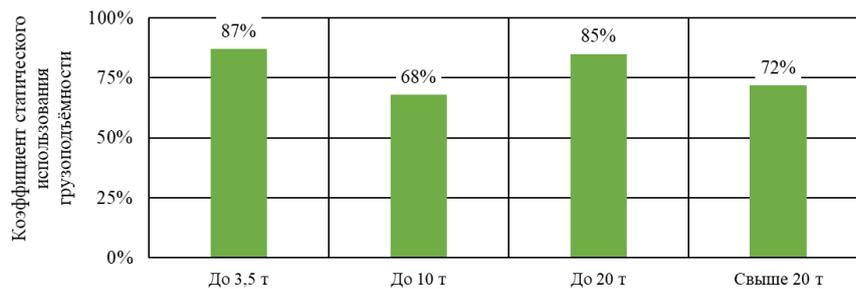
Надёжность транспортного обслуживания металлургического производства, как правило, обеспечивается избыточной провозной способностью автопарка. Это снижает производительность подвижного состава и эффективность его эксплуатации, управление которыми осложняется встроенностью транспортного процесса в производственную систему металлургического предприятия [2]. Потери провозной способности автопарка, снижающие производительность и эффективность подвижного состава, обусловлены вынужденными простоями на линии, несоответствием

технических параметров автомобилей весогабаритным характеристикам перевозимых грузов, большими холостыми пробегами. Это подтверждается результатами анализа использования автопарка одной из крупнейших металлургических компаний РФ (рисунок 1).

Подобная ситуация наблюдается в других компаниях металлургии. Для решения этой проблемы востребованы цифровые системы управления транспортом (Transportation Management System, TMS), обеспечивающие автоматизацию мониторинга и оперативность устранения потерь провозной способности автопарка. С этим солидарны многие современные исследователи.



а)



б)



в)

Рисунок 1. Доля простоев на линии автопарка¹ (а), коэффициент статического использования грузоподъёмности бортовых автомобилей (б) и коэффициент использования пробега автопарка², задействованного на перевозке технологических грузов (в)

Источник: разработано автором

Например, в работе [4] утверждается, что основными причинами снижения эффективности работы грузового автомобильного транспорта в нашей стране являются порожний пробег, плохо спланированные маршруты, простой транспорта. При этом наиболее развитые автотранспортные компании основной инструмент повышения эффективности своей работы видят в планировании ситуационных сценариев перевозок, роботизации управления, использования IT-платформ и геолокационных сервисов.

Особая роль в использовании цифровых систем управления транспортным процессом в настоящее время отводится мобильным приложениям TMS, что позволяет повысить его эффективность [1]. Использование мобильных устройств и соответствующего программного обеспечения повысит результативность формирования, прежде всего, сборных грузов, за счёт снижения потерь от рассогласования взаимодействия участников транспортного процесса. Сегодня в металлургической отрасли наблюдается активное разви-

¹ Простой автомобилей на линии не включают кратковременные остановки в пути следования.

² Коэффициент использования пробега рассчитывался за смену с учётом нулевых пробогов.

тие интерактивного взаимодействия, как заказчиков и производителей готовой продукции, так заказчиков и исполнителей транспортных услуг [7].

Использование цифровых систем управления транспортной деятельностью является основой развития государственной экономики на современном этапе, что следует из целей государственной программы РФ «Развитие транспортной системы»³. Цифровая трансформация транспортной отрасли реализуется в настоящее время в направлении цифровизации грузопотоков, транспортных средств и инфраструктуры.

Организация взаимодействия участников процесса доставки в части сбора и учёта всей необходимой для этого информации будет малоэффективна без анализа объективных данных о передвижении автомобильного транспорта, полученной на основе спутникового мониторинга, и передаваемой в ERP-систему промышленного предприятия [5]. Принцип работы навигационных систем, их использование в границах промышленных площадок, а также на городской улично-дорожной сети раскрыт в работе [10]. Использование таких технологий способствует интеллектуализации транспортных систем, за счёт приложений TMS, предусматривающих высокий уровень автономизации, внедрение технологий машинного интеллекта в транспортном процессе [8].

Следует отметить, что в работе приложений TMS находит применение концепция lean-transportation, основной эффект от использования которой на металлургическом предприятии получается из-за увеличения скорости производственных потоков, вследствие сокращения времени транспортирования [13]. Результаты исследований в области lean transportation, применительно к анализу транспортных операций, можно найти в работах [11; 14; 15].

Вместе с тем, для эффективной цифровизации перевозок металлургических грузов автомобильным транспортом на основе TMS необходимо исследовать влияние параметров транспортного процесса на

производительность автомобилей и себестоимость перевозок технологических грузов металлургии. Требуется также разработать математический аппарат количественной оценки потерь провозной способности автопарка и методику повышения производительности автомобилей.

Конкретизация используемой терминологии

В настоящем исследовании использовались такие термины, как производительность автомобиля и провозная способность автомобильного парка. В специализированной научной литературе предлагается ряд трактовок данных понятий. Трактовка понятия «провозная способность грузового автопарка» может не совпадать у различных авторов. В терминологическом словаре по логистике, изданном ВИНТИ Российской академии наук, это понятие дано только применительно к железнодорожному и водному транспорту⁴.

Например, имеются научные труды, в которых приводятся результаты исследований провозной способности морского флота⁵ и сети железных дорог [6]. Кроме того, порядок расчёта провозной способности инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования регламентирован министерством транспорта Российской Федерации⁶.

На автомобильном грузовом транспорте это понятие присутствует в некоторых учебниках, но пока не внесена ясность, какой из терминов предпочтителен в употреблении «провозная возможность»⁷ или «провозная способность»⁸. Формула, приводимая в одном из учебных изданий для расчёта провозной возможности⁷, фактически идентична формуле расчёта часовой производительности грузового автопарка, предложенной по результатам ранее выполненных исследований⁹, в которых не рассматривались вопросы провозной возможности грузового автопарка.

В настоящем исследовании провозную способность автопарка предложено рассчитывать, как максимальное количество груза, которое может быть

³ Постановление Правительства РФ от 20 декабря 2017 г. № 1596 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие транспортной системы» (с изменениями и дополнениями)» // ГАРАНТ [сайт]. – URL: <http://ivo.garant.ru/#/document/71843998/paagraph/1:0> (дата обращения: 25.04.2023).

⁴ Резер С. М., Родников А. Н. Логистика. Словарь терминов. – М.: ВИНТИ РАН, 2007. – 412 с.

⁵ Корякина А. В., Мнацаканян А. Г., Теплицкий В. А. Прогнозирование резервов провозной способности приёмно-транспортного флота // Финансы и кредит. – 2014. – 34 (610). – С. 54–58. – EDN: SMJLHN.

⁶ Методика определения пропускной и провозной способностей инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования. Утв. приказом Минтранса России от 18.07.2018 № 266. // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/542629643> (дата обращения: 25.04.2023).

⁷ Грузовые автомобильные перевозки: Учебник для вузов/ Вельможин А.В. [и др.]. – М., Горячая линия – Телеком. 2006. – 560 с.

⁸ Воркут А. И. Грузовые автомобильные перевозки – К.: Вища школа, 1986. – 447 с.

⁹ Лейдерман С. Р. Теоретические основы эксплуатации грузовых автомобилей: Автореферат дис. на соискание ученой степени доктора технических наук / М-во высш. и сред. спец. образования РСФСР. Моск. автомоб.-дор. ин-т. М., 1963. 29 с.

перевезено за сутки имеющимся автопарком при полном использовании его возможностей. Аналогичная трактовка понятия «провозной способности» была предложена применительно к обслуживанию контейнерного терминала⁸ и может быть распространена на другие виды перевозок.

Предложенный порядок расчета провозной способности автопарка предопределяет основные методические положения. Во-первых, в качестве расчётного периода предложены сутки, что соответствует сложившемуся сменно-суточному оперативному планированию автомобильных перевозок.

Во-вторых, понятие провозной способности отражает максимально возможное количество перевезённого груза и этим отличается от планируемой величины суточной производительности автопарка, которое определяет реально выполнимое задание в имеющихся условиях планируемой работы автомобилей.

В-третьих, провозная способность должна рассчитываться при значениях технико-эксплуатационных показателей (простои в пунктах погрузки и разгрузки, скорость движения, длительность времени в наряде, коэффициенты использования парка, грузоподъёмности автомобилей, пробега), характеризующих полное (максимальное) использование автотранспортных средств для конкретных условий их работы.

Отсюда следует, что отношение фактической суточной производительности автопарка к его провозной способности покажет её неиспользуемые резервы и будет характеризовать степень эффективности организации автомобильных перевозок. Для использова-

ния резервов повышения эффективности транспортного процесса необходимо выявление и устранение всех потерь производительности автомобилей

Факторы, определяющие производительность автомобилей и себестоимость перевозок технологических грузов

Независимо от выбранной стратегии организации работы автомобильного транспорта (инсорсинг, внутренний или внешний аутсорсинг), металлургическое предприятие и автомобильный перевозчик заинтересованы в сокращении затратной части транспортных услуг [12]. В современных экономических условиях такой баланс интересов достигается эксплуатацией автопарка с провозной способностью, обеспечивающей максимальный объём перевозок грузов или транспортной работы имеющимися автомобилями без увеличения стоимости услуг. Это возможно за счёт устранения потерь провозной способности на основе выявленной взаимосвязи с видом перевозимого груза и способами устранения (таблица 1).

Для оценки значимости влияющих факторов, определяющих производительность автомобилей, был выбран экспертный метод. Опрос экспертов проводился в форме заполнения опросных листов. Обработка результатов опроса подразумевает нахождение относительных частот каждого из вариантов ответов экспертов. Варианты ответов ранжировались по следующей шкале: 0–50% – низкая значимость показателя, 50–80% – средняя значимость показателя, 80–100% – высокая значимость показателя (таблица 2).

Таблица 1. Взаимосвязь причин потерь провозной способности автопарка, вида перевозимого груза и способов устранения возникающих потерь

Причины потерь	Вид перевозимого груза	Способы и инструментарий устранения потерь	
		способы	инструментарий
Простои на линии	Металлургические шлаки на отвале, навалочные и наливные производственные отходы, тарно-штучные грузы	Управление очередностью транспортного потока в пунктах грузопереработки и продолжительностью выполнения технологических операций транспортного процесса	Предоставление приоритета в грузопереработке, корректировка численности и графика работы автомобилей в подразделении заказчика
Несоответствие технических параметров автомобилей весогабаритным характеристикам перевозимых грузов	Тарно-штучные грузы	Консолидация транспортной работы нескольких подразделений заказчика одним транспортным средством	Организация сборно-развозочных и кольцевых маршрутов, обратной загрузки
Рассогласованность взаимодействия участников транспортного процесса	Металлургические шлаки на отвале, тарно-штучные грузы	Консолидация транспортной работы нескольких подразделений заказчика одним транспортным средством	Организация кольцевых маршрутов и обратной загрузки

Примечание: Консолидация транспортной работы (совмещение грузов, допускаемых для совместной перевозки) в одном транспортном средстве возможна только при использовании бортовых автомобилей.

Источник: разработано автором

Таблица 2. Результаты экспертной оценки значимости факторов, определяющих производительность автомобиля при перевозке технологических грузов

Наименование показателя	Значимость показателя по видам технологических грузов			Примечание
	металлургические шлаки на отвале	обезвоженные и жидкие шламы	тарно-штучные грузы	
1. Масса груза, перемещаемого погрузочной машиной за цикл	Низкая	Низкая	Низкая	Параметры погрузочного оборудования закладываются на этапе проектирования технологического процесса
2. Вид маршрута	Средняя	Низкая	Высокая	Определяется видом груза и планировкой промышленной площадки
3. Число ездов в обороте	Низкая	Низкая	Высокая	При перевозке технологических отходов сложно управлять
4. Длина пробега за оборот	Высокая	Высокая	Средняя	Определяется планировкой промышленной площадки и развитостью её автодорожной сети
5. Время погрузки-разгрузки	Низкая	Низкая	Низкая	Определяется временем цикла погрузочной машины, соотношением количества груза, перемещаемого за цикл, числом грузовых мест и вместимостью автомобиля
6. Длина пробега с грузом в обороте	Низкая	Низкая	Низкая	Зависит от выбранной схемы маршрутной сети
7. Наличие сложных погодных условий	Низкая	Низкая	Низкая	Рассматриваются металлургические предприятия всех климатических зон РФ
8. Наличие на автомобиле средств защиты груза	Низкая	Низкая	Низкая	Только при выезде на дороги общего пользования
9. Увлажнённость шлака (обезвоженного шлама)	Низкая	Низкая	Низкая	В летний период (при осадках и охлаждении горячего шлака гидромониторами)
10. Простои на линии	Высокая	Высокая	Низкая	Объектом оптимизации являются нерегламентированные простои
11. Тип автомобиля	Высокая	Высокая	Средняя	Определяется выпускаемым модельным рядом, а также инвестиционной программой перевозчика на обновление автопарка
12. Грузоподъёмность автомобиля	Высокая	Высокая	Средняя	Определяется типом автомобиля с учётом способов увеличения вместимости кузова
13. Плановый объём перевозок на смену	Низкая	Низкая	Низкая	Зависит от динамики выпуска готовой продукции
14. Число оборотов за смену	Низкая	Низкая	Низкая	Определяется временем в наряде и продолжительностью оборотного рейса
15. Наличие помех движению (снежные заносы, плохое дорожное покрытие)	Низкая	Низкая	Низкая	Принимается удовлетворительное состояние дорожного покрытия и своевременность снегоборьбы
16. Время в наряде	Низкая	Высокая	Низкая	Определяется графиком работы производственных объектов заказчика
17. Подготовленность погрузочного фронта	Низкая	Низкая	Низкая	Принимается удовлетворительное состояние погрузочных фронтов
18. Количество груза в автомобиле	Низкая	Низкая	Высокая	При перевозке металлургического шлака и шламов, загрузка автомобиля осуществляется в полном объёме с учётом его конструктивных особенностей

Продолжение таблицы 2

Наименование показателя	Значимость показателя по видам технологических грузов			Примечание
	металлургические шлаки на отвале	обезвоженные и жидкие шламы	тарно-штучные грузы	
19. Техническая скорость движения	Низкая	Низкая	Низкая	По территории промышленной площадки не более 45 км/ч, по территории карьеров и шлаковых отвалов – не более 30 км/ч
20. Продолжительность обедненного перерыва	Низкая	Низкая	Низкая	При четырехбригадном графике работы – 30 мин., в других случаях 45–60 минут. Определяется коллективным договором.
21. Доля пробега с грузом в обороте	Высокая	Низкая	Низкая	Имеет определяющее влияние на производительность, измеряемую в тонно-километрах

Источник: разработано автором

Результаты факторного анализа позволили установить, что производительность автомобилей при перевозке технологических грузов металлургического предприятия в наибольшей степени определяют:

– на перевозке металлургических шлаков – вид маршрута (маятниковый, кольцевой), коэффициент использования пробега за оборот, тип и грузоподъемность автосамосвалов (БЕЛАЗ-7540 – 30 т, SHACMAN – 25 т, КАМАЗ-6520 – 20 т), длина пробега за оборот, доля нерегламентированных простоев на линии;

– на перевозке обезвоженных и жидких шламов – время в наряде (8 ч, 12 ч), тип и грузоподъемность шламовозов и автоцистерн (БЕЛАЗ-7540 – 30 т, МАЗ-6501В5 – 20,9 т, КАМАЗ-55111-15 – 13 т, ТЦ-13 – 14 т, КО-507А-2 – 9,2 т, КО-510К – 3,74 т), длина пробега за оборот, доля нерегламентированных простоев на линии;

– на перевозке тарно-штучных грузов – вид маршрута (маятниковый, развозочный для совме-

стимых грузов, кольцевой), тип и грузоподъемность универсальных автомобилей (МАЗ-9758-12 – 20 т, КАМАЗ-53215 – 11 т, КАМАЗ-4308 – 5,5 т, ГАЗ-3302 – 1,5 т), длина пробега за оборот, коэффициент статического использования грузоподъемности, число ездов в обороте.

Принятый тип и грузоподъемность автомобиля определялся с учетом практического опыта организации внутривозовских перевозок технологических грузов металлургического предприятия.

Математические модели расчёта провозной способности автопарка при перевозке технологических грузов

Провозная способность автопарка больше фактической его производительности ($W_{факт.}$, $Q_{факт.}$) на величину совокупных потерь в подразделении заказчика:

– при перевозке металлургических шлаков на отвале:

$$W = W_{факт.} + q_n^{a/c} \cdot A_u^{a/c} \cdot \Delta n_{об.} \cdot l_{сп.}, \quad (Т-КМ) \quad (1)$$

где

$q_n^{a/c}$ – номинальная грузоподъемность автосамосвала рассматриваемого типа, т;

$A_u^{a/c}$ – рабочий парк автосамосвалов рассматриваемого типа в подразделении заказчика, ед.;

$\Delta n_{об.}$ – потенциальный эффект в увеличении числа оборотов единицы автопарка рассматриваемого типа в подразделении заказчика, об.;

$l_{сп.}$ – пробег автосамосвала с грузом за оборот, км.

– при перевозке навалочных и наливных производственных отходов:

$$Q = Q_{факт.} + q_n^{спец.} \cdot \gamma_{ст.} \cdot A_u^{спец.} \cdot \Delta n_{об.}, \quad (Т) \quad (2)$$

где

$q_n^{спец.}$ – номинальная грузоподъемность специализированного автомобиля рассматриваемого типа, т;

$\gamma_{ст.}$ – коэффициент статического использования грузоподъемности специализированного автомобиля рассматриваемого типа;

$A_u^{спец.}$ – рабочий парк специализированных автомобилей рассматриваемого типа в подразделении заказчика, ед.

– при перевозке тарно-штучных грузов:

$$Q = Q_{факт.} + q_n^y \cdot L_{ВГХ} \cdot A_u^y \cdot n_{об.} + q_n^y \cdot (1 - L_{ВГХ}) \cdot A_u^y \cdot \Delta n_{об.}, \quad (Т) \quad (3)$$

где

q_n^y – номинальная грузоподъёмность универсального автомобиля рассматриваемого типа, т;

$L_{ВГХ}$ – коэффициент потери провозной способности парка универсальных автомобилей рассматриваемого типа от несоответствия их технических параметров весогабаритным характеристикам перевозимых грузов;

A_u^y – рабочий парк универсальных автомобилей рассматриваемого типа в подразделении заказчика, ед.;

$n_{об.}$ – число оборотов универсального автомобиля в подразделении заказчика при наличии потерь провозной способности автопарка, оборотов.

Величину $\Delta n_{об.}$ предлагается определять разностью числа оборотов единицы автопарка рассматриваемого типа в подразделении заказчика после и до реализации мероприятий по устранению потерь провозной способности:

– при перевозке металлургических шлаков и тарно-штучных грузов:

$$\Delta n_{об.} = \frac{(T_n - t_0) \cdot V_m \cdot (\beta + L_{расц.})}{((t_{n-p} + t_{КПП}) \cdot V_m \cdot (\beta + L_{расц.}) + l_{сп.}) \cdot (1 - L_{нр.})} - \frac{(T_n - t_0) \cdot V_m \cdot \beta}{(t_{n-p} + t_{КПП}) \cdot V_m \cdot \beta + l_{сп.}}, \quad (4)$$

где

T_n – время в наряде, ч;

t_0 – время на нулевой пробег, ч;

V_m – техническая скорость, км/ч;

β – коэффициент использования пробега за оборот;

$L_{расц.}$ – коэффициент потери провозной способности автопарка рассматриваемого типа за расчётный период от рассогласованности взаимодействия участников транспортного процесса;

t_{n-p} – время погрузки-разгрузки за езду, ч;

$t_{КПП}$ – продолжительность досмотра автомобиля на контрольно-пропускных пунктах за оборот, ч;

$L_{нр.}$ – коэффициент потери провозной способности автопарка рассматриваемого типа от простоев на линии.

– при перевозке навалочных и наливных производственных отходов:

$$\Delta n_{об.} = \frac{(T_n - t_0) \cdot V_m \cdot \beta \cdot ((1 - L_{нр.})^{-1} - 1)}{(t_{n-p} + t_{КПП}) \cdot V_m \cdot \beta + l_{сп.}}, \quad (5)$$

Коэффициент потери провозной способности автопарка от простоев на линии предлагается оценивать за расчётный период долей нерегламентированных простоев на линии:

$$L_{нр.} = \frac{\sum_{i=1}^{A_u} (I_{общ.}^{до} - I_{общ.}^{после})_i}{A_u \cdot \PhiРВ}, \quad (6)$$

где

$I_{общ.}^{до} - I_{общ.}^{после}$ – общий простой i -го автомобиля рассматриваемого типа в подразделении заказчика за расчётный период соответственно до и после реализации мероприятий по устранению потерь, ч;

A_u – рабочий парк автомобилей рассматриваемого типа в подразделении заказчика, ед.;

$\PhiРВ$ – фонд рабочего времени автомобиля рассматриваемого типа в подразделении заказчика за расчётный период, ч.

Коэффициент потери провозной способности автопарка от несоответствия технических параметров автомобилей весогабаритным характеристикам перевозимых грузов предлагается рассчитывать сум-

мированием неиспользованного тоннажа грузоподъёмности на объекте при наличии свободного места в кузове или на грузовой платформе универсального автомобиля:

$$L_{ВГХ} = \frac{\sum_{i=1}^{A_u^y} (\bar{\gamma}_c^{после} - \bar{\gamma}_c^{до})_i}{A_u^y}, \quad (7)$$

где

$(\bar{\gamma}_c^{после}, \bar{\gamma}_c^{до})$ – средний коэффициент статического использования грузоподъёмности i -го автомобиля рассматриваемого типа на объекте заказчика соответственно после и до реализации мероприятий по устранению потерь.

Коэффициент потери провозной способности автопарка от рассогласованности взаимодействия участников транспортного процесса предлагается определять разностью средних коэффициентов ис-

пользования пробега автомобилей рассматриваемого типа за оборот на объекте заказчика соответственно после и до реализации мероприятий по устранению потерь:

$$L_{расс.} = \bar{\beta}^{после} - \bar{\beta}^{до}. \quad (8)$$

Результативность практического использования предложенных математических моделей требует разработки соответствующего методического обеспечения. На это направлена предложенная методика повышения производительности автомобилей при транспортном обслуживании металлургического предприятия.

Методика повышения производительности автомобилей при транспортном обслуживании металлургического предприятия

Предлагаемая методика повышения производительности автомобилей при транспортном обслуживании металлургического предприятия в виде алгоритма приведена на рисунке 2. Основой предлагаемой методики является анализ наличия потерь производительности автомобилей каждого типа на объектах заказчика, независимо от вида перевозимого груза. Данная процедура начинается с формирования в ERP-системе отчёта о технико-эксплуатационных показателях работы автопарка в подразделениях металлургического предприятия за предыдущий плановый период.

Сформированные массивы данных анализируются TMS-системой, которая при наличии нерегламентированных простоев рекомендует разработать соответствующие оптимизационные мероприятия (таблица 1). Следует отметить, что общая продолжительность нахождения транспортного средства у заказчика складывается из его времени в движении и простоев всех видов на объектах.

Простоем транспортного средства считается про-

должительность его нахождения у заказчика по заявке без изменения своих GPS-координат в ГЛОНАСС. Сумма продолжительности нахождения автотранспортного средства на всех стоянках и продолжительность его остановок в пути следования при выполнении заявки является суммарным (общим) фактическим простоем транспортного средства у заказчика.

Основными мероприятиями, направленными на сокращение простоев автотранспорта на объектах заказчика, является предоставление приоритета в грузопереработке транспортных средств, корректировка их численности и графика работы. Сокращению простоев транспорта в подразделении заказчика способствует цифровизация документооборота, несмотря на то, что его реализация требует определённых затрат. Особенности и специфика использования электронных документов на автотранспорте на примере электронного путевого листа проанализированы в работах [3; 9].

При отсутствии нерегламентированных простоев на линии, потери провозной способности автопарка устраняются консолидацией транспортной работы нескольких подразделений заказчика одним транспортным средством за счёт поиска вариантов организации сборно-развозочных, кольцевых маршрутов и обратной загрузки. Предварительно системой оцениваются потери провозной способности из-за несоответствия технических параметров автомобилей весогабаритным характеристикам перевозимых грузов, а также больших холостых пробегов с использованием предложенного математического аппарата.

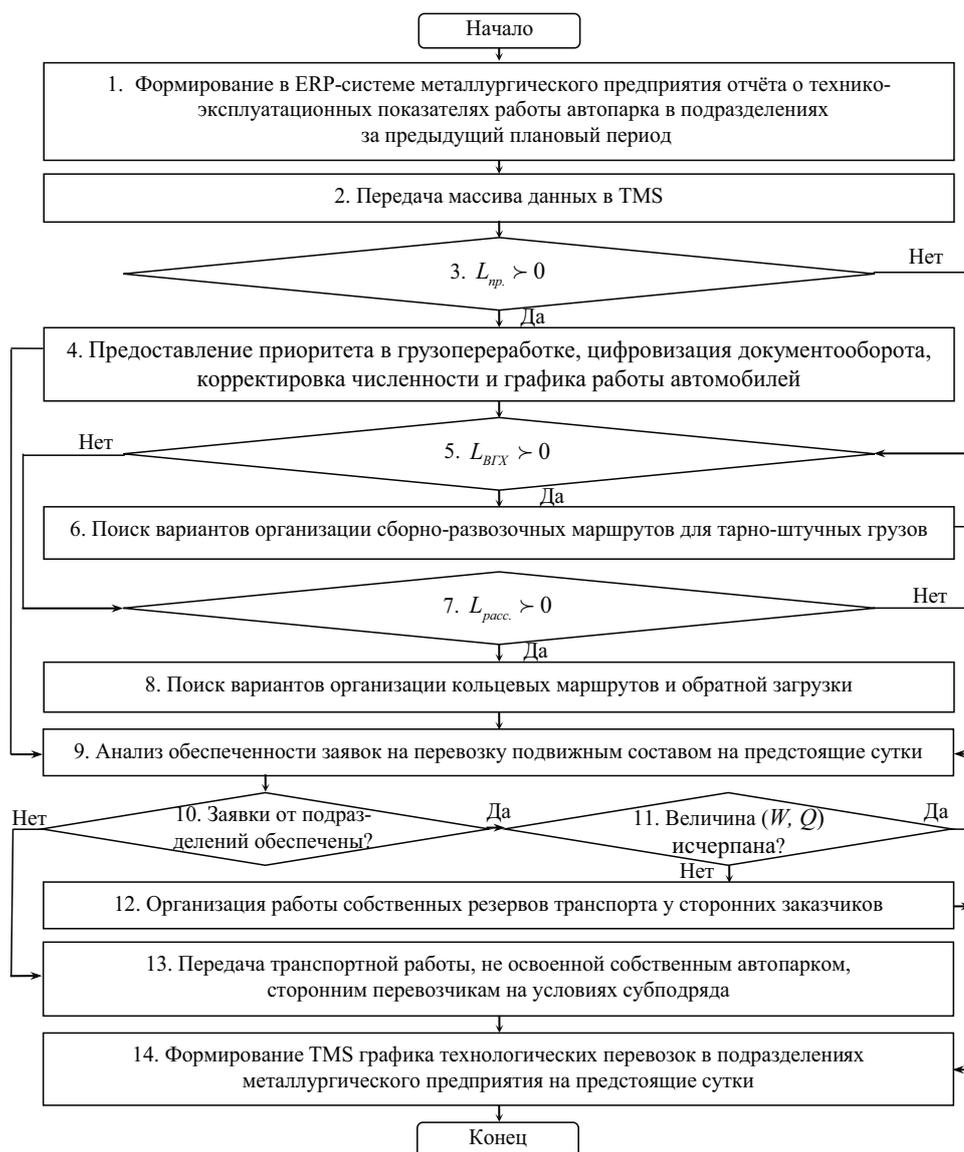


Рисунок 2. Алгоритм повышения производительности автомобилей при транспортном обслуживании металлургического предприятия

Источник: разработано автором

Разработанные рекомендации по устранению выявленных потерь учитываются TMS при формировании графика технологических перевозок в подразделениях металлургического предприятия, обязательного для выполнения, как заказчиком, так и перевозчиком. Резервы собственного автопарка направляются системой на выполнение заявок сторонних заказчиков. В случае, когда провозная способность собственного автопарка исчерпана, система передаёт неосвоенную транспортную работу сторонним перевозчикам. Итогом предложенного алгоритма является

формирование плана перевозок на предстоящие сутки.

Технико-экономическая оценка реализации результатов исследований

Расчёт экономического эффекта основывался на определении экономии готового бюджета на межцеховые автомобильные перевозки метизного производства одной из крупнейших отечественных металлургических компаний до и после реализации реконструктивных мероприятий. Реализация результатов про-

ведённых исследований на основе информационной системы управления транспортным обслуживанием рассматриваемой металлургической компании позволила автоматизировать мониторинг потерь провозной

способности автопарка металлургического предприятия. Величина выявленных потерь, результаты расчёта эффекта от реализации предлагаемых мероприятий приведены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты расчёта эффекта от снижения потерь провозной способности автопарка металлургического предприятия

Наименование мероприятия	Сокращаемый автопарк, ед.	Коэффициент потери провозной способности автопарка			
		обозначение коэффициента	до реализации	после реализации	эффект от снижения потери провозной способности
1. Совмещение заявки СПКЦ на перевозку проволоки и катанки между метизной и калибровочной площадками бортовым автомобилем КАМАЗ-53215 с заявкой на автосамосвалы КамАЗ-55111, закреплённые за этим же объектом	1	L_{np}	0,202	0,194	0,008
2. Вывод из транспортного процесса автосамосвала КамАЗ-55111 в ЦПП (график № 2Б) для перевозки проволоки и катанки в бухтах	1	L_{np}	0,347	0,31	0,037
3. Отказ от использования автосамосвала КамАЗ-55111 в Калибровочном цехе для перевозки круга в бухтах, проволоки навалом, пакетированных заготовок по графику № 2Б	1	L_{np}	0,29	0,238	0,052
4. Перевод автосамосвала КамАЗ-55111 (перевозка проволоки в якорях, катанки в бухтах, химических реагентов по графику № 4Б) в СПЦ на график № 2Б	0	L_{np}	0,247	0,177	0,07
5. Замена двух бортовых автомобилей КАМАЗ-53125 (11 т) для перевозки спецодежды и других тарно-штучных грузов на два бортовых автомобиля КамАЗ-4308 (5,5 т)	0	$L_{вгх}$	0,5	0	0,5

Примечание: № 2Б – двухбригадный график работы в одну дневную смену по 12 ч, семь рабочих дней в неделю; № 4Б – четырёхбригадный график, круглосуточная работа.

Источник: разработано автором

Из таблицы 3 следует, что для заданных условий перевозки, наиболее значимым оказалось снижение потерь провозной способности эксплуатируемого автопарка (п. 5) вследствие несоответствия технических параметров автомобилей весогабаритным характеристикам перевозимых грузов. Уменьшение численности автомобилей, на объектах заказчика, корректировка графика их работы, а также использование автомобилей меньшей грузоподъёмности позволило получить экономию годового бюджета на автотранспортное обслуживание метизного производства. Результаты расчёта приведены в таблице 4.

Результаты проведённого технико-экономического анализа и величина расчётного экономического эффекта в размере 15,3 млн рублей в год позволяют подтвердить практическую целесообразность реализации предлагаемых методических рекомендаций.

Заключение

В проведённом исследовании получены результаты, обладающие научной ценностью и практической значимостью. Цель исследования, состоящая в разработке математического аппарата количественной оценки потерь провозной способности автопарка и методики повышения производительности автомобилей, достигнута.

Научная ценность полученных результатов состоит в разработке математических моделей расчёта провозной способности автопарка при перевозке технологических грузов, учитывающие совокупные потери провозной способности, определяемые потенциальным эффектом в увеличении числа оборотов автомобиля, выполняемой транспортной работы или объёма перевозок.

Таблица 4. Величина экономии годового бюджета на транспортное обслуживание метизного производства металлургической компании

Предлагаемые рекомендации		Цех	Годовая экономия бюджета, тыс. руб.
содержание	наименование		
Уменьшение численности автомобилей на объекте	1. Совмещение заявки на бортовой автомобиль КамАЗ-53212 с заявкой на автосамосвалы КамАЗ-55111	Сталепроволочно-канатный	2 024,0
	2. Вывод из транспортного процесса самосвала КамАЗ-55111, работающего по графику № 2Б	Подготовки производства	4 380,0
	3. Отказ от использования автосамосвала КамАЗ-55111 по графику № 2Б	Калибровочный	4 380,0
Корректировка графика работы автомобилей	4. Изменение графика работы автосамосвала КамАЗ-55111	Сталепроволочный	4 015,0
Использование автомобилей меньшей грузоподъемности	5. Замена 2-х бортовых автомобилей КамАЗ-53121 грузоподъемностью 11 т на 2 бортовых автомобиля КамАЗ-4308 грузоподъемностью 5,5 т. Фонд оплаты труда водителей не изменился	Подготовки производства	470,3
Итого:			15 269,3

Источник: разработано автором

Кроме того, научная ценность результатов исследования заключается в показателях количественной оценки потерь провозной способности автопарка, основанных на определении доли нерегламентированных простоев автомобилей на линии, суммы неиспользованного тоннажа грузоподъемности на объекте заказчика при наличии свободного места в кузове или на грузовой платформе универсального автомобиля, доли пробегов с грузом в общем пробеге.

Практическая значимость полученных результатов обеспечивается предлагаемой методикой повышения производительности автомобилей при транспортном обслуживании металлургического предприятия, основанной на выявлении и устранении потерь провозной способности автопарка, за счёт

управления очередностью и продолжительностью грузопереработки, консолидации транспортной работы нескольких подразделений заказчика одним транспортным средством.

Целесообразность практической реализации результатов проведённых исследований подтверждается экономическим эффектом в результате экономии годового бюджета на автотранспортное обслуживание метизного производства крупной отечественной металлургической компании в размере 15,3 млн руб., за счёт уменьшения численности и структуры автопарка на объектах, изменения графика его работы. Дальнейшие исследования предполагается вести в направлении развития цифровых систем управления автомобильными перевозками.

Литература

1. Курбатова А. В., Чернова В. В. Выбор вида транспорта при перевозке продукции чёрной металлургии // Вестник университета. – 2014. – № 5. – С. 86–90. – EDN: SEPHNH.
2. Курганов В. Н., Грязнов М. В., Мукаев В. Н. Оптимизация затрат на автомобильные перевозки промышленного предприятия // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2018. – Т. 15. – № 5(63). – С. 672–685, <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2018-5-672-685>. – EDN: YNMBBR.
3. Курганов М. В., Грязнов М. В., Дорофеев А. Н. Функционал путевого листа в transportation management system // Вестник СибАДИ. – 2022. Том 19. – № 2. – С. 216–223, <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-2-216-223>. – EDN: OBNJGY.
4. Лазич Ю. В., Попова И. Н. Тенденции развития отрасли автомобильных грузоперевозок в России // BENEFICIUM. – 2020. – № 4 (37). – С. 19–27, [https://doi.org/10.34680/BENEFICIUM.2020.4\(37\).19-27](https://doi.org/10.34680/BENEFICIUM.2020.4(37).19-27). – EDN: MGRRJP.
5. Ларин О. Н., Куприяновский В. П. Вопросы трансформации рынка транспортно-логистических услуг в условиях цифровизации экономики // International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – Т. 6. – № 3. – С. 95–101. – EDN: YRYSJD.

6. Оценка баланса провозной способности полигонов сети железных дорог / А. Ф. Бородин [и др.] // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). – 2022. – Т. 81. – № 2. – С. 158–169, <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2022-81-2-158-169>. – EDN: RDALYA.
7. Плещенко В. И. К вопросу о выборе вида транспортировки при доставке продукции предприятий чёрной металлургии // Логистика сегодня. – 2020. – № 2. – С. 140–144, <https://doi.org/10.36627/2500-1302-2020-2-140-144>. – EDN: WLXJLD.
8. Проблемы внедрения интеллектуальных транспортных систем в регионах/ А. Н. Новиков [и др.] // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – № 1 (72). – С. 47–55, <https://doi.org/10.33979/2073-7432-2021-72-1-47-54>. – EDN: LJEINH.
9. Путь лист в цифровой модели эффективного автотранспортного предприятия/ М. В. Курганов [и др.] // International Journal of Advanced Studies. – 2022. – Т. 12. – № 1. – С. 7–33, <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2022-12-1-7-33>. – EDN: UEUIRS.
10. Филиппова Н. А., Власов В. М., Беляев В. М. Навигационный контроль доставки грузов в условиях севера России // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17. – № 4 (83). – С. 218–231, <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-4-218-231>. – EDN: HWBAGR.
11. Garza-Reyes J. et al. (2017) Improving Road Transport Operations using Lean Thinking, *27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*, FAIM2017, 27–30 June 2017, Modena, Italy, *Procedia Manufacturing*, Vol. 11, pp. 1900–1907, <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.332>.
12. Gryaznov M. et al. (2021) Road transport outsourcing for a metallurgical company and its alternatives, *Transportation Research Procedia*, Vol. 54, pp. 290–299, <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.075>.
13. Kurganov V. et al. (2020) Lean Transportation in Science is no Longer «Terra Incognita», In: Popovic, Z., Manakov, A., Breskich, V. (eds) *VIII International Scientific Siberian Transport Forum. TransSiberia. 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 1116, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37919-3_70.
14. Villarreal B., Garza-Reyes J., Kumar V. (2016) Lean road transportation – A systematic method for the improvement of road transport operations, *Production Planning & Control*, Vol. 27. Is. 11, pp. 865–877, <https://doi.org/10.1080/09537287.2016.1152405>, available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/46171186.pdf>, (accessed: 25.04.2023).
15. Womack J. P., Jones D. T. (2003) *Lean Thinking. Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*, New York at al., Free Press, 397 p.

References

1. Kurbatova, A. V., Chernova, V. V. (2014) [The choice of the mode of transport in the transportation of ferrous metallurgy products]. *Vestnik universiteta* [Bulletin of the University]. Vol. 5, pp. 86–90, <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-vida-transporta-pri-perevozke-gotovoy-produktsii-chnoy-metallurgii/viewer> (In Russ.).
2. Kurganov, V. N., Gryaznov, M. V., Mukaeв, V. N. (2018) [Optimization of costs for road transportation of an industrial enterprise]. *Vestnik SibADI* [Bulletin of SibADI]. Vol. 15, No. 5, pp. 672–685, doi.org/10.26518/2071-7296-2018-5-672-685. (In Russ.).
3. Kurganov, M. V., Gryaznov, M. V., Dorofeev, A. N. (2022) [The waybill functionality in the transportation management system]. *Vestnik SibADI* [Bulletin of SibAD]. Vol. 19. No. 2, pp. 216–223, doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-2-216-223. (In Russ.).
4. Lazich, Yu. V., Popova, I. N. (2020) [Trends in the development of the automotive freight industry in Russia]. *BENEFICIUM* [BENEFICIUM]. Vol. 4 (37), pp. 19–27, [doi.org/10.34680/BENEFICIUM.2020.4\(37\)](https://doi.org/10.34680/BENEFICIUM.2020.4(37)). (In Russ.).
5. Larin, O. N., Kupriyanovsky, V. P. (2018) [Issues of transformation of the market of transport and logistics services in the context of digitalization of the economy]. *Voprosy transformatsii rynka transportno-logisticheskikh uslug v usloviyakh tsifrovizatsii ekonomiki* [International Journal of Open Information Technologies]. Vol. 6. No. 3, pp. 95–101. (In Russ.).
6. Borodin, A. F. et al. (2022) [Assessment of the balance of the carrying capacity of the polygons of the railway network]. *Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta (Vestnik VNIIZHT)*. [Bulletin of the Scientific Research Institute of Railway Transport (Bulletin of VNIIZhT)]. Vol. 81(2), pp. 158–169, doi.org/10.21780/2223-9731-2022-81-2-158-169. (In Russ.).
7. Pleshchenko, V. I. (2020) [On the issue of choosing the type of transportation for the delivery of ferrous metallurgy products]. *Logistika segodnya* [Logistics today]. Vol. 2, pp. 140–144, doi.org/10.36627/2500-1302-2020-2-140-144. (In Russ.).
8. Novikov, A. N., Eremin, S. V., Kulev, A. V., Lomakin, D. O. (2021) [Problems of introducing intelligent

transport systems in the regions]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin* [World of transport and technological machines]. Vol. 1 (72), pp. 47–55, https://oreluniver.ru/public/file/archive/mtitm_MTiTM_1.pdf. (In Russ.).

9. Kurganov, M. V., Gryaznov, M. V., Dorofeev, A. N., Filippova, N. A. (2022) [Waybill in a digital model of an efficient motor transport enterprise]. *International Journal of Advanced Studies* [International Journal of Advanced Studies]. Vol. 12. No. 1, pp. 7–33, <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2022-12-1-7-33>. (In Russ.).

10. Filippova, N. A., Vlasov, V. M., Belyaev, V. M. (2019) [Navigational control of cargo delivery in the conditions of the north of Russia]. *Mir transporta* [World of transport]. Vol. 17. No. 4 (83), pp. 218–231, <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-4-218-231>. (In Russ.).

11. Garza-Reyes, J. et al. (2017) Improving Road Transport Operations using Lean Thinking]. 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM2017, 27–30 June 2017, Modena, Italy. *Procedia Manufacturing*. Vol. 11, pp. 1900–1907. (In Engl.).

12. Gryaznov, M., Kurganov, V., Vasiliev, V., Dorofeev, A. (2021) Road transport outsourcing for a metallurgical company and its alternatives. *Transportation Research Procedia*. Vol. 54. 2021, pp. 290–299, doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.075. (In Engl.).

13. Kurganov, V., Say, V., Dorofeev, A., Mukaev, V. (2019) Lean Transportation in Science is no Longer «Terra Incognita». *VIII International Scientific Siberian Transport Forum*. TransSiberia. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1116. Springer, Cham. doi.org/10.1007/978-3-030-37919-3_70. (In Engl.).

14. Villarreal, B., Garza-Reyes, J., Kumar, V. (2016) Lean road transportation – A systematic method for the improvement of road transport operations. *Production Planning & Control*. Vol.27 (11), pp. 865–877, <https://doi.org/10.1080/09537287.2016.1152405>, available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/46171186.pdf>, (accessed: 25.04.2023). (In Engl.).

15. Womack, J. (2003) Lean Thinking. Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. New York at al.: *Free Press*, 397 p. doi.org/10.1038/sj.jors.2600967. (In Engl.).

Информация об авторе:

Владимир Николаевич Мукаев, менеджер службы эксплуатации, ООО «Транспортная компания «Пассаж-Транс», Магнитогорск, Россия

ORCID ID: 0000-00022804-4262

e-mail: mukaev.vn@gmail.com

Статья поступила в редакцию: 19.05.2023; принята в печать: 31.07.2023.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Information about the author:

Vladimir Nikolaevich Mukaev, Operations Service Manager, Transport company «PassageTrans» LLC, Magnitogorsk, Russia

ORCID ID: 0000-00022804-4262

e-mail: mukaev.vn@gmail.com

The paper was submitted: 19.05.2023.

Accepted for publication: 31.07.2023.

The author has read and approved the final manuscript.