



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656:519.8:669.013.5:004

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-12>

Совершенствование информационного взаимодействия металлургического комбината и операторских компаний



Алексей ПОПОВ



Ольга СУСЛОВА



Артем КОБЕРНИЦКИЙ



Артем ХМЕЛЕВ

Алексей Тимофеевич Попов¹, Ольга Анатольевна Суслова²,
Артем Александрович Коберницкий³, Артем Сергеевич Хмелев⁴

^{1, 2, 3, 4} Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия.

✉ khmeleff_art@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

Современный уровень развития мировой экономики предполагает острую конкурентную борьбу как на внешних, так и на внутренних рынках. В этих условиях всё более очевидным становится тот факт, что рост прибыли и, соответственно, дальнейшее развитие компаний будут осуществляться не столько за счёт экспансии, сколько за счёт улучшения сервиса для клиентов, роста ассортимента предлагаемых товаров и услуг, повышения качества продукции и снижения производственных издержек.

Главную роль в оптимизации технологических процессов на текущий момент играет цифровая трансформация производства. Внедрение передовых информационных технологий имеет огромное значение для всех мировых компаний, так как с ростом уровня развития информационных систем совершенствуются бизнес-процессы, повышается безопасность и экологичность.

Зарубежные исследования показывают, что применение современных информационных технологий на транспорте необходимо для повышения безопасности движения, снижения воздействия на экологию, роста эффективности перевозочного процесса.

Российский горно-металлургический комплекс наравне с нефтегазовой отраслью вносит значительный вклад в развитие экономики страны. Сложная производственная технология, большой объём перевозок, вредные и опасные условия труда персонала – всё это обуславливает необходимость развития цифровой среды для увеличения производительности труда и объёмов выпускаемой продукции.

Целью исследования является изучение возможности применения информационных систем контроля и прогнозирования для решения технических, технологических и организационных задач на железнодорожном транспорте металлургии.

В статье используются сравнительный анализ, общенаучные и математические методы исследования.

Авторы изучают роль информационных систем в цифровой трансформации производства, приводят методику создания стохастической модели прогнозирования прибытия отправительских маршрутов на предприятие и рассматривают направления развития в области цифровой трансформации промышленного транспорта.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, стохастическое моделирование, металлургическое предприятие, информационные системы.

Для цитирования: Попов А. Т., Суслова О. А., Коберницкий А. А., Хмелев А. С. Совершенствование информационного взаимодействия металлургического комбината и операторских компаний // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 4 (95). С. 110–116. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-12>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Результаты международных исследований, обосновывающих позитивную роль применения современных информационных технологий на транспорте для повышения безопасности движения, снижения воздействия на экологию, роста эффективности перевозочного процесса [1, с. 12; 2, с. 36; 3, с. 692], в полной мере могут быть применены и для анализа деятельности промышленного транспорта, в частности, железнодорожного.

На сегодняшний день почти каждое промышленное предприятие имеет свою развитую логистическую систему, от эффективности работы которой зависит производительность его мощностей, оборот подвижного состава и расходы компании.

На металлургических комбинатах от правильно выстроенной стратегии по доставке сырья от мест добычи полезных ископаемых до цехов основного производства, а затем готовой продукции до потребителя зависит себестоимость производства. Снижение затрат на транспортировку и складирование грузов, увеличение ежемесячного и годового оборота продукции положительно влияют на эффективность производственного процесса.

Именно поэтому так важны системное развитие, оптимизация и совершенствование всех логистических цепей поставок и сбыта, ведь от этого зависит будущее развитие промышленного предприятия.

Основная роль и задача логистики заключаются в закупке, снабжении, сбыте, транспортировке и хранении товарно-материальных ценностей.

В рамках данной научной статьи будет рассмотрено исследование, *целью* которого являлся анализ и прогнозирование перспективных форм взаимодействия промышленного предприятия полного цикла производства (металлургического комбината) с операторскими компаниями, которые являются собственниками подвижного железнодорожного состава [4, с. 299]. В общем виде это можно представить как взаимодействие магистрального железнодорожного транспорта и транспорта необщего пользования. На различных этапах исследования использовался *метод* прогнозирования на основе статистической математической стохастической модели с элементами теории вероятностей.

Транспортная логистика – сложный процесс планирования, основанный на анализе спроса на готовую продукцию в соответствии с запро-

сами потребителей. Зная конечные параметры по объёмам производства, специалисты выбирают требуемый тип подвижного состава, его необходимое количество, планируют объёмы и маршрут перевозки с учётом условия минимизации транспортных затрат, а также осуществляют оформление транспортной документации. Результатом работы является удовлетворение спроса на готовую продукцию и обеспечение производственных цехов сырьевыми грузами.

Логистику можно разделить на два вида:

1) внутреннюю, которая обеспечивает транспортное обслуживание цехов внутри производственной площадки (например, перевозка горячего чугуна из доменного цеха в конвертерный);

2) внешнюю, целью которой является взаимодействие между различными предприятиями – поставщиками и потребителями – в сфере перевозки сырья, готовой продукции, оборудования и прочих грузов посредством магистрального транспорта.

Логистика в деятельности предприятия – главное связующее звено между всеми этапами производства, а на данном этапе развития технологий и усложнения цепей поставок без применения мощных информационных систем поддержки принятия решений невозможно эффективное управление производственно-коммерческой деятельностью предприятия.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Прогнозирование прибытия вагонопотоков

При построении модели прогнозирования прибытия вагонов на предприятие необходимо определить границы периода прогнозирования или, другими словами, горизонт планирования. Именно эта модель и будет являться основой для функционирования информационной системы контроля и прогнозирования работы на железнодорожном транспорте металлургии.

Здесь следует учесть, что горизонт прогнозирования должен быть оптимальным как с технической, так и с экономической точек зрения. С увеличением периодов планирования растёт и неопределённость по причине того, что возрастает количество факторов, влияющих на продвижение подвижного состава по сети, следовательно, точность прогноза падает. Условно горизонт планирования авторами разделён на три уровня прогнозирования (рис. 1):

- 1) оперативный – трёхчасовой период;
- 2) сменный – двенадцатичасовой;
- 3) суточный – двадцатичетырёхчасовой.



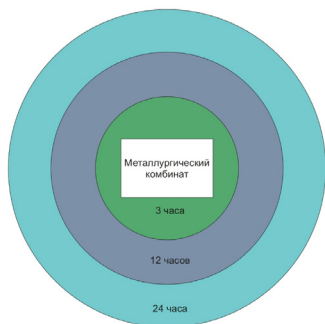


Рис. 1. Уровни прогнозирования вагонопотоков (выполнено авторами).

После определения горизонта планирования требуется разработать модель прогнозирования прибытия вагонов на металлургический комбинат. Это позволит усовершенствовать технологическое взаимодействие промышленного и магистрального железнодорожного транспорта на станциях примыкания путём повышения качества планирования поездной работы по обмену поездами, что приведёт к сокращению оборота вагонов, повышению коэффициентов использования вывозных локомотивов и снижению занятости элементов путевой инфраструктуры.

В настоящее время существует несколько методов прогнозирования [5, с. 120; 6, с. 74; 7, с. 320; 8, с. 129]:

- 1) Интуитивные методы, которые основаны на выводах экспертов в исследуемой области;
- 2) Математические методы, которые базируются на математическом аппарате и подразделяются на:

- модели предметной области;
- модели временных рядов:
 - статистические модели;
 - структурные модели.

В данном исследовании для построения прогноза прибытия отправительских маршрутов авторы предлагают применить статистическую математическую стохастическую модель, используя элементы теории вероятностей. Для этого время хода по сети со станции отправления до станции назначения каждого поезда будет принято за вероятностный эксперимент по следующим причинам: для металлургической отрасли отправление маршрутов с сырьём осуществляется регулярно и ежедневно, составы поездов однотипны и маршрут следования аналогичен. Кроме этого, прибытие поезда на предприятие конкретно в i -й момент времени является случайным событием из-за того, что на отправительский маршрут

во время следования действует бесконечное количество факторов, полностью учесть которые не представляется возможным. В их числе могут быть, например, поломка локомотива, попадание на технологическое «окно» в графике, выявление брака вагона с последующей отцепкой, человеческий фактор в действиях локомотивных бригад, поездных диспетчеров, дежурных по станциям и прочее. Таким образом, время хода поезда является случайной величиной.

Прогнозируемое время прибытия поезда на станцию в общем виде определяется как:

$$t = t_{1\text{отгр}} + t_{1\text{хода}}(P), \quad (1)$$

где t_1 – момент времени отгрузки, ч (сут);

$t_{1\text{хода}}(P)$ – функция времени хода до станции назначения, зависящая от вероятности P , ч (сут).

Отсюда видно, что значение прогнозируемого времени прибытия носит вероятностный характер, а сама функция является вероятностной.

В качестве примера авторами рассматривается выборка из 100 значений времени хода маршрутов с коксом доменным сухого тушения в летний период со станции Заринская до станции Новолипецк в сутках. Все расчёты числовых характеристик случайной величины произведены авторским коллективом *математическими методами* в программе Statistica от компании Statsoft. Полученная гистограмма распределения значений в сравнении с кривой распределения Гаусса приведена на рис. 2.

Применение *метода сравнительного анализа* показывает значительное отклонение гистограммы от кривой нормального распределения в левую сторону, удлинение правого «хвоста» и ярко выраженный пик. Проверка указанного распределения на нормальность проводится с применением критериев Колмогорова–Смирнова и Шапиро–Уилка.

Исследование методом Колмогорова–Смирнова [9, с. 60]:

$$D_n = \sup_x |F_n(x) - F(x)|, \quad (2)$$

где $\sup_x$ – точная верхняя грань множества;

$F_n(x)$ – функция распределения исследуемой совокупности;

$F(x)$ – функция нормального распределения.

Допустимое значение уровня значимости – более 0,05. В противном случае гипотеза о нормальности отклоняется.

Проверка по модифицированному критерию Шапиро–Уилка осуществляется по формуле [10, с. 605]:

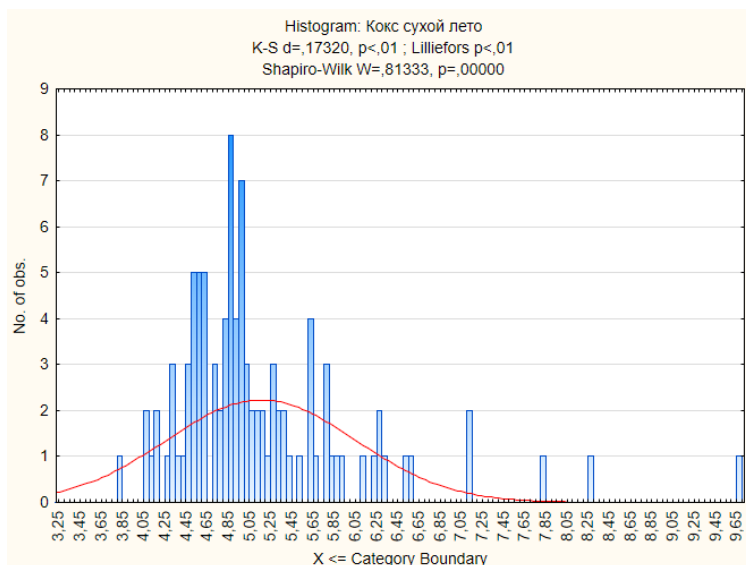


Рис. 2. Гистограмма распределения времени хода маршрутов (выполнено авторами).

$$W = \frac{[\sum_{i=1}^n a_{n-i-1} (x_{n-i-1} - x_i)]^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (3)$$

где i – порядковый номер элемента в исследуемом ряду;

n – объём совокупности;

$\bar{x}$ – среднееарифметическое значение;

a_{n-i-1} – табличный коэффициент.

Проверка по указанным критериям с применением пакета программ Statistica показывает несоответствие исследуемого распределения нормальному. По результатам исследования в программе Statistica авторами определены числовые характеристики, которые приведены в табл. 1, и построен график прогнозируемого времени прибытия для суточного периода с трёхчасовыми интервалами в общем виде для маршрута кокса сухого тушения (рис. 3).

Построенный график планируемого прибытия в автоматическом режиме передаётся во внутреннюю информационную систему [11, с. 231].

Автоматизированная система мониторинга расположения подвижного состава на железнодорожных путях промышленного предприятия

Углублённое изучение вопроса логистического взаимодействия промышленного предприятия и операторских компаний показывает, что данный процесс является трёхсторонним – производственные цехи, промышленная транс-

портная система и магистральные пути сообщения неразрывно связаны между собой [12, с. 636].

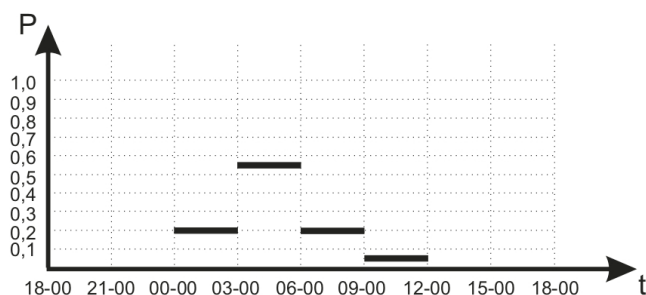
Создание единого информационного поля позволит всем участникам логистического процесса контролировать соответствующие показатели работы транспортной системы, охватывать планированием и перманентным контролем всю логистическую цепочку от момента зарождения грузопотока до его потребления, а также выстраивать стратегию дальнейшего развития [13, с. 265].

После внедрения единой автоматизированной системы мониторинга расположения подвижного состава на предприятии будут визуализированы все процессы, через которые проходит вагон на промышленной площадке. Предлагаемая авторами концепция работы системы для промышленной железнодорожной станции металлургического предприятия представлена на рис. 4.

Данная система контролирует перемещение вагонов по производственной площадке и время технической и коммерческой обработки составов, повышает скорость приёмки и отправки грузов и сопутствующих операций по документообороту, минимизирует влияние человеческого фактора. В перспективе предполагается внедрение элементов искусственного интеллекта, алгоритм работы которого позволит вычислять оптимальные маршруты при маневровой работе с целью сокращения транспортных затрат и рисков.



Рис. 3. График вероятности прибытия маршрута в трёхчасовой интервал (выполнено авторами).



Распознавание инвентарных номеров (СТУ) подвижного состава производится с вероятностью не менее 95 % (для чистых, хорошо читаемых номеров, соответствующих требованиям нумерации вагонов грузового парка железных дорог колеи 1520 мм) при любых погодных условиях и различной степени освещённости. Скриншот программы, работающей на железнодорожной станции металлургического предприятия, приведён на рис. 5.

Таким образом, информационная система позволяет полностью автоматизировать процесс документальной регистрации прохождения железнодорожных составов через контролируемую зону с обеспечением функций осмотра в техническом и коммерческом отношении. Полученные данные могут быть использованы как для целей учёта, так и в качестве доказательной базы при возникновении спорных ситуаций с контрагентами [14, с. 55].

С помощью системы контроля положения подвижного состава каждый участник перевозочного процесса в режиме реального времени может контролировать конкретные показатели работы.

Таблица 1
Числовые характеристики случайной величины (выполнено авторами)

Наименование характеристики	Обозначение	Значение
1	2	3
Математическое ожидание	M	5,159
Медиана	Med	4,942
Среднеквадратичное отклонение	σ	0,798
Коэффициент асимметрии	β_1	2,237
Коэффициент эксцесса	β_2	7,333
Доверительный интервал, 95 %	—	(3,378; 6,940)

Используя сравнительный анализ, можно выделить преимущества системы автоматизированного мониторинга расположения подвижного состава:

1) Для производственных цехов:

- контроль перемещения вагонов с сырьём как на внешней, так и на внутренней площадках;
- контроль подачи порожнего подвижного состава под погрузку готовой продукции;
- корректировка данных и ввод дополнительной информации для других участников;
- оптимизация взаимодействия основного производства и промышленной транспортной системы, которая его обслуживает [15, с. 66].

2) Для транспорта необщего пользования:

- контроль перемещения гружёного и порожнего подвижного состава как на магистральной сети, так и на производственной площадке;
- координация взаимодействия производственных цехов и магистрального транспорта с учётом вводных параметров от других участников перевозочного процесса;
- сокращение транспортных расходов при условии осуществления манёвров по оптимальным маршрутам;
- контроль передвижения локомотивов, что повысит эффективность использования тягового подвижного состава на путях необщего пользования [16, с. 53].

3) Для компаний операторов, собственников вагонов внешнего парка:

- визуализация всего логистического процесса, которая позволяет прогнозировать время сдачи подвижного состава на сеть;
- планирование отправляемых вагонопотоков.

Экономическая составляющая проекта

Экономическая составляющая проекта для промышленного предприятия при условии внедрения в эксплуатацию автоматизированной системы прогнозирования прибытия и монито-

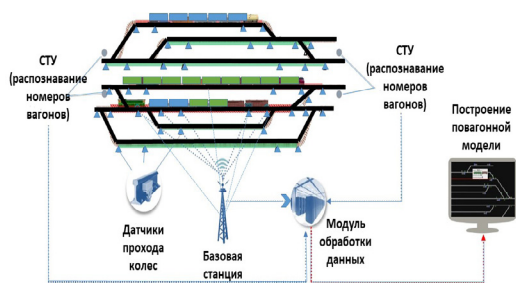


Рис. 4. Концепция работы системы контроля перемещения вагонов и локомотивов в реальном времени (выполнено авторами).



Рис. 5. Пример работы системы за контролем перемещения подвижного состава (выполнено авторами).

ринга расположения подвижного состава на железнодорожных путях необщего пользования на производственной площадке будет оцениваться в виде годового экономического эффекта и срока окупаемости:

$$T = K / (\Delta - \Delta_1), \quad (4)$$

где T – срок окупаемости проекта, лет;

K – капитальные затраты на реализацию проекта, руб.;

Δ_1 – дополнительные годовые расходы на содержание системы, руб.;

Δ – экономический эффект от проекта, руб.;

$$\Delta = (t_2 - t_1) \cdot V \cdot P, \quad (5)$$

где t_2 , t_1 – среднее время нахождения вагонов на промышленной площадке до и после внедрения системы, ч;

V – годовое количество вагонов, приходящее на предприятие, ваг.;

P – ставка привлечения подвижного состава за единицу времени, руб./ваг.ч.

Авторским коллективом определён помещенный средневзвешенный оборот вагона на площадке по данным за 2020 год (рис. 6).

Все расчётные экономические данные, приведённые в статье, указаны по экспертным оценкам.

Капитальные затраты K на внедрение данного проекта составят – 31 млн руб.

Годовые эксплуатационные расходы Δ_1 после внедрения системы – 1,9 млн руб./год.

Позитивный прогноз по сокращению показателя времени оборота вагонов внутри промышленной площадки даёт основание полагать, что будет достигнут экономический эффект за счёт [17, с. 187]:

- оптимизации трудозатрат на контроль входящих и исходящих вагонов – 4,8 млн руб./год;
- контроля соблюдения требований перевозчика – 2,4 млн руб./год;
- сокращения затрат на ведение документооборота по вагонам – 2,5 млн руб./год.

Таким образом, общий экономический эффект от внедрения системы должен составить около 9,7 млн руб./год. Следовательно, срок окупаемости проекта составит 4 года.

ВЫВОДЫ

Совершенствование информационного взаимодействия всех участников перевозочного процесса принесёт экономический эффект за счёт улучшения качества оперативной работы, снижения трудозатрат, сокращения оборота вагонов как на подъездном пути предприятия, так и на внешней сети [18, с. 183].

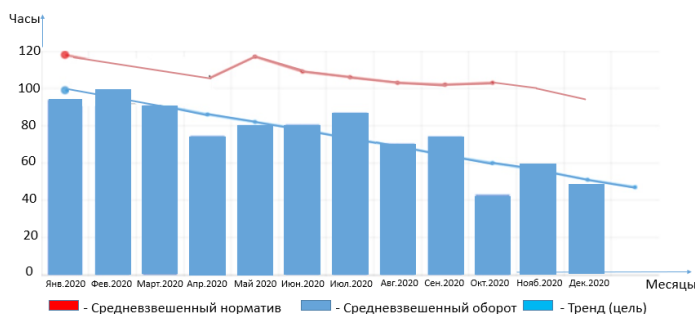


Рис. 6. Помесячный средневзвешенный оборот вагонов на промышленной площадке до и после внедрения системы (выполнено авторами).





Математический аппарат прогнозирования позволит планировать равномерный подход поездов к станциям примыкания, в то время как автоматизированная система контроля подвижного состава на подъездном пути составит оптимальный план маневровых работ с прибывающим подвижным составом. Совершенствование алгоритма работы системы, а также его дальнейшее обучение, например, на базе искусственных нейронных сетей, позволит получить ещё больший технический и, следовательно, экономический эффект.

Высокие цены на металлы на внешних и внутренних рынках в совокупности с ростом объёмов производства обуславливают увеличение и объёмов перевозок грузов чёрной металлургии. При сохранении данной тенденции экономический эффект окажется выше прогнозируемого.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Deng, Hsien-Wen; Shue, Mitch; Rahman, N., Chowdhury, M., Salek, M. S. Commercial Cloud Computing for Connected Vehicle Applications in Transportation Cyber-Physical Systems: A Case Study. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, 2021, Vol. 13, Iss. 1, pp. 6–19. DOI: 10.1109/ITS.2020.3037314.
2. Durmusoglu, A., Unitmaz Durmusoglu, Z. D. Traffic Control System Technologies for Road Vehicles: A Patent Analysis. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, 2021, Vol. 13, Iss. 1, pp. 31–41. DOI: 10.1109/ITS.2020.3037319.
3. Zheng, Shi-Teng; Jiang, Rui; Jia, Bin; Gao, Ziyu; Tian, Junfang. Impact of Stochasticity on Traffic Flow Dynamics in Macroscopic Continuum Models. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 2020, Vol. 2674, Iss. 10, pp. 690–704. DOI: 10.1177/0361198120937704.
4. Хмелев А. С., Попов А. Т. Обзор рынка железнодорожных грузоперевозок // Школа молодых учёных по проблемам технических наук: Сборник материалов областного профильного семинара. – Липецк: ЛГТУ, 2018. – С. 298–302. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36483271>. Доступ 27.05.2021.
5. Игумнов А. О., Сонькин Д. М. Разработка методики построения прогноза времени прибытия с использованием статистических и фактических данных о движении транспортных средств по принципу подбора шаблонов // Наукоедение. – 2016. – № 3. – 12 с. [Электронный ресурс]: <https://naukovedenie.ru/PDF/34TVN316.pdf>. Доступ 27.05.2021.
6. Лысков М. Г., Ольшанский А. М. О некоторых подходах к прогнозированию прибытия поездов на сортировочные станции // Вестник транспорта Поволжья. – 2014. – № 4. – С. 74–81. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22408162>. Доступ 27.05.2021.

7. Хакен Г. Синергетика. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. – М.: Мир, 1985. – 424 с.

8. Шрайбер Т. Дж. Моделирование на GPSS. – М.: Машиностроение, 1980. – 592 с.

9. Болдин М. В. О мощности критериев Колмогорова–Смирнова для проверки нормальности авторегрессии // Обозрение прикладной и промышленной математики. – 2019. – Т. 26. – № 1. – С. 60–61. [Электронный ресурс]: <http://tvp.ru/conferen/vspmmXX/kidso018.pdf>. Доступ 27.05.2021.

10. Shapiro, S. S., Wilk, M. B. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). Biometrika, 1965, Vol. 52, No. 3/4, pp. 591–611. [Электронный ресурс]: <http://links.jstor.org/sici?sici=0006-3444%28196512%2952%3A3%2F4%3C591%3AAA0VTF%3E2.0.CO%3B2-B>. Доступ 27.05.2021.

11. Хмелев А. С., Суслова О. А., Попов А. Т. Информационная система контроля сырьевых грузов металлургического предприятия // Мир транспорта. – 2019. – № 5. – С. 228–243. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-5-228-243>.

12. Бауэрсекс Д. Д., Клосс Д. Д. Логистика: Интегрированная цепь поставок. 2-е изд. – М.: Олимп-Бизнес, 2008. – 640 с. [Электронный ресурс]: <https://bookree.org/reader?file=629885&pg=4>. Доступ 27.05.2021.

13. Хмелев А. С., Попов А. Т. Оптимизация взаимодействия промышленного предприятия и операторских компаний // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте ИТТ 2018: Материалы I международной научно-практ. конференции. – Липецк: ЛГТУ, 2018. – С. 262–269. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_36566283_33859231.pdf. Доступ 27.05.2021.

14. Попов А. Т., Коберницкий А. А. Цифровизация промышленной железнодорожной транспортной системы // Экономика железных дорог. – 2021. – № 2. – С. 50–59. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44738832>. Доступ 27.05.2021.

15. Попов А. Т., Воронина О. В. Оценка последствий несвоевременного транспортного обслуживания цехов предприятия // Мир транспорта. – 2018. – № 1. – С. 66–81. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1406>. Доступ 27.05.2021.

16. Попов А. Т., Коберницкий А. А. Позиционирование локомотивов в промышленной транспортной системе // Экономика железных дорог. – 2021. – № 3. – С. 51–59. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44857642>. Доступ 27.05.2021.

17. Хмелев А. С., Попов А. Т. Совершенствование методики расчёта средневзвешенного оборота полувагонов металлургического предприятия // Мир транспорта. – 2020. – № 1. – С. 184–195. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-184-195>.

18. Коберницкий А. А., Попов А. Т. Потенциал операторских компаний на современном транспортном рынке // Инженерия в строительстве и транспорте. Актуальные исследования в современной науке: Материалы научно-практической конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета. – Липецк: ЛГТУ, 2019. – С. 183–184. ●

Информация об авторах:

Попов Алексей Тимофеевич – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой организации перевозок Липецкого государственного технического университета (ЛГТУ), Липецк, Россия, porov@stu.lipetsk.ru.

Суслова Ольга Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры организации перевозок Липецкого государственного технического университета (ЛГТУ), Липецк, Россия, suslova_2003@mail.ru.

Коберницкий Артем Александрович – аспирант кафедры организации перевозок Липецкого государственного технического университета (ЛГТУ), Липецк, Россия, tim-cobra@mail.ru.

Хмелев Артем Сергеевич – аспирант кафедры организации перевозок Липецкого государственного технического университета (ЛГТУ), Липецк, Россия, khmeleff_art@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 20.05.2021, одобрена после рецензирования 25.08.2021, принята к публикации 10.09.2021.