

РАЗРАБОТКА НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАРЬЕРНОГО ТРАНСПОРТА

А.Н. Новиков¹, И.А. Новиков², Н.А. Загородний^{2*}, А.С. Семькина²

¹Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева,
г. Орел, Россия;

²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород, Россия

*n.zagorodnij@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. В статье рассматриваются инновационные и информационные технологии, система идентификации, целью применения которых является повышение эффективности эксплуатации карьерного транспорта. Разработан алгоритм работы автотранспорта в карьере в имитационной модели. Представлена методика расчета рационального количества карьерного транспорта по перевозке железорудного сырья с места добычи в карьере на временный пункт хранения.

Методы и материалы. Для управления процессом транспортирования на ГОКах требуется применение усовершенствованных методов и способов оптимизации транспортных потоков по снижению затрат в системе «карьер-склад/обогащительная фабрика-производство», учитывающие динамичность процессов. Для повышения эффективности эксплуатации карьерного транспорта требуется применение инновационных и информационных технологий, системы идентификации. В качестве научно-методического подхода используется предварительная регистрация карьерного транспорта и фиксация времени процессов погрузки-разгрузки, перемещения груза. Для организации работы процесса транспортирования необходима разработка алгоритма работы карьерного транспорта в имитационной модели, который позволит осуществить сбор информации о состоянии всех временных пунктов хранения, продолжительность операций процесса перевозки и др. Внедрение результатов использования методики расчета рационального количества автотранспортных средств позволяет достичь эффективного процесса транспортирования железорудного сырья из карьера на временный пункт хранения.

Результаты. Авторами разработаны научно-методические подходы для повышения эффективности эксплуатации карьерного транспорта.

Заключение. Проведены исследования организации работы процесса транспортирования железорудного сырья на горно-обогащительном комбинате. Сделан вывод о необходимости разработки научно-методических подходов для повышения эксплуатации карьерного транспорта. Разработан алгоритм работы карьерного транспорта в имитационной модели, который позволяет учитывать влияние системы управления и распределения самосвалов на количество экскаваторов и своевременную подачу самосвалов к пунктам хранения. Представлена методика расчета рационального количества карьерного транспорта по перевозке железорудного сырья.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: карьер, железорудное сырье, карьерный транспорт, процесс транспортирования, эксплуатация карьерного транспорта.

Поступила 23.07.20, принята к публикации 25.12.2020.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: А.Н. Новиков, И.А. Новиков, Н.А. Загородний, А.С. Семькина. Разработка научно-методических подходов для повышения эффективности эксплуатации карьерного транспорта. *Вестник СибАДИ*. 2020; 17 (6): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-690-703>

© Новиков А.Н., Новиков И.А., Загородний Н.А., Семькина А.С.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-690-703>

DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL APPROACHES TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF QUARRY TRANSPORT OPERATION

Alexander N. Novikov¹, Ivan A. Novikov², Nikolay A. Zagorodnij^{2*}, Alla S. Semykina²

¹Orel State University named after I. S. Turgeneva

²Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhova

*n.zagorodnij@yandex.ru

ABSTRACT

Introduction. The article discusses innovative and information technologies, an identification system, the purpose of which is to increase the efficiency of the operation of open pit transport. An algorithm for the operation of vehicles in a quarry in a simulation model has been developed. The method of calculating the rational amount of quarry transport for the transportation of iron ore from the place of extraction in the quarry to a temporary storage point is presented.

Methods and materials. To manage the transportation process at GOK, it is required to use improved methods and methods for optimizing transport flows to reduce costs in the system "quarry-warehouse / processing plant-production", taking into account the dynamics of processes. To increase the efficiency of the operation of open-pit vehicles, the use of innovative and information technologies, an identification system is required. As a scientific and methodological approach, preliminary registration of open pit transport and fixing the time of loading and unloading processes, cargo movement are used. To organize the operation of the transportation process, it is necessary to develop an algorithm for the operation of open pit transport in a simulation model, which will allow collecting information about the state of all temporary storage points, the duration of the transportation process, etc. The implementation of the results of using the methodology for calculating a rational number of vehicles allows to achieve an effective raw materials from the quarry to a temporary storage point.

Results. The authors have developed scientific and methodological approaches to improve the efficiency of mining transport operation.

Conclusion. Research of the organization of work of the process of transportation of iron ore raw materials at the mining and processing plant has been carried out. It is concluded that it is necessary to develop scientific and methodological approaches to improve the operation of open pit transport. An algorithm for the operation of open pit transport in a simulation model has been developed, which allows taking into account the influence of the control and distribution system of dump trucks on the number of excavators and the timely delivery of dump trucks to storage points. The method of calculating the rational amount of quarry transport for the transportation of iron ore raw materials is presented.

KEYWORDS: quarry, iron ore, quarry transport, transportation process, operation of quarry transport.

Submitted 23.07.20, revised 25.12.2020.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation: A.N. Novikov, I.A. Novikov, N.A. Zagorodnij, A.S. Semykina. Development of scientific and methodological approaches to improve the efficiency of quarry transport operation. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (6): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-690-703>

© Novikov A.N., Novikov I.A., Zagorodnij N.A., Semykina A.S.



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Карьерный транспорт играет ключевую роль в производственных процессах добычи полезных ископаемых в карьерах горно-обогатительных комбинатов. Проблема перевозки полезных ископаемых, создание рациональных маршрутов остается наиболее значимой для горно-обогатительных комбинатов [1].

В процессе транспортирования железорудного сырья возникает ряд проблем, связанных с техническим состоянием транспорта, дорожным полотном, выбором маршрутизации движения, состоянием работников, информационным обеспечением и др. Реализация металлургической продукции зависит от сроков перевозки, ассортимента, сезонности, эластичности спроса, а также от ограничений, налагаемых заказчиком. Для наиболее эффективного управления транспортно-логистическими процессами по перевозке железной руды из карьера на промежуточный или усредненный склад, обогатительную фабрику необходимо применять усовершенствованные методы и способы оптимизации транспортных потоков по снижению затрат в системе «карьер-склад/ обогатительная фабрика-производство», учитывающие динамичность процессов [2].

Технологический процесс добычи железорудного сырья может сопровождаться различными сбоями и нарушениями в работе, а также остановкой всего процесса добычи, связанными с возникновением неточностей и ошибками в процессе транспортирования карьерным транспортом. Для решения возникающих проблем, связанных с повышением эффективности эксплуатации карьерного транспорта, требуется разработка научно-методических подходов и их применение в организации процесса перевозки железорудного сырья карьерным транспортом от места добычи до фабрики производства или склада [3].

Карьерный транспорт является связующим элементом в технологическом процессе производства добычи железорудного сырья, который обеспечивает движение сырья на всех этапах производства вплоть до получения готовой продукции. Эксплуатация карьерного транспорта позволяет уменьшить временные затраты на добычу сырья и изготовление получаемых из него продуктов, а также снизить материальные затраты за счет изменения сроков доставки в пункт назначения карьерным транспортом [4].

Повышение эффективности эксплуатации карьерного транспорта, сохранность пере-

возимого груза, обеспечение бесперебойной работы цепочки «экскаватор-самосвал», обеспечение долговечности и работоспособности узлов и агрегатов транспорта являются целью технологического процесса транспортирования любого горно-обогатительного предприятия [5].

Добыча железорудного сырья осуществляется на постоянной основе, регулярно. В момент добычи залежей горнорудных пород задействовано большое количество автотранспортных средств, каждое из которых выполняет свои функции в выполнении производственного процесса. В связи с этим непосредственно в месте добычи и на временных пунктах хранения могут возникать застои транспорта. Для этого требуется координация режимов работы транспорта и определение промежуточного интервала работы между экскаватором и самосвалом. Длительность ожидания погрузки-разгрузки может быть различной и зависит от разных факторов [6].

Увеличение длительности простоя может привести к негативным последствиям и нарушениям процесса транспортирования железорудного сырья и всего процесса добычи в целом. Ухудшение экологической обстановки, снижение пропускной способности, появление отказов и неисправностей автотранспортных средств, появление аварийных ситуаций, возникновение скопления нескольких самосвалов в одной точке с целью ожидания погрузки-разгрузки – все это можно отнести к наиболее распространенным нарушениям работы процесса транспортирования. При появлении подобных сбоев горно-обогатительные комбинаты применяют различные способы для устранения ошибок в работе, что может предотвратить появление убытков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Устранение всех негативных последствий и нарушений в работе процесса транспортирования может быть достигнуто разработкой и применением научно-методических подходов для повышения эффективности эксплуатации карьерного транспорта.

К основной проблеме простоев транспорта можно отнести единовременное прибытие самосвалов к пункту хранения, возникновение очередей в зонах разгрузки.

Для минимизации времени ожидания самосвалом требуется определение времени, выделяемого на все операции, связанные с погрузкой-разгрузкой, длительностью перевозки, оформлением документации. Определение

временных интервалов позволит снизить время ожидания. Необходимо учитывать зависимость максимального времени ожидания автотранспортом и количество этого автотранспорта. С учетом полученного времени можно рассчитать оптимальное количество самосвалов, приходящихся на один экскаватор, и время подачи самосвала к экскаватору, временному пункту хранения (складу) или напрямую к обогатительной фабрике [7].

Время ожидания самосвалов зависит от количества экскаваторов, количества пунктов хранения, зон погрузки-разгрузки. Повышение эффективности эксплуатации карьерного транспорта требует анализа уже существующих методик и разработку научно-методических подходов с целью ускорения погрузочно-разгрузочных работ и предотвращения возникновения сбоев в процессе транспортирования.

Для снижения времени ожидания требуется организация быстрого приема железорудного сырья в пунктах хранения с применением технологического оборудования и весового контроля.

Основные направления сокращения времени простоя автотранспорта:

1. Наличие зон стоянок для самосвалов, ожидающих погрузку-разгрузку.
2. Наличие требуемого количества складов.
3. Наличие необходимого количества самосвалов.

Повышение качества работы процесса транспортирования происходит путем применения интенсивных методов (рисунок 1). Требуется оптимизация всех операций процесса транспортирования и автоматизация технологических процессов производства. Повышение эффективности эксплуатации карьерного транспорта может быть достигнуто путем применения инновационных технологий различной направленности.

К информационным системам, повышающим эффективность эксплуатации карьерного транспорта, можно отнести:

1. Электронный документооборот. Позволяет своевременно оформить необходимые документы по транспортировке железорудного сырья начиная со склада и до обогатительной фабрики.
2. Обмен данными в режиме онлайн. Позволяет передать информацию заранее и в кратчайшие сроки о транспортировке железорудного сырья.
3. Электронная система планирования и управления операциями процесса транспорти-

рования. К ним относят движение самосвалов, работу экскаваторов, планирование загрузки самосвалов, функционирование временных пунктов хранения, управление человеческими и материальными ресурсами в оперативном режиме.

4. Интеллектуальные системы управления процесса транспортирования с возможностью контроля движения каждой единицы транспорта [8].

Погрузка-разгрузка должна осуществляться настолько быстро и отлажено, чтобы свести к минимуму время пребывания самосвала в месте добычи сырья и пункте его хранения.

К уже существующим информационным системам можно отнести CITOS (система планирования операций), CIMOS (система управления и планирования движения автотранспорта); TradeNet (система оформления транспортных документов) и др. [9, 10].

Технологии интенсификации производства включают в себя:

1. Автоматизированное управление автотранспортом.
2. Роботизация технологических процессов погрузки-разгрузки, движение автотранспорта.
3. Автоматическое распознавание автотранспорта.
4. Оптимизация работы складов.

Интенсификация производства подразумевает контроль перемещения железорудного сырья по территории карьера и за его пределами с помощью беспилотных устройств, управляемых компьютерной системой [11].

Технологии по обеспечению безопасности включают в себя такие инновационные решения как:

1. Система автоматической идентификации автотранспорта и управление ими с помощью интеллектуальных устройств.
2. Интегрированная система контроля доступа на территорию ГОК карьерного автотранспорта и сотрудников.
3. Применение системы идентификации для контроля за движением автотранспорта.
4. Использование фото и видеофиксации.

Управленческие технологии включают в себя:

1. Постоянный контроль за сотрудниками.
2. Управление качеством деятельности сотрудников путем применения мотивации персонала.
3. Стимулирование деятельности персонала.

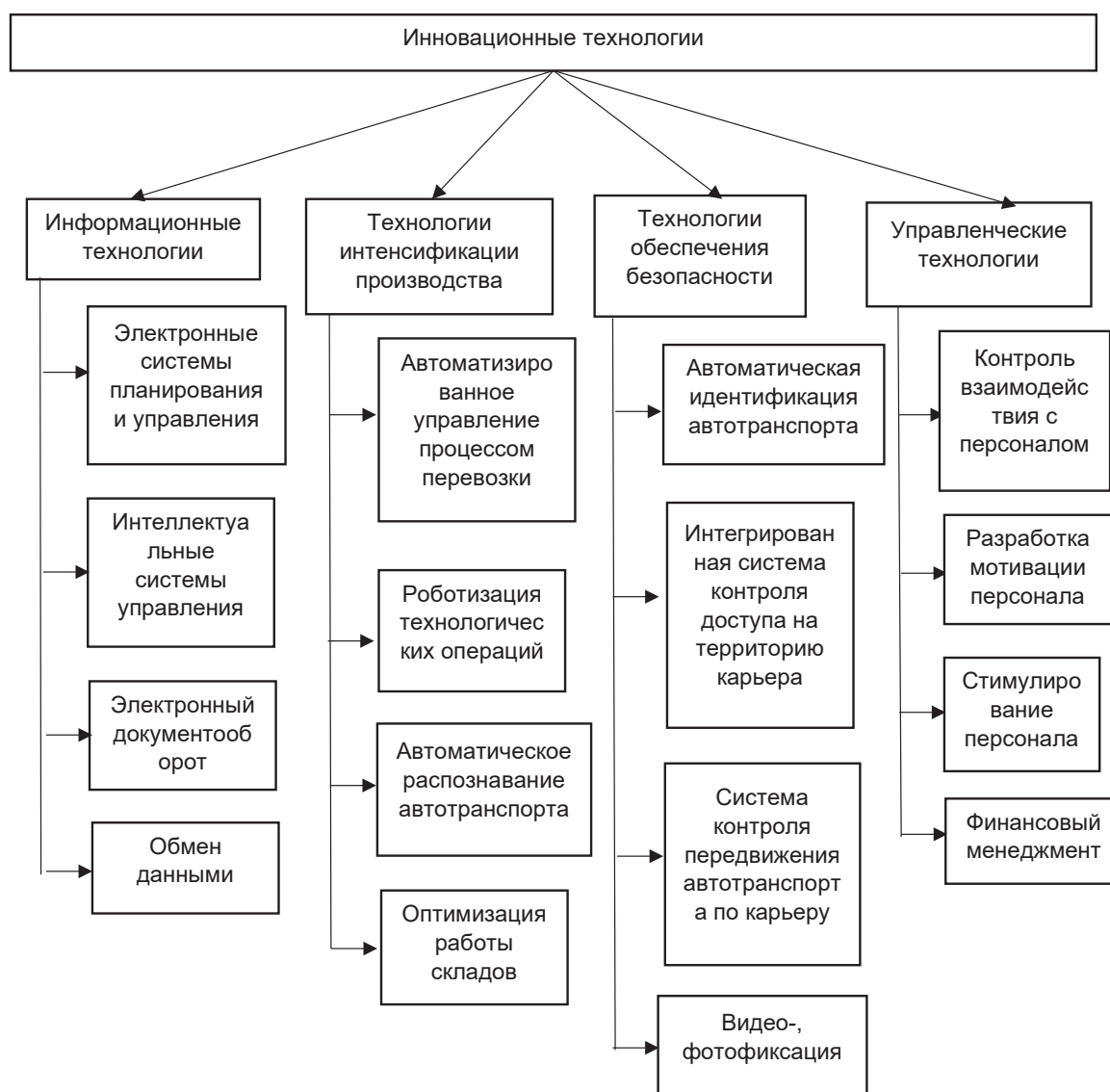


Рисунок 1 – Иновационные технологии

Figure 1 – Innovative technology

4. Финансовый менеджмент и создание особых экономических зон на территории ГОК.

К информационным технологиям, применяемым для повышения эффективности карьерного транспорта, относятся (рисунок 2):

1. Геоинформационные системы. Для планирования маршрутов, навигации и расчета транспортных расходов используются геоинформационные системы (ГИС). С помощью ГИС можно составлять маршруты, оценивать время их прохождения с учетом ограничений, определять транспортные издержки.

2. Электронные системы. Автоматизация оформления документов, электронный доку-

ментооборот, удаленный доступ к документам, оперативный обмен информацией между сотрудниками, управленческий учет [12,13].

3. Телематические системы связи. К ним можно отнести средства навигации мониторинга и позиционирования. Данные системы позволяют выполнять функции диспетчерского управления и контролировать операции процесса транспортирования железорудного сырья до временного пункта хранения или обогатительной фабрики [14]. К основным функциям телематических систем связи относятся:

- прием заказов на выполнение перевозки;



Рисунок 2 – Информационные технологии

Figure 2 – Information technology

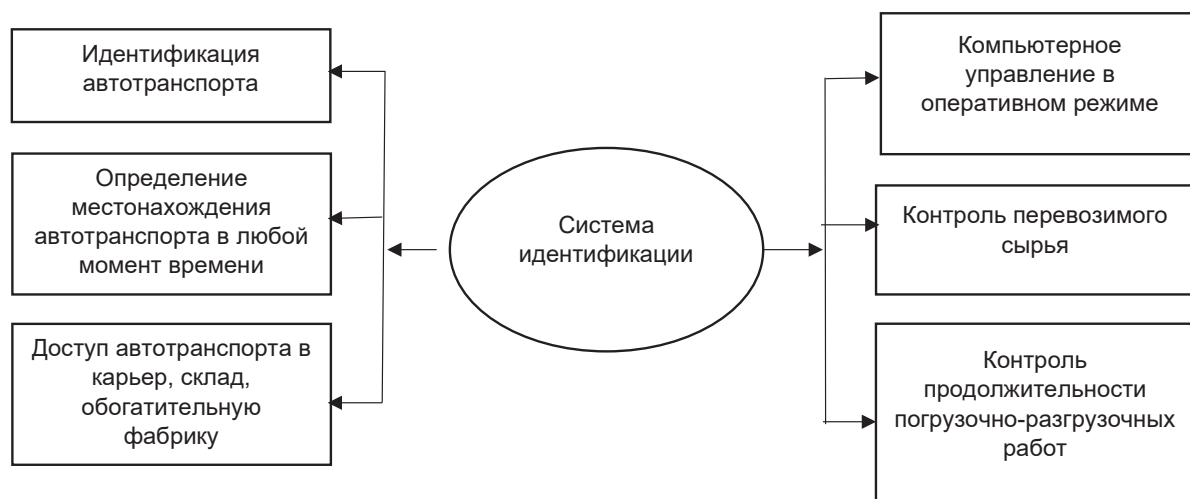


Рисунок 3 – Система идентификации

Figure 3 – Identification system

- своевременное прибытие к зонам погрузки-разгрузки;
- регулирование работы склада;
- контроль ГСМ на протяжении всего маршрута перевозки.

В качестве научно-методического подхода по повышению эффективности эксплуатации автомобильного карьерного транспорта рассмотрим систему идентификации (рисунок 3). Область применения данной системы позволяет:

1. Передвижение карьерного автотранспорта по территории ГОК.
2. Идентификация самосвалов, позволяющая определить количество перевозимого сырья данным самосвалом и зоны погрузки-разгрузки железной руды.
3. Идентификация сырья. Определение количества сырья, находящегося в кузове самосвала, уровень загруженности и временный пункт хранения.
4. Компьютерное управление в оперативном режиме. Выбор пункта разгрузки, очередность разгрузки самосвала, считывание состояния и количества сырья и т.д.
5. Определение местонахождения конкретных единиц техники. Благодаря системе идентификации существует возможность удаленного контроля над автомобилями и погрузочно-разгрузочной работой [15].

РЕЗУЛЬТАТЫ

К разработке научно-методических подходов по повышению эффективности эксплуатации карьерного автотранспорта можно отнести создание системы предварительной регистрации. Такая система позволяет по образцу электронной очереди контролировать время прибытия самосвалов в пункты разгрузки, исключая время ожидания. Это позволит оптимизировать процесс разгрузки железорудного сырья, структурировать движение самосвалов по карьере и иметь необходимую актуальную информацию о состоянии процесса транспортирования.

Применение инновационных технологий при эксплуатации карьерного транспорта требует значительных затрат, но при этом позволяет в дальнейшем снизить материальные и временные ресурсы.

Для повышения эффективности эксплуатации карьерного автотранспорта требуется также применение информационных технологий, которые позволяют обеспечить быстрый обмен информацией, высокую скорость реакции на спрос металлизированной продукции, равномерность и ритмичность поставок гото-

вой продукции, сокращение затрат на изготовлении продукции, повышение интенсивности выполнения заказов и др. [16].

С целью улучшения работы транспортного комплекса ГОК требуется организация стоянок самосвалов возле пунктов хранения и обогащательной фабрики, что позволит исключить ограничение доступности подъезжающего для разгрузки транспорта [17].

Организация работы процесса транспортирования сопровождается простоями автотранспорта у одних пунктов хранения, в том время как на другом пункте может быть свободно. Для решения данной проблемы требуется сбор информации о состоянии всех временных пунктов хранения, продолжительность операций процесса перевозки и др.

ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде чем внедрить научно-методические подходы, необходимо определить алгоритм работы самосвалов в карьере, представленный на рисунке 4, и произвести расчеты рационального количества автотранспортных средств для перевозки железорудного сырья в карьере. Изначально самосвал прибывает к месту добычи, работы экскаватора. В это время необходимые сведения передаются в диспетчерский пункт. В дальнейшем производится загрузка самосвала сырьем и его перемещение к месту разгрузки [18]. Если требуется доставка железорудного сырья непосредственно на обогащательную фабрику, то самосвал отправляется на фабрику или же к ближайшему складу в зависимости от удаленности места добычи в карьере. По прибытию в пункт назначения производится разгрузка самосвала. Далее он отправляется либо на стоянку в зону ожидания, либо повторно для загрузки в карьер. В это время вся информация о проводимых операциях передается в диспетчерский пункт. Затем проводится проверка сырья, взвешивание и завершение погрузочно-разгрузочных работ самосвалом.

Алгоритм работы самосвалов в имитационной модели включает в себя:

1. Определение времени прибытия самосвала.
2. Определение состояния и количества сырья.
3. Контроль всех проводимых операций процесса перевозки.
4. Погрузочно-разгрузочные работы самосвала.
5. Передача информации в диспетчерский пункт.

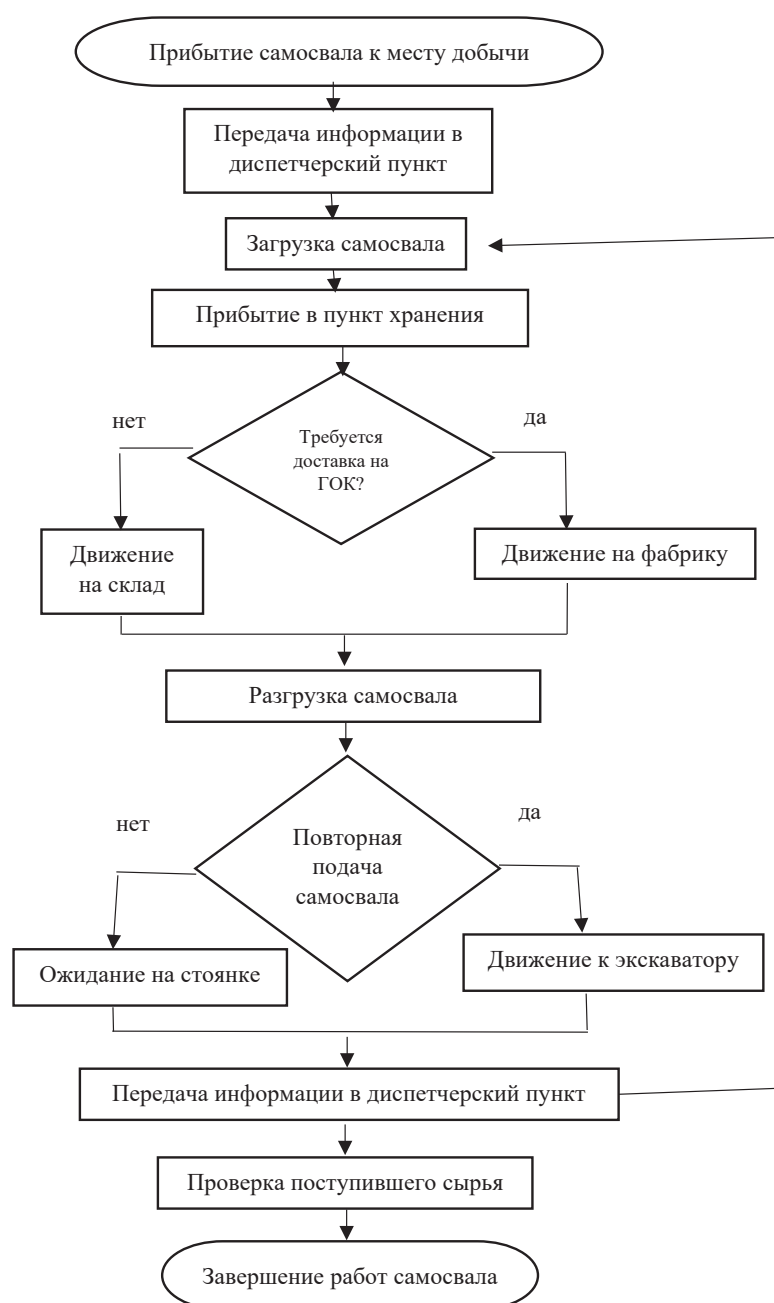


Рисунок 4 – Алгоритм работы самосвалов

Figure 4 – Algorithm of dump trucks

6. Определение времени окончания работ самосвалом [19].

На примере методики расчета рационального количества автотранспортных средств, автором которой является К.С. Есин, рассмотрим транспортирование железорудного сырья из карьера на временный пункт хранения. Решение оптимальных планов перевозки сырья и распределения транспортных потоков

среди временных пунктов хранения или складов требует минимизации суммы расходов на перевозку. Целочисленная производственно-транспортная модель определяет объемы транспортировки железорудного сырья от экскаваторов на временный пункт хранения, рассматривает операции по добыче и перевозке сырья как единый и неделимый процесс, позволяет за счет рационального распределе-

ния транспортных потоков добываемого сырья снизить затраты на перевозку. На основе рассмотренной им модели постановка задачи для расчета рационального количества автотранспортных средств для перевозки железорудного сырья в карьере формулируется так: необходимо найти требуемое количество автотранспортных средств, которые работают в составе звена «самосвал-экскаватор», доставляющих сырье от экскаватора на временный пункт хранения, при этом необходимо учитывать технические характеристики экскаватора и грузоподъемность каждой марки самосвала. Модель обеспечивает максимальную приспособленность к реальным условиям процесса добычи и перевозки сырья в зависимости от объема кузова автосамосвалов и характеризуется производительностью экскаваторов. Данные величины применяются в расчетах для определения рационального количества автотранспортных средств [20].

Факторы для разработки модели:

- модель работы транспортирования железорудного сырья ориентирована применительно только к перевозке полезных ископаемых;
- прибытие автотранспорта на временный пункт хранения равномерное по часам смены и не должно превышать его часовую пропускную способность;
- автотранспортные средства работают с максимально возможной производительностью;
- работа автосамосвалов не оценивается (это отдельная задача) [20].

Снижение себестоимости перевозок железорудного сырья с участка на временный пункт хранения ставится как задача минимизации требуемого количества автотранспорта (A_{isj}):

$$\sum_{i=1}^m \sum_{s=1}^S \sum_{j=1}^n A_{isj} q_s \quad (1)$$

где S – количество марок автотранспортных средств;

A_{isj} – количество автотранспортных средств;

S – ой марки, которое необходимо для перевозки железорудного сырья с i -участка на j – временный пункт хранения;

q_s – грузоподъемность автотранспортных средств S -й марки [20].

1. Масса сырья, которая ежедневно транспортируется с i -го участка на j -й временный пункт хранения

$$\sum_{s=1}^S A_{isj} q_s z_{izj} = x_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

где z_{izj} – число рейсов, которое совершает автотранспортное средство s -ой марки;

x_{ij} – масса сырья, которая ежедневно доставляется с i -го участка на j -й временный пункт хранения [20].

2. Суммарное количество автотранспортных средств s -й марки, требуемое для перевозки железорудного сырья с участков карьера на временные пункты хранения

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_{isj} = A_s, \quad S = 1, 2, \dots, S. \quad (3)$$

где A_s – количество автотранспортных средств s -й марки, необходимое для перевозки железорудного сырья с участков карьера на все временные пункты хранения [20].

3. Естественной неотрицательности и целочисленности автотранспортных средств

$$\begin{aligned} A_{isj} &\geq 0, \quad i = \overline{1, m}, \\ j &= \overline{1, n}, \\ S &= \overline{1, S} \end{aligned} \quad (4)$$

В расчетах требуемого количества автотранспортных средств для транспортировки сырья с участков необходимо учитывать производительность экскаватора, поэтому сначала производим расчет чистого времени цикла для экскаватора

$$t_{3K}^{-ч} = t_3^6 + t_p^b, \quad ч \quad (5)$$

где $t_{3K}^{-ч}$ – чистое время цикла экскаватора, ч;

t_3^6 – время захватывания сырья ковшом экскаватора, ч;

t_p^b – время выгрузки сырья из ковша экскаватора в автосамосвал, ч.

$$t_3^6 = \frac{\gamma V_6 \eta_b}{3,6 b k_b} (1 + d), \quad ч \quad (6)$$

где γ – плотность сырья, т/м³;

V_6 – объем ковша экскаватора, м³;

η_b – корректировочный коэффициент использования ковша экскаватора, 0,95–1,1;

b – производительность экскаватора, кг/с;

k_b – коэффициент использования производительности экскаватора, 0,8–1,0;

d – отношение массы окатышей к массе сырья.

$$t_p^6 = \frac{\gamma V_6 \eta_b}{W_{ш}}, \text{ ч} \quad (7)$$

где $W_{ш}$ – производительность разгрузочного устройства экскаватора, кг/с [20].

Оборотное время, которое потребуется автотранспортным средствам, чтобы загрузить кузов автосамосвала железорудным сырьем, перевезти его на временный пункт хранения и вернуться обратно, согласно формуле

$$t_a^u = t_p^b + t_n + t_r + t_d + t_p + t_x, \text{ ч} \quad (8)$$

где t_n – время переездов автотранспортного средства по участку, ч;

t_r – время движения с участка на временный пункт хранения с грузом, ч;

t_d – время, затрачиваемое на проверку сырья, оформление документов, ч;

t_p – время разгрузки автотранспортного средства (технологические переезды, ожидание разгрузки), ч;

t_x – время в движении без груза, ч [20].

Объем кузова автотранспортного средства определяется

$$V_n^a = \frac{q_n^a}{\gamma} \cdot M^3 \quad (9)$$

где q_n^a – грузоподъемность соответствующего автотранспортного средства, т;

γ – плотность сырья [20].

Объем сырья, за время оборотного рейса автотранспортного средства, определяется по формуле

$$V_n = \frac{t_a^{u, 3,6} f_n k_b}{\gamma \eta_b (1+d)} \cdot M^3 \quad (10)$$

где f_n – пропускная способность экскаватора, кг/с [20].

На горно-добывающих комбинатах при планировании процесса транспортирования требуемое количество автотранспорта определяется в зависимости от суточного объема добычи с учетом возможности применения существующих способов перевозки, что очень часто приводит к неточному определению (завышению или занижению) требуемого количества автотранспортных средств, на работу которых выделяются неоправданно завышенные материальные и трудовые ресурсы, в последующем такие ГОКи показывают невысокие показатели работы системы в целом [20].

Предполагаемое количество автотранспортных средств при перевозке железорудно-

го сырья от экскаватора в процессе перевозки рассчитывается на основе равенства суммарной добычи сырья экскаваторами и эксплуатационными возможностями автосамосвалов. При этом учитывается разномарочный состав автотранспортных средств и экскаваторов с их различными техническими характеристиками [20].

Описанная зависимость представлена по формулам:

$$q_1 x_1 + q_2 x_2 + \dots + q_n x_n = m_k \quad (11)$$

где x_1, x_2, x_n – количество автотранспортных средств каждой модели, шт;

q_1, q_2, q_n – грузоподъемность автотранспортного средства соответствующей марки, т;

m_k – масса сырья, добытая экскаватором, работающим на участке, т [20].

$$\sum_{i=1}^n x_i \rightarrow \min \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^n q_i x_i = \sum_{j=1}^k q_j$$

Количество автотранспортных средств находим по формуле

$$x_i = \frac{q_i m_k}{q_1^2 + q_2^2 + \dots + q_n^2} \quad (13)$$

Величины с индексами определяются исходя из грузоподъемности транспортных средств и массы добытого сырья экскаватором.

Номинальная грузоподъемность автотранспорта определяется исходя из максимально возможной нагрузки, возникающей при работе автомобиля в различных дорожных условиях. При транспортировке сырья большое значение имеет грузоподъемность автотранспортного средства, измеряемая внутренними габаритами кузова, массой груза и ограничиваемая грузоподъемностью. Поэтому значение увеличения объема кузова, а следовательно, и грузоподъемности подвижного состава на перевозках железорудного сырья возрастает [20].

Определение рационального количества автотранспортных средств для перевозки от экскаваторов на временный пункт хранения, склад или обогатительную фабрику учитывает грузоподъемность каждой модели автотранспортного средства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для повышения эффективности эксплуатации карьерного транспорта требуется применение информационных технологий, способствующих автоматизации работы автомобильного транспорта в карьере, сокращение времени простоя автотранспорта, использование методики управления перевозкой сырья и уменьшение количества использования автотранспорта за счет увеличения грузоподъемности и сокращения времени, затрачиваемого на перевозку [21].

В качестве научно-методического подхода рассмотрена методика управления перевозкой сырья на протяжении всей цепи движения самосвалов по следующей схеме:

1. Организация предварительной регистрации заявок на обслуживание в online-режиме.
2. Организация предварительной стоянки для карьерного автотранспорта.
3. Использование системы идентификации карьерного автотранспорта.
4. Разработка системы управления передвижением автотранспорта по карьеру с помощью инновационных систем [22].

Возможности имитационной модели подтверждают обоснованность выбора такого инструмента, как имитационное моделирование для повышения эффективности эксплуатации карьерного транспорта [23].

Адаптивная имитационная модель эксплуатации карьерного автотранспорта позволяет учитывать влияние системы управления и алгоритма распределения самосвалов на количество экскаваторов и своевременную подачу самосвалов к пунктам хранения, учитывающую время ожидания, а также разработать адекватные рекомендации по организации эксплуатации карьерного автотранспорта в оперативном режиме [24, 25].

Количество автотранспортных средств, отвозящих железорудное сырье от экскаваторов, прямо пропорционально времени оборотного рейса, поэтому можно сделать вывод, чем быстрее автотранспорт выполняет доставку сырья с участка на временный пункт хранения и возвращается на исходный участок, тем меньшее количество автотранспортных средств требуется для обслуживания экскаваторов [20].

При расчете снижения себестоимости, целью которого является уменьшить количество транспортных средств, необходимо учитывать, что минимизация суммарной себестоимости

перевозок не всегда может привести к уменьшению количества транспортных средств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новиков А.Н., Иващук О.А., Васильева В.В. Экологический мониторинг воздействия автотранспорта на акустическую среду города // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2006. № 6. С. 33-34.
2. Семькина А.С., Загородний Н.А., Фоменко Ю.В., Конев А.А. Анализ видов железорудного сырья и процесса их перевозки // Научно-технические аспекты инновационного развития транспортного комплекса: сборник научных трудов по материалам III Международной научно-практической конференции 25 мая 2017 года, Донецк: ДАТ, 2017. С. 27-31.
3. Семькина А.С., Загородний Н.А. Выявление проблем транспортного комплекса горно-обогатительных предприятий // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности, Могилев: Белорус. Рос. ун-т, 2017.
4. Агафонов Д.В., Якушев А.С., Ляцев В.С. Технологический автотранспорт Лебединского ГОКа // Горный журнал. 2017. №5. С. 38-41.
5. Нестеренко А.В., Разгулов С.А., Берестнев Е.Ю., Никулин А.А. Ремонтная служба комбината // Горный журнал. 2017. №5. С. 42-45.
6. Семькина А.С., Загородний Н.А. Повышение эффективности работы автомобильного карьерного транспорта // Студенческий научный форум. 2018. URL: <http://www.scienceforum.ru> (дата обращения: 23.01.2018).
7. Новиков А.Н., Бодров А.С., Ломакин Д.О. Выбор факторов, определяющих качество автосервисных услуг программно-целевым методом // Бюллетень транспортной информации. 2009. № 8 (170). С. 36-40.
8. Современные программные системы компании Modular Mining для управления горным оборудованием на карьерах // Горная промышленность. 1996. №4. С. 46. URL: <https://mining-media.ru> (дата обращения: 23.01.2018).
9. Аброськин А.С. Применение современных систем автоматизации на открытых горных работах // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2015. Т. 326. №12. С. 112-130.
10. Trapeznikova M. A., Furmanov I. R., Churbanova N. G., Lipp R. Simulating multilane traffic flows based on cellular automata theory // Mathematical Models and Computer Simulations. 2012. 53 61 p.
11. Chun-xiu Wu, Song T, Zhang P., Wong S.C. Phase-plane analysis of conserved higher-order traffic flow model // Applied Mathematics and Mechanics. 2012. Pp. 1505-1512.
12. Новиков А.Н., Кулев М.В. Оптимизация численности диагностических линий технического осмотра транспортных средств на примере Орловской области // Бюллетень транспортной информации. 2010. № 5 (179). С. 31-33.
13. Шаволь Г., Новиков А.Н. Новая услуга фирмы DBT в России: предоставление в аренду горно-

шахтного оборудования // Горная промышленность. 2007. № 4 (74). С. 36-37.

14. Таха, Хемди А. Введение в исследование операций. Москва, Издательский дом «Вильямс». 2005. № 7. 912 с.

15. Lepetyukha S.V., Yakushev A.S. State and prospects of development of technological motortransport at Lebedinsky GOK. *Gornyi Zhurnal*. 2007. No. 7. Pp. 25-27.

16. Тариков Д.Ш. Корнилов С.Н. Анализ производственной деятельности горнодобывающего предприятия и разработка методики оптимизации транспортно-грузового комплекса // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2012. Т. 1. С.96-99.

17. Гавришев С.Е. Организационно-технологические методы повышения надежности и эффективности работы карьеров. Магнитогорск, МГТУ, 2002. 231 с.

18. Paley L.M. Managerial and engineering support of open pit mine production phase I at v. grib mining and progressing combine // *Eurasian mining*. 2014. № 2. Pp. 20-22.

19. Блам Ю.Ш., Машкина Л.В. Модели и методы прикладного анализа (производственные системы). Новосибирск, НГУ. 2008. URL: <http://econom.nsc.ru/efnsu/Mimpa2.htm> (дата обращения: 25.04.18).

20. Есин К.С. Повышение эффективности использования автотранспортных средств при перевозке зерна в регионе (на примере Орловской области) Орел, 2016. 136 с.

21. Бачинский В.И., Кузминская Е.И. Использование элементов экономико-математического моделирования в управлении производственными затратами горно-обогатительных предприятий // Экономика и управление: анализ тенденций и перспектив развития. 2013. № 6. С. 197-201.

22. Копылова О.А. Кластеризация региональных транспортно-логистических систем // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2013. № 4 (4). С. 73-81.

23. Макуха П.А., Корнилов С.Н. К вопросу о структуре логистической системы снабжения потребителей ископаемым сырьём // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2013. № 2 (3). С. 94-99.

24. Vuykova O.N., Larin O.N. Voprosy povysheniya effektivnosti raboty karyernogo avtotransporta [Issues of increase in efficiency of open pit transport] // *Vestnik OGU*. 2011. No. 10 (129). P. 20-25.

25. Олизаренко В.В., Красавин А.В., Абдрахманов Р.И., Гольцов В.В. Анализ логистической схемы горно-обогатительного предприятия при комбинированной разработке медно-колчеданных месторождений // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2013. № 4 (4). С. 88-94.

REFERENCES

1. Novikov A.N., Ivashchuk O.A., Vasileva V.V. Je-kologicheskij monitoring vozdeystviya avtotransporta na akusticheskiju sredu goroda [Environmental mon-

itoring of the impact of vehicles on the acoustic environment of the city]. *Repair. Recovery. Modernization*. 2006; 6: 33-34. (in Russian)

2. Semykina A.S., Zagorodny N.A., Fomenko Yu.V., Konev A.A. Analiz vidov zhelezorudnogo syr'ja i processa ih perevozki [Analysis of types of iron ore raw materials and the process of their transportation]. *Scientific and technical aspects of innovative development of the transport complex: collection of scientific papers on the materials of the III International scientific and practical conference*. Donetsk, DAT, 2017. 27-31. (in Russian)

3. Semykina A.S., Zagorodny N.A. Vyjavlenie problem transportnogo kompleksa gorno-obogatitel'nyh predpriyatij [Identification of problems of the transport complex of mining and processing enterprises]. *New materials, equipment and technologies in industry: materials of international cooperation. scientific-technical Conf. young. scientists*. Mogilev, Byelorussia, 2017. (in Russian)

4. Agafonov D.V., Yakushev A.S., Lyashev V.S. Tehnologicheskij avtotransport Lebedinskogo GOKa [Technological motor transport of the Lebedinsky GOK]. *Gornyi Zhurnal*. 2017; №5: 38-41. (in Russian)

5. Nesterenko A.V., Razgulov S.A., Berestnev E.Yu., Nikulin A.A. Remontnaja sluzhba kombinata [Repair service of the combine]. *Mining journal*. 2017; №5: 42-45. (in Russian)

6. Semykina A.S., Zagorodny N.A. Povysenie jeffektivnosti raboty avtomobil'nogo kar'ernogo transporta [Improving the efficiency of automobile career transport]. *Student scientific forum*. 2018. URL: <http://www.scienceforum.ru>. (in Russian)

7. Novikov A.N., Bodrov A.S., Lomakin D.O. Vybor faktorov, opredelajushhih kachestvo avtoservisnyh uslug programmno-celevym metodom [Selection of factors that determine the quality of car service services by a program-targeted method]. *Bulletin of transport information*. 2009; 8 (170): 36-40. (in Russian)

8. Sovremennye programnye sistemy kompanii Modular Mining dlja upravlenija gornym oborudovaniem na kar'erah [Modern software systems of the Modular Mining company for managing mining equipment at quarries]. *Mining industry*. 1996; №4: 46. URL: <https://mining-media.ru> (accessed: 23.01.2018). (in Russian)

9. Abroskin A.S. Primenenie sovremennyh sistem avtomatizacii na otkrytyh gornyh rabotah [Application of modern automation systems in open-pit mining]. *Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Georesources engineering*. 2015; 326 (12): 112-130. (in Russian)

10. Trapeznikova M.A., Furmanov I.R., Churbanova N.G., Lipp R. Simulating multilane traffic flows based on cellular automata theory. *Mathematical Models and Computer Simulations*. 2012. 53-61.

11. Chun-xiu Wu, Song T., Zhang P., Wong S.C. Phase-plane analysis of preserved higher-order traffic flow model. *Applied Mathematics and Mechanics*. 2012. 1505-1512.

12. Novikov A.N., Kulev M.V. Optimizacija chislennosti diagnosticheskikh linij tehničeskogo osmotra

transportnyh sredstv na primere Orlovskoj oblasti [Optimization of the number of diagnostic lines for technical inspection of vehicles on the example of the Oryol region]. *Bulletin of transport information*. 2010; 5 (179): 31-33. (in Russian)

13. Shavol G., Novikov A.N. Novaja usluga firmy DBT v Rossii: predostavlenie v arendu gornoshahtnogo oborudovaniya [New service of DBT company in Russia: provision of mining equipment for rent]. *Mining industry*. 2007; 4 (74). 36-37. (in Russian)

14. Taha, Hemdi A. Vvedenie v issledovanie operacij [Introduction to the study of operations]. Moscow, Publishing house "Williams", 2005; 7: 912. (in Russian)

15. Lepetyukha S.V., Yakushev A.S. State and prospects of development of technological motortransport at Lebedinsky GOK. *Gornyi Zhurnal*. 2007; 7:25-27.

16. Tarikov D.Sh., Kornilov S.N. Analiz proizvodstvennoj dejatel'nosti gornodobyvajushhego predpriyatija i razrabotka metodiki optimizacii transportno-gruzovogo kompleksa [Analysis of production activities of a mining enterprise and development of methods for optimizing the transport and cargo complex]. *Actual problems of modern science, technology and education-Magnitogorsk: Magnitogorsk state technical University*. 2012; 1: 96-99. (in Russian)

17. Gavrishchev S.E. Organizacionno-tehnologicheskie metody povysheniya nadezhnosti i jeffektivnosti raboty kar'erov [Organizational and technological methods for improving the reliability and efficiency of quarries: monograph]. Magnitogorsk, MSTU, 2002. 231 p. (in Russian)

18. Paley L.M. Managerial and engineering support of open pit mine production phase I at V. Grib mining and progressing combine. *Eurasian mining*. 2014; 2: 20-22.

19. Blam Yu. Sh., Mashkina L. V. Modeli i metody prikladnogo analiza [Models and methods of applied analysis (production systems)]. Novosibirsk, NSU, 2008. URL: <http://econom.nsc.ru/efnsu/Mimpa2.htm> (accessed: 25.04.18). (in Russian)

20. Esin K.S. Improving the efficiency of using motor vehicles for transporting grain in the region (on the example of the Oryol region) Orel, 2016. 136 p. (in Russian)

21. Bachinsky V.I., Kuzminskaya E.I. Ispol'zovanie jelementov jekonomiko-matematicheskogo modelirovaniya v upravlenii proizvodstvennymi zatratami gorno-obogatitel'nyh predpriyatij [Use of elements of economic and mathematical modeling in the management of production costs of mining and processing enterprises]. *Economics and management: analysis of trends and prospects for development*. 2013; 6: 197-201. (in Russian)

22. Kopylova O.A. Klasterizacija regional'nyh transportno-logisticheskikh sistem [Clusterization of regional transport and logistics systems]. *Modern problems of the transport complex in Russia*. 2013; 4 (4): 73-81. (in Russian)

23. Makukha P.A., Kornilov S.N. K voprosu o strukture logisticheskoy sistemy snabzheniya potrebitel'ej iskopaemym syr'jom [On the issue of the structure of the logistics system for supplying consumers with fossil

raw materials]. *Modern problems of the transport complex in Russia*. 2013; 2 (3): 94-99. (in Russian)

24. Vuyekova O.N., Larin O.N. Voprosy povysheniya jeffektivnosti raboty karyernogo avtotransporta (Issues of increase in efficiency of open pit transport). *Vestnik OGU*. 2011; 10 (129): 20-25.

25. Olizarenko V.V., Krasavin A.V., Abdrakhmanov R.I., Goltsov V.V. Analiz logisticheskoy shemy gorno-obogatitel'nogo predpriyatija pri kombinirovannoj razrabotke medno-kolchedannyh mestorozhdenij [Analysis of the logistics scheme of a mining and processing enterprise in the combined development of copper-pyrites deposits]. *Modern problems of the transport complex in Russia*. 2013; 4 (4): 88-94. (in Russian)

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Новиков А.Н. Выполнение аналитических исследований, постановка цели и задачи исследований, анализ и ознакомление с зарубежным и отечественным опытом.

Новиков И.А. Выбор и обоснование научно-методических подходов для повышения эксплуатации карьерного транспорта.

Загородний Н.А. Разработка научно-методических подходов для повышения эффективности процесса транспортирования и получение алгоритма работы самосвалов в имитационной модели. Анализ применения методики расчета рационального количества автотранспортных средств.

Семькина А.С. Анализ результатов полученных данных, обоснование выводов. Выявление актуальных вопросов и рекомендаций для дальнейшей проработки темы.

AUTHORS CONTRIBUTION

Novikov A.N. Performing analytical research, setting the goal and objectives of research, analysis and familiarization with foreign and domestic experience.

Novikov I.A. Selection and substantiation of scientific and methodological approaches to improve the operation of open pit transport.

Zagorodnij N.A. Development of scientific and methodological approaches to improve the efficiency of the transportation process and obtaining an algorithm for the operation of dump trucks in a simulation model. Analysis of the application of the methodology for calculating the rational number of vehicles.

Semykina A.S. Analysis of the results of the data obtained, substantiation of the conclusions. Identification of topical issues and recommendations for further development of the topic.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Новиков Александр Николаевич (г. Орел) – д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой «Сервис и ремонт машин» Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева, ORCID ID 0000-0001-5496-4997 (302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95), e-mail: novikovan@ostu.ru.

Новиков Иван Алексеевич (г. Белгород) – канд. техн. наук, доц., заведующий кафедрой «Эксплуатация и организация движения автотранспорта» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, ORCID ID 0000-0001-5322-9640 (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, БГТУ им. В. Г. Шухова), e-mail: ooows@mail.ru.

Загородний Николай Александрович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Эксплуатация и организация движения автотранспорта» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, ORCID ID 0000-0001-8973-9271 (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, БГТУ им. В. Г. Шухова), e-mail: n.zagorodnij@yandex.ru.

Семыкина Алла Сергеевна – аспирант кафедры «Механическое оборудование» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, ORCID ID 0000-0003-4045-4237 (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, БГТУ им. В. Г. Шухова), e-mail: fantarock@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Novikov Alexander Nikolaevich (Orel, Russia) – doctor of Technical Sciences sciences, prof., head of

the department "Service and repair of machines", Oryol State University named after I.S. Turgenev, ORCID ID 0000-0001-5496-4997 (302026, Orel, Komsomolskaya st., 95), e-mail: novikovan@ostu.ru.

Novikov Ivan Alekseevich (Belgorod, Russia) – cand. tech. in Economics, Assoc. Professor, Head of the Department of Operation and Organization of Vehicle Traffic, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, ORCID ID 0000-0001-5322-9640 (308012, Belgorod, Kostyukov st., 46, BSTU named after V.G. Shukhov), e-mail: ooows@mail.ru.

Zagorodnij Nikolay Alexandrovich – cand. tech. Sciences, Assoc. of the Department of Operation and Organization of Vehicle Traffic, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, ORCID ID 0000-0001-8973-9271 (308012, Belgorod, Kostyukov st., 46, BSTU named after V.G. Shukhov), e-mail: n.zagorodnij@yandex.ru.

Semykina Alla Sergeevna – post-graduate student of the Department of Mechanical Equipment, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, ORCID ID 0000-0003-4045-4237 (308012, Belgorod, Kostyukova st., 46, BSTU named after V.G. Shukhov), e-mail: fantarock@mail.ru.