

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА С УЧЁТОМ УСЛОВИЙ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

С. А. Вахрушев<sup>1</sup>, Б. С. Трофимов<sup>2</sup>, Л. С. Трофимова<sup>3</sup>

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, Омск, Россия

<sup>1</sup> e-mail: cv-omsk@yandex.ru

<sup>2</sup> e-mail: trofim\_bs@mail.ru

<sup>3</sup> e-mail: trofimova\_ls@mail.ru

**Аннотация: Введение.** Акцент сделан на решении проблемы планирования показателей работы подвижного состава в деятельности транспортных подразделений предприятий по добыче нефти и газа с учётом условий Крайнего Севера (Республика Саха (Якутия)). Выявлены отличия фактических показателей работы подвижного состава при перевозке грузов от плановых, которые составляют более 30% за месяц и приводят к не выполнению планов по добыче нефти и газа предприятиями основного производства. Целью исследования является разработка математической модели для планирования показателей работы подвижного состава с учетом условий Крайнего Севера.

**Материалы и методы.** Для математического моделирования применяются современные научные методы текущего планирования работы автотранспортных предприятий, позволяющие выполнять расчет показателей по типоразмерам подвижного состава; методы теории вероятностей, математической статистики, направленные на определение закономерности изменения вероятностных плановых показателей в условиях Крайнего Севера; методы булевой алгебры для формирования ограничений по назначению подвижного состава на перевозку грузов с учетом практики совместной работы подвижного состава и специальной техники и по требованиям к обеспечению работоспособного подвижного состава.

**Научная новизна** представлена в виде разработанной математической модели, учитывающей совокупное влияние вероятностных технико-эксплуатационных показателей, вызванное суровыми условиями эксплуатации Крайнего Севера на плановые показатели обеспечения работоспособного состояния подвижного состава и перевозок грузов.

**Дальнейшие исследования** будут направлены на определение вероятностных показателей в математической модели для планирования показателей работы подвижного состава с учётом условий Крайнего Севера.

**Новые научные результаты** выражены математически в виде совокупности ограничений для получения минимальных затрат при работе подвижного состава и получены на основе исследования практики эксплуатации подвижного состава в суровых условиях Крайнего Севера.

Применение математической модели в планировании работы подвижного состава транспортных подразделений предприятий по добыче нефти и газа позволяет учитывать перевозку грузов по сформированным маршрутам; периоды работы специальной техники и их взаимосвязь с периодом работы подвижного состава; периодичность выполнения работ по техническому обслуживанию и их влияние на работоспособность подвижного состава в суровых условиях Крайнего Севера; потребность в перевозках грузов.

**Ключевые слова:** подвижной состав, условия Крайнего Севера, машино-часы работы, выработка, работоспособное состояние подвижного состава.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарности редакции журнала «Интеллект. Инновации. Инвестиции» и рецензентам статьи.

**Для цитирования:** Вахрушев С. А., Трофимов Б. С., Трофимова Л. С. Математическое моделирование производственных показателей работы подвижного состава с учетом условий Крайнего Севера // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – № 4. – С. 104–115, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2022-4-104>.

## MATHEMATICAL MODELING OF ROLLING STOCK PERFORMANCE INDICATORS TAKING INTO ACCOUNT THE FAR NORTH CONDITIONS

S. A. Vakhrushev<sup>1</sup>, B. S. Trofimov<sup>2</sup>, L. S. Trofimova<sup>3</sup>

The Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russia

<sup>1</sup> e-mail: cv-omsk@yandex.ru

<sup>2</sup> e-mail: trofim\_bs@mail.ru

<sup>3</sup> e-mail: trofimova\_ls@mail.ru

**Abstract. Introduction.** Emphasis is placed on solving the problem of planning the performance of rolling stock in the activities of transport departments of oil and gas production enterprises, taking into account the conditions of the Far North (Republic of Sakha (Yakutia)). Differences in the actual performance of the rolling stock during the transportation of goods from the planned ones were revealed, which amount to more than 30% per month and lead to the non-fulfillment of plans for oil and gas production by the enterprises of the main production. The aim of the study is to develop a mathematical model for planning the performance of the rolling stock, taking into account the conditions of the Far North.

**Materials and methods.** For mathematical modeling, modern scientific methods are used for the current planning of the work of motor transport enterprises, which make it possible to calculate indicators for the standard sizes of rolling stock; methods of probability theory, mathematical statistics, aimed at determining the patterns of change in probabilistic planned indicators in the conditions of the Far North; Boolean algebra methods for the formation of restrictions on the appointment of rolling stock for the carriage of goods, taking into account the practice of joint operation of rolling stock and special equipment and on the requirements for ensuring an operable rolling stock.

**The scientific novelty** is presented in the form of a developed mathematical model that takes into account the cumulative influence of probabilistic technical and operational indicators caused by the harsh operating conditions of the Far North on the planned indicators for ensuring the operable state of rolling stock and cargo transportation.

Further research will be aimed at determining probabilistic indicators in a mathematical model for planning the performance of rolling stock, taking into account the conditions of the Far North.

New scientific results are expressed mathematically in the form of a set of restrictions for obtaining minimal costs during the operation of rolling stock and are obtained on the basis of a study of the practice of operating rolling stock in the harsh conditions of the Far North.

The use of a mathematical model in planning the work of the rolling stock of the transport departments of oil and gas production enterprises makes it possible to take into account the transportation of goods along the formed routes; periods of operation of special equipment and their relationship with the period of operation of the rolling stock; the frequency of maintenance work and their impact on the performance of the rolling stock in the harsh conditions of the Far North; the need for cargo transportation.

**Key words:** rolling stock, conditions of the Far North, machine-hours of work, output, working condition of the rolling stock.

**Acknowledgements.** The authors express their gratitude to the editors of the magazine «Intellect. Innovation. Investments» and reviewers of the article.

**Cite as:** Vakhrushev, S. A., Trofimov, B. S., Trofimova, L. S. [Mathematical modeling of rolling stock performance indicators taking into account the Far North conditions]. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 4, pp. 104–115, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2022-4-104>.

## Введение

Актуальность проводимого исследования определяется его направленностью на решение проблемы транспортного обеспечения основного производства по добыче нефти и газа за счет разработки математической модели для планирования показателей работы подвижного состава, основанной на существующих математических приёмах и методах с учётом условий Крайнего Севера (Республика Саха (Якутия)).

Современное развитие Крайнего Севера требует транспортного обеспечения работ по разведке и добыче полезных ископаемых, строительству производственных объектов на месторождениях полезных ископаемых, капитальному ремонту скважин и оборудованию [2].

Большое значение при выполнении работ по

добыче нефти и газа занимает автомобильный транспорт. В рамках реализации энергосырьевого варианта развития транспортной системы, обозначенного в «Транспортной стратегии РФ на период до 2030 года»<sup>1</sup>, в 2030 году автомобильным транспортом должно быть перевезено 10500 млн. тонн груза и выполнено 420 млрд. т·км.

От выполнения плановых показателей перевозок таких грузов, как разборные элементы буровых установок, имущество и оборудование бригад бурения, материалы для строительства объектов на месторождениях с учётом условий Крайнего Севера, зависит бесперебойная работа предприятий основного производства по добыче нефти и газа, выполнение ими планов по добыче. Для перевозки грузов используется различный подвижной состав как по грузоподъемности, так и по типу кузова [2].

---

<sup>1</sup> Федеральная целевая программа «Транспортная стратегия РФ на период до 2030 г.»: утв. Распоряжением Правительства РФ от 22 ноября 2008 г. № 1734-р. <https://rosavtodor.gov.ru/docs/transportnaya-strategiya-rf-na-period-do-2030-goda> (дата обращения: 10.03.2022).

В результате исследований установлено, что 30% финансовых средств из бюджета нефтедобывающих компаний выделяется на транспортные затраты [10].

Исследования практики работы подвижного состава в Республике Саха (Якутия) позволило проанализировать отличия фактических показателей от плановых в тоннах и тонно-километрах по месяцам 2021 года на примере перевозок грузов седельными тягачами грузоподъемностью от 23 до 30 т в количестве от 25 единиц подвижного состава в июне, до 67 единиц подвижного состава в марте (рисунки 1, 2). Анализ показал, что отклонения фактических

показателей работы подвижного состава в целях обеспечения основного производства по добыче нефти и газа от плановых происходят как в большую, так и в меньшую сторону.

Как представлено на рисунке 1, в феврале 2021 наибольшее отклонение по выполнению перевозок грузов в тоннах составляло –31,3% от планового значения, а наименьшее –1,2% в декабре 2021. Невыполнение запланированных показателей наблюдалось как по пробегу подвижного состава, так и трудоемкости плановых работ по ТО и Р, обеспечивающих работоспособность подвижного состава.

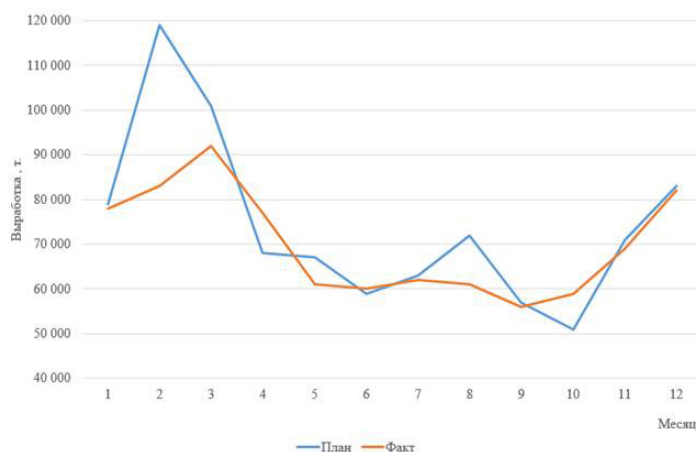


Рисунок 1. Влияние условий эксплуатации Крайнего Севера на выработку подвижного состава (грузоподъемностью от 23 до 30 т.) в тоннах за 2021 год

Источник: разработано авторами по результатам исследования практики работы подвижного состава в Республике Саха (Якутия)

Анализ изменения грузооборота в тонно-километрах позволил зафиксировать следующие значения: в феврале 2021 наибольшее отклонение по

выполнению перевозок грузов в тоннах составляло –27% от планового, а наименьшее –1,3% в декабре 2021 (рисунок 2).

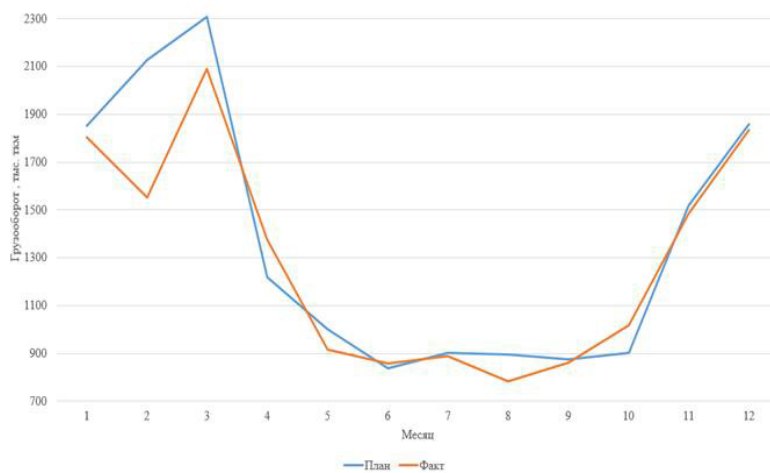


Рисунок 2. Влияние условий эксплуатации Крайнего Севера на грузооборот подвижного состава за 2021 год

Источник: разработано авторами по результатам исследования практики работы подвижного состава в Республике Саха (Якутия)

Л. Г. Резник [7] дал определение суровых условий как отличающихся от нормальных условий для данной машины.

Научные исследования влияния природно-климатических, дорожных, сезонных факторов в суровых условиях на эксплуатационные показатели работы подвижного состава проводились в Западной Сибири под руководством Л. Г. Резника, Н. С. Захарова.

Согласно Государственному Стандарту Союза ССР «Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей»<sup>2</sup> параметры, характеризующие природно-климатические, дорожные, сезонные условия для Крайнего Севера, отличаются от условий для Западной Сибири.

Изучение результатов исследований ученых и практических работников Г. В. Крамаренко, Е. С. Кузнецова, В. П. Воронова, А. П. Болдина, В. М. Власова и др. показало, что причинами отклонений плановых и фактических показателей по перевозкам грузов являются природно-климатические, дорожные и сезонные факторы.

В работах [15, 16] сделаны выводы об изменении климата и влиянии этих изменений на состояние дорог и периоды перевозок грузов.

Сегодня усилия практических работников транспортных подразделений основного производства по добыче нефти и газа направлены на разработку рекомендательных документов, корректировку оперативных показателей плана, которые без научного обоснования не приводят к ожидаемым результатам на практике.

Настоящее исследование является актуальным в разрезе реализации современных проблем освоения Крайнего Севера, которые определены Резолюцией I-го Нефтегазового форума Республики Саха (Якутия) (2019 г)<sup>3</sup> и «Транспортной стратегией РФ на период до 2030 года».

Целью исследования является разработка математической модели для планирования показателей работы подвижного состава с учётом условий Крайнего Севера.

Задачи настоящего исследования:

– представить уравнения и неравенства для определения вероятностных плановых показателей, изменение значений которых обусловлено влиянием природно-климатических, дорожных, транспортных, сезонных факторов суровых условий эксплуатации подвижного состава на Крайнем Севере (Республика Саха (Якутия));

– разработать целевую функцию и ограничения в математической модели с применением существующих математических приёмов и методов, позволяющих планировать перевозку грузов по сформированным маршрутам с учетом взаимосвязи машино-часов работы подвижного состава с выработкой (в тоннах и тонно-километрах) и пробегом, временем работы специальной техники; учитывать периодичность выполнения работ по техническому обслуживанию и их влияние на работоспособность подвижного состава в суровых условиях Крайнего Севера, потребность в необходимости перевозки груза в интересах предприятий основного производства по добыче нефти и газа;

– определить практическую реализацию разработанной математической модели.

Научная новизна представлена в виде разработанной математической модели, учитывающей совокупное влияние вероятностных технико-эксплуатационных показателей, вызванное суровыми условиями эксплуатации Крайнего Севера на плановые показатели обеспечения работоспособного состояния подвижного состава и перевозок грузов. В разработанной математической модели установлены взаимосвязи машино-часов работы с плановыми показателями выработки в тоннах и тонно-километрах, времени начала и окончания работы подвижного состава и специальной техники для транспортного обеспечения основного производства по добыче нефти и газа в суровых условиях Крайнего Севера.

### Обзор литературы

Обзор литературы, посвященный изучению научных исследований применительно к приемам и методам математического моделирования, показал пути решения проблемы без учета взаимосвязи плановых показателей, характеризующих работу подвижного состава в суровых условиях Крайнего Севера.

Н. С. Захаров [3, 4] обосновывает применение затрат в качестве критерия эффективности работы подвижного состава для подбора рационального марочного состава седельных тягачей.

Исследования, представленные в работах [6, 14, 17], посвящены формированию маршрутов перевозок грузов. Определено время работы транспортных маршрутов (зимних дорог) [17], сформированы рациональные маршруты перевозок грузов [14], выполнено закрепление потребителей за поставщиками при перевозке. В исследованиях нет учета по-

<sup>2</sup> ГОСТ 16350-80. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей. Введён Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 17 декабря 1980 г. № 5857. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004579> (дата обращения: 11.03.2022).

<sup>3</sup> Резолюция I-го Нефтегазового форума Республики Саха (Якутия), 2019 г – URL: <https://www.xn----7sbab7amcgekn3b5j.xn--p1ai/pervyy-neftegazovyy-forum-rs-ya-v-g-mirnyu-.php> (дата обращения: 11.03.2022).



требностей в перевозке грузов в конкретный период времени и возможности выполнения перевозок работоспособным подвижным составом.

В работах [5, 19] делается акцент на планирование по максимальному объему перевозок грузов и использование современных моделей подвижного состава. В исследованиях не применяются ограничения, связанные с влиянием природно-климатических, дорожных, транспортных, сезонных факторов, которые характеризуют суровые условия эксплуатации подвижного состава на Крайнем Севере.

В работе [12] предлагается выполнять планирование по показателям, установленным с применением спутниковой навигации. Однако разработанный подход используется только для целей оперативного планирования и ежедневного контроля.

Авторы работы [11] изучили влияние изменения температуры окружающей среды на работоспособное состояние элементов конструкции автомобилей КамАЗ, КрАЗ и БелАЗ в условиях Якутии. В исследованиях не учитывается возможность использования подвижного состава в перевозках конкретного вида груза.

В исследованиях [13, 20] представлены научные разработки по обеспечению работоспособности самосвалов на месторождениях Крайнего Севера, эксплуатация которых ограничена условиями карьера.

Для обеспечения работоспособности подвижного состава в условиях Крайнего Севера авторы [18] предложили внедрение сборочных методов технического обслуживания в практику и не установили взаимосвязь показателей, характеризующих применение этих методов с плановыми показателями машино-часов работы при перевозке грузов.

Недостаточная проработанность математических моделей для планирования работы подвижного состава в условиях Крайнего Севера, связанная с необходимостью учета условий эксплуатации, совместной работы подвижного состава и специальной техники, выполнение перевозок грузов работоспособным подвижным составом, требует решения поставленных в настоящей статье задач.

### Материалы и методы

В основе разработанной математической модели лежит научный подход для текущего планирования работы автотранспортных предприятий, сформулированный в работах [8, 9] о взаимосвязи перевозок грузов и выполнения ТО и ТР подвижного состава.

Методология исследования заключается в применении:

– методов текущего планирования работы автотранспортных предприятий, позволяющих выполнять расчет показателей по типоразмерам подвижного состава и выполнять расчет показателей по верхним и нижним границам доверительной вероятности;

– методов теории вероятностей, математической статистики, позволяющих учитывать совокупное влияние вероятностных технико-эксплуатационных показателей, изменение которых вызвано природно-климатическими, дорожными, сезонными факторами на плановые показатели перевозок грузов и на показатели обеспечения работоспособности подвижного состава в условиях Крайнего Севера;

– методов булевой алгебры для формирования ограничений по назначению подвижного состава на перевозку грузов с учетом практики совместной работы подвижного состава и специальной техники и по соответствию фактической и установленным трудоёмкостям работ по техническому обслуживанию и совмещённым с ним текущим ремонтам в суровых условиях Крайнего Севера.

### Результаты и их обсуждение

При сравнении суровых условий эксплуатации подвижного состава (природно-климатических, дорожных, транспортных, сезонных) на Крайнем Севере (Республика Саха (Якутия)) и условий эксплуатации Западной Сибири применялись данные ГОСТ 16350-80 и были сделаны следующие выводы:

– в республике Саха (Якутия) в 17,6 раза больше количество дней в году со средней суточной температурой воздуха от  $-49,9^{\circ}\text{C}$  до  $-40,0^{\circ}\text{C}$ ;

– на  $4,9^{\circ}\text{C}$  ниже среднегодовая температура воздуха;

– выше на  $7^{\circ}\text{C}$  абсолютный максимум температуры воздуха, ниже на  $10^{\circ}\text{C}$  абсолютный минимум температуры воздуха;

– ниже на 19% средняя годовая относительная влажность воздуха;

– для работы подвижного состава используются автозимники, имеющие различные сроки эксплуатации в течение года;

– расстояние между объектами основного производства по добыче нефти и газа, между которыми осуществляются перевозки подвижным составом, составляет от 5 км до 800 км.

В настоящем исследовании учитывается, что природно-климатические, дорожные и сезонные условия эксплуатации подвижного состава в Республике Саха (Якутия) значительно отличаются от условий эксплуатации подвижного состава в Западной Сибири, для которых проводились исследования ранее.

В результате изучения практики эксплуатации подвижного состава для обеспечения производства нефти и газа в условиях Крайнего Севера (Саха (Якутия)) уточнен термин «суровые условия Крайнего Севера для эксплуатации подвижного состава», как отличающиеся от условий Западной Сибири по среднегодовой  $t^{\circ}$  окружающего воздуха, абсолютному минимуму и максимуму, относительной влажности воздуха и среднегодовому количеству атмосферных осадков.

Изучение практики эксплуатации подвижного состава показало, что факторы суровых условий Крайнего Севера через технико-эксплуатационные показатели работы подвижного состава, через объёмы воздействия (агрегаты и узлы каждой единицы подвижного состава определённого ТПР) оказывают влияние на плановые показатели – машино-часы в работе, общий пробег, выработку, трудоемкость для обеспечения работоспособного состояния подвижного состава.

В структуре предприятий по добыче нефти и газа в Республике Саха организованы структурные автотранспортные подразделения, в которых присутствует подвижной состав, различный по грузоподъёмности и типу кузова, а также грузоподъёмная техника [1]. Исследования проводятся применительно к подвижному составу различных ТПР, которые представляют собой группы подвижного состава, объединённые по типу кузова, диапазону грузоподъёмности, расстоянию перевозок грузов.

В автотранспортных подразделениях предприятий по добыче нефти и газа планирование выполняется для каждого ТПР подвижного состава от 1 до  $B$  ( $b = \overline{1, B}$ ). В настоящем исследовании каждая единица, выполняющая перевозку грузов, учитывается по номеру от 1 до  $A$  ( $a = \overline{1, A}$ ).

Изучение практики работы подвижного состава показало, что погрузо-разгрузочные работы на конкретных объектах производства выполняются специальной техникой. Например, седельные тягачи выполняют перевозку имущества бригад бурения

скважин, при этом погрузка и разгрузка осуществляется автокранами различной грузоподъёмности. В настоящем исследовании при математическом моделировании учитываются не только плановые показатели каждой единицы подвижного состава, но также плановые показатели каждой единицы специальной техники (от 1 до  $K$ ).

Для практической реализации математической модели изучена карта-схема расположения объектов основного производства по добыче нефти и газа в Республике Саха (Якутия). В математической модели предусмотрено, что перевозка осуществляется по разным маршрутам от одного производственного объекта на другой, которые специально формируются по проложенным:

- автодорогам круглогодичным;
- автозимникам;
- ледовым переправам;
- паромным переправам;
- вдольтрассовым проездам нефтепроводов.

Количество маршрутов изменяется от 1 до  $J$  и соответствует количеству заявленных договоров с предприятиями, т. е. договор заключается на каждый маршрут, на котором перевозятся различные виды груза и используется подвижной состав различных ТПР.

В настоящей математической модели в качестве критерия эффективности используется величина затрат на работу подвижного состава автотранспортного подразделения для обеспечения работ основного производства по добыче нефти и газа в условиях Крайнего Севера (формулы (1) – (3)).

$$Z \rightarrow \min (1)$$

$$Z = \sum_{a=1}^A \sum_{b=1}^B \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^{12} (H_{a,b,j,k,t} \cdot C_{a,b}); k = \overline{1, K}, \quad (2)$$

где

$Z$  – затраты на работу подвижного состава автотранспортного подразделения для обеспечения работ основного производства по добыче нефти и газа в условиях Крайнего Севера, руб.;

$H_{a,b,j,k,t}$  – общее количество часов работы  $a$ -го подвижного состава  $b$ -го ТПР, выполняющего перевозку по  $j$ -му маршруту и работающего совместно с  $k$ -ой единицей специальной техники в  $t$ -ом месяце, ч;

$C_{a,b}$  – тариф за час работы  $a$ -го подвижного состава  $b$ -го ТПР, руб./ч.

$$H_{a,b,j,k,t} = S_{a,b,j,k,t} \cdot N_{CM a,b,j,k,t}; a = \overline{1, A}; b = \overline{1, B}; j = \overline{1, J}; k = \overline{1, K}; t = \overline{1, 12}, \quad (3)$$

где

$S_{a,b,j,k,t}$  – сменное время работы  $a$ -го подвижного состава  $b$ -го ТПР, выполняющего перевозку груза по  $j$ -му маршруту и работающего совместно с  $k$ -ой единицей специальной техники в  $t$ -ом месяце, ч;

$N_{CM a,b,j,k,t}$  – количество смен  $a$ -го подвижного состава  $b$ -го ТПР, выполняющего перевозку груза по  $j$ -му маршруту и работающего совместно с  $k$ -ой единицей специальной техники в  $t$ -ом месяце, ед.;

$$N_{CM a,b,j,k,t} = \text{int}(N_{a,b,j,k,t}).$$

Для учета практики совместной работы подвижного состава и специальной техники применяется булева переменная назначения по соответствию времени начала и окончания работы подвижного

состава различного ТПР.

Сменное время работы зависит от времени оборота подвижного состава и количества гружёных ездов (формулы (4), (5)).

$$S_{a,b,j,k,t} = R_{a,b,j,k,t} \cdot (Z_{CMa,b,j,k,t} \cdot n_{a,b,j,k,t}); \quad (4)$$

$$a = \overline{1, A}; b = \overline{1, B}; j = \overline{1, J}; k = \overline{1, K}; t = \overline{1, 12},$$

где

$R_{a,b,j,k,t}$  – время оборота  $a$ -го подвижного состава  $b$ -го ТПР, выполняющего перевозку груза по  $j$ -му маршруту и работающего совместно с  $k$ -ой единицей специальной техники в  $t$ -ом месяце, ч;

$Z_{CMa,b,j,k,t}$  – количество гружёных ездов за смену для  $a$ -го подвижного состава  $b$ -го ТПР, выполняющего перевозку по  $j$ -му маршруту и работающего совместно с  $k$ -ой единицей специальной техники, ед.,  $Z_{CMa,b,j,k,t} = \text{int}(Z_{CMa,b,j,k,t})$ ;

$n_{a,b,j,k,t}$  – булева переменная назначения по соответствию времени начала и окончания работы  $a$ -го подвижного состава  $b$ -го ТПР, для выполнения ездки по  $j$ -му маршруту с временем начала и окончания работы  $k$ -ой единицы специальной техники в  $t$ -ом месяце,  $n_{a,b,j,k,t} = \overline{0, 1}$ ,  $n_{a,b,j,k,t} = \text{int}(n_{a,b,j,k,t})$ .

$$n_{a,b,j,k,t} = \begin{cases} 1, & \text{если } \begin{cases} O_{a,b,j,k,t} > C_{k,a,b,j,t}; \\ O_{a,b,j,k,t} < c_{k,a,b,j,t}; \end{cases} \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases} \quad (5)$$

$$a = \overline{1, A}; b = \overline{1, B}; j = \overline{1, J}; k = \overline{1, K}; t = \overline{1, 12},$$

где

$O_{a,b,j,k,t}$  – время начала работы  $a$ -го подвижного состава  $b$ -го ТПР, выполняющего перевозку груза по  $j$ -му маршруту и работающего совместно с  $k$ -ой единицей специальной техники в  $t$ -ом месяце, ч.;

$o_{a,b,j,k,t}$  – время окончания работы  $a$ -го подвижного состава  $b$ -го ТПР, выполняющего перевозку груза по  $j$ -му маршруту и работающего совместно с  $k$ -ой единицей специальной техники в  $t$ -ом месяце, ч.;

$C_{k,a,b,j,t}$  – время начала работы  $k$ -ой единицы специальной техники, работающей совместно с  $a$ -м подвижным составом  $b$ -го ТПР, выполняющим перевозку груза по  $j$ -му маршруту в  $t$ -ом месяце, ч.;

$c_{k,a,b,j,t}$  – время окончания работы  $k$ -ой единицы специальной техники, работающей совместно с  $a$ -м подвижным составом  $b$ -го ТПР, выполняющего перевозку груза по  $j$ -му маршруту в  $t$ -ом месяце, ч.

Плановое количество ездов за смену зависит от (формулы (6–8)) выработки подвижного состава различного ТПР

$$Z_{CMa,b,j,k,t} = \frac{(Q_{CMa,b,j,k,t} \cdot v_{a,b,j,k,t})}{A_{a,b,j,k,t}}; \quad (6)$$

$$a = \overline{1, A}; b = \overline{1, B}; j = \overline{1, J}; k = \overline{1, K}; t = \overline{1, 12},$$

$$\sum_{a=1}^A \sum_{b=1}^B (Q_{CMa,b,j,k,t} \cdot v_{a,b,j,k,t}) \geq Q_{j,t}; j = \overline{1, J}; k = \overline{1, K}; t = \overline{1, 12}, \quad (7)$$

где

$Q_{CMa,b,j,k,t}$  – выработка за смену  $a$ -го подвижного состава  $b$ -го ТПР, выполняющего перевозку по  $j$ -му маршруту и работающего совместно с  $k$ -ой единицей специальной техники в  $t$ -ом месяце, т;

$v_{a,b,j,k,t}$  – булева переменная назначения по соответствию фактической и установленным трудоёмкостям работ по техническому обслуживанию и совмещённых с ним текущих ремонтов в суровых условиях Крайнего Севера  $a$ -го подвижного состава  $b$ -го ТПР, выполняющего перевозку груза по  $j$ -му маршруту с учётом работы  $k$ -ой единицы специальной техники в  $t$ -ом месяце,  $v_{a,b,j,k,t} = \overline{0, 1}$ ,  $v_{a,b,j,k,t} = \text{int}(v_{a,b,j,k,t})$ ;

$Q_{j,t}$  – плановая выработка по  $j$ -му маршруту в  $t$ -ом месяце, т;

$A_{a,b,j,k,t}$  – вероятностная величина массы отправки груза в суровых условиях Крайнего Севера  $a$ -го подвижного состава  $b$ -го ТПР, выполняющего перевозку по  $j$ -му маршруту и работающего совместно с  $k$ -ой единицей специальной техники в  $t$ -ом месяце, т.

$$v_{a,b,j,k,t} = \begin{cases} 1, & \text{если } V_{a,b,j,k,t} \cdot f_b \geq h_{a,b,j,t}; \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases} \quad (8)$$

$$a = \overline{1, A}; b = \overline{1, B}; j = \overline{1, J}; k = \overline{1, K}; t = \overline{1, 12},$$

где

$V_{a,b,j,k,t}$  – количество технических обслуживаний и совмещённых с ними текущих ремонтов для  $a$ -го подвижного состава  $b$ -го ТПР, выполняющего перевозку по  $j$ -му маршруту и работающего совместно с  $k$ -ой единицей специальной техники в  $t$ -ом месяце, ед.;

$V_{a,b,j,k,t} = \text{int}(V_{a,b,j,k,t})$ ;

$f_b$  – фактическая трудоёмкость работ по техническому обслуживанию и совмещённых с ним текущих ремонтов в условиях Крайнего Севера для подвижного состава  $b$ -го ТПР, чел. ч.;

$h_{a,b,j,t}$  – установленная трудоёмкость работ по техническому обслуживанию и совмещённых с ним текущих ремонтов в условиях Крайнего Севера для подвижного состава  $a$ -го ТПР, чел. ч.

Время оборота рассчитывается с учетом вероятностных значений расстояния перевозок грузов, средней технической скорости для подвижного состава различного ТПР, времени на погрузку и выгрузку (формула (9)).

$$R_{a,b,j,k,t} = \frac{2 \cdot l_{GE a,b,j,k,t}}{V_{CT a,b,j,k,t}} + t_{П a,b,j,k,t} + t_{B a,b,j,k,t}; \quad (9)$$

$$a = \overline{1, A}; b = \overline{1, B}; j = \overline{1, J}; k = \overline{1, K}; t = \overline{1, 12},$$

где

$l_{GE a,b,j,k,t}$  – вероятностная величина расстояния перевозок грузов в суровых условиях Крайнего Севера для  $a$ -го подвижного состава  $b$ -го типоразмера, выполняющего перевозку по  $j$ -му маршруту и работающего совместно с  $k$ -ой единицей специальной техники в  $t$ -ом месяце, км;

$V_{CT a,b,j,k,t}$  – вероятностная величина средней технической скорости перевозки грузов в суровых условиях Крайнего Севера для  $a$ -го подвижного состава  $b$ -го ТПР, выполняющего перевозку по  $j$ -му маршруту и работающего совместно с  $k$ -ой единицей специальной техники в  $t$ -ом месяце, км/ч.;

$t_{П a,b,j,k,t}$  – вероятностная величина времени на погрузку в суровых условиях Крайнего Севера на  $a$ -го подвижного состава  $b$ -го ТПР, выполняющего перевозку груза по  $j$ -му маршруту в  $t$ -ом месяце, ч.  $k$ -ой единицей специальной техники, работающей совместно, ч.;

$t_{B i,x,j,k,t}$  – вероятностная величина времени на выгрузку в суровых условиях Крайнего Севера из  $a$ -го подвижного состава  $b$ -го ТПР, выполняющего перевозку груза по  $j$ -му маршруту в  $t$ -ом месяце, ч.  $k$ -ой единицей специальной техники, работающей совместно, ч.

Пробег за месяц зависит от вероятностной величины сменного пробега и количества смен за месяц (формулы (10), (11))

$$L_{M a,b,j,k,t} = L_{CM a,b,j,k,t} \cdot N_{CM a,b,j,k,t}; \quad (10)$$

$$a = \overline{1, A}; b = \overline{1, B}; j = \overline{1, J}; k = \overline{1, K}; t = \overline{1, 12},$$

где

$L_{M a,b,j,t}$  – пробег за месяц  $a$ -го подвижного состава  $b$ -го ТПР, выполняющего перевозку по  $j$ -му маршруту и работающего совместно с  $k$ -ой единицей специальной техники в  $t$ -ом месяце, км;

$L_{CM a,b,j,k,t}$  – пробег за смену  $a$ -го подвижного состава  $b$ -го ТПР, выполняющего перевозку по  $j$ -му маршруту, работающего совместно с  $k$ -ой единицей специальной техники в  $t$ -ом месяце, км.

$$L_{CM a,b,j,k,t} = Z_{CM a,b,j,k,t} \cdot 2l_{GE a,b,j,k,t} + l_{НП a,b,j,k,t}; \quad (11)$$

$$a = \overline{1, A}; b = \overline{1, B}; j = \overline{1, J}; k = \overline{1, K}; t = \overline{1, 12},$$

где

$l_{НП a,b,j,k,t}$  – нулевой пробег  $a$ -го единицы подвижного состава  $b$ -го ТПР, выполняющего перевозку по  $j$ -му маршруту и работающего совместно с  $k$ -ой единицей специальной техники в  $t$ -ом месяце, км.

Выработка за месяц в тонно-километрах зависит от выработки за смену, вероятностной величины расстояния перевозок грузов и количества смен за месяц (формула (12)).



$$P_{M a, b, j, k, t} = (Q_{CM a, b, j, k, t} \cdot v_{a, b, j, k, t}) \cdot l_{ГЕ a, b, j, k, t} \cdot N_{CM a, b, j, k, t}; \quad (12)$$

$$a = \overline{1, A}; b = \overline{1, B}; j = \overline{1, J}; k = \overline{1, K}; t = \overline{1, 12},$$

где

$P_{M a, b, j, k, t}$  – выработка за месяц  $a$ -го подвижного состава  $b$ -го ТПР, выполняющего перевозку по  $j$ -му маршруту и работающего совместно с  $k$ -ой единицей специальной техники в  $t$ -ом месяце, т·км.

Практическая значимость разработанной математической модели заключается в возможности её применения для планирования работы подвижного состава в суровых условиях Крайнего Севера при транспортном обеспечении основного производства по добыче нефти и газа.

### Заключение

Получены новые научные результаты, которые выражены математически в виде совокупности ограничений для получения минимальных затрат при работе подвижного состава на основе исследования практики эксплуатации подвижного состава в суровых условиях Крайнего Севера и связаны с имеющимися на практике отклонениями фактических показателей работы подвижного состава от плановых более, чем на 30%. Имеющиеся отклонения плановых показателей работы подвижного состава влияют на плановые объёмы добычи нефти и газа предприятиями основного производства и препятствуют достижению цели энергосырьевого варианта развития, изложенного в «Транспортной стратегии РФ на период до 2030 года» по выработке автомобильного транспорта.

Установлены вероятностные технико-эксплуатационные показатели перевозок грузов – расстояние перевозок, средняя техническая скорость, время на погрузку и разгрузку груза, масса отправки груза подвижным составом определенного ТПР, влияющие на выработку и трудоемкость технических обслуживаний и совмещенных с ними текущих ремонтов.

Применяемые методы позволили разработать совокупность ограничений для реализации целевой функции, учитывающей вероятностный процесс работы подвижного состава.

Применение математической модели в планировании работы транспортных подразделений, осуществляющих транспортное обеспечение предприятий основного производства по добыче нефти и газа, позволяет учитывать:

- перевозку грузов по сформированным маршрутам, включающим в себя автодороги круглого-

- дичные, автозимники, ледовые переправы, паромные переправы, вдольтрассовые проезды нефтепроводов в определенные периоды времени года;

- взаимосвязь машино-часов работы подвижного состава с выработкой и пробегом;

- периоды работы специальной техники и их взаимосвязь с периодом работы подвижного состава;

- периодичность выполнения работ по техническому обслуживанию и их влияние на работоспособность подвижного состава в суровых условиях Крайнего Севера;

- потребность в необходимости перевозки груза в интересах предприятий основного производства по добыче нефти и газа.

Математическая модель работы подвижного состава может применяться в планировании выработки в тоннах и тонно-километрах, пробега и трудоемкости подвижного состава различного ТПР для обеспечения основного производства по добыче нефти и газа в суровых условиях Крайнего Севера; для расчета производственной программы по ТО и ТР подвижного состава различного ТПР, которая будет выполнена на участках технического обслуживания и ремонта в транспортных предприятиях.

Математическая модель может применяться для определения необходимого количества подвижного состава различного ТПР для перевозки грузов при обеспечении основного производства по добыче нефти и газа из мест базирования производственных площадок, баз производственного и технического обеспечения с учетом объемов основного производства.

Дальнейшими направлениями исследований являются определения вероятностных значений плановых показателей работы подвижного состава, величины которых являются ограничениями в разработанной математической модели.

Дальнейшие исследования будут направлены на:

- изучение влияния длины ездки с грузом, средней технической скорости, времени на погрузку и разгрузку, времени работы специальной техники на выработку и пробег подвижного состава;

- изучение влияния общего пробега подвижного состава на время выполнения ТО и ТР.

### Литература

1. Вахрушев С. А., Трофимова Л. С. Характеристика теоретических положений по планированию для практики работы подвижного состава при добыче нефти и газа в условиях Крайнего Севера // Прогрессивные технологии в транспортных системах: Евразийское сотрудничество: сборник материалов XV международ. науч.-практ. конф. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2020. – С. 117–126.

2. Вахрушев С. А. Особенности практики работы подвижного состава при перевозке грузов в условиях Крайнего Севера // Техника и технологии строительства. – 2020. – № 3(23). – С. 4–11.
3. Захаров Н. С., Немков М. В., Немков В. М. Методика выбора марочного состава седельных тягачей с использованием интегрального коэффициента // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – № 6. – С. 88–95. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-6-88.
4. Захаров Н. С., Ракитин В. А. Методика формирования парка грузовых автомобилей автотранспортного предприятия в зависимости от назначения и технико-эксплуатационных показателей транспортных средств // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 3. – С. 174–188.
5. Кизим О. В. Логистическое обеспечение месторождений крайнего севера // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. – 2020. – № 2. – С. 15–21.
6. Куликов А. В., Фирсова С. Ю., Дорохина В. С. Повышение эффективности автомобильных перевозок в условиях Крайнего Севера Российской Федерации // Вестник СибАДИ. – 2021. – Т. 18, № 3(79). – С. 286–305. DOI: 10.26518/2071-7296-2021-18-3-286-305.
7. Резник Л. Г., Тюлькин В. А. Оценка суровости зимних условий эксплуатации автомобилей // Межвузовский сборник статей – Тюмень: Тюменский индустриальный университет. – 2001. – С. 44–48.
8. Трофимова Л. С. Математическая модель функционирования автотранспортного предприятия при перевозке грузов в городе // Мир транспорта и технологических машин. – 2020. – № 2(69). – С. 69–79. DOI: 10.33979/2073-7432-2020-69-2-69-78.
9. Трофимова Л. С., Певнев Н. Г. Математическая модель функционирования автотранспортного предприятия при перевозке грузов в междугородном сообщении для текущего планирования // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – Т. 22, № 4. – С. 243–252.
10. Туренко Б. Г., Хамнаев В. А. Методические аспекты сравнения использования эффективных систем транспортировки нефти, газа, нефтегазопродуктов // Азимут научных исследований: экономика и управление. – Т. 9. № 3(32). – 2020. – С. 389–393. DOI: 10.26140/anie-2020-0903-0093.
11. Учет неравномерности расхода запасных частей при планировании поставок станциям технического обслуживания автомобилей / С. А. Гребенников [и др.] // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2019. – № 2(35). – С. 119–125.
12. Филиппова Н. А., Ефименко Д. Б., Ледовский А. А. Обеспечение эффективности транспортных процессов в районах Крайнего Севера // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – № 4(77). – С. 150–159.
13. Bochkajov Y. S., Vikulov M. A. (2019) Optimization of truck operation at gravel deposits. *Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 229. pp. 193–217. DOI: 10.1088/1755-1315/229/1/012009.
14. Egorova T., Delakhova A. (2019) Optimization of transport activity of industrial enterprises in the Arctic region based on logistics solutions. *Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 632. *International Conference on Innovations in Automotive and Aerospace Engineering*. pp. 37–47. DOI: 10.1088/1757-899X/632/1/012029.
15. Hori Y. et al. (2018) Implications of projected climate change on winter road systems in Ontario's Far North, Canada. *Climatic Change*. Vol. 148. 2018. Pp. 109–122. DOI: 10.1007/s10584-018-2178-2/.
16. Hori, Y. et al. Community vulnerability to changes in the winter road viability and longevity in the western James Bay region of Ontario's Far North. *Reg Environ Change*. Vol. 18. 2018. pp. 1753–1763. DOI: 10.1007/s10113-018-1310-1.
17. Prihodko V. et al. (2021) Influence of climatic factors on the implementation of intelligent transport system technologies in the regions of the Far North and the Arctic. *Transportation Research Procedia*. Vol. 57. pp. 495–501. DOI: 10.1016/j.trpro.2021.09.077.
18. Semykina A. et al. (2021) Main directions of improving the maintenance and repair of vehicle units in the Far North. *Transportation Research Procedia*. Vol. 57. pp. 611–616. DOI: 10.1016/j.trpro.2021.09.09.
19. Shcherbanin Yu. A. Russian Transportation: Six Years of Economic Sanctions. (2020) *Studies on Russian Econ. Dev.* 31. pp. 294–303. DOI: 10.1134/S1075700720030156.
20. Toskunin I. et al (2020) Study of the Features of the Operation of a Dump Truck BelAZ 75131 at the Enterprise of JSC «AGD DIAMONDS» in the Conditions of the Far North. *Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 459, Chapter 3. pp. 1290–1295. DOI: 10.1088/1755-1315/459/4/042042.

## References

1. Vahrushev, S. A., Trofimova, L. S. (2020) [The characteristics of theoretical positions concerning the organization of the rolling stock working by oil production in the Far North conditions]. *Progressivnye tekhnologii v transportnyh sistemah: Evrazijskoe sotrudnichestvo: Sbornik materialov XV mezhdunarod. nauch.-prakt. konf. [Progressive technologies in transport systems: Eurasian cooperation: collection of materials XV int. scientific-practical. conf.]*. Orenburg: Orenburg State University, pp. 117–126. (In Russ.).
2. Vahrushev, S. A. (2020) [The characteristics of the practice of rolling stock operation during cargo trans-

portation in the conditions of the Far North]. *Tekhnika i tekhnologii stroitelstva* [Technique and construction technology]. Vol. 3(23), pp. 4–11. (In Russ.).

3. Zaharov, N. S., Nemkov, M. V., Nemkov, V. M. (2021) [The method of selection of the brand composition of truck tractors using the integral coefficient]. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intelligence. Innovations. Investments.]. Vol. 6, pp. 88–95. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-6-88. (In Russ.).

4. Zaharov, N. S., Rakitin, V. A. (2015) [The methodology of forming a fleet of trucks of a motor transport company depending on the purpose of technical and operational indicators of vehicles]. *Inzhenernyj vestnik Dona* [Engineering Journal of Don]. Vol. 3, pp. 174–188. (In Russ.).

5. Kizim, O. V. (2020) [Logistics support locations of the Far North]. *Vestnik Doneckoj akademii avtomobilnogo transporta* [Bulletin of the Donetsk Academy of Road Transport]. Vol. 2, pp. 15–21. (In Russ.).

6. Kulikov, A. V., Firsova, S. Yu., Dorohina, V. S. (2021) [The improving the efficiency of road transport in the conditions of the Far North of the Russian Federation]. *Vestnik SibADI* [Bulletin SibADI]. Vol. 18., No. 3(79), pp. 286–305. DOI: 10.26518/2071-7296-2021-18-3-286-305. (In Russ.).

7. Reznik, L. G., Tyulkin, V. A. (2001) [The assessment of the severity of winter vehicle operating conditions]. *Mezhvuzovskij sbornik statej* [Tyumen Industrial University Interuniversity collection of articles]. Tyumen. Tyumen Industrial University, pp. 44–48. (In Russ.).

8. Trofimova, L. S. (2020) [The mathematical model of the functioning of a motor transport company during the transportation of goods in the city]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin* [The world of transport and technological machines]. Vol. 2(69), pp. 69–79. DOI:10.33979/2073-7432-2020-69-2-69-78. (In Russ.).

9. Trofimova, L. S., Pevnev, N. G. (2018) [The mathematical model of the functioning of a motor transport company when transporting goods in intercity communication for technical planning]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Irkutsk State Technical University]. Vol. 22. No. 4, pp. 243–252. (In Russ.).

10. Turenko, B. G., Hamnaev, V. A. (2020) [The methodological aspects of comparing the use of efficient oil, gas, and oil and gas products transportation systems]. *Azimut nauchnyh issledovanij: ekonomika i upravlenie* [Azimuth of Scientific Research: Economics and Management]. Vol. 9. No. 3(32), pp. 389–393. DOI: 10.26140/anie-2020-0903-0093. (In Russ.).

11. Grebennikov, S. A. and others (2019) [Taking into account the uneven consumption of spare parts when planning deliveries to car service stations]. *Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve* [Technical regulation in transport construction]. Vol. 2(35), pp. 119–125. (In Russ.).

12. Filippova, N. A., Efimenko, D. B., Ledovskij, A. A. (2018) [Ensuring the efficiency of transport processes in the regions of the Far North]. *Mir transporta* [World of Transport]. Vol. 16, No. 4(77), pp. 150–159. (In Russ.).

13. Bocharjov, Y. S., Vikulov, M. A. (2019) Optimization of truck operation at gravel deposits. *Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 229, pp. 193–217. DOI: 10.1088/1755-1315/229/1/012009. (In Eng.).

14. Egorova, T., Delakhova, A. (2019) Optimization of transport activity of industrial enterprises in the Arctic region based on logistics solutions. *Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 632. International Conference on Innovations in Automotive and Aerospace Engineering*. pp. 37–47. DOI: 10.1088/1757-899X/632/1/012029. (In Eng.).

15. Hori, Y. et al. (2018) Implications of projected climate change on winter road systems in Ontario's Far North, Canada. *Climatic Change*. Vol. 148, pp. 109–122. DOI: 10.1007/s10584-018-2178-2/. (In Eng.).

16. Hori, Y. et al. (2018) Community vulnerability to changes in the winter road viability and longevity in the western James Bay region of Ontario's Far North. *Reg Environ Change*. Vol. 18, pp. 1753–1763. DOI: 10.1007/s10113-018-1310-1. (In Eng.).

17. Prihodko, V. et al. (2021) Influence of climatic factors on the implementation of intelligent transport system technologies in the regions of the Far North and the Arctic. *Transportation Research Procedia*. Vol. 57, pp. 495–501. DOI: 10.1016/j.trpro.2021.09.077. (In Eng.).

18. Semykina, A. et al. (2021) Main directions of improving the maintenance and repair of vehicle units in the Far North. *Transportation Research Procedia*. Vol. 57, pp. 611–616. DOI: 10.1016/j.trpro.2021.09.09. (In Eng.).

19. Shcherbanin, Yu. A. Russian Transportation: Six Years of Economic Sanctions. (2020) *Studies on Russian Econ. Dev.* 31, pp. 294–303. DOI: 10.1134/S1075700720030156. (In Eng.).

20. Toskunin, I. et al. (2020) Study of the Features of the Operation of a Dump Truck BelAZ 75131 at the Enterprise of JSC “AGD DIAMONDS” in the Conditions of the Far North. *Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 459, Chapter 3, pp. 1290–1295. DOI: 10.1088/1755-1315/459/4/042042. (In Eng.).

#### Информация об авторах:

Сергей Александрович Вахрушев, аспирант, научная специальность 05.22.10 Эксплуатация автомобильного транспорта, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Омск, Россия

**ORCID ID:** 0000-0001-7801-2616

e-mail: cv-omsk@yandex.ru

**Борис Сергеевич Трофимов**, кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации и ремонта автомобилей, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Омск, Россия

**ORCID ID:** 0000-0003-4812-8823

e-mail: trofim\_bs@mail.ru

**Людмила Семеновна Трофимова**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры организации перевозок и управлением на транспорте, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Омск, Россия

**ORCID ID:** 0000-0001-7312-1557

e-mail: trofimova\_ls@mail.ru

**Вклад соавторов:**

**Вахрушев С. А.** – формулировка цели и задач исследования, основных выводов, ограничений в математической модели работы подвижного состава в условиях Крайнего Севера (60%);

**Трофимов Б. С.** – обзор исследований по существующим подходам к описанию работы подвижного состава в условиях Крайнего Севера (30%);

**Трофимова Л. С.** – разработка материалов и методов для математического моделирования работы подвижного состава в условиях Крайнего Севера (10%).

Статья поступила в редакцию: 13.03.2022; принята в печать: 15.06.2022.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

**Information about the authors:**

**Sergey Aleksandrovich Vakhrushev**, postgraduate student, training program 05.22.10 Operation of road transport, The Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russia

**ORCID ID:** 0000-0001-7801-2616

e-mail: cv-omsk@yandex.ru.

**Boris Sergeevich Trofimov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Operation and Repair of Cars, The Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russia

**ORCID ID:** 0000-0003-4812-8823

e-mail: trofim\_bs@mail.ru

**Lyudmila Semyonovna Trofimova**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Organization of transportation and management on transport, The Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russia

**ORCID ID:** 0000-0001-7312-1557

e-mail: trofimova\_ls@mail.ru

**Contribution of the authors:**

**Vakhrushev S. A.** – formulation of the purpose and objectives of the study, the main conclusions, limitations in the mathematical model of rolling stock operation in the conditions of the Far North (60%).

**Trofimov B. S.** – review of research on existing approaches to describing the operation of rolling stock in the conditions of the Far North (30%).

**Trofimova L. S.** – development of materials and methods for mathematical modeling of rolling stock operation in the conditions of the Far North (10%).

The paper was submitted: 13.03.2022.

Accepted for publication: 15.06.2022.

The authors have read and approved the final manuscript.