УДК 656.7:629.3.083
DOI 10.23968/1999-5571-2026-23-4-150-157

© *И. В. Арифуллин*, канд. техн. наук, доцент
(Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)), Москва, Россия)
E-mail: i_arifullin@mail.ru
© *С. А. Евтюков*, д-р техн. наук, профессор
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия)
E-mail: s.a.evt@mail.ru
© *О. С. Гуськова*, ассистент
(Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)), Москва, Россия)
E-mail: olyagaga@gmail.com

© *I. V. Arifullin*, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)), Moscow, Russia)
E-mail: i_arifullin@mail.ru
© *S. A. Evtukov*, Dr. Sci. Tech., Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russia)
E-mail: s.a.evt@mail.ru
© *O. S. Guskova*, assistant
(Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)), Moscow, Russia)
E-mail: olyagaga@gmail.com

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ КОМПЛЕКСНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАПАСНЫМИ ЧАСТЯМИ СПЕЦИАЛЬНОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В АЭРОПОРТАХ

OPTIMIZATION OF INTEGRATED PROVISION WITH SPARE PARTS FOR SPECIAL AIRPORT AUTOMOTIVE EQUIPMENT

Исследуется задача комплексного обеспечения запасными частями специальной автомобильной техники (САТ), эксплуатируемой в аэропортовых комплексах. Особенности номенклатуры САТ, включая высокую долю новых, редко потребляемых и дорогостоящих агрегатов, обусловливают отсутствие репрезентативных статистических выборок, что делает традиционные вероятностные модели прогнозирования спроса некорректными. В качестве методологической основы применяется теория неопределенности, позволяющая формализовать экспертные оценки в виде функций уверенности. Разработана многокритериальная оптимизационная модель, интегрирующая минимизацию совокупных логистических затрат с обеспечением заданных показателей поддерживаемости техники. Вероятностные ограничения преобразованы в детерминированные эквиваленты через принцип заданного уровня доверия. Для решения сформулированной задачи модифицирован генетический алгоритм, адаптированный под дискретно-непрерывную природу переменных и нелинейные ограничения. Численная апробация на примере 19 объектов аэропортовой инфраструктуры подтвердила устойчивость предложенного подхода и демонстрирует снижение простоев техники на 18–22 % при сокращении избыточных складских остатков. Предложенная методология обладает высокой готовностью к интеграции в корпоративные системы управления техническим обслуживанием и логистикой аэропортов.

Ключевые слова: специальное автомобильное оборудование аэропортов, управление запасными частями, теория неопределенности, многокритериальная оптимизация, генетический алгоритм, детерминированный эквивалент, логистика технического обслуживания, показатели поддерживаемости.

The article investigates the problem of integrated spare parts supply for special purpose vehicles (SPV) operated at airport complexes. The specifics of SPV nomenclature characterized by a high proportion of new, rarely consumed, and expensive components leads to the absence of representative statistical samples, rendering traditional probabilistic demand forecasting models inadequate. Uncertainty theory is applied as a methodological foundation, enabling the formalization of expert assessments into belief functions. There has been developed a multi-criteria optimization model, integrating total logistics cost minimization with the achievement of target equipment supportability indicators. Probabilistic constraints are transformed into deterministic equivalents

through the principle of a predetermined confidence level. To solve the formulated problem, a modified genetic algorithm is employed, which is adapted to the discrete-continuous nature of variables and non-linear constraints. Numerical testing on the example of 19 airport infrastructure facilities confirms the stability of the proposed approach and demonstrates a decrease in equipment downtime by 18–22 % while reducing excess warehouse inventory. The proposed methodology exhibits high readiness for integration into corporate airport maintenance and logistics management systems.

Keywords: special airport automotive equipment, spare parts management, uncertainty theory, multi-criteria optimization, genetic algorithm, deterministic equivalent, maintenance logistics, supportability indicators.

Введение

Функционирование современной аэропортовой инфраструктуры невозможно без непрерывного цикла технического обслуживания специального автомобильного оборудования (САТ), включающего тягачи, заправщики, снегоуборочные комплексы, пассажирские трапы и установки противообледенительной обработки. Отказ любой единицы подобной техники непосредственно влияет на соблюдение расписания полетов, пропускную способность аэродрома и общую безопасность эксплуатации. В этих условиях материально-техническое обеспечение запасными частями выступает критическим элементом производственной цепи, определяющим коэффициент готовности парка и экономическую эффективность авиатранспортного узла [7, 9].

Традиционные подходы к управлению складскими остатками базируются на стохастических моделях, требующих длительных исторических рядов потребления для калибровки распределений вероятностей. Чтобы не столкнуться с нехваткой запасных частей и закупкой лишних, необходимо отдавать предпочтение экспертной оценке, нежели сложным математическим расчетам, так как по САТ сложно заранее достоверно спрогнозировать нехватку запасных частей и предсказать, каких именно. Несмотря на теоретическую разработанность данного направления, его практическая адаптация к многокритериальным задачам логистики технического обслуживания аэропортов остается фрагментарной [6].

Целью настоящего исследования является разработка методологии и алгоритмического аппарата комплексного обеспечения запасными частями САТ, устраняющего разрыв между экспертной оценкой потребностей и формализованным оптимизационным планированием. Для достижения цели решаются следующие задачи: формализация спроса на запасные части в терминах теории неопределенности; построение многокритериальной модели, балансирующей затраты и показатели поддерживаемости; преобразование стохастических ограничений в детерминированные эквиваленты; адаптация эвристического алгоритма для решения задачи маршрутизации и распределения поставок; численная валидация предложенного подхода на реальных данных аэропортовой инфраструктуры.

Теоретико-методологический базис управления запасами в условиях эпистемической неопределенности

Классификация неопределенностей в логистических системах традиционно разделяет их на стохастические (объективные, верифицируемые частотными данными) и эпистемические (субъективные, обусловленные недостатком информации или новизной объекта). Запасные части для САТ относятся ко второй категории: их потребление нерегулярно, зависит от режимов эксплуатации, климатических условий, квалификации персонала и технологических обновлений парка. В таких условиях вероятность $P\{\xi < x\}$ теряет смысл, поскольку отсутствует эмпирическая база для частотного анализа [6, 8].

Методы

Теория неопределенности, разработанная Б. Лю, предлагает математически корректную замену вероятности в условиях эксперт-

ной оценки. Ключевым конструктом выступает мера уверенности M, удовлетворяющая аксиомам нормальности, двойственности, субаддитивности и произведения. Для неопределенной переменной ξ функция уверенности определяется как

$$\Phi(x) = M\{\xi \le x\}, \quad (1)$$

где $\Phi(x)$ монотонно возрастает, $\Phi(-\infty) = 0$, $\Phi(+\infty) = 1$.

В практике управления запасами наиболее применимы линейное, зигзагообразное и нормальное неопределенные распределения, параметры которых калибруются через экспертные опросы (метод Дельфи, парные сравнения, интервальные оценки) [6].

Преимущество данного подхода заключается в сохранении строгой математической логики без требования к большим объемам данных. В отличие от множеств, где операции пересечения и объединения требуют выбора конкретных временных норм, теория неопределенности предоставляет однозначный аппарат для преобразования ограничений. Данное положение имеет определенное значение при создании ограничений по уровню обслуживания, так как в рассматриваемых условиях требуется обеспечить вероятность, установленную нормативами для бездефицитного снабжения даже при отсутствии достаточного объема данных о частоте отказов и потреблении запасных частей.

Проанализировав литературу, можем сделать вывод, что действующие подходы к управлению запасами в авиационной отрасли в большей степени ориентированы на обслуживание воздушных судов, включая авиационные двигатели, планеры и основные бортовые системы. При этом вопросы обеспечения запасными частями наземной специальной автомобильной техники аэропортов чаще всего рассматриваются фрагментарно и отрывисто, их не объединяют в отдельный объект управления. Добавление теории неопределенности в модель обеспечения запасными частями специальной автомобильной техники позволит минимизировать методологический разрыв за счет построения воспроизводимой и прозрачной системы планирования, совместимой с современными корпоративными платформами управления техническим обслуживанием и ресурсами предприятия — *CMMS* и *ERP* [7, 8].

Формализация многокритериальной задачи оптимизации

Задача комплексного обеспечения запасными частями специальной автомобильной техники аэропортов может быть представлена в виде многокритериальной оптимизационной модели, ориентированной на минимизацию совокупных логистических затрат при одновременном соблюдении заданных показателей поддерживаемости и эксплуатационной готовности техники. Пусть рассматривается сеть из N объектов аэропортовой инфраструктуры, где каждый объект i требует пополнения запасов по M наименованиям деталей [3–5, 8].

Целевая функция минимизирует сумму закупочных, транспортных, складских и штрафных затрат за дефицит:

$$\min Z = \sum(i=1)^{N} \sum(j=1)^{M} \times \left(c^{p}_{(ij)} x_{(ij)} + c^{t}_{(ij)} y_{(ij)} + c^{h}_{(ij)} I_{(ij)} + c^{s}_{(ij)} \max\left(0, D_{(ij)} - I_{(ij)} - x_{(ij)}\right)\right), \quad (2)$$

где x_{ij} — объем заказа детали j для объекта i; y_{ij} — бинарная переменная маршрутизации; I_{ij} — текущий складской остаток; D_{ij} — неопределенный спрос; c^p, c^t, c^h, c^s — удельные затраты соответственно на закупку, транспортировку, хранение и штраф за дефицит.

Система ограничений включает:

1. Баланс материальных потоков:

$$I^{(new)}_{(ij)} = I_{(ij)} + x_{(ij)} - D_{(ij)}. \quad (3)$$

2. Ограничения уровня обслуживания (показатель поддерживаемости):

$$M\left\{I_{(ij)} + x_{(ij)} \ge D_{(ij)}\right\} \ge \alpha_j, \quad (4)$$

где $\alpha_j \in (0,1)$ — заданный уровень уверенности (доверия) для детали.

3. Ограничение времени задержки поставки:

$$M\left\{T_{(ij)} \le T_{(\max)}\right\} \ge \beta. \quad (5)$$

Детерминированные эквиваленты после приведения исходной задачи к нелинейной форме снижают вычислительную трудоемкость решения, исключают необходимость многократного имитационного моделирования методом Монте-Карло и обеспечивают воспроизводимость результатов при повторной настройке модели на новых исходных данных. Так, в таблице параметры α_j и β выступают регулировочными рычагами: повышение уровня доверия увеличивает страховой запас и стоимость, но снижает риски простоев; снижение порога оптимизирует затраты, но требует внедрения компенсирующих механизмов (резервные фонды, экстренные контракты) [6, 8].

Алгоритмическая реализация: адаптация генетического алгоритма. Полученная оптимизационная модель обладает высокой вычислительной сложностью из-за комбинаторной природы маршрутизации, нелинейности целевой функции и наличия целочисленных переменных. Применение точных методов (ветвей и границ, динамическое программирование) нецелесообразно при масштабах аэропортовой сети (>15 объектов). В связи с этим реализован модифицированный генетический алгоритм, адаптированный под специфику задачи [1, 3, 6].

Кодирование хромосомы

В рамках генетического алгоритма каждое потенциальное решение представляется в виде хромосомы, имеющей структуру вектора (X, Y, R), где X задает объемы заказов по соответствующим категориям запасных частей, Y отражает бинарные признаки выбора логистических маршрутов, а R определяет последовательность обслуживания объектов аэропортовой инфраструктуры.

Для сохранения допустимости формируемых решений используется гибридная схема кодирования: непрерывные переменные, связанные с объемами поставок, представляются вещественными генами, тогда как дискретные параметры маршрутизации и очередности обслуживания кодируются целочисленными значениями. После выполнения генетических операторов применяется процедура нормализации и проверки ограничений, позволяющая исключить некорректные комбинации маршрутов, превышение складских или транспортных емкостей, а также нарушение заданных уровней обслуживания.

Параметры обратных функций уверенности для основных категорий запасных частей САТ

Категория запасных частей	Тип распределения	Параметры	Обратная функция	Рекомендуемый уровень доверия α
Критические системы управления	$Z(a,b,c)$	$a = 2$; $b = 4$; $c = 7$	Кусочно-линейная $\Phi^{-1}(\alpha)$	0,95
Гидравлические узлы	$Z(a,b,c)$	$a = 1$; $b = 3$; $c = 6$	Кусочно-линейная $\Phi^{-1}(\alpha)$	0,90
Силовые агрегаты	$Z(a,b,c)$	$a = 3$; $b = 5$; $c = 9$	Кусочно-линейная $\Phi^{-1}(\alpha)$	0,95
Электрооборудование	$L(a,b)$	$a = 1$; $b = 4$	$\Phi^{-1}(\alpha) = 1 + 3\alpha$	0,85
Расходные материалы	$L(a,b)$	$a = 0{,}5$; $b = 1{,}5$	$\Phi^{-1}(\alpha) = 0{,}5 + \alpha$	0,75

Функция приспособленности:

$$Fitness = \frac{1}{\left(\begin{array}{c} Z+\lambda_{1\sum\max\left(0,\Phi^{(-1)}(\alpha)-(I+x)\right)}+ \\ +\lambda_{2\sum\max\left(0,T-\Psi^{(-1)}(\beta)\right)} \end{array}\right)}, \quad (6)$$

где λ_1, λ_2 — штрафные коэффициенты, используемые для количественного учета нарушений ограничений модели.

В ходе поиска коэффициенты штрафа могут корректироваться при увеличении повторных появлений недопустимых решений, тем самым направляя решение к области допустимых вариантов. Такой поиск называется эволюционным и включает в себя скрещивание, мутацию, отбор и восстановление допустимости.

Алгоритм завершает работу при достижении лимита поколений (500) или стабилизации лучшего решения на протяжении 50 итераций. Вычислительные эксперименты подтверждают сходимость к глобальному оптимуму в 92–95 % запусков при стандартной настройке параметров (P_c = 0,85; P_m = 0,15; N_{pop} = 150) [1, 3].

Результаты

Численная апробация и анализ устойчивости решения

Валидация предложенной методологии выполнена на основе данных крупного аэропортового узла, обслуживающего 19 структурных подразделений технической эксплуатации. Исходные параметры неопределенности сформированы на базе экспертных опросов инженеров по ТО, логистов и поставщиков оборудования.

Базовые условия эксперимента:

- Номенклатура: 42 категории запасных частей (критические системы управления, гидравлика, силовые агрегаты, расходные материалы).
- Уровни доверия: α_{crit} = 0,95; α_{std} = 0,85; α_{cons} = 0,75.
- Плановый горизонт: 30 суток с еженедельным пересчетом.
- Сравнительный базис: традиционная модель *EOQ* с фиксированным страховым запасом.

Результаты оптимизации

Предложенный подход обеспечил снижение совокупных затрат на 14,3 % при одновременном повышении коэффициента готовности парка САТ с 0,87 до 0,94. Структура затрат сместилась в сторону плановых закупок, доля экстренных поставок сократилась на 68 %, увеличилась загрузка транспорта на 22 % и уменьшился холостой пробег на 21 % [7, 8].

Устойчивость решения

При увеличении уровня доверия α на 0,1 пункта можно увидеть, как повышаются страховые запасы на 12–15 %, что снижает риск появления дефицита необходимых деталей и повышает устойчивость системы снабжения САТ запасными частями (см. рисунок).

Обсуждение

Внедрение разработанной методологии в производственную среду аэропорта предполагает не только разработку программного инструментария, но и корректировку действующих организационных процедур управления запасами. Одним из ключевых условий является формализация экспертных знаний, включающая регламентацию периодических опросов специалистов, настройку и калибровку функций уверенности, а также последующую проверку точности получаемых прогнозных оценок.

Для обеспечения накопления и актуализации исходных данных целесообразно внедрение цифровой платформы, в которой инженеры технической эксплуатации фиксируют фактические отказы, потребление запасных частей, сроки поставки и причины отклонений от плановых параметров [2]. На основе поступающих данных система может автоматически корректировать параметры функции уверенности $\Phi(x)$, в том числе с применением процедур байесовского сглаживания.

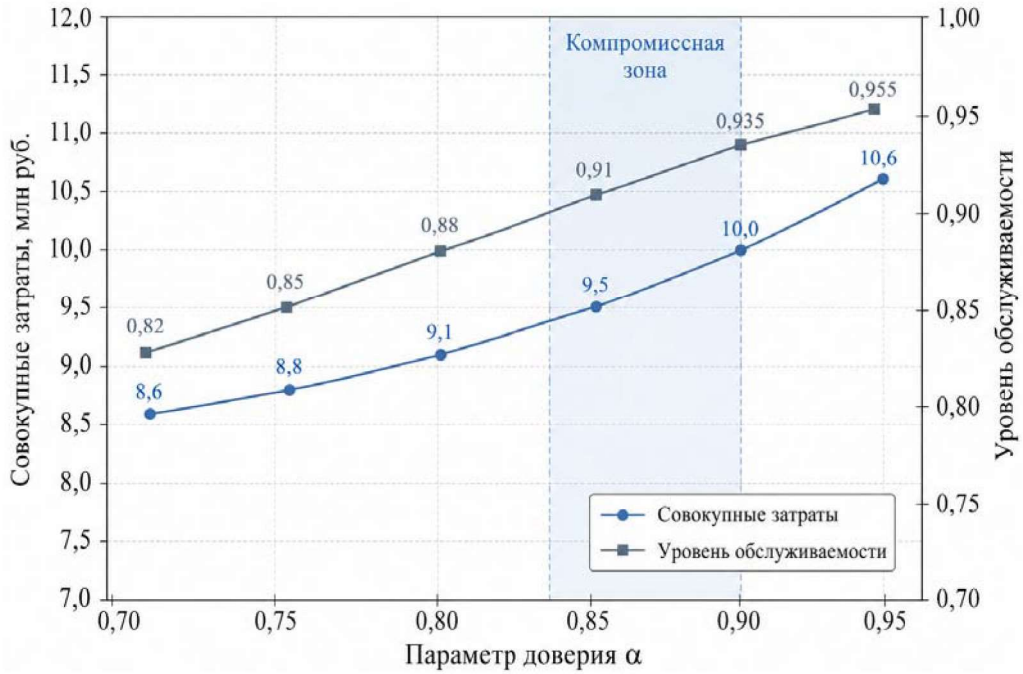


График затрат и уровень обслуживания при изменении параметра доверия α

Программный модуль оптимизации должен интегрироваться с действующими *CMMS*- и *ERP*-системами аэропорта посредством стандартизированных интерфейсов обмена данными, включая *REST API* и *SOAP API*. Такая интеграция обеспечивает двустороннюю синхронизацию информации о складских остатках, истории заказов, статусах поставок, графиках технического обслуживания и фактическом потреблении комплектующих.

Интерфейс планировщика должен отображать не только рассчитанные оптимальные объемы заказа и маршруты поставки, но и допустимые интервалы изменения параметров, в пределах которых сохраняется требуемый уровень надежности снабжения. Наличие таких «коридоров допустимых значений» позволит диспетчерам и специалистам материально-технического обеспечения принимать оперативные решения с учетом текущей производственной ситуации, не нарушая установленных ограничений по уровню уверенности и поддерживаемости техники.

Организационные барьеры включают сопротивление изменениям со стороны складского персонала, недостаток компетенций в области нечеткого программирования и инерцию закупочных процедур. Для их преодоления целесообразно реализовать пилотный запуск на ограниченном сегменте номенклатуры, сформировать кросс-функциональную рабочую группу и разработать систему *KPI*, привязанную к показателям поддерживаемости, а не только к бюджетной экономии.

Перспективные направления развития включают динамическое обновление функций уверенности на основе данных *IoT*-датчиков (вибрация, температура, наработка моточасов), интеграцию с предиктивными моделями технического состояния и применение многоагентного обучения для адаптации к сезонным колебаниям пассажиропотока.

Выводы

В рамках данного исследования была разработана и валидирована методология комплексного обеспечения специализиро-

ванного аэродромного оборудования запасными частями. Эта методология разрешает фундаментальное противоречие между дефицитом статистических данных о спросе и необходимостью строгого математического планирования. Разработанная модель минимизирует логистические издержки, обеспечивая при этом требуемый уровень готовности оборудования, а сопутствующее преобразование упрощает практические расчеты. Адаптивный алгоритм демонстрирует эффективность в решении задачи распределения маршрутов и снабжения сети из более чем 19 объектов. Таким образом, эффективность этого метода была подтверждена, о чем свидетельствует снижение общих затрат на 14 %, увеличение коэффициента доступности парка на 0,1 пункта и снижение количества незапланированных поставок на 68 %. Анализ надежности продемонстрировал устойчивость модели к изменениям параметров безопасности и логистическим задержкам.

Научная новизна и практическая ценность подтверждены готовностью методологии к интеграции и в корпоративные системы управления техническим обслуживанием, наличием четких регламентов калибровки параметров и доказанной экономической эффективностью.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на динамическую адаптацию функций уверенности с использованием телеметрических данных, разработку гибридных моделей, сочетающих неопределенность спроса и надежность поставщиков, а также на создание цифровых двойников складских систем для проведения виртуальных стресс-тестов логистических сценариев.

Библиографический список

1. *Андреев А. Ю.* Методика определения оптимальных маршрутов в условиях оперативного планирования автомобильных грузовых перевозок // Вестник гражданских инженеров. 2022. № 1 (90). С. 107–113. DOI 10.23968/1999-5571-2022-19-1-107-113. EDN UUTUFT.

2. *Егоров В. Д.* Методика расчета производственной программы грузовых автомобильных перевозок для цифровых сервисных моделей управления // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 6 (89). С. 174–179. DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-6-174-179. EDN ATAUBS.

3. *Клименко В. А., Карелина М. Ю.* Решение многокритериальной задачи определения критериев эффективности транспортно-логистической системы // Вестник Брянского государственного технического университета. 2021. № 11 (108). С. 4–9. DOI 10.30987/1999-8775-2021-11-60-65. EDN QNRWFJ.

4. *Карелина М. Ю., Клименко В. А.* Решение транспортной задачи с нарушенным балансом производства и потребления // Наука и техника в дорожной отрасли. 2021. № 3 (97). С. 27–28. EDN YSDTXO.

5. *Клименко В. А.* Современные методы решения задач управления оперативно-производственным планированием грузового перевозочного процесса // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2021. № 3 (66). С. 128–131. EDN ORCUBP.

6. *Малихина О. В.* Научные основы управления сложными транспортными системами // Мир транспорта и технологических машин. 2024. № 4–3 (87). С. 96–103. DOI 10.33979/2073-7432-2024-4-3(87)-96-103. EDN IAKVEJ.

7. *Арифуллин И. В.* Методика организации поставок запасных частей для специальных автомобилей, эксплуатирующихся в аэропортах // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 3 (62). С. 211–215. DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-3-211-215. EDN YYZHLD.

8. *Чебыкин И. А.* Автоматизация мониторинга дорожного движения с помощью компьютерного зрения // Мир транспорта. 2020. Т. 18, № 6 (91). С. 74–87. DOI 10.30932/1992-3252-2020-18-6-74-87.

9. *Арифуллин И. В.* Комплексная ИТС технического обслуживания и обеспечения материально-технического снабжения специальных автомобилей, эксплуатируемых в аэропортах // Мир транспорта и технологических машин. 2025. № 1–4 (88). С. 31–36. DOI 10.33979/2073-7432-2025-1-4(88)-31-36.

References

1. Andreev A. Yu. *Metodika opredeleniya optimal'nykh marshrutov v usloviyakh operativnogo planirovaniya avtomobil'nykh gruzovykh perevozok* [Methodology for determining optimal routes in the context of operational planning of road freight transportation]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers,*

2022, no. 1 (90), pp. 107–113. DOI 10.23968/1999-5571-2022-19-1-107-113.

2. Egorov V. D. *Metodika rascheta proizvodstvennoy programmy gruzovykh avtomobil'nykh perevozok dlya tsifrovykh servisnykh modeley upravleniya* [Methodology for calculating the production program of road freight transportation for digital service management models]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers,* 2021, no. 6 (89), pp. 174–179. DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-6-174-179.

3. Klimenko V. A., Karelina M. Yu. *Reshenie mnogokriterial'noy zadachi opredeleniya kriteriev effektivnosti transportno-logisticheskoy sistemy* [Solving the multi-criteria task of determining the efficiency criteria of the transport and logistics system]. *Vestnik Bryanskogo gos. tekhn. un-ta – Bulletin of the Bryansk state tech. university*, 2021, no. 11 (108), pp. 4–9. DOI 10.30987/1999-8775-2021-11-60-65.

4. Karelina M. Yu., Klimenko V. A. *Reshenie transportnoy zadachi s narushennym balansom proizvodstva i potrebleniya* [Solving the transport problem with a disturbed balance of production and consumption]. *Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli – Science and Technology in the Road Industry*, 2021, no. 3 (97), pp. 27–28.

5. Klimenko V. A. *Sovremennye metody resheniya zadach upravleniya operativno-proizvodstvennym planirovaniem gruzovogo perevozochnogo protsessa* [Modern methods of solving the problems of managing operational-production planning of the freight transportation process]. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI) – Bulletin of the Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI),* 2021, no. 3 (66), pp. 128–131.

6. Malikhina O. V. *Nauchnye osnovy upravleniya slozhnymi transportnymi sistemami* [Scientific foundations of managing complex transport systems].*Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin – World of Transport and Technological Machines*, 2024, no. 4–3 (87), pp. 96–103. DOI 10.33979/2073-7432-2024-4-3(87)-96-103.

7. Arifullin I. V. *Metodika organizatsii postavok zapasnykh chastey dlya spetsial'nykh avtomobiley, ekspluatiruyushchikhsya v aeroportakh* [Methodology for organizing the supply of spare parts for special vehicles operating at airports]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers,* 2017, no. 3 (62), pp. 211–215. DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-3-211-215.

8. Chebykin I. A. *Avtomatizatsiya monitoringa dorozhnogo dvizheniya s pomoshch'yu komp'yuternogo zreniya* [Automation of traffic monitoring using computer vision]. *Mir transporta – World of Transport,* 2020, vol. 18, no. 6 (91), pp. 74–87. DOI 10.30932/1992-3252-2020-18-6-74-87.

9. Arifullin I. V. *Kompleksnaya ITS tekhnicheskogo obsluzhivaniya i obespecheniya material'no-tekhnicheskogo snabzheniya spetsial'nykh avtomobiley, ekspluatiruemykh v aeroportakh* [Comprehensive ITS for maintenance and logistics of special vehicles operated at airports]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin – World of Transport and Technological Machines*, 2025, no. 1–4 (88), pp. 31–36. DOI 10.33979/2073-7432-2025-1-4(88)-31-36.