

ISSN 2073-7432

# МИР ТРАНСПОРТА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Н А У Ч Н О - Т Е Х Н И Ч Е С К И Й Ж У Р Н А Л

№ 3-1 (90) 2025

Научно-технический  
журнал

Издается с 2003 года

Выходит четыре раза в год

**№ 3-1(90) 2025**

# Мир транспорта и технологических машин

Учредитель - федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»**  
(ОГУ имени И.С. Тургенева)

**Главный редактор:**

**Новиков А.Н.** д-р техн. наук, проф.

**Заместители главного редактора:**

**Васильева В.В.** канд. техн. наук, доц.

**Родимцев С.А.** д-р техн. наук, доц.

**Редколлегия:**

**Агеев Е.В.** д-р техн. наук, проф. (Россия)

**Агуреев И.Е.** д-р техн. наук, проф. (Россия)

**Басков В.Н.** д-р техн. наук, проф. (Россия)

**Власов В.М.** д-р техн. наук, проф. (Россия)

**Глаголев С.Н.** д-р техн. наук, проф. (Россия)

**Демич М.** д-р техн. наук, проф. (Сербия)

**Денисов А.С.** д-р техн. наук, проф. (Россия)

**Евтиков С.А.** д-р техн. наук, проф. (Россия)

**Жаковская Л.** д-р. наук, проф. (Польша)

**Жанказиев С.В.** д-р техн. наук, проф. (Россия)

**Захаров Н.С.** д-р техн. наук, проф. (Россия)

**Зырянов В.В.** д-р техн. наук, проф. (Россия)

**Маткеримов Т.Ы.** д-р техн. наук, проф. (Кыргызстан)

**Прентковский О.** д-р техн. наук, проф. (Литва)

**Прижильт П.** д-р техн. наук, проф. (Чехия)

**Пугачев И.Н.** д-р техн. наук, доц. (Россия)

**Пушкирев А.Е.** д-р техн. наук, проф. (Россия)

**Рассоха В.И.** д-р техн. наук, проф. (Россия)

**Ременцов А.Н.** д-р пед. наук, проф. (Россия)

**Ризаева Ю.Н.** д-р техн. наук, доц. (Россия)

**Сарбаев В.И.** д-р техн. наук, профессор (Россия)

**Трофименко Ю.В.** д-р техн. наук, проф. (Россия)

**Трофимова Л.С.** д-р техн. наук, доц. (Россия)

**Шарата А.** д-р. наук, проф. (Польша)

**Ответственный за выпуск: Акимочкина И.В.**

**Адрес редколлегии:**

302030, Россия, Орловская обл., г. Орёл,  
ул. Московская, 77

Тел. +79058566556

<https://oreluniver.ru/science/journal/mtitm>

E-mail: srmstu@mail.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе по  
надзору в сфере связи, информационных  
технологий и массовых коммуникаций  
(Роскомнадзор).

Свидетельство: ПИ № ФС77-67027 от 30.08.2016г.

Подписной индекс: **16376**  
по объединенному каталогу «Пресса России»  
на сайтах [www.pressa-rf.ru](http://www.pressa-rf.ru) и [www.akc.ru](http://www.akc.ru)

© Составление. ОГУ имени И.С. Тургенева,  
2025

## Содержание

### *Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте*

Д.В. Кузьмин <b>Использование алгоритма дейкстры для решения задач пространственного развития транспортной инфраструктуры</b> .....	3
Шэн Цзинсян <b>Метод анализа базовых данных при планировании дорожного движения в Китае</b> .....	11
А.В. Колин, Л.Р. Айсина <b>Оптимизация маршрутной сети городского пассажирского транспорта</b> .....	19
С.В. Жанказиев, Ж.Б.У. Агзамов, Г.А. Крылов <b>Оптимизация порядка реализации мероприятий в рамках комплексных схем организации дорожного движения</b> .....	26

### *Управление процессами перевозок*

Е.Е. Витвицкий, Е.С. Галактионова, Н.И. Юрьева <b>Исследование процесса разработки оперативных планов перевозок грузов помашинными отправками в городах при разных способах его организации</b> .....	34
А.А. Кудрявцев, А.Э. Алиев <b>Контроль оплаты проезда наземного городского пассажирского транспорта Москвы при бестурникетном режиме взимания оплаты проезда: проблемы и решения</b> .....	42

### *Эксплуатация автомобильного транспорта*

И.Е. Ильина, К.А. Перекусихина <b>Анализ распределения ДТП с участием пешеходов по фактору «температура воздуха»</b> .....	52
С.С. Хажокова, Я.С. Ткачева <b>Анализ системы транспортного обслуживания населения Республики Адыгея и Яблоновской городской агломерации</b> .....	58
Д.Р. Крайнов, М.В. Полуэктов <b>Исследование ресурса топливной аппаратуры дизельных двигателей грузовых автомобилей</b> .....	68
Е.И. Лежнева <b>К вопросу психомоционального состояния водителя</b> .....	76
В.И. Сергиенко, Т.М. Заяц <b>Концептуальная информационная модель оценки уровня защищенности автомобилей многоцелевого назначения с дополнительной защитой</b> .....	84
Л.Е. Кущенко, Л.А. Королёва, Д.И. Андоюшина, О.А. Акимочкина <b>Определение корреляционной связи между водительским стажем и видом ДТП</b> .....	91
М.Ю. Карелина, А.В. Подгорный, Д.С. Талдыкин <b>Разработка метода оценки эффективности автобусного парка с учетом системы критериев эксплуатации</b> ...	100

### *Интеллектуальные транспортные системы*

А.С. Семыкина, Н.А. Загородний, М.В. Петрук, М.А. Лозовая <b>Повышение и улучшение безопасности дорожного движения</b> .....	109
--	-----

### *Логистические транспортные системы*

Р.А. Халтурин, А.В. Терентьев <b>Методы снятия неопределенности в сложных логистических системах при распределении ресурсов по объектам инфраструктуры</b> .....	116
П.Н. Мишикуров <b>Цифровой двойник железнодорожных транспортно-логистических процессов промышленного предприятия</b> .....	124
А.С. Акельев, Р.Г. Король <b>Экономическая оценка параметров функционирования терминално-логистических объектов железнодорожного транспорта</b> .....	134

Журнал входит в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук» ВАК по научным специальностям: 2.9.1. Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте, 2.9.4. Управление процессами перевозок, 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта, 2.9.8. Интеллектуальные транспортные системы, 2.9.9. Логистические транспортные системы

Scientific and technical journal  
Published since 2003  
A quarterly review  
**№ 3-1(90) 2025**

# World of transport and technological machines

Founder - Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Orel State University named after I.S. Turgenev»  
(Orel State University)

*Editor-in-Chief*  
**A.N. Novikov Doc.Eng., Prof**

*Associates Editor*  
**V.V. Vasileva Can. Eng.**  
**S.A. Rodimzhev Doc. Eng.**

*Editorial Board:*  
**E.V. Ageev Doc. Eng., Prof. (Russia)**  
**I.E. Agureev Doc. Eng., Prof. (Russia)**  
**V.N. Baskov Doc. Eng., Prof. (Russia)**  
**V.M. Vlasov Doc. Eng., Prof. (Russia)**  
**S.N. Glagolev Doc. Eng., Prof. (Russia)**  
**M. Demic Doc. Eng., Prof. (Serbia)**  
**A.S. Denisov Doc. Eng., Prof. (Russia)**  
**S.A. Evtukov Doc. Eng., Prof. (Russia)**  
**L. Źakowska Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland)**  
**S.V. Zhanakaziev Doc. Eng., Prof. (Russia)**  
**N.S. Zaharov Doc. Eng., Prof. (Russia)**  
**V.V. Zyryanov Doc. Eng., Prof. (Russia)**  
**T.Y. Matkerimov Doc. Eng., Prof. (Kyrgyzstan)**  
**O. Prentkovskis Doc. Eng., Prof. (Lithuania)**  
**P. Pribyl Doc. Eng., Prof. (Czech Republic)**  
**I.N. Pugachev Doc. Eng. (Russia)**  
**A.E. Pushkarev Doc. Eng., Prof. (Russia)**  
**V.I. Rassoha Doc. Eng., Prof. (Russia)**  
**A.N. Rementsov Doc. Edc., Prof. (Russia)**  
**Yu.N. Rizaeva Doc. Eng. (Russia)**  
**V.I. Sarbaev Doc. Eng., Prof. (Russia)**  
**Yu.V. Trofimenko Doc. Eng., Prof. (Russia)**  
**L.S. Trofimova Doc. Eng. (Russia)**  
**A. Szarata Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland)**

*Person in charge for publication:*  
**I.V. Akimochkina**

*Editorial Board Address:*  
302030, Russia, Orel, Orel Region,  
Moskovskaya str., 77  
Tel. +7 (905)8566556  
<https://oreluniver.ru/science/journal/mtitm>  
E-mail:[srmostu@mail.ru](mailto:srmostu@mail.ru)

The journal is registered in Federal Agency of supervision in sphere of communication, information technology and mass communications. Registration Certificate ПИ № ФС77-67027 of August 30 2016

Subscription index: 16376  
in a union catalog «The Press of Russia»  
on sites [www.pressa-rf.ru](http://www.pressa-rf.ru) [www.akc.ru](http://www.akc.ru)

© Registration. Orel State University, 2025

## Contents

*Transport and transport-technological systems of the country, its regions and cities, organization of production in transport*

<b>D.V. Kuzmin Using dijkstra's algorithm to solve problems of spatial development of transport infrastructure.....</b>	3
<b>Sheng Jingxiang A method for analyzing basic traffic data in road traffic planning in China.....</b>	11
<b>A.V. Kolin, L.R. Aysina Optimization of urban passenger transport route networks.....</b>	19
<b>S.V. Zhanakaziev, J.B.U. Agzamov, G.A. Krylov Optimization of the procedure for implementing measures within the framework of comprehensive road traffic management schemes.....</b>	26

*Management of transportation processes*

<b>E.E. Vitvitsky, E.S. Galaktionova, N.I. Yuryeva Research of the process of developing operational plans for cargo transportation by truck in cities with different ways of organizing it.....</b>	34
<b>A.A. Kudryavtsev, A.E. Aliev Fare control for Moscow's ground-based urban passenger transport in a turnstile-free mode of fare collection: problems and solutions.....</b>	42

*Operation of motor transport*

<b>I.E. Ilyina, K.A. Perekusikhina Analysis of the distribution of accidents involving pedestrians by the «air temperature» factor.....</b>	52
<b>S.S. Khazhokova, Y.S. Tkacheva Analysis of the system of transport services for the population of the republic of Adygea and the Yablonovo urban agglomeration.....</b>	58
<b>D.R. Kraynov, M.V. Poluektov Trucks diesel engine fuel equipment resource investigation.....</b>	68
<b>E.I. Lezhneva Determination by expert method of factors influencing the functional state of a driver.....</b>	76
<b>V.I. Sergienko, T.M. Zayats The conceptual information model of the assessment the security level of multi-purpose vehicles with additional protection.....</b>	84
<b>L.E. Kushchenko, D.I. Andryushina, L.A. Koroleva, O.A. Akimochkina Development of an information model warning the driver about movement along a dangerous road section.....</b>	91
<b>M.Y. Karelina, A.V. Podgorny, D.S. Taldykin Development of a method for evaluating the effectiveness of a bus fleet, taking into account a system of operating criteria.....</b>	100

*Intelligent transport systems*

<b>A.S. Semykina, N.A. Zagorodny, M.V. Petruk, M.A. Lozovaya Increasing and improving road safety.....</b>	109
--	-----

*Logistic transport systems*

<b>R.A. Khalturin, A.V. Terentyev Methods for uncertainty reduction in complex logistics systems in resource allocation across infrastructure facilities.....</b>	116
<b>P.N. Mishkurov Railway transport and logistics processes digital twin of industrial enterprise.....</b>	124
<b>A.S. Akelev, R.G. Korol Economic assessment of the functioning parameters of terminal and logistics facilities of railway transport.....</b>	134

*The journal is included in the «List of peer-reviewed scientific publications in which the main scientific results of dissertations for the degree of candidate of science, for the degree of doctor of sciences» of the Higher Attestation Commission (VAK) in the scientific specialties: 2.9.1. Transport and transport-technological systems of the country, its regions and cities, organization of production in transport, 2.9.4. Management of transportation processes, 2.9.5. Operation of motor transport, 2.9.8. Intelligent transport systems, 2.9.9. Logistic transport systems*

**ТРАНСПОРТНЫЕ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ  
СТРАНЫ, ЕЕ РЕГИОНОВ И ГОРОДОВ, ОРГАНИЗАЦИЯ  
ПРОИЗВОДСТВА НА ТРАНСПОРТЕ**

Научная статья

УДК 656.022

doi:10.33979/2073-7432-2025-3-1(90)-3-10

Д.В. КУЗЬМИН

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМА ДЕЙКСТРЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ  
ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ  
ИНФРАСТРУКТУРЫ**

**Аннотация.** Рассмотрен вопрос применимости алгоритма Дейкстры для решения задач поиска пути в контексте пространственного развития линейных объектов наземной транспортной инфраструктуры. Данный алгоритм, широко используемый для различных прикладных задач теории графов, в том числе трассирования и планирования пути. С алгоритмом проведен ряд простых экспериментов с целью определения количественных показателей его асимптотической сложности, т.е. количества выполняемых операций и времени выполнения алгоритма. Серия экспериментов имеет различную конфигурацию, определяемую направленностью поиска (однонаправленный и двунаправленный) и способом прохода ячеек (прямой и смешанный).

Эксперименты с различной реализацией алгоритма позволяют сделать вывод, что операции при двунаправленном поиске меньше в 3,47 раза при прямом и в 2,69 раза при смешанном (прямом и диагональном) проходе ячеек. Однако, время выполнения поиска существенно возрастает. Более того существует ряд весомых недостатков двунаправленного поиска: необходимость поддержания двух структур данных, для фронтов поиска стартовой и конечной вершины соответственно; обязательное наличие целевой вершины и неопределенность в условии остановки поиска.

**Ключевые слова:** алгоритмы поиска пути, алгоритм Дейкстры, трассирование, пространственное развитие транспортной инфраструктуры, транспортные системы, теория графов

**Введение**

Пространственное развитие транспортной инфраструктуры является фундаментальной задачей организации работы и функционирования транспортных систем. Значительная часть подходов к решению данной задачи сводится к декомпозиции рассматриваемого полигона на отдельные территориальные единицы, совокупность которых, в дальнейшем, рассматривается, как граф. Совокупность рассматриваемых отдельных территориальных единиц, не имеющая разрывов и наложений, представляет собой растровую пространственную модель.

Под растровым моделированием пространственных данных понимают способ цифрового описания пространственных объектов и топологических отношений между ними. Описание выполняется с помощью регулярных и нерегулярных сеток, покрывающих рассматриваемый полигон. Сетка делит рассматриваемый полигон на дискретные ячейки – операционно-территориальные единицы (ОТЕ). При решении геоинформационных задач чаще используются регулярные (постоянные) сетки, в которых все ОТЕ имеют одинаковый размер, форму и тд. Все ОТЕ содержат одинаковый набор параметров, характеризующих их пространственные свойства, т.н. атрибутивные данные, которые могут содержать информацию о топологических, гидрографических и антропогеографических и других свойствах пространства. Соединение центроидов ОТЕ образует граф.

**Материал и методы**

Растровые сетки широко используются для решения геоинформационных задач поиска пути, например для трассировок трубопроводов [1, 2], автомобильных дорог [3, 4], железных дорог [3, 5], линий электропередач [6, 7]. Логика использования растровых сеток в этом

случае заключается в присвоении всем ОТЕ одинакового набора пространственных данных т.н. атрибутов. Анализируя различными методами распределение значений атрибутов ОТЕ, исследователь может определить наилучший маршрут в рамках существующей инфраструктуры или оптимальное пространственное развитие трассы.

Растровые модели поиска имеют слабые стороны. По причине графового рассмотрения пространства (абстракция узлов и связей) возникают неизбежные искажения трассировки, например, трасса может оказаться избыточно длинной или содержать множество геометрических несовершенств. Это приводит к получению нереалистичных результатов определения пространственного развития трассы. Подробно данная проблематика рассмотрена в работе [8]. В частности отмечается, что одномерный граф является приближением к бесконечному числу трассировок в рамках рассматриваемой области пространства, поэтому неизбежны фактические расхождения между расчетной и реальной трассой. Путь, прокладываемый в растровом пространстве, имеет дискретный шаг, определяемый в том числе геометрическими свойствами формы ОТЕ. Это приводит к неизбежным удлинениям и геометрическим несовершенствам трассы. Особенное явно эти негативные эффекты проявляются в неоднородных растровых пространствах. По причине существенной разницы количественных показателей атрибутивных данных путь подвержен к частым изменениям направления, тогда как в условиях однородности растра данные искажения менее выражены [9].

#### Постановка задачи

Пусть имеется взвешенный граф  $G = (X, U, L)$ , где  $X$  – множество вершин,  $U$  – множество дуг,  $L$  – множество весов дуг графа. Необходимо найти кратчайший путь между начальной вершиной  $x_s$  и конечно вершиной  $x_t$ . В процессе выполнения алгоритма вершинам графа  $x_i \in X$  присваиваются временные метки  $d(x_i)$ , которые являются оценкой веса (стоимости) пути между вершинами. Если в результате перебора смежных вершин определен более короткий (менее затратный) путь, то метка  $d(x_i)$  обновляется. Для отслеживания посещенных вершин будем использовать массив *visited*, для восстановления кратчайшего пути массив *predecessor*.

#### **Теория**

Существует множество алгоритмов [10, 11] по поиску кратчайшего или наименее затратного пути. Большинство алгоритмов поиска пути предназначены для работы с произвольными графиками, однако, регулярное дискретное пространство формирует график в виде решетки различной геометрической формы. В зависимости от конфигурации условий решаемой задачи (ограничений поиска, равномерности стоимости пространства, вычислительных мощностей и тд.) каждый из представленных алгоритмов имеет свою сферу эффективного использования.

Одним из базовых алгоритмов поиска является алгоритм, разработанный голландским программистом Э.В. Дейкстрой в 1959 году [12].

На первом этапе происходит инициализация. Стартовой вершине присваивается постоянная метка  $d(x_s) = 0$ . Всем остальным вершинам присваиваются временные метки  $d(x_i) = \infty$ , для всех  $x_i \in X$ , где  $x_i \neq x_s$ . Все вершины помечаются как не посещённые:  $\text{visited}(x_i) = \text{false}$  для всех  $x_i \in X$ . Изначально ни у какой вершины нет предшественника:  $\text{predecessor}(x_i) = \text{null}$  для всех  $x_i \in X$ . Рассматриваемую вершину обозначим как  $y$ , на первом этапе  $x_s = y$ .

Далее, до тех пор, пока конечная вершина не посещена  $\text{visited}(x_t) = \text{false}$  выполняется основной цикл:

1. Найти вершину  $y \in X$  с минимальной временной меткой, удовлетворяющую условию  $\text{visited}(y) = \text{false}$ . Если такой вершины нет, то пути не существует, алгоритм завершает свою работу;
2. Пометить вершину  $y$  как посещенную  $\text{visited}(y) = \text{true}$ ;
3. Для каждой вершины  $x_i$ , в которую следует дуга из  $y$

(т.е.,  $(y, x_i) \in U$ ):

Если  $d(y) + l(y, x_i) < d(x_i)$ :

a) Обновить метку вершины  $x_i$ :  $d(x_i) = d(y) + l(y, x_i)$ .

b) Запомнить, что  $y$  является предшественником  $x_i$  на кратчайшем пути:  $predecessor(x_i) = y$ .

c) После завершения цикла  $visited(x_t) = true$ , то кратчайший путь найдем. Его можно восстановить, начиная с  $(x_t)$  и двигаясь в обратном порядке по предшественникам:

d)  $path = [x_t]$

e) Пока  $predecessor(last(path)) \neq null$ :

f)  $path = path + [predecessor(last(path))]$ ;

g)  $path = reverse(path)$ ,

h) где  $last(path)$  – последний элемент в массиве path.

i) Иначе, пути между начальной вершиной  $x_s$  и конечно вершиной  $x_t$  не существует.

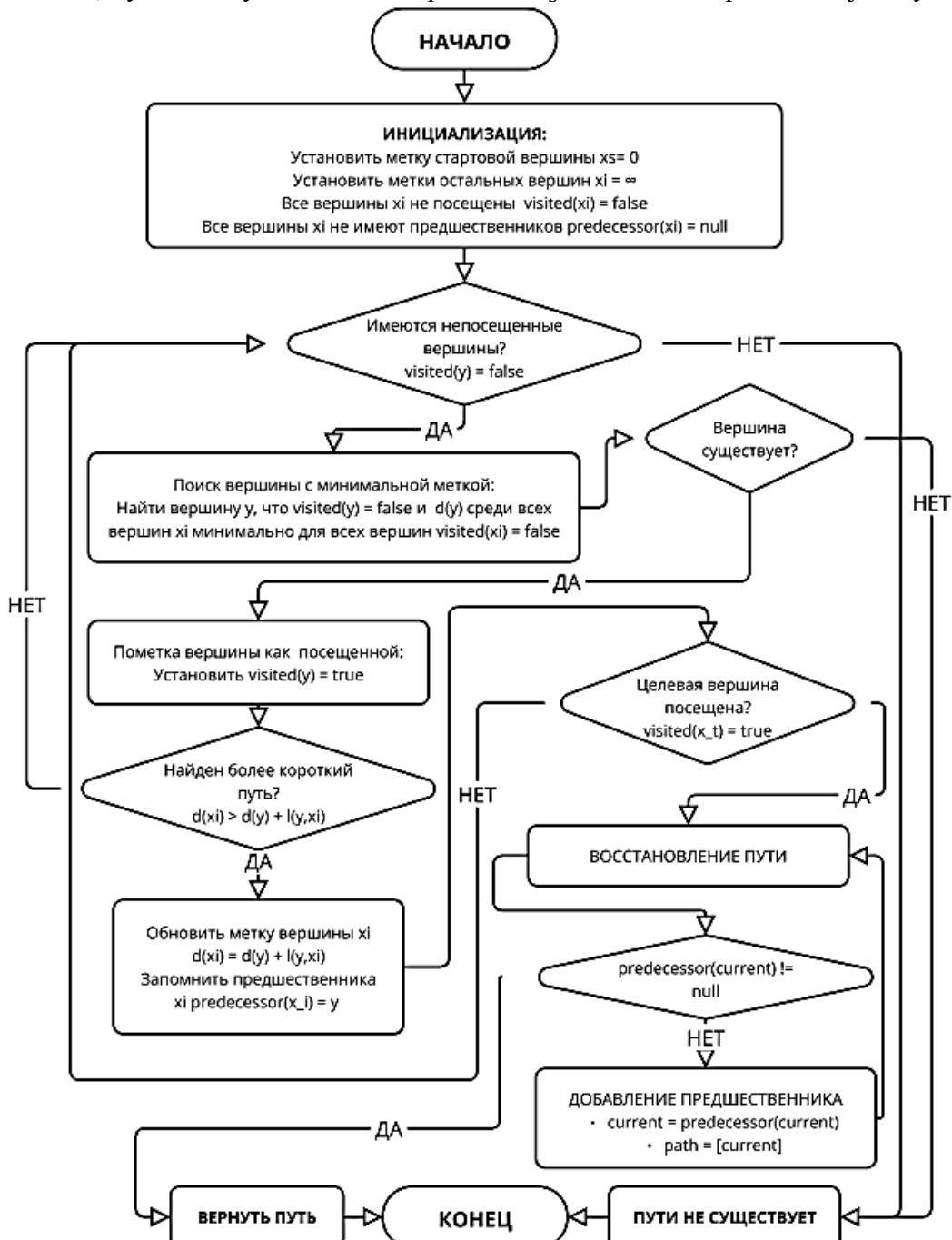


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма Дейкстры

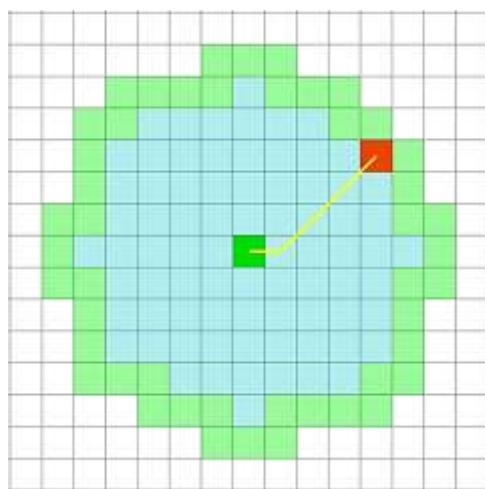
Блок - схема описанного алгоритма Дейкстры представлена на рисунке 1.

Существует ряд ключевых моментов использования данного алгоритма. Во-первых, данный алгоритм применим, только для графов с неотрицательным весом ребер. Во-вторых, так как алгоритм находит кратчайшие пути от стартовой вершины до всех остальных вершин графа, то объем выполняемой работы определяется в том числе стартовыми условиями поиска. Например, если кратчайший путь необходимо определить между стартовой и единственной конечной вершиной, то выполнение алгоритма, может быть остановлено, после ее посещения.

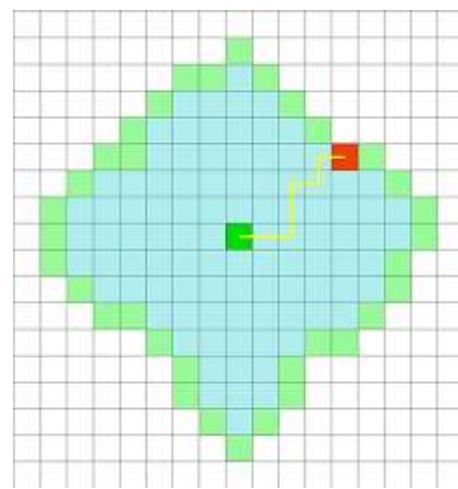
### ***Результаты и обсуждение***

С алгоритмом была проведена серия простых экспериментов, которые конфигурировались вариантом прохода ячейки (прямой и смешанный) и направлением поиска. Среда поиска, в рамках которой осуществлялся эксперимент, с целью сравнения асимптотической сложности алгоритмов, была беспрепятственной и имела постоянные рейтинги ячеек их форму и размер. Расположение стартовой и целевой вершины, так же оставалось постоянным. Условные координаты стартовой вершины (0, 0), целевой (4, 3).

Визуализация результата экспериментов поиска пути алгоритмом поиска в ширину представлена на рисунке 2.



а



б

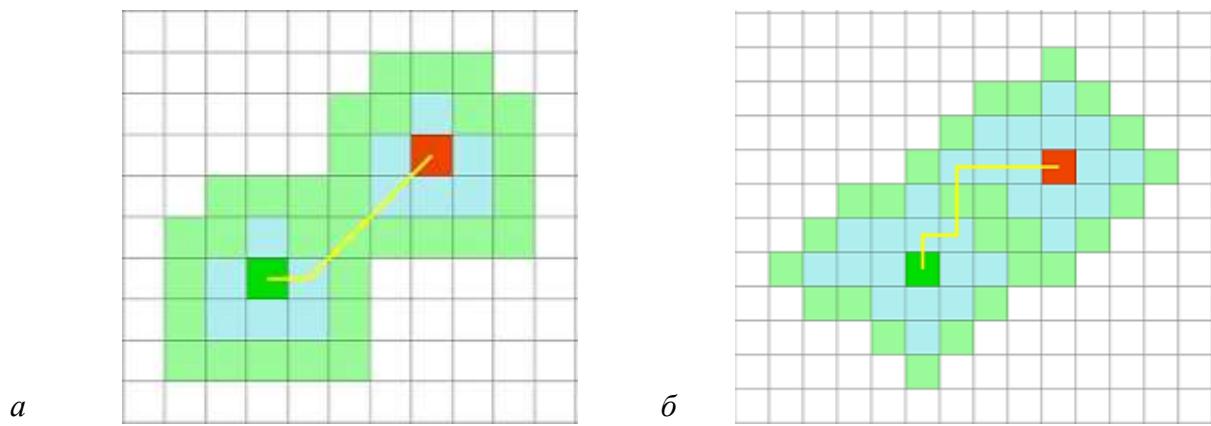
*Длина пути – 5,24 ед., количество операций: 205, время выполнения алгоритма: 1,2 мс.*

*Длина пути – 7 ед., количество операций: 232, время выполнения алгоритма: 1 мс.*

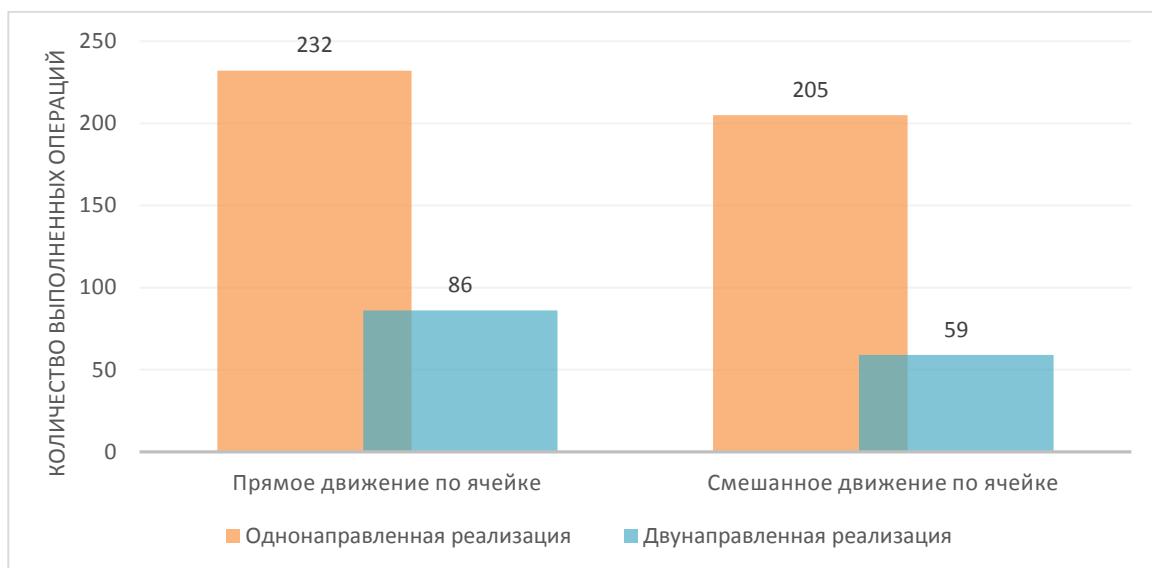
**Рисунок 2 – Визуализация результата поиска пути алгоритмом Дейкстры:** а - реализация с возможностью диагонального и прямого прохода ячеек, б - реализация с прямым проходом ячеек. Зеленая и красная ячейки – соответственно, стартовый и целевой узлы и т. д. Ячейки светло-зеленого цвета – ячейки, рассматриваемые в рамках текущей итерации; Ячейки голубого цвета – множество посещенных вершин *visited*

Алгоритм Дейкстры допускает возможность реализации двунаправленного поиска. В этом случае поиск осуществляется одновременно из стартовой и целевой вершины, до момента встречи двух поисковых фронтов. Результат проведения эксперимента по поиску пути с использованием двунаправленного поиска алгоритма Дейкстры представлен на рисунке 3.

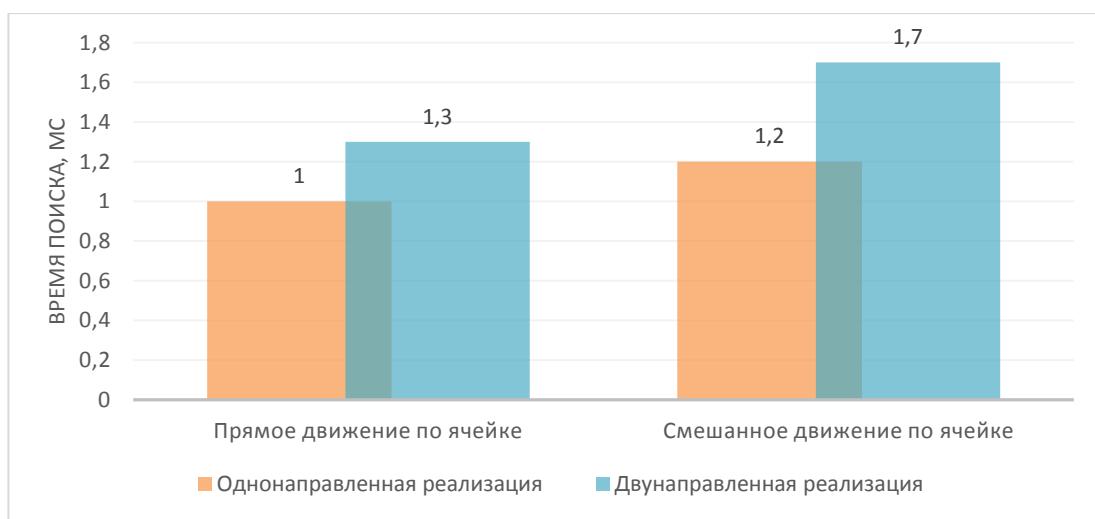
Сравнение результатов экспериментов, позволяет сделать вывод, что количество операций, выполняемых при двунаправленном поиске меньше в 3,47 раза при прямом и в 2,69 раза при смешанном (прямом и диагональном) проходе ячеек. Однако, время выполнения поиска существенно возрастает. Инфографика с результатами проведенных экспериментов представлена на рисунках 4 и 5.



**Рисунок 3 – Визуализация результата поиска путем алгоритмом Дейкстры с двунаправленным поиском, где, а) реализация с возможностью диагонального и прямого прохода ячеек, б) реализация с прямым проходом ячеек. Зеленая и красная ячейки – соответственно, стартовый и целевой узлы  $s$  и  $t$ . Ячейки светло-зеленого цвета – ячейки, рассматриваемые в рамках текущей итерации; Ячейки голубого цвета – множество посещенных вершин  $visited$**



**Рисунок 4 – Результаты экспериментов с различными вариантами реализации алгоритмом Дейкстры, по показателю «Количество выполненных операций»**



**Рисунок 5 – Результаты экспериментов с различными вариантами реализации алгоритмом Дейкстры, по показателю «Время поиска»**

Из результатов эксперимента следует, что двунаправленный поиск исследует значительно меньше вершин, чем односторонний. Даже на представленном примере с достаточно небольшим графом, эта разница значительно ощутима. Однако существует ряд весомых недостатков. Во-первых необходимо поддерживать две структуры данных, для фронтов поиска стартовой и конечной вершины соответственно. Во-вторых обязательным условием двунаправленного поиска является наличие целевой вершины. Но ключевая сложность данной реализации заключается в условии остановки поиска. Если два фронта встречаются в общей вершине  $x_i$ , и поиск останавливается, то это не гарантирует что кратчайший путь между начальной вершиной  $x_s$  и конечно вершиной  $x_t$  проходит именно через  $x_i$ . Другими словами, остановка выполнения алгоритма при достижении первой общей вершины, не всегда гарантирует наличие кратчайшего пути, так как часть потенциальных промежуточных вершин, через которые этот путь может проходить, при таком условии остается неисследованной.

### **Выводы**

Из анализа результатов экспериментов видно, что двунаправленный поиск существенно сокращает пространство поиска, однако время выполнения операций возрастает. Это обусловлено вышеописанными причинами: необходимостью дублирования структур данных для двух фронтов, сложностью условия остановки. Помимо этого, структура графа напрямую определяет равномерность движения двух фронтов. В некоторых случаях это приводит к тому, что один из поисковых фронтов обгоняет другой, исследуя область графа, явно ненаходящуюся в области наилучшего пути. Следовательно, для некоторых типов графов преимущества двунаправленного поиска в части покрытия могут быть незначительными, а расходы, связанные с временем выполнения алгоритма, нивелировать все преимущества.

Помимо недостатков двунаправленной реализации сам алгоритм имеет специфику практического применения. Ключевым недостатком может являться невозможность работы алгоритма с отрицательными весами ребер или вершин графа. Это происходит потому, что алгоритм Дейкстры руководствуется следующим правилом: если вершина графа помечена, как посещенная, то ее расстояние от начальной вершины является конечным и не подлежит корректировке. Если в графе есть отрицательные вершины / ребра, то это правило нарушается и алгоритм выполнит работу некорректно.

Помимо этого, для запуска, алгоритм требует понимания всей структуры и свойств исследуемого графа, т.е. алгоритму должен быть известен список всех вершин и ребер графа, их вес и связи. Данная особенность может стать проблемой при исследовании больших графов, так как будет требоваться большое количество оперативной памяти и вычислительной мощности.

В случае применения данного алгоритма в решении задач трассирования и пространственного развития транспортной инфраструктуры решением вышеописанной проблемы может являться иерархическое планирование пути [13, 14]. Данный прием активно используется в индустрии разработки видеоигр и заключается в разделении рассматриваемого исходного графа на несколько уровней абстракции, т.е. вместо поиска пути в исходном графе, создается абстрактный граф, в котором осуществляется поиск, затем этот упрощенный график используется в качестве ориентира для поиска пути в исходном графике. Абстракция исходного графа достигается за счет объединения вершин и ребер в более крупные узлы и связи. Соответственно, чем выше уровень абстракции, тем меньше учитывается деталей.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Automatic Pipeline Route Design with Multi-Criteria Evaluation Based on Least-Cost Path Analysis and Line-Based Cartographic Simplification: A Case Study of the Mus Project in Turkey [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mdpi.com/2220-9964/8/4/173>.
2. Kang J.Y., Lee B. Optimisation of pipeline route in the presence of obstacles based on a least cost path algo-

rithm and laplacian smoothing // International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering. 2017. T. 9.

3. Scaparra M.P., Church R.L., Medrano F.A. Corridor location: the multi-gateway shortest path model//Journal of Geographical Systems. 2014. Vol. 16. Corridor location. №3. P. 287-309.

4. Yu C., Lee J., Munro-Stasiuk M. Extensions to least-cost path algorithms for roadway planning // International Journal of Geographical Information Science - GIS. 2003. T. 17.

5. Jamali A.A., Esmailian A., Mokhtarisabet S., He S. Path selection by topographic analysis: vector reclassification versus raster fuzzification as spatial multi-criteria using cost-path // Spatial Information Research. 2023. T. 31.

6. Stefano B., Davide G., Francesco O. Routing of power lines through least-cost path analysis and multicriteria evaluation to minimise environmental impacts // Request PDF: Environmental Impact Assessment Review//researchgate.net. 2011. T. 31. №3. C. 234-239.

7. Monteiro C., Ramírez-Rosado I., Miranda V., Zorzano-Santamaria P.J., García-Garrido E., Fernandez-Jimenez L. GIS Spatial Analysis Applied to Electric Line Routing Optimization // Power Delivery, IEEE Transactions on. 2005. T. 20. C. 934-942.

8. Antikainen H. Comparison of Different Strategies for Determining Raster-Based Least-Cost Paths with a Minimum Amount of Distortion // Transactions in GIS. 2013. T. 17.

9. C. Dana T. Propagating radial waves of travel cost in a grid // International Journal of Geographical Information Science. 2010. №24(9). C. 1391-1413.

10. Ahuja R., Mehlhorn K., Orlin J., Tarjan R. Faster Algorithms for the Shortest Path Problem // J. ACM, 1990. T. 37. C. 213-223.

11. Wayahdi M., Ginting S., Syahputra D. Greedy, A-Star, and Dijkstra's Algorithms in Finding Shortest Path // International Journal of Advances in Data and Information Systems. 2021. T. 2. C. 45-52.

12. Ломакина Л.С., Суркова А.С., Уваров П.И. Оптимизационные алгоритмы теории графов в программировании. Нижегородский государственный технический университет. Н.Новгород. 2007. 32 с.

13. Botea A., Müller M., Schaeffer J. Near optimal hierarchical path-finding (HPA\*) // Journal of Game Development. ResearchGate. 2004.

14. Shahrizal Sunar M., Abd Algfoor Z., Kolivand A Comprehensive Study on Pathfinding Techniques for Robotics and Video Games: International Journal of Computer Games Technology // ResearchGate. 2015. №2. P. 1-11.

**Кузьмин Дмитрий Владимирович**

Российский университет транспорта

Адрес: 127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, 9/9

К.т.н., доцент, доцент кафедры «Логистика и управление транспортными системами»

E-mail: kuzminmiit@yandex.ru

---

D.V. KUZMIN

## **USING DIJKSTRA'S ALGORITHM TO SOLVE PROBLEMS OF SPATIAL DEVELOPMENT OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE**

**Abstract.** The question of applicability of Dijkstra's algorithm for solving pathfinding problems in the context of spatial development of linear objects of land transport infrastructure is considered. This algorithm is widely used for various graph theory applications, including tracing and path planning. A number of simple experiments were carried out with the algorithm in order to determine quantitative indicators of its asymptotic complexity, i.e. the number of operations performed and the execution time of the algorithm. The series of experiments has a different configuration, determined by the direction of the search (unidirectional and bidirectional) and the method of cell passage (direct and mixed).

Experiments with different implementations of the algorithm allow us to conclude that bidirectional search operations are 3.47 times less for direct and 2.69 times less for mixed (direct and diagonal) cell traversals. However, the search execution time increases significantly. Moreover, there are a number of significant disadvantages of bidirectional search: the need to maintain two data structures for the search fronts of the starting and ending vertices, respectively; the mandatory presence of a target vertex and uncertainty in the condition of stopping the search.

**Keywords:** pathfinding algorithms, Dijkstra's algorithm, tracing, spatial development of transport infrastructure, transport systems, graph theory

**BIBLIOGRAPHY**

1. Automatic Pipeline Route Design with Multi-Criteria Evaluation Based on Least-Cost Path Analysis and Line-Based Cartographic Simplification: A Case Study of the Mus Project in Turkey [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.mdpi.com/2220-9964/8/4/173>.
2. Kang J.Y., Lee B. Optimisation of pipeline route in the presence of obstacles based on a least cost path algorithm and laplacian smoothing // International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering. 2017. T. 9.
3. Scaparra M.P., Church R.L., Medrano F.A. Corridor location: the multi-gateway shortest path model//Journal of Geographical Systems. 2014. Vol. 16. Corridor location. №3. P. 287-309.
4. Yu C., Lee J., Munro-Stasiuk M. Extensions to least-cost path algorithms for roadway planning // International Journal of Geographical Information Science - GIS. 2003. T. 17.
5. Jamali A.A., Esmailian A., Mokhtarisabet S., He S. Path selection by topographic analysis: vector re-classification versus raster fuzzification as spatial multi-criteria using cost-path // Spatial Information Research. 2023. T. 31.
6. Stefano B., Davide G., Francesco O. Routing of power lines through least-cost path analysis and multicriteria evaluation to minimise environmental impacts // Request PDF: Environmental Impact Assessment Review//researchgate.net. 2011. T. 31. №3. C. 234-239.
7. Monteiro C., Ramrez-Rosado I., Miranda V., Zorzano-Santamaria P.J., Garca-Garrido E., Fernandez-Jimenez L. GIS Spatial Analysis Applied to Electric Line Routing Optimization // Power Delivery, IEEE Transactions on. 2005. T. 20. C. 934-942.
8. Antikainen H. Comparison of Different Strategies for Determining Raster-Based Least-Cost Paths with a Minimum Amount of Distortion // Transactions in GIS. 2013. T. 17.
9. C. Dana T. Propagating radial waves of travel cost in a grid // International Journal of Geographical Information Science. 2010. №24(9). C. 1391-1413.
10. Ahuja R., Mehlhorn K., Orlin J., Tarjan R. Faster Algorithms for the Shortest Path Problem // J. ACM, 1990. T. 37. C. 213-223.
11. Wayahdi M., Ginting S., Syahputra D. Greedy, A-Star, and Dijkstra's Algorithms in Finding Shortest Path // International Journal of Advances in Data and Information Systems. 2021. T. 2. C. 45-52.
12. Lomakina L.S., Surkova A.S., Uvarov P.I. Optimizatsionnye algoritmy teorii grafov v program-mirovani. Nizhegorodskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet. N.Novgorod. 2007. 32 s.
13. Botea A., Mller M., Schaeffer J. Near optimal hierarchical path-finding (HPA\*) // Journal of Game Development. ResearchGate. 2004.
14. Shahrizal Sunar M., Abd Algfoor Z., Kolivand A Comprehensive Study on Pathfinding Techniques for Robotics and Video Games: International Journal of Computer Games Technology // ResearchGate. 2015. №2. P. 1-11.

**Kuzmin Dmitry Vladimirovich**

The Russian University of Transport

Adress: 127994, Russia, Moscow, Obraztsova St., 9/9

Candidate of Technical Sciences

E-mail: kuzminmiit@yandex.ru

Научная статья  
УДК 656,13  
doi: 10.33979/2073-7432-2025-3-1(90)-11-18

ШЭН ЦЗИНСЯН

## **МЕТОД АНАЛИЗА БАЗОВЫХ ДАННЫХ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В КИТАЕ**

**Аннотация.** В статье описаны основные методы анализа данных о дорожном движении для транспортного планирования в Китае и приведены российские показатели для описания различных состояний транспортного потока и дорожных условий. Рассмотрено практическое применение основных методов анализа данных о дорожном движении в проекте транспортного планирования города Цзясянь.

**Ключевые слова:** транспортное планирование, обработка данных, дорожное движение

### **Введение**

Обследование и анализ данных играют важную роль в транспортном планировании. Исследование дорожного движения, понимание проблем транспортной системы, а также знание возникновения и развития различных явлений в транспортной системе является основной предпосылкой и важным звеном при транспортном планировании. На каждом этапе транспортного планирования для построения моделей или проверки достоверности теоретических выкладок требуется широкий спектр базовых данных из реальных систем, соответствующих этому этапу. Анализ дорожного движения для транспортного планирования - это метод определения спроса на перевозки и структуры транспортных потоков в дорожной сети. Такой анализ полезен для транспортных инженеров и лиц, принимающих решения, для понимания текущей дорожной ситуации и обеспечения руководства для будущего городского развития [1, 2]. В данной статье описываются основные методы анализа данных о дорожном движении для планирования дорожного движения в Китае, анализируется применение этого метода анализа на реальном примере в городе Цзясян. Предложены новые схемы транспортного планирования, оптимизации управления и контроля городских дорог в городе Цзясян. Приведена оценка эффективности предложенных решений.

### **Материал и методы**

Планировка городской дорожной сети города Цзясян, в основном, является квадратной, использование дорог сбалансировано; перекрестки просты; распределение транспортных потоков с точки зрения большей гибкости; планировка улиц строгая, простая. Однако, движение в диагональном направлении затруднено, коэффициент нелинейности значительный, увеличиваются расстояния поездок жителей, увеличивается нагрузка на сеть. Сложно управлять движением и контролировать его, ограничивая основные и второстепенные магистрали, чтобы распределять потоки в соответствии с функциональным разделением [3, 4].

Экспериментальные данные были получены с помощью следующих методов:

- документальные исследования проблемы: изучение существующих отчетов дорожной полиции и департамента дорог;
- аэрофотосъемка с беспилотных аппаратов и картографирование: с помощью беспилотных летательных аппаратов фотографируются перекрестки;
- дальномер для детальных измерений таких параметров, как ширина полосы движения на перекрестках, и составляется карта текущего положения перекрестков [5].

Для исследования характеристик транспортного потока и дорожных условий, особенно уровня обслуживания движения, для оценки доступа к дороге, необходимо рассчитать пропускную способность дороги, а затем определить уровень загрузки, для оценки условий движения.

**Теория и расчет**

На основе фактических данных мониторинга осуществляется расчет пропускной способности перегонов и пересечений:

Определение пропускной способности перегоне производится по следующей формуле:

$$C_{\alpha} = \sum_{i=1}^n C_i; \quad (1)$$

где  $C_{\alpha}$  - пропускная способность участков дороги в одном направлении;

$C_i$  - пропускная способность полосы движения  $i$ ;

$i$  - номер полосы движения, от центра дороги к ее краю;

$n$  - количество полос движения на участке дороги в одну сторону.

Теоретическая пропускная способность определяется по формуле:

$$C_i = C_0 \times \alpha_t \times \alpha_j \times \alpha_c, \quad (2)$$

где  $C_0$  - теоретическая пропускная способность одной полосы движения, основанная на расчетной скорости движения на участке дороги;

$\alpha_t$  – коэффициент, учитывающий номер полосы дороги, составляет: 1,00 для первой полосы от центра дороги, 0,80-0,89 для второй полосы, 0,65-0,78 для третьей, 0,50-0,65 для четвертой и 0,40-0,52 для пятой и выше;

$\alpha_j$ - коэффициент учитывающий площадь пересечения дорог, основанный на расчетной скорости движения и расстоянии между двумя пересечениями. Рекомендуемые значения коэффициентов, в зависимости от различных параметров, приведены в нормативно-технической литературе КНР (0,18, 0,91).

$\alpha_c$ - рекомендуемые значения коэффициентов в зависимости от различных параметров приведены в нормативно-технической литературе КНР (0,77,1,00).

Расчет пропускной способности и насыщения движением перекрестков производится следующим образом

$$C_{\pi} = \sum_{i=1}^n C_i, \quad (3)$$

где  $C_{\pi}$  - пропускная способность;

$C_i$  - пропускная способность перекрестных участков дороги;

$i$  - номер пересечения дорог;

$n$  - количество въездов на перекресток, обычно  $n$  равно 4 или 3.

$$C_i = \sum_{j=1}^k C_j, \quad (4)$$

где  $C_j$  - пропускная способность каждой полосы въезда;

$j$  - номер полосы движения;

$k$  - количество въездных полос.

Сначала рассчитывается пропускная способность каждой полосы движения, затем пропускная способность каждой въездной полосы, после чего можно рассчитать пропускную способность всего перекрестка.

Для городских дорог наиболее важным показателем для измерения уровня транспортного обслуживания является насыщенность участка дороги ( $Q/C$  - фактический объем движения/проектная пропускная способность участка дороги) и общая скорость (скорость участка дороги) или задержка. Поскольку задержка скорости связана с  $Q/C$ , если  $Q/C$  увеличивается, скорость уменьшается и задержка увеличивается: если  $Q/C$  уменьшается, скорость увеличивается и задержка уменьшается, поэтому  $Q/C$  является ключевым показателем. Чтобы облегчить исследование,  $Q/C$  может быть использован в качестве основы для определения уровня обслуживания городских дорог. В Китае обычно принимают стандарты разделения уровня обслуживания, как показано в таблице 1 [6-16].

Таблица 1 - Уровни обслуживания, принятые в КНР

Коэффициент загрузки дороги движением	Уровень обслуживания			
	I	II	III	IV
Q/C	$\leq 0,6$	0.6~0.8	0.8~1	$\geq 1,0$

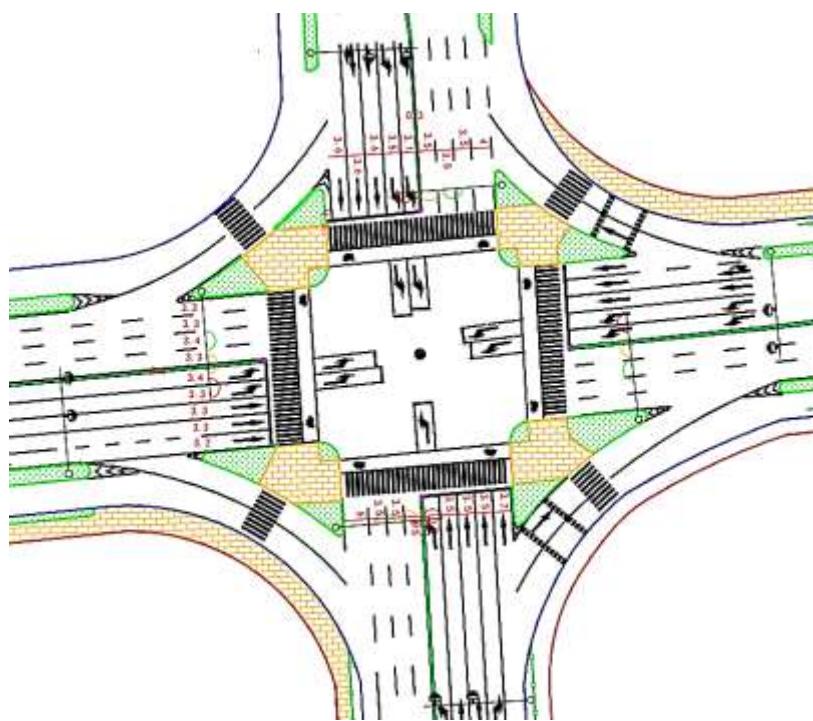
Таблица 2 - Уровни обслуживания, принятые в г. Цзясян и статус соответствия уровня обслуживания

Уровни обслуживания		Описание
A	$\leq 0,4$	Свободный поток (free flow) движения транспорта соответствует установленному ограничению скорости или превышает его, и автомобилисты имеют полную свободу передвижения между полосами движения.
B	0,4~0,6	Достаточно свободный поток (reasonably free flow). Скорости A сохранены, маневренность в потоке транспорта слегка ограничена.
C	0,6~0,75	Стабильный поток (stable flow) Свободный поток или близкий к нему.
D	0,75~0,9	Приближение к нестабильному потоку (approaching unstable flow). Скорость немногого снижается по мере небольшого увеличения объема трафика.
E	0,9~1,0	Нестабильный расход (unstable flow) Работа на полную мощность.
F	$\geq 1,0$	Принудительный или аварийный поток (forced or breakdown flow). Спрос обычно превышает пропускную способность.

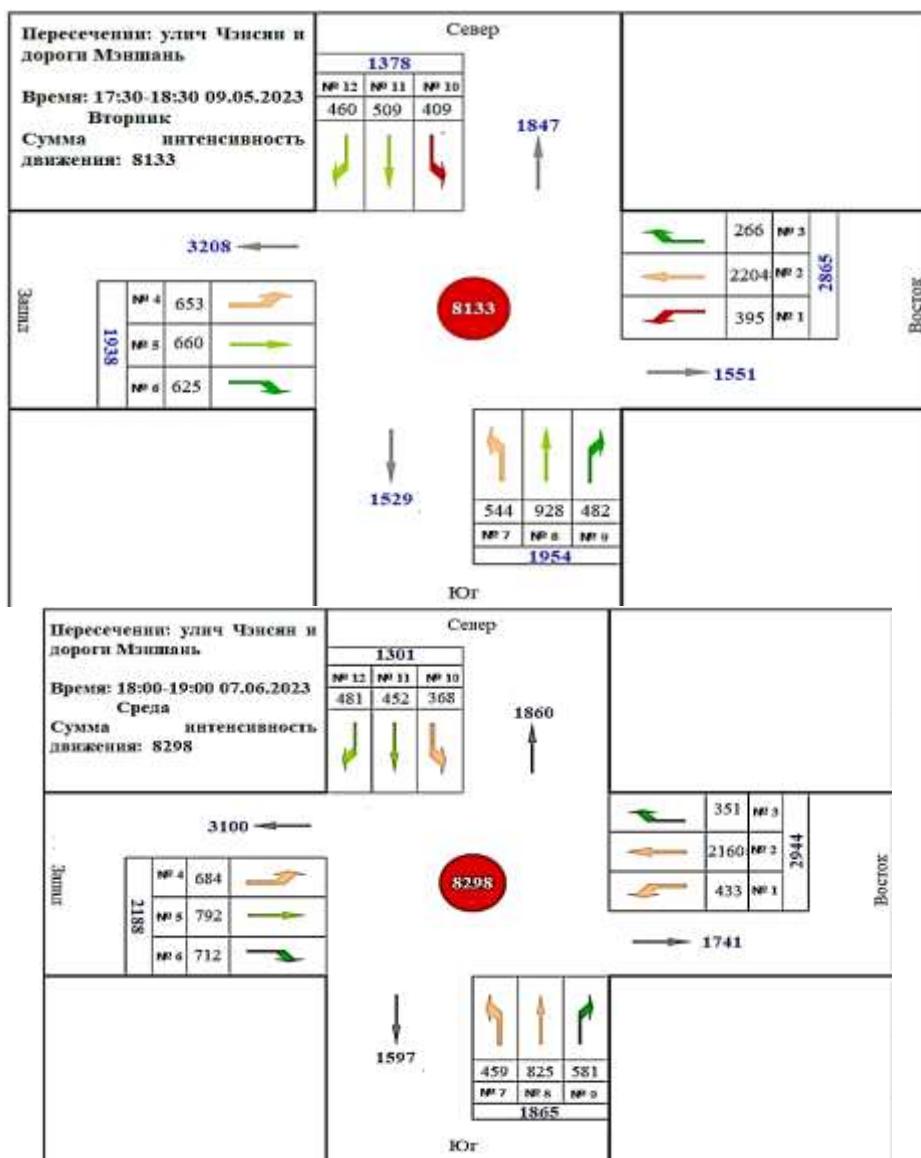
В проекте транспортного планирования в городе Цзясян основные данные о дорожном движении были обработаны до и после реализации транспортного плана с использованием уравнений 1~4 и таблиц 1,2 для оценки эффективности нового транспортного плана.

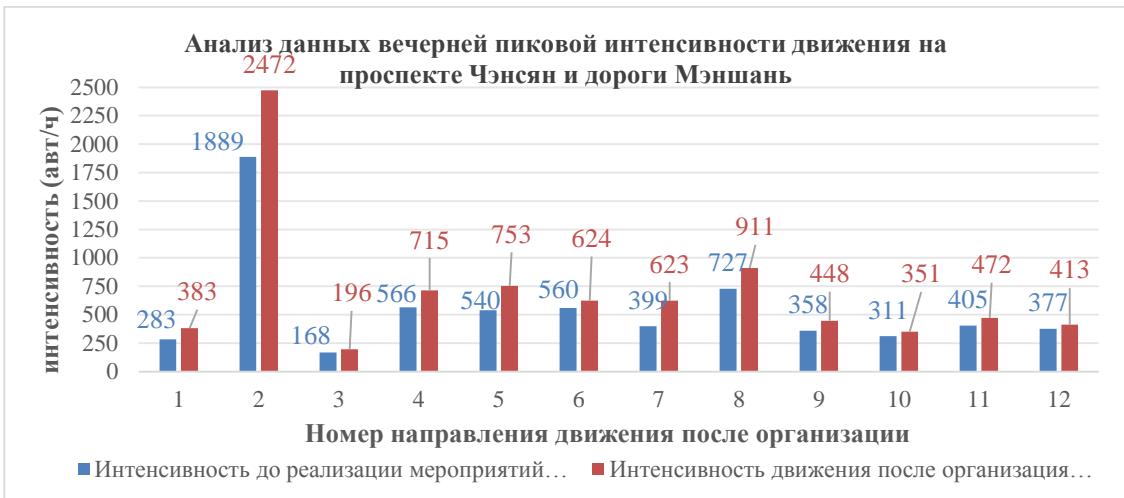
### **Результаты**

На перекрестке проспекта Чэнсян и ул. Мэншань, количество полос движения было увеличено с 24 до 26 за счет повторного канализирования. Введены реверсивные полосы движения и регулируемая направляющая полоса. На этом перекрестке используется новая интеллектуальная транспортная система для обеспечения автоматического регулирования времени работы светофоров и управления городскими транспортными потоками, чтобы уменьшить заторы на перекрестках.

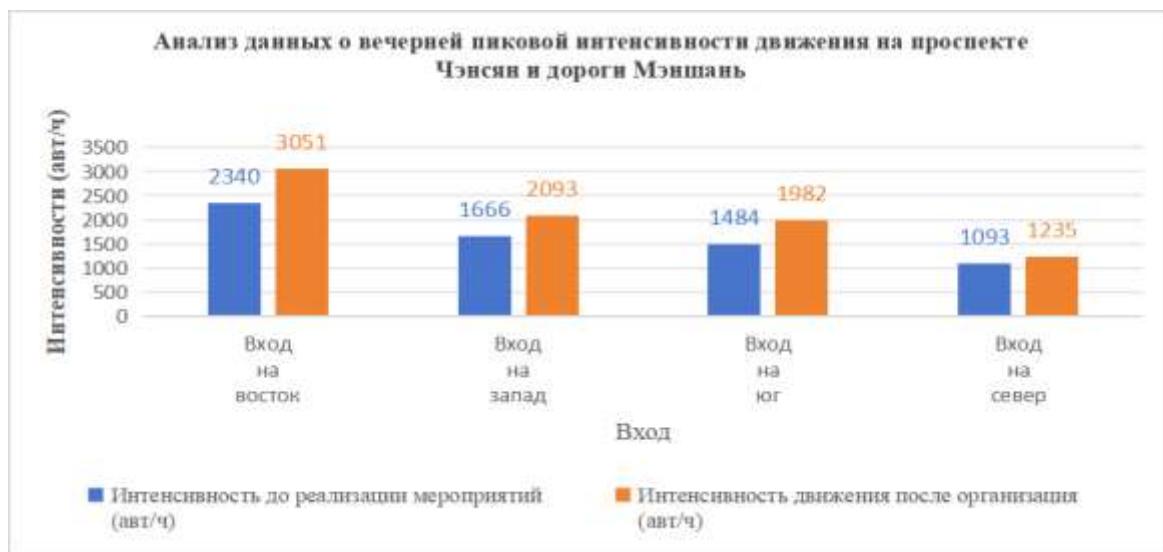


*Рисунок 1 - Существующая схема организации дорожного движения*

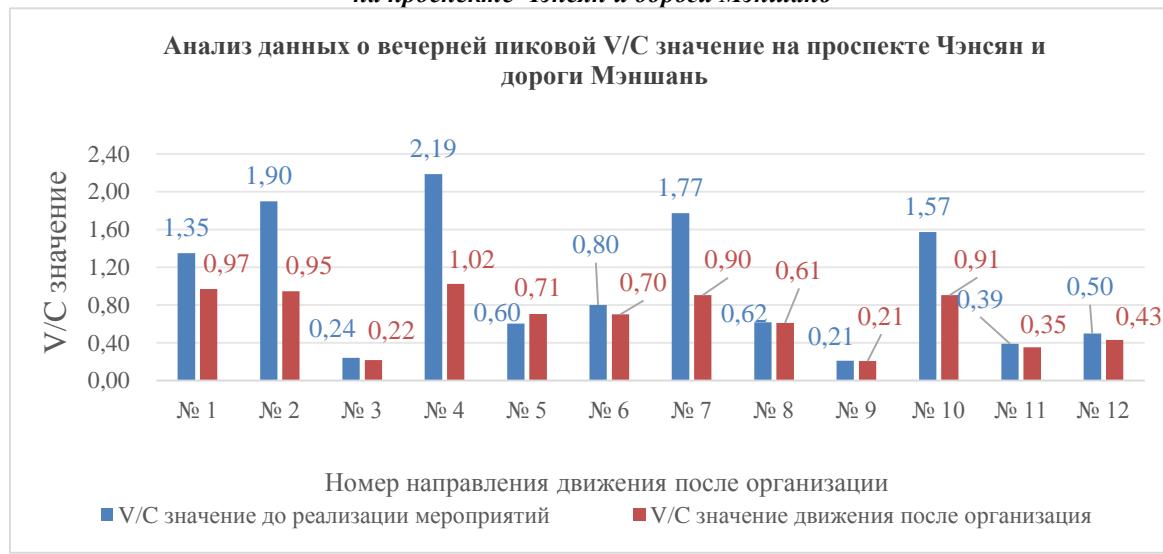
*Рисунок 2 - Предложенная схема организации дорожного движения**Рисунок 3 - Схема организации дорожного движения и распределения транспортной нагрузки на пересечении*



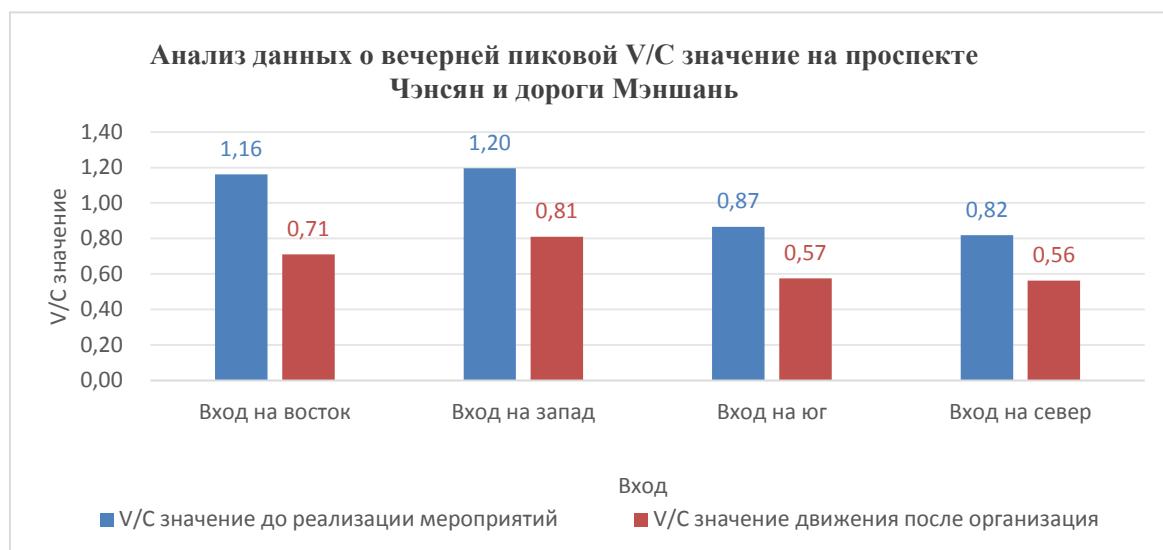
*Рисунок 4 - Анализ данных вечерней пиковой интенсивности движения на проспекте Чэнсян и дороги Мэншань*



*Рисунок 5 - Анализ данных о вечерней пиковой интенсивности движения на проспекте Чэнсян и дороги Мэншань*



*Рисунок 6 -Анализ данных о вечерней пиковой Q/C значение на проспекте Чэнсян и дороги Мэншань*



*Рисунок 7 - Анализ данных о вечерней пиковой Q/C значение на проспекте Чэнсян и дороги Мэншань*

### ***Обсуждение***

Сравнивая данные до и после внедрения новой схемы управления движением, можно сделать вывод, что до внедрения новой схемы управления движением на перекрестке проспекта Чэнсян и улицы Мэншань существовали заторы. На основе анализа данных была разработана и внедрена новая схема управления движением, увеличена скорость на 25 % при одновременном сокращении времени движения транспортных средств на 16,1 %, что сокращает время в пути в среднем на 5,2 минуты, явление заторов было устранено что доказывает эффективность новой схемы управления движением. Из таблиц 3-5 можно сделать вывод, что на пересечении проспекта Чэнсян и дороги Мэншань значение Q/C уменьшается, а уровень обслуживания улучшается. Сумма значений Q/C уменьшается с 12,14 до 8,01, то есть на 34 %. Это доказывает, что новая схема планирования движения может эффективно уменьшить заторы на дорогах.

### ***Выходы***

В городе Цзясян интенсивно развивается городской транспорт, в то время как ограниченные ресурсы транспортной инфраструктуры и дорожной сети не позволяют удовлетворить растущий спрос на поездки жителей, так как повышается плотность застройки и транспортные потоки концентрируются на ограниченной территории. Существуют такие проблемы, как недостаточная пропускная способность дорожной сети, нерациональные параметры поперечного сечения дорог, заторы на некоторых перекрестках и нерациональные временные схемы [17-18].

Для увеличения пропускной способности дорожной сети разработано несколько вариантов схем координированного управления с разными скоростями, соответственно, для различных временных периодов. Благодаря уменьшению ширины полос, увеличению количества полос на перекрестках, перераспределению функций полос и более широкому применению динамических выделенных полос возрастает пропускная способность перекрестков и устраняются заторы. Параметры светофорного управления также были оптимизированы для обеспечения бесперебойного движения на перекрестках.

Практическое применение рассматриваемого метода анализа основано на проекте оптимизации управления дорожным движением в городе Цзясян. В рамках проекта по оптимизации управления дорожным движением сначала были проведены сбор и обработка данных для измерения уровня загруженности дороги, выявления проблем на существующем участке дороги и предложения схем и мер по улучшению для решения проблем. После внедрения

новой схемы управления дорожным движением уровень обслуживания на перекрестках улучшился с уровня F до уровней D и E, а пропускная способность увеличилась, что позволило решить проблему заторов на дорогах.

Анализ транспортных потоков является неотъемлемой частью планирования городского движения. С помощью таких методов, как исследование транспортных потоков, обработка данных и моделирование движения, транспортные инженеры могут получить данные о транспортных потоках, прогнозировать изменение условий движения, а также оценить последствия различных сценариев. Эти методы анализа обеспечивают научную основу и поддержку принятия решений при планировании городского движения, что помогает оптимизировать дорожную сеть, повысить эффективность движения, уменьшить заторы и создать более благоприятную для жизни городскую среду. Приведенные выше методы анализа данных были применены на практике [19].

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Чжоу Вэй. Теоретическое обсуждение пропускной способности участка дороги // Журнал транспортной инженерии. 2001. №2. С. 92-98.
2. Способ интеллектуального анализа пропускной способности участков дорог на основе данных мониторинга дорожного движения: CN109118770A.2019-01-01. Юго-Восточный университет.
3. Ли Жуйвэй, Хуан Ин. Анализ и исследование пропускной способности участков городских дорог // Современный туризм. 2017.
4. Чэн Куанмин. Анализ пропускной способности дорог // Пекин: People's Communications. 2003. С. 41-44.
5. Лу Цзянь. Теория проектирования безопасности и метод пересечения плоскостей шоссе // Пекин: Science Press. 2009. С. 46-54.
6. Чжан Япин. Теория пропускной способности дорог // Харбин: Харбинский технологический институт. 2007. С. 4-18.
7. Шэн Ин, Чжу Чун, Сюй Шуай. Исследование метода расчета насыщенности дорог // Стандартизация дорожного движения. 2007. №35(1). С. 125-129.
8. Ни Ин, Ли Кепинг. Расчет и применение насыщенности перекрестков на основе ключевого конфликтного трафика // Журнал Уханьского технологического университета: Издание по транспортным наукам и инженерии. 2010. №34(1). С. 31-34.
9. Юань Ювэй, Хэ Линнлян, Ли Ваньцин и др. Метод мониторинга насыщенности городских дорог в режиме реального времени на основе байонетных данных.
10. Чжоу Вэй. Теоретическое обсуждение пропускной способности участка дороги// Журнал транспортной инженерии. 2001. №2. С. 92- 98.
11. Гао Хайлун, Чжоу Жунгуй и др. Комплексный метод расчета пропускной способности транспортных средств на перекрестках // Исследование по управлению дорожным движением. 2001.
12. Ван Вэй. Анализ задержки пропускной способности дорожного полотна методом пересечения плоскостей Сычуань // Август 1998. С. 32-34.
13. Лу Хуапу, Ван Цзяньвэй, Ли Цзянпин. Система оценки управления городским движением // Издательство «Народные коммуникации». 2003. С. 58-61 с.
14. Промышленный стандарт Китайской Народной Республики. Технические условия на проектирование городских дорог // Пресса строительной отрасли Китая. С. 21-25 с.
15. Ван Вэй, Гао Хайлун, Ли Вэньциань. Метод анализа пропускной способности перекрестков автомобильных дорог // Научная пресса. 2001. №5. С. 48-50.
16. Гао Хайлун, Ван Вэй, Чан Юлинь. Комплексный метод расчета пропускной способности транспортных средств на перекрестках провинции Сычуань // Технология дорожного движения. 2001. №2. С. 66-69.
17. Transportation Research Board. Highway capacity manual 2000 // US:TIR Carnet. 2000. С. 56-61.
18. Li Shuo. A Study on the Macro Capacity Model of Urban Road Network and Its Application. // University of Shanghai for Science and Technology. 1999. №21(3). С. 295-303.
19. Шэн Цзинсян. Исследования транспортного планирования и проектирования малых и средних городов на основе интеллектуальных транспортных систем // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №1-2. С. 58-64.

### **Шэн Цзинсян**

Донской Государственный Технический Университет  
Адрес: 344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1  
Аспирант  
E-mail: 409566609@qq.com

SHENG JINGXIANG

## A METHOD FOR ANALYZING BASIC TRAFFIC DATA IN ROAD TRAFFIC PLANNING IN CHINA

**Abstract.** This paper describes the main methods of traffic data analysis for transportation planning in China and provides Russian indicators for daily description of different traffic flow and road conditions. And the practical application of basic traffic data analysis methods in Jiaxian city transportation planning project.

**Keywords:** transport planning, data processing, traffic

### BIBLIOGRAPHY

1. CHzhou Vey. Teoreticheskoe obsuzhdenie propusknoy sposobnosti uchastka dorogi // ZHurnal transportnoy inzhenerii. 2001. №2. S. 92-98.
2. Sposob intellektual'nogo analiza propusknoy sposobnosti uchastkov dorog na osnove dannykh monitoringa dorozhnogo dvizheniya: CN109118770A.2019-01-01. YUgo-Vostochnyy universitet.
3. Li ZHuyvey, Huan In. Analiz i issledovanie propusknoy sposobnosti uchastkov gorodskikh dorog // Sovremennyy turizm. 2017.
4. Chen` Kuanmin. Analiz propusknoy sposobnosti dorog // Pekin: People's Communications. 2003. S. 41-44.
5. Lu TSzyan`. Teoriya proektirovaniya bezopasnosti i metod perescheniya ploskostey shosse // Pekin: Science Press. 2009. S. 46-54.
6. CHzhan YApin. Teoriya propusknoy sposobnosti dorog // Harbin: Harbinskiy tekhnologicheskiy institut. 2007. S. 4-18.
7. Shen` In, CHzhu Chun, Syuy Shuay. Issledovanie metoda rascheta nasyshchennosti dorog // Standartizatsiya dorozhnogo dvizheniya. 2007. №35(1). S. 125-129.
8. Ni In, Li Keping. Raschet i primenenie nasyshchennosti perekrestkov na osnove klyuchevogo konfliktnogo trafika // ZHurnal Ukhan'skogo tekhnologicheskogo universiteta: Izdanie po transportnym naukam i inzhenerii. 2010. №34(1). S. 31-34.
9. YUan` YUvey, He Linnlyan, Li Van'tsin i dr. Metod monitoringa nasyshchennosti gorodskikh dorog v rezhime real'nogo vremeni na osnove bayonetnykh dannykh.
10. CHzhou Vey. Teoreticheskoe obsuzhdenie propusknoy sposobnosti uchastka dorogi// ZHurnal transportnoy inzhenerii. 2001. №2. S. 92- 98.
11. Gao Haylun, CHzhou ZHunguy i dr. Kompleksnyy metod rascheta propusknoy sposobnosti transportnykh sredstv na perekrestkakh // Issledovanie po upravleniyu dorozhnym dvizheniem. 2001.
12. Van Vey. Analiz zaderzhki propusknoy sposobnosti dorozhnogo polotna metodom perescheniya ploskostey Sychuan` // Avgust 1998. S. 32-34.
13. Lu Huapu, Van TSzyan'vey, Li TSzyanpin. Sistema otsenki upravleniya gorodskim dvizheniem // Izdatel'stvo «Narodnye kommunikatsii». 2003. S. 58-61 s.
14. Promyshlenny standart Kitayskoy Narodnoy Respubliki. Tekhnicheskie usloviya na proektirovaniye gorodskikh dorog // Pressa stroitel'noy otrassli Kitaya. S. 21-25 s.
15. Van Vey, Gao Haylun, Li Ven'tsyuan`. Metod analiza propusknoy sposobnosti perekrestkov avtomobil'nykh dorog // Nauchnaya pressa. 2001. №5. S. 48-50.
16. Gao Haylun, Van Vey, Chan YULin`. Kompleksnyy metod rascheta propusknoy sposobnosti transportnykh sredstv na perekrestkakh provintsii Sychuan` // Tekhnologiya dorozhnogo dvizheniya. 2001. №2. S. 66-69.
17. Transportation Research Board. Highway capacity manual 2000 // US:TIR Carnet. 2000. S. 56-61.
18. Li Shuo. A Study on the Macro Capacity Model of Urban Road Network and It's Application. // University of Shanghai for Science and Technology. 1999. №21(3). S. 295-303.
19. Shen TSzinsyan. Issledovaniya transportnogo planirovaniya i proektirovaniya malykh i srednikh gorodov na osnove intellektual'nykh transportnykh sistem // Mir transporta i tekhnologicheskikh mpshin. 2024. №1-2. S. 58-64.

#### **Sheng Jingxiang**

Don State Technical University

Address: 344000, Russia, Rostov-on-Don, str. Gagarin 1

Graduate student

E-mail: 409566609@qq.com

Научная статья

УДК 656.02

doi: 10.33979/2073-7432-2025-3-1(90)-19-25

А.В. КОЛИН, Л.Р. АЙСИНА

## ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТНОЙ СЕТИ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

**Аннотация.** Эффективность системы общественного транспорта напрямую зависит от параметров маршрутной сети. В условиях роста городов и увеличения транспортной нагрузки актуальной задачей становится разработка методов, позволяющих адаптировать маршрутные схемы к изменяющимся пассажиропотокам и инфраструктурным ограничениям.

В данной статье рассматривается укрупненный алгоритм применения новой методики оптимизации маршрутной сети наземного городского пассажирского транспорта, включающей в себя маршруты трамваев, троллейбусов (в т.ч. с увеличенным автономным ходом), автобусов и электробусов. Особое внимание уделяется критериям принятия решений о развитии инфраструктуры и алгоритмическому подходу к формированию маршрутов-кандидатов.

**Ключевые слова:** маршрутная сеть, пассажирские перевозки, маршруты транспортных средств

### **Введение**

Современные подходы к проектированию маршрутных сетей городского пассажирского транспорта требуют разработки новых методических решений, учитывающих особенности влияния различных эксплуатационных измерителей на эксплуатационные расходы для различных видов транспорта. В существующей практике новые маршрутные схемы формируются на основе ранее разработанных.

Ключевые параметры маршрутной сети включают конфигурацию маршрутов, техническое исполнение (по виду используемого дорожного полотна, виду тяги, способу передачи энергии) и класс вместимости обслуживающих их единиц подвижного состава.

В настоящее время при разработке маршрутной сети в качестве основного критерия выбора соотношения различных видов транспорта используется стоимость пробега транспортного средства, которая определяется Приказом Министерства Транспорта №351 [1]. Однако в настоящем Приказе условно-постоянные издержки на содержание линейной инфраструктуры, паркового хозяйства и аппарата управления рекомендовано определять, как долю от общих издержек через эмпирические коэффициенты. В связи с этим, решения о целесообразности эксплуатации трамвайных и троллейбусных линий, выборе размерности парков являются недостаточно обоснованными. Новая методика апробируется одновременно с методом единичных расходных ставок [2, 3] и позволяет определять оптимальный набор маршрутов-кандидатов одновременно с определением потребности в объектах линейной и нелинейной инфраструктуры и их топологией.

### **Материал и методы**

Современные требования к транспортному планированию обуславливают необходимость создания новой методики, которая должна: интегрировать параметры различных видов транспорта, а также обеспечивать высокую точность расчетов за счетдельного учёта расходов, по разному зависящим от эксплуатационных измерителей.

Для принятия рационального решения о сооружении трамвайных или троллейбусных линий следует руководствоваться одним из предлагаемых способов:

1) на основе сравнения между собой совокупных вариантов маршрутной сети полигона исследования, отличающихся различной топологией трамвайных и троллейбусных линий;

2) по результату вышедших в оптимальное решение маршрутов-кандидатов трамваев и троллейбусов.

В первом случае решение принимается на основании многошагового сравнения вариантов по критерию снижения эксплуатационных затрат:

$$\mathcal{E}_{i+1} - \mathcal{E}_i < \frac{I_{\text{доп}}}{T_{\text{возвр}}}, \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}_{i+1}$  и  $\mathcal{E}_i$  – сравниваемые между собой значения эксплуатационных расходов по  $i$ -му варианту и альтернативному ему варианту « $i + 1$ », руб.;

$i$  и « $i + 1$ » - сравниваемые между собой варианты;

$I_{\text{доп}}$  – дополнительные потребные инвестиции по варианту « $i + 1$ », руб.;

$T_{\text{возвр}}$  – нормативный не дисконтированный срок возврата инвестиций, лет.

Во втором случае, рассмотрение множества вариантов не требуется. В исходной маршрутной схеме трамвайные и троллейбусные линии по умолчанию предусматриваются на всех улицах, где для них нет соответствующих градостроительных ограничений. Если маршруты-кандидаты трамваев и троллейбусов, проходящие по этим улицам, по результатам оптимизации расходов попадают в итоговое решение, то и трамвайные или троллейбусные линии, проходящие по этим улицам, должны быть предусмотрены для эксплуатации.

В рамках настоящего исследования разработка маршрутной сети пассажирского транспорта базируется на комплексном анализе исходных данных, включающем топологические характеристики улично-дорожной сети с учетом требуемой вместимости транспорта, параметры существующих и проектируемых трамвайных/троллейбусных линий с детализацией особенностей их полотна. Особое внимание уделяется анализу пассажиропотоков, в частности, часовым их значениям между остановками в различные периоды суток и дни недели. Существенными факторами моделирования выступают технологические ограничения, такие как пропускная способность ключевых элементов сети (перекрестков, выделенных полос, энергообеспечения), эксплуатационные параметры терминальных объектов и зарядной инфраструктуры, а также технико-экономические показатели, включающие скоростные характеристики транспортных средств, параметры нулевых рейсов и стоимостные аспекты эксплуатации [4-9].

Методика разработки маршрутной сети основывается на четырех принципиальных допущениях:

1) нормативное размещение остановочных пунктов [10] с интервалами 400-500 м в селитебных зонах и обязательной пешей доступностью  $\leq 500$  м, где пассажиропотоки оцениваются по [11];

2) приоритетная оптимизация для пиковых нагрузок рабочих дней с возможной адаптацией внепиковых интервалов;

3) предположение о симметричности утренних/вечерних пассажиропотоков с возможностью их раздельного моделирования;

4) учет нулевых рейсов по кратчайшему пути с учетом инфраструктурных ограничений, кроме случаев совмещения конечной станции с парком.

Условно, сценарии развития маршрутной сети могут классифицироваться согласно таблице 1.

Таблица 1 – Описание сценариев развития маршрутной сети

Сценарий	Развитие линий трамвая/троллейбуса	Развитие парков/инфраструктуры	Сфера применения
1	2	3	4
Max	Максимально возможное (кроме градостроительных ограничений)	+	Проектирование перспективной маршрутной сети для новых районов / городов
	Максимально возможное (кроме градостроительных ограничений)	-	Оптимизация транспортного обслуживания при фиксированной ёмкости паркового хозяйства

Окончание таблицы 1

1	2	3	4
Middle	Выборочное (ключевые коридоры)	Частично	Поэтапная модернизация существующей маршрутной сети
	Выборочное (ключевые коридоры)	–	Адаптация сети к пассажиропотокам при ограниченных ресурсах инфраструктуры
	–	Частично	Оптимизация эксплуатационных параметров при фиксированной конфигурации путевого развития
Min	–	–	Корректировка отдельных маршрутов в условиях жестких ресурсных ограничений

**Условные обозначения:** «+» предусматривается; «–» не предусматривается

### **Теория**

Современные требования к организации городских транспортных систем обуславливают необходимость совершенствования методологии проектирования маршрутных сетей. В рамках данного исследования предлагается комплексный подход, интегрирующий традиционные принципы маршрутизации с современными методами оптимизации.

Особенностью предлагаемой методики является применение адаптивного сценарного моделирования, которое обеспечивает комплексную оценку эффективности различных конфигураций маршрутной сети, оптимальное распределение транспортных ресурсов и минимизацию эксплуатационных затрат при сохранении требуемого уровня качества транспортного обслуживания.

Методика проектирования предполагает разработку альтернативных сценариев развития маршрутной сети наземного городского транспорта, варьирующихся от варианта с сохранением существующей инфраструктуры до сценария максимального развития транспортной системы. Применение эвристических алгоритмов (генетического, «жадного») позволяет определить оптимальную конфигурацию как линейных элементов инфраструктуры (трамвайные и троллейбусные линии, выделенные полосы), так и объектов нелинейной инфраструктуры (зарядные станции для электробусов). В рамках данного подхода всем участкам улично-дорожной сети, не имеющим градостроительных ограничений, предварительно присваивается статус потенциальных трасс для организации рельсового транспорта.

Для каждого рассматриваемого сценария формируется набор маршрутов-кандидатов, различающихся пространственной организацией и характеристиками используемого подвижного состава. Особое значение при модернизации действующих маршрутных сетей приобретает принцип преемственности, направленный на минимизацию общественного стресса, который может возникнуть при радикальном изменении сложившейся топологии маршрутов. Данный подход учитывает, что значительные преобразования маршрутной сети способны вызвать негативную реакцию пользователей и временное снижение транспортной подвижности населения [12].

Ключевым достоинством методики выступает использование эвристических алгоритмов для трех взаимосвязанных задач: автоматизированного формирования маршрутов-кандидатов, их комплексной оценки и оптимизации сетевой конфигурации. В основе проектирования лежат принципы:

- территориальной доступности (зоны пешеходной доступности);
- минимизации маршрутной нелинейности, определяемой как отношение фактической длины маршрута к кратчайшему расстоянию между конечными пунктами:

$$k_{\text{нелин } j} = \frac{L_{\text{м факт } j}}{L_{\text{м кратч } j}} \quad (2)$$

где  $L_{\text{м факт } j}$  – фактическая протяжённость  $j$ -го маршрута, км;

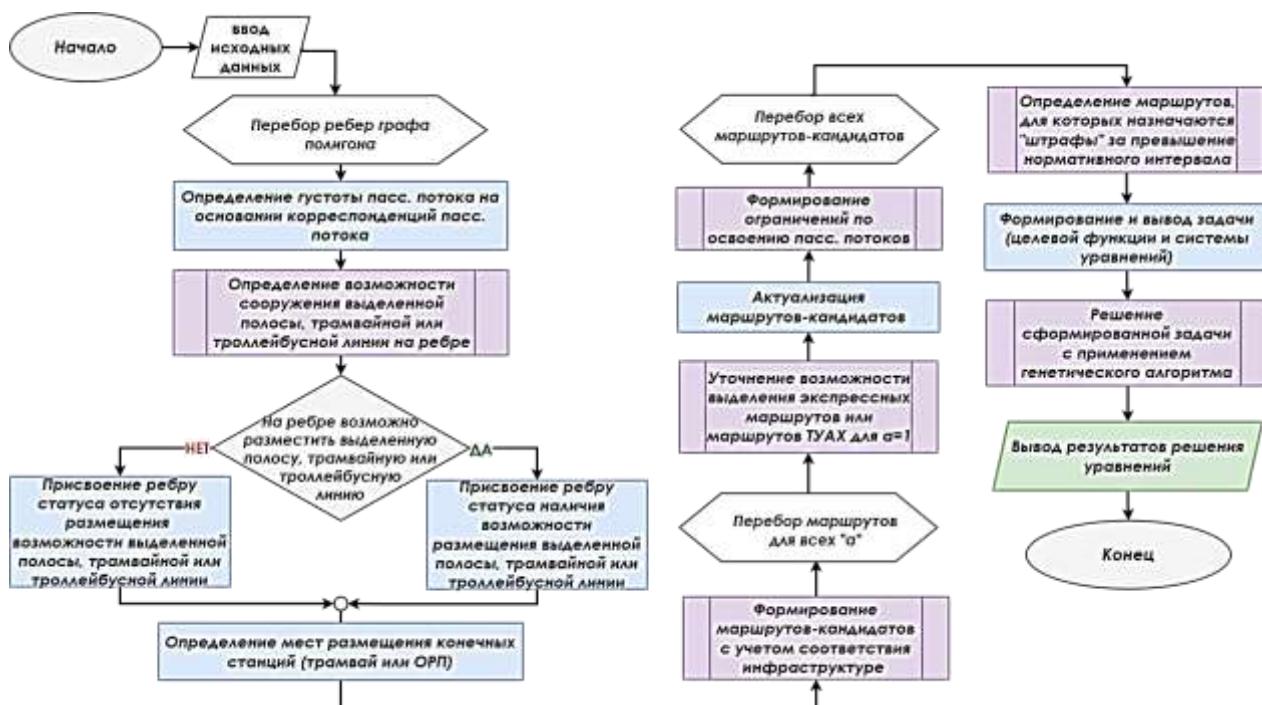
$L_{\text{м кратч } j}$  – длина  $j$ -го маршрута по рёбрам графа улично-дорожной сети, обеспечивающим кратчайшее расстояние между его конечными пунктами.

- создания беспересадочных связей для основных пассажиропотоков;
- соблюдения социальных стандартов обслуживания.

При наличии троллейбусной инфраструктуры автобусные (электробусные) маршруты анализируются на возможность обслуживания их троллейбусами с увеличенным автономным ходом, после чего в перечень маршрутов-кандидатов в общий перечень. Методика допускает комбинированное использование разных типов транспорта одинаковой вместимости на одном маршруте, а также выделение маршрутов-экспрессов (при концентрации пассажиропотоков между ключевыми остановочными пунктами /узлами графа маршрутной сети если технико-экономическое обоснование подтверждает преимущества достижения значительного повышения скорости сообщения и снижения эксплуатационных издержек).

Окончательный выбор конфигурации выполняется после формализации ограничений и обеспечения оптимального соотношения экономической эффективности и качества перевозок [13].

В укрупненном виде алгоритм действий при разработке маршрутной сети и распределению маршрутов различного вида транспорта по ней с учетом местных условий и ограничений представлен на рисунке 1.



*Рисунок 1 – Укрупненный алгоритм разработки маршрутной сети городского пассажирского транспорта*

Анализируемая городская территория (полигон расчета) представляется в виде графоаналитической модели, в которой остановочные пункты являются узлами, а расстояния между ними – ребрами графа.

Для каждого из видов транспорта (переменная « $\sigma$ ») в исходных данных задаются исходные параметры, которые анализируются на соответствующих этапах алгоритма. Алгоритм включает в себя циклы перебора, позволяющие оценить преимущества каждого из видов транспорта для выполнения транспортной работы на каждом из плечей.

Настоящий алгоритм должен применяться отдельно для каждого из сценариев, представленных в таблице 1. Перебор вариантов, их оценка и формирование маршрутов для маршрутной сети предполагается осуществлять с применением генетического алгоритма.

### ***Результаты и обсуждение***

Суть предлагаемой методики сводится к выбору оптимального соотношения использования различных видов транспорта (трамвай, троллейбус, автобус, электробус).

Однако следует отметить ряд методологических ограничений. Во-первых, эффективность методики в значительной степени зависит от качества входных данных, особенно точности информации о пассажиропотоках [14] и характеристиках транспортной инфраструктуры [15, 16]. Во-вторых, формализация социально-политических факторов, таких как общественное сопротивление изменениям маршрутной сети или лоббирование различных транспортных решений, представляет значительную сложность и требует дальнейшей разработки соответствующих методических инструментов. Эти ограничения определяют направления для дальнейшего совершенствования предлагаемого подхода.

### ***Выводы***

Разработка маршрутной сети пассажирского транспорта в городе сводится к формированию сценариев развития транспортной инфраструктуры, формированию для каждого из них перечня маршрутов-кандидатов, ограничений по пользовательским характеристикам, ресурсных и социально-политических ограничений, целевой функции.

В качестве направлений дальнейших исследований предполагается разработка детализированного математического аппарата и апробация предлагаемых решений на реальном полигоне.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Об утверждении Порядка определения начальной (максимальной) цены контракта, а также цены контракта, заключаемого с единственным поставщиком (подрядчиком, исполнителем), при осуществлении закупок в сфере регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом: Приказ Минтранса России от 20.10.2021 №351.
2. Колин А.В., Рыбаков П.В., Красильников П.А., Айсина Л.Р. Использование метода единичных расходных ставок для оценки эксплуатационных расходов на городском пассажирском транспорте // Транспортное дело России. 2025. №1. С. 23-25. EDN ETCZCJ.
3. Колин А.В., Рыбаков П.В., Красильников П.А., Айсина Л.Р. Расчёт себестоимости транспортной работы на городском пассажирском наземном транспорте с использованием метода единичных расходных ставок // International Journal of Advanced Studies: Transport and Information Technologies. 2025. №1. С. 22-46.
4. Новиков А.Н., Еремин С.В. Планирование развития транспортной системы региона на основе системы поддержки управлеченческой деятельности // Мир транспорта и технологических машин. 2020. №4(71). С. 111-117. DOI 10.33979/2073-7432-2020-71-4-111-117. EDN MGGEVP.
5. Насыбуллин А.М. Оценка влияния факторов на назначение попутных остановок контейнерным поездам, курсирующими по технологии постоянного формирования // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №3-1(86). С. 23-34. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-1(86)-23-34. EDN QOCLQM.
6. Мочалин С.М., Колебер Ю.А. Перспективы развития методов оптимизации маршрутных сетей городского пассажирского транспорта // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2019. Т. 16. №3(67). С. 242-255.
7. Буракова А.В., Фенькова С.В. Оптимизация параметров маршрутной сети городского наземного пассажирского транспорта // Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России (Транспромэк 2024): Труды научно-практической конференции. Воронеж: Ростовский государственный университет путей сообщения. 2024. С. 18-22.
8. Носов А.Л. Оптимизация маршрутной сети движения городского пассажирского транспорта // Инновационное развитие экономики. 2018. №5(47). С. 92-98. EDN YOLEBN.
9. Новиков А.Н., Кулев А. В., Катунин А. А. [и др.]. Оптимизация маршрутов пассажирского транспорта в г. Орле // Мир транспорта и технологических машин. 2015. №3(50). С. 115-122. EDN ULELSZ.
10. СП 42.13330.2016. Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01- 89\*; утв. Приказом Министра России от 30.12.2016 № 1034/пр.
11. Варелопуло Г.А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте // М.: Транспорт. 1990. 206 с.

12. Пушман В., Кузин П.А., Радченко А.В. Методические рекомендации по проектированию маршрутных сетей и основам организации общественного транспорта // Букиведипресс. Москва. 2020. С. 49.
13. Вакуленко С.П., Айсина Л. Р., Шмаль В. Н., Насыбуллин А. М. Расписание движения поездов с учетом удобства пересадки для пассажиров // Экономика железных дорог. 2022. №4. С. 67-74. EDN MAQPSK.
14. Плахтий А.Д., Корчагин Д.С. Обзор и выбор методов автоматизированного подсчета пассажиров на общественном наземном транспорте для эффективного управления перевозками // Вестник СибАДИ. 2025. №22(2). – С. 238-247. EDN: PPKZFC.
15. Цариков А.А. Исследование улично-дорожной сети городов на предмет возможности выделения полос для движения пассажирского транспорта // Вестник СибАДИ. 2025. №22(2). С. 266-280. EDN: ZBDTWS
16. Красильников П.А., Соколов М.Ю., Роменский Д.Ю. Использование данных стандарта Openstreetmap для задач, связанных с эксплуатацией железнодорожного транспорта // Известия Транссиба. 2023. №3(55). С. 44-54. EDN KUSXRQ.

**Колин Алексей Валентинович**

Российский университет транспорта (МИИТ)

Адрес: 127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9

Начальник научно-образовательного центра «Независимые комплексные транспортные исследования»  
E-mail: alex5959@yandex.ru**Айсина Лилия Ринатовна**

Российский университет транспорта (МИИТ)

Адрес: 127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9.

Старший преподаватель

E-mail: l.r.aysina@mail.ru

A.V. KOLIN, L.R. AYSINA

## OPTIMIZATION OF URBAN PASSENGER TRANSPORT ROUTE NETWORKS

*Abstract. The efficiency of public transportation systems depends directly on the configuration of their route networks. Due to urban expansion and increasing traffic volumes, developing methods to adapt route schemes to changing passenger demand and infrastructure constraints has become an urgent issue.*

*This paper presents an improved algorithm for optimizing urban land-based passenger transportation networks, including routes for trams, trolleybuses (particularly those with battery-extended autonomous operation), buses, and electric buses. Particular attention is given to the criteria for infrastructure development decisions and the algorithmic process for identifying potential route options.*

**Keywords:** route network, passenger transportation, vehicle routes

## BIBLIOGRAPHY

1. Ob utverzhdenii Poryadka opredeleniya nachal'noy (maksimal'noy) tseny kontrakta, a takzhe tseny kontrakta, zaklyuchaemogo s edinstvennym postavshchikom (podryadchikom, ispolnitelem), pri osushchestvlenii zakupok v sfere regulyarnykh perevozok passazhirov i bagazha avtomobil'nym transportom i gorodskim nazemnym elektricheskim transportom: Prikaz Mintransa Rossii ot 20.10.2021 №351.
2. Kolin A.V., Rybakov P.V., Krasil'nikov P.A., Aysina L.R. Ispol'zovanie metoda edinichnykh raskhodnykh stavok dlya otsenki ekspluatatsionnykh raskhodov na gorodskom passazhirskom transporte // Transportnoe delo Rossii. 2025. №1. S. 23-25. EDN ETCZCJ.
3. Kolin A.V., Rybakov P.V., Krasil'nikov P.A., Aysina L.R. Raschiot sebestoimosti transportnoy raboty na gorodskom passazhirskom nazemnom transporte s ispol'zovaniem metoda edinichnykh raskhodnykh stavok // International Journal of Advanced Studies: Transport and Information Technologies. 2025. №1. S. 22-46.
4. Novikov A.N., Eremin S.V. Planirovanie razvitiya transportnoy sistemy regiona na osnove sistemy podderzhki upravlencheskoy deyatel'nosti // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2020. №4(71). S. 111-117. DOI

10.33979/2073-7432-2020-71-4-111-117. EDN MGGEVP.

5. Nasybullin A.M. Otsenka vliyaniya faktorov na naznachenie poputnykh ostanovok konteyernym poezdam, kursiruyushchim po tekhnologii postoyannogo formirovaniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №3-1(86). S. 23-34. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-1(86)-23-34. EDN QOCLQM.

6. Mochalin S.M., Koleber YU.A. Perspektivy razvitiya metodov optimizatsii marshrutnykh setey gorodskogo passazhirskogo transporta // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. 2019. T. 16. №3(67). S. 242-255.

7. Burakova A.V., Fen`kova S.V. Optimizatsiya parametrov marshrutnoy seti gorodskogo nazemnogo pasazhirskogo transporta // Aktual`nye problemy i perspektivy razvitiya transporta, promyshlennosti i ekonomiki Rossii (Transpromek 2024): Trudy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Voronezh: Rostovskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya. 2024. S. 18-22.

8. Nosov A.L. Optimizatsiya marshrutnoy seti dvizheniya gorodskogo passazhirskogo transporta // Innovatsionnoe razvitiye ekonomiki. 2018. №5(47). S. 92-98. EDN YOLEBN.

9. Novikov A.N., Kulev A. V., Katunin A. A. [i dr.]. Optimizatsiya marshrutov passazhirskogo transporta v g. Orle // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2015. №3(50). S. 115-122. EDN ULELSZ.

10. SP 42.13330.2016. Svod pravil. Gradostroitel'stvo. Planirovka i zastroyka gorodskikh i sel'skikh poseleniy. Aktualizированная редакция SNiP 2.07.01- 89\*; utv. Prikazom Minstroya Rossii ot 30.12.2016 № 1034/pr.

11. Varelopulo G.A. Organizatsiya dvizheniya i perevozok na gorodskom passazhirskom transporte // M.: Transport. 1990. 206 s.

12. Pushman V., Kuzin P.A., Radchenko A.V. Metodicheskie rekomendatsii po proektirovaniyu marshrutnykh setey i osnovam organizatsii obshchestvennogo transporta // Bukivedipress. Moskva. 2020. S. 49.

13. Vakulenko S.P., Aysina L. R., SHmal` V. N., Nasybullin A. M. Raspisanie dvizheniya poездов с учетом удобства передвижки для пассажиров // Экономика железных дорог. 2022. №4. S. 67-74. EDN MAQPSK.

14. Plakhtiy A.D., Korchagin D.S. Obzor i vybor metodov avtomatizirovannogo podscheta passazhirov na obshchestvennom наземном transporte dlya effektivnogo upravleniya perevozkami // Vestnik SibADI. 2025. №22(2). - S. 238-247. EDN: PPKZFC.

15. Tsarikov A.A. Issledovanie ulichno-dorozhnay seti gorodov na predmet vozmozhnosti vydeleniya polos dlya dvizheniya passazhirskogo transporta // Vestnik SibADI. 2025. №22(2). S. 266-280. EDN: ZBDTWS

16. Krasil'nikov P.A., Sokolov M.YU., Romenskiy D.YU. Ispol'zovanie dannykh standarta Openstreetmap dlya zadach, svyazannykh s ekspluatatsiei zheleznodorozhного transporta // Izvestiya Transsiba. 2023. №3(55). S. 44-54. EDN KUSXRQ.

**Kolin Alexey Valentinovich**

Russian University of transport

Address: 127994, Russia, Moscow, Obraztsova str., 9, build. 9

Chief of research and educational cent «Nezavisimye kompleksnye transportnye issledovaniya»,

E-mail: alex5959@yandex.ru

**Aysina Liliya Rinatovna**

Russian University of transport

Address: 127994, Russia, Moscow, Obraztsova str., 9, build. 9

Senior teacher

E-mail: l.r.aysina@mail.ru

Научная статья

УДК 656.11

doi: 10.33979/2073-7432-2025-3-1(90)-26-33

С.В. ЖАНКАЗИЕВ, Ж.Б.У. АГЗАМОВ, Г.А. КРЫЛОВ

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПОРЯДКА РЕАЛИЗАЦИИ МЕРОПРИЯТИЙ В РАМКАХ КОМПЛЕКСНЫХ СХЕМ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ**

**Аннотация.** В статье рассматривается задача оптимизации очередности внедрения мероприятий, предусмотренных комплексной схемой организации дорожного движения (КСОДД). Проанализированы четыре подхода к формированию последовательности реализации мероприятий: на основе приоритета, ожидаемой эффективности, коэффициента связанности и «скользящего» алгоритма пошаговой оптимизации. Проведено сравнение сценариев по скорости достижения суммарного эффекта и степени учитывания взаимного влияния мероприятий. Предложена формализация задачи в виде математической модели оптимизации, позволяющей максимально повысить итоговый эффект от введения комплекса мероприятий с учётом ограничений. Показано, что статические сценарии, основанные только на локальных показателях (приоритет или эффективность отдельных мероприятий), не обеспечивают оптимального результата в сравнении со сценариями, учитывающими сетевую связанность. «Скользящий» алгоритм, динамически пересматривающий выбор следующего шага, продемонстрировал наибольшую эффективность, позволяя реализовать мероприятия в таком порядке, который ускоряет получение совокупного эффекта для транспортной системы. В заключение приведены рекомендации по применению разработанной модели при планировании КСОДД и указаны направления дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** комплексная схема организации дорожного движения, КСОДД, оптимизация, очередьность мероприятий, эффективность, коэффициент связанности, скользящий алгоритм, математическая модель

### **Введение**

Комплексная схема организации дорожного движения (КСОДД) представляет собой стратегический план мероприятий по развитию и улучшению организации дорожного движения на территории города или региона. Одной из ключевых задач при разработке КСОДД является обоснование очередности реализации мероприятий – то есть, определение порядка, в котором запланированные меры должны внедряться на практике. Правильная очередьность позволяет наиболее эффективно использовать ограниченные ресурсы и быстрее достичь целей схемы, таких как повышение пропускной способности улиц, снижение заторов, улучшение безопасности и экологической обстановки [5, 6, 9]. Согласно нормативным требованиям России, в составе КСОДД необходимо указывать перечень мероприятий и очередьность их внедрения с оценкой влияния каждого мероприятия на эффективность организации дорожного движения. В частности, Федеральный закон № 443-ФЗ от 29.12.2017 г. об организации дорожного движения обязывает учитывать приоритетность и эффективность мероприятий при планировании их реализации [1]. Также актуализированные приказы Минтранса России устанавливают, что очередьность реализации мероприятий должна быть обоснована показателями их влияния на ситуацию на дорогах. На практике при планировании очередности часто используют упрощённые подходы: например, реализуют мероприятия строго по их приоритету (значимости) либо исходя из оценочной эффективности каждого проекта в отдельности [2-5, 10]. Однако такие подходы не учитывают возможный синергетический эффект – взаимное влияние мероприятий друг на друга. Взаимосвязанные мероприятия (например, смежные участки улично-дорожной сети) могут давать значительно больший совокупный эффект, если их реализовать в определённой последовательности (например, последовательно соединяя участки

дороги в единый маршрут). Игнорирование связанныности может приводить к тому, что суммарный эффект от КСОДД достигается медленнее или не в полной мере [7].

### **Материал и методы**

Актуальность исследования оптимального порядка внедрения мероприятий обусловлена стремлением максимально повысить социально-экономическую отдачу от проектов по организации дорожного движения при ограниченных ресурсах. Существует необходимость в научно обоснованных методах, которые учитывают, как локальную эффективность отдельных мероприятий, так и глобальные эффекты их взаимодействия в транспортной сети [13-15]. В данной работе поставлена цель разработать такую методику на основе математической модели оптимизации и сравнить её с традиционными подходами на конкретных сценариях.

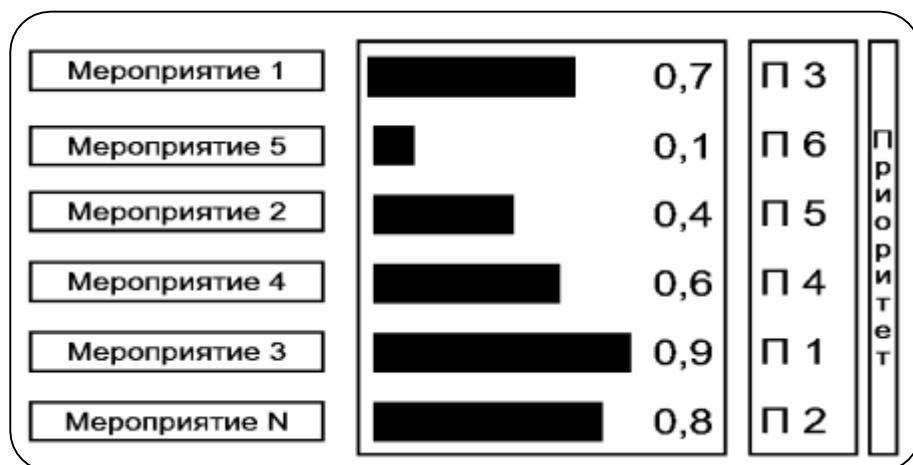
### **Теория / Расчет**

Для решения задачи были рассмотрены четыре различных сценария (подхода) формирования последовательности реализации мероприятий КСОДД. Ниже приведены эти сценарии (рис. 1).



*Рисунок 1 – Формирование порядка мероприятий КСОДД*

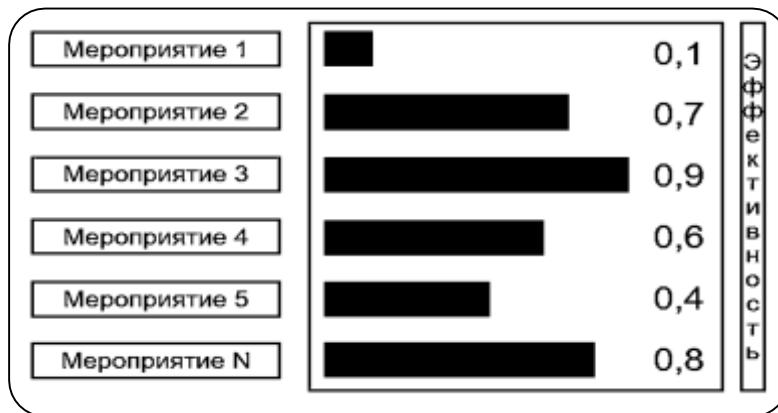
Сценарий по приоритету. Все мероприятия упорядочиваются согласно присвоенным им приоритетам (очерёдности важности), которые обычно определяются экспертами. Мероприятия с наивысшим приоритетом реализуются в первую очередь. Данный подход отражает преимущественно экспертную или административную точку зрения на важность проектов, но может не учитывать количественную эффективность мероприятий (рис. 2).



*Рисунок 2 – Определение мероприятий по приоритету*

Сценарий по эффективности. Предполагается упорядочивание мероприятий по убыванию их ожидаемой эффективности. Под эффективностью понимается количественный эф-

фект от реализации каждого мероприятия – например, уменьшение средних задержек транспорта, рост скорости движения, снижение аварийности или экономия времени/денег пользователей. В рамках этого сценария сначала внедряются те мероприятия, которые дают наибольший эффект в расчёте на единицу ресурса (либо в абсолютном выражении). Такой подход реализует принцип максимизации частного выигрыша на каждом шаге, однако не учитывает взаимодействия между мероприятиями (рис. 3.).



*Рисунок 3 – Определение мероприятий по эффективности*

Сценарий по коэффициенту связанности. Данный подход делает акцент на топологической связанности мер в транспортной сети. Вводится показатель – коэффициент связанности – отражающий степень, с которой данное мероприятие связано с другими. Конкретное определение коэффициента может различаться; в общем случае он высок для мероприятий, реализация которых соединяет между собой разные элементы сети или логически продолжает уже реализованные меры. Например, мероприятию, прокладывающему недостающий фрагмент магистрали между двумя ранее несвязанными участками, присваивается высокий коэффициент связанности. Сценарий предполагает, что в первую очередь реализуются мероприятия с наибольшим значением этого коэффициента – то есть меры, способные значительно повысить связанность (целостность) дорожной сети. Подобный подход отдает приоритет созданию связной, комплексной сети даже в ущерб мгновенной локальной эффективности каждого шага (табл. 1).

Таблица 1 – Матрица мероприятий по коэффициенту связанности

№	1	2	3	4	5	6	7	...	...	...	26	27	28	29
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	0,95	0,73	0,6	0,16	0,16	0,06	...	...	...	0,02	0,97	0,83	0,21
2	0,05	0	0,17	0,07	0,95	0,97	0,81	...	...	...	0,44	0,12	0,5	0,03
3	0,05	0,33	0	0,27	0,83	0,36	0,28	...	...	...	0,07	0,99	0,77	0,2
4	0,64	0,89	0,47	0	0,71	0,76	0,56	...	...	...	0,43	0,03	0,11	0,03
5	0,8	0,19	0,89	0,54	0	0,9	0,32	...	...	...	0,82	0,86	0,01	0,51
6	0,04	0,61	0,5	0,05	0,28	0	0,24	...	...	...	0,24	0,67	0,76	0,24
7	0,65	0,17	0,69	0,39	0,94	0,14	0	...	...	...	0,26	0,66	0,82	0,56
8	0,9	0,61	0,01	0,1	0,66	0,01	0,16	...	...	...	0,22	0,71	0,24	0,33
9	0,58	0,49	0,2	0,72	0,28	0,02	0,65	...	...	...	0,91	0,37	0,02	0,93
10	0,99	0,14	0,52	0,88	0,74	0,7	0,7	...	...	...	0,81	0,87	0,91	0,51
11	0,03	0,04	0,82	0,36	0,13	0,52	0,77	...	...	...	0,20	0,53	0,54	0,64
12	0,25	0,55	0,71	0,66	0,28	0,95	0,74	...	...	...	0,25	0,64	0,76	0,01
13	0,37	0,63	0,5	0,86	0,66	0,16	0,07	...	...	...	0,94	0,58	0,21	0,64
14	0,02	0,81	0,28	0,12	0,7	0,63	0,88	...	...	...	0,18	0,75	0,81	0,54
15	0,39	0,01	0,91	0,09	0,32	0,95	0,95	...	...	...	0,29	0,33	0,67	0,75

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	0,7	0,07	0,82	0,71	0,08	0,08	0,99	...	...	...	0,95	0,99	0,75	0,38
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
26	0,85	0,55	0,56	0,88	0,4	0,13	0,03	...	...	...	0	0,14	0,01	0,35
27	0,46	0,98	0,49	0,33	0,63	0,24	0,08	...	...	...	0,14	0	0,18	0,35
28	0,69	0,04	0,8	0,63	0,08	0,87	0,92	...	...	...	0,75	0,18	0	0,37
29	0,27	0,38	0,02	0,32	0,21	0,33	0,12	...	...	...	0,79	0,5	0,09	0

Сценарий «скользящего» алгоритма. В этом подходе используется итеративный оптимизационный алгоритм, который на каждом шаге пересматривает выбор следующего мероприятия с учетом уже реализованных. Алгоритм работает по следующей схеме: начальным шагом выбирается мероприятие с наибольшим приоритетом, после чего каждое последующее мероприятие определяется итерационно: на каждом шаге из оставшегося множества выбирается то мероприятие, которое имеет максимальный коэффициент связанности с предыдущим уже выбранным мероприятием. Благодаря такому «скользящему» (пошагово изменяющемуся) выбору данный сценарий способен учитывать отложенный эффект: например, мероприятие, которое изначально казалось малоэффективным само по себе, может быть реализовано раньше, если оно откроет путь для значительного эффекта другого мероприятия. Этот алгоритм фактически стремится приблизиться к глобально оптимальному решению, принимая во внимание синергетические эффекты связанных мероприятий на каждом шаге.

### *Результаты и обсуждение*

В работе использована математическая формализация задачи оптимизации порядка реализации мероприятий.

Рассматривается множество мероприятий, обозначаемое как

$$A = \{a_i\} \quad (1)$$

где  $a_i$  - мероприятие в составе предложенного проектного плана.

Для каждого мероприятия  $a_i$  заданы следующие параметры:

- стоимость  $i$ -го мероприятия, руб.  $S_i$ ; (2)

- приоритет или значимость мероприятия  $R_i$ ; (3)

- ежегодный эффект от внедрения мероприятия (ожидаемая прибыль)  $P_i$ , руб./год;

- эффективность  $i$ -го мероприятия;

$$W_i = \frac{P_i}{S_i}.$$

Вариант выбора порядка выполнения мероприятий:

$$A = \{a_i^j\},$$

где  $a_i^j$  -  $i$  мероприятие,  $j$  вариант выбора порядка выполнения мероприятий.

Определение количества мероприятий по условию попадания в бюджет:

$$N^j = \sum_{A^j} s_i^j \leq S,$$

где  $S$  доступный бюджет.

Суммарная стоимость варианта руб:

$$S^j = \sum_{A^j}^{N^j} S_i^j.$$

Суммарный ожидаемый эффект руб/год:

$$P^j = \sum_{A^j}^{N^j} P_i^j.$$

Суммарная эффективность (агрегированный показатель рентабельности выбранных мероприятий):

$$W^j = \sum_{A^j}^{N^j} W_i^j = \sum_{A^j}^{N^j} (P_i^j / S_i^j).$$

Накопленная эффективность, отражающая соотношение общего эффекта к суммарным затратам:

$$U^j = \sum_{A^j}^{N^j} P_i^j / \sum_{A^j}^{N^j} S_i^j.$$

На основании А и S необходимо определить такой порядок выполнения мероприятий  $A^j$ , при котором выполняется ограничения:

$$S^j = \sum_{A^j}^{N^j} S_i^j \leq S$$

и оптимизируется целевая функция, основанная на суммарной эффективности:

$$W^j = \sum_{A^j}^{N^j} W_i^j = \sum_{A^j}^{N^j} (P_i^j / S_i^j) \rightarrow \max.$$

Таким образом, сформулированная задача относится к классу задач комбинаторной оптимизации с ограничениями по ресурсу, где оптимизация производится по критерию агрегированной эффективности мероприятий при соблюдении заданного бюджетного лимита.

### **Выводы**

Результаты проведённого исследования позволяют утверждать, что существующие практики ранжирования мероприятий в рамках КСОДД, основанные исключительно на индивидуальных приоритетах, эффективности или стоимости, являются недостаточно чувствительными к системным взаимосвязям между мероприятиями. В работе показано, что такие подходы, несмотря на свою логическую стройность и простоту реализации, не учитывают эффект от последовательной реализации мероприятий, а также их сетевую связанность, что влечёт за собой потери совокупной эффективности в условиях ограниченного бюджета.

Существенным научным вкладом настоящего исследования является введение категории коэффициента связанности, отражающего степень взаимного влияния мероприятий. Это позволило рассматривать не отдельные элементы, а пары и последовательности мероприятий как структурные единицы программного планирования КСОДД [8]. С точки зрения математической формализации задача представлена как задача комбинаторной оптимизации с ограничениями по стоимости, где целевая функция максимизирует суммарный эффект реализуемого набора мероприятий при заданном уровне ресурсных ограничений.

Особое внимание уделено «скользящему» алгоритму формирования последовательности мероприятий, согласно которому каждое последующее мероприятие выбирается на основе максимального коэффициента связанности с уже реализованными мерами. Применение данной стратегии позволило достичь наивысшего интегрального эффекта по сравнению с другими исследованными подходами (приоритет, эффективность, односторонняя связанность), что подтверждено результатами модельных расчетов и графической визуализации накопленных эффектов. Данный результат свидетельствует о высокой чувствительности модели к структуре взаимодействия между мероприятиями и подтверждает корректность выбора математического аппарата, основанного на принципах теории графов и матричных методов оценки взаимодействий.

Практическая значимость работы заключается в возможности адаптации предложенной методики к разным типам городов и территориальных образований. Благодаря своей гибкости, методика может быть использована как на уровне муниципального планирования, так и в рамках региональных и федеральных программ развития транспортной инфраструктуры. Кроме того, разработанный алгоритм легко масштабируется и может быть интегрирован в цифровые платформы поддержки принятия решений при разработке КСОДД.

Таким образом, проведённое исследование формирует научно обоснованный фундамент для системного подхода к выбору и ранжированию мероприятий в рамках КСОДД, обеспечивая максимальный совокупный эффект и высокую адаптивность методики к условиям конкретной транспортной среды.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Терентьев В.В., Андреев К.П., Киселев В.А. [и др.]. Принципиальные предложения и решения по основным мероприятиям организации дорожного движения // Грузовик. 2020. №3. С. 37-42. EDN YDSAPH.
2. Солодкий А.И., Черных Н.В. Повышение уровня обслуживания дорожного движения в крупных и средних городах России // Вестник гражданских инженеров. 2020. №1(78). С. 191-197. DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-1-191-197. EDN CIASYT.
3. Ковалева Н.А., Мамаев Т.Э. Методы оперативного реагирования при управлении движением в городских транспортных системах // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2021. №2(82). С. 148-157. DOI 10.46973/0201-727X\_2021\_2\_148. EDN QSBSRU.
4. Савченко А.Н., Ужегов А.О., Данилов А.Р. «Умный транспорт» для жителей мегаполиса: возможности использования цифровых технологий // Управление в современных системах. 2021. №2(30). С. 56-65. DOI 10.24412/2311-1313-30-56-65. EDN HBSUKM.
5. Жанказиев С.В., Вражнова М.Н., Пашкова А.А. Концепция методики повышения безопасности дорожного движения за счет предоставления безопасного маршрута пользователям средств индивидуальной мобильности // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №1-1(80). С. 43-49. DOI 10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-43-49. EDN VJYJSF.
6. Agzamov J.B., Hamraqulov Yo.M. Jizzax shahri Alisher Navoiy ko'chasida avtomobil shovqiniga ta'sir etuvchi omillar // Экономика и социум. 2024. №1(116). Р. 32-36. EDN FQOYJP.
7. Hamraqulov Y.M., Agzamov J. B. Yo'l harakati xavfsizligini boshqarish bo'yicha xalqaro tajribalar tahlili // Экономика и социум. 2024. №10-1(125). Р. 127-130. EDN RJGHDS.
8. Агзамов Ж.Б.У., Жанказиев С.В. Комплексная схема организации дорожного движения: эволюция поколений и новые вызовы // Механика и технология. 2024. №2(9) Спецвыпуск. С. 87-94. EDN VJYJSF.
9. Такмакова Ю.В. Комплексная схема организации дорожного движения как перспективный метод обеспечения его безопасности // Вестник Восточно-Сибирского института МВД России. 2020. №3(94). С. 264-270. DOI 10.24411/2312-3184-2020-10075. EDN DJRSBW.
10. Буянов В.В., Севостьянов А.Л. Развитие информационных технологий при разработке схем организации дорожного движения на примере электронного web-редактора КСОДД // Профессия инженер: Сборник статей по материалам XI Всероссийской молодежной научно-практической конференции. Орел: Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина. 2023. С. 36-42. EDN RYZUQG.
11. Мячин В.Н., Шуляев В.В. Методические аспекты разработки комплексных схем организации дорожного движения (КСОДД) // Транспортное планирование и моделирование: сборник трудов международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. 2016. С. 100-105. EDN XXZYGD.
12. Поборуев М.С., Терентьев В.В., Андреев К.П. Разработка схемы организации дорожного движения // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте: Сборник материалов V Международной научно-практической конференции. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева. 2021. С. 220-223. EDN VMFFZM.
13. Сафонова Н.М. Вопросы совершенствования и развития организационных структур транспортного комплекса // Транспорт: наука, образование, производство («Транспорт-2023»): Сборник статей Международной научно-практической конференции. Воронеж: филиал ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» в г. Воронеж. 2023. С. 175-179. EDN MLYRRU.
14. Зырянов В.В., Кочерга В.Г., Поздняков М.Н. Современные подходы к разработке комплексных схем организации дорожного движения // Транспорт Российской Федерации. 2011. №1(32). С. 54-59. EDN NTNRCV.
15. Прагер Д.С., Карева В.В. Особенности разработки и применения основных организационно-технических мероприятий по повышению безопасности движения // Автомобильный транспорт Дальнего Востока. 2021. №1. С. 192-195. EDN ORCWCO.

### **Жанказиев Султан Владимирович**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Адрес: 125319, Россия, г. Москва, Ленинградский проспект, 64

Д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Организация и безопасность дорожного движения, интеллектуальные транспортные системы»

E-mail: sultany@mail.ru

### **Агзамов Жахонгир Бахиер Угли**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Адрес: 125319, Россия, г. Москва, Ленинградский проспект, 64

Аспирант

E-mail: agzamovjahongir@mail.ru

**Крылов Григорий Александрович**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Адрес: 125319, Россия, г. Москва, Ленинградский проспект, 64

Старший преподаватель кафедры «Прикладная математика»

E-mail: grigory\_a\_krylov@mail.ru

---

S.V. ZHANKAZIEV, J.B.U. AGZAMOV, G.A. KRYLOV

## **OPTIMIZATION OF THE PROCEDURE FOR IMPLEMENTING MEASURES WITHIN THE FRAMEWORK OF COMPREHENSIVE ROAD TRAFFIC MANAGEMENT SCHEMES**

*Abstract.* The paper addresses the optimization of the implementation sequence of measures within a comprehensive road traffic organization scheme (Russian abbreviation: КСОДД). Four approaches to ordering the implementation of measures are analyzed: by priority, by expected effectiveness, by connectivity coefficient, and by a «sliding» step-by-step optimization algorithm. A comparative analysis of these scenarios is performed in terms of how quickly the cumulative effect is achieved and the extent to which the mutual influence of measures is accounted for. A mathematical optimization model is proposed to formalize the task, aimed at maximizing the total effect from the implementation of the full set of measures under given constraints. It is shown that static scenarios based only on local indicators (such as individual measure priority or effectiveness) do not provide an optimal result compared to scenarios that consider network connectivity. The «sliding» algorithm, which dynamically revises the choice at each step, demonstrated the highest efficiency, allowing measures to be implemented in an order that accelerates the attainment of the overall effect for the transport system. Finally, recommendations are given for applying the developed model in КСОДД planning, and directions for further research are outlined.

**Keywords:** comprehensive road traffic scheme, КСОДД, optimization, implementation sequence, effectiveness, connectivity coefficient, sliding algorithm, mathematical model

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Terent`ev V.V., Andreev K.P., Kiselev V.A. [i dr.]. Printsipl` nye predlozheniya i resheniya po osnovnym meropriyatiyam organizatsii dorozhnogo dvizheniya // Gruzovik. 2020. №3. S. 37-42. EDN YDSAPH.
2. Solodkiy A.I., Chernykh N.V. Povyshenie urovnya obsluzhivaniya dorozhnogo dvizheniya v krupnykh i srednikh gorodakh Rossii // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2020. №1(78). S. 191-197. DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-1-191-197. EDN CIASYT.
3. Kovaleva N.A., Mamaev T.E. Metody operativnogo reagirovaniya pri upravlenii dvizheniem v gorodskikh transportnykh sistemakh // Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. 2021. №2(82). S. 148-157. DOI 10.46973/0201-727X\_2021\_2\_148. EDN QSBSRU.
4. Savchenko A.N., Uzhegov A.O., Danilov A.R. "Umnyy transport" dlya zhiteley megapolisa: vozmozhnosti ispol`zovaniya tsifrovyykh tekhnologiy // Upravlenie v sovremennykh sistemakh. 2021. №2(30). S. 56-65. DOI 10.24412/2311-1313-30-56-65. EDN HBSUKM.
5. Zhankaziev S.V., Vrazhnova M.N., Pashkova A.A. Kontseptsiya metodiki povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya za schet predostavleniya bezopasnogo marshruta pol`zovatelyam sredstv individual`noy mobil`nosti // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №1-1(80). S. 43-49. DOI 10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-43-49. EDN VJYJSF.
6. Agzamov J.B., Hamraqulov Yo.M. Jizzax shahri Alisher Navoiy ko'chasida avtomobil shovqiniga ta'sir etuvchi omillar // Ekonomika i sotsium. 2024. №1(116). P. 32-36. EDN FQOYJP.
7. Hamraqulov Y.M., Agzamov J. B. Yo'l harakati xavfsizligini boshqarish bo'yicha xalqaro tajribalar tahlili // Ekonomika i sotsium. 2024. №10-1(125). P. 127-130. EDN RJGHDS.
8. Agzamov ZH.B.U., Zhankaziev S.V. Kompleksnaya skhema organizatsii dorozhnogo dvizheniya: evolyutsiya pokoleniy i novye vyzovy // Mekhanika i tekhnologiya. 2024. №2(9) Spetsvypusk. S. 87-94. EDN VJYJSF.
9. Takmakova YU.V. Kompleksnaya skhema organizatsii dorozhnogo dvizheniya kak perspektivnyy metod obespecheniya ego bezopasnosti // Vestnik Vostochno-Sibirskogo instituta MVD Rossii. 2020. №3(94). S. 264-270. DOI 10.24411/2312-3184-2020-10075. EDN DJRSBW.
10. Buyanov V.V., Sevost`yanov A.L. Razvitiye informatsionnykh tekhnologiy pri razrabotke skhem organizatsii dorozhnogo dvizheniya na primere elektronnogo web-redaktora KSODD // Professiya inzhener: Sbornik statey po

materialam XI Vserossiyskoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Orel: Orlovskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni N.V. Parakhina. 2023. S. 36-42. EDN RYZUQG.

11. Myachin V.N., Shulyaev V.V. Metodicheskie aspekty razrabotki kompleksnykh skhem organizatsii dorozhnogo dvizheniya (KSODD) // Transportnoe planirovaniye i modelirovaniye: sbornik trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet. 2016. S. 100-105. EDN XXZYGD.

12. Poboruev M.S., Terent'ev V.V., Andreev K.P. Razrabotka skhemy organizatsii dorozhnogo dvizheniya // Innovatsii v informatsionnykh tekhnologiyakh, mashinostroenii i avtotransporte: Sbornik materialov V Mezdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Kemerovo: Kuzbasskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet imeni T.F. Gorbacheva. 2021. S. 220-223. EDN VMFFZM.

13. Safonova N.M. Voprosy sovershenstvovaniya i razvitiya organizatsionnykh struktur transportnogo kompleksa // Transport: nauka, obrazovanie, proizvodstvo ("Transport-2023"): Sbornik statey Mezdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Voronezh: filial FGBOU VO "Rostovskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya" v g. Voronezh. 2023. S. 175-179. EDN MLYRRU.

14. Zyryanov V.V., Kocherga V.G., Pozdnyakov M.N. Sovremennye podkhody k razrabotke kompleksnykh skhem organizatsii dorozhnogo dvizheniya // Transport Rossiyskoy Federatsii. 2011. №1(32). S. 54-59. EDN NTNRGV.

15. Prager D.S., Kareva V.V. Osobennosti razrabotki i primeneniya osnovnykh organizatsionno-tehnicheskikh meropriyatiy po povysheniyu bezopasnosti dvizheniya // Avtomobil'nyy transport Dal'nego Vostoka. 2021. №1. S. 192-195. EDN ORCWCO.

**Zhankaziev Sultan Vladimirovich**

Moscow Automobile and Road Engineering State Technical University (MADI)

Address: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky Prospekt, 64

Doctor of technical sciences

E-mail: sultanz@mail.ru

**Agzamov Jakhongir Bakhtiyor Ugli**

Moscow Automobile and Road Engineering State Technical University (MADI)

Address: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky Prospekt, 64

Postgraduate

E-mail: agzamovjahongir@mail.ru

**Krylov Grigory Alexandrovich**

Moscow Automobile and Road Engineering State Technical University (MADI)

Address: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky Prospekt, 64

Senior lecturer

E-mail: grigory\_a\_krylov@mail.ru

**УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕВОЗОК**

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2025-3-1(90)-34-51

Е.Е. ВИТВИЦКИЙ, Е.С. ГАЛАКТИОНОВА, Н.И. ЮРЬЕВА

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ ОПЕРАТИВНЫХ ПЛАНОВ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ ПОМАШИННЫМИ ОТПРАВКАМИ В ГОРОДАХ ПРИ РАЗНЫХ СПОСОБАХ ЕГО ОРГАНИЗАЦИИ**

*Аннотация.* Предметом исследования является возможность применения математического моделирования для построения достоверных планов перевозок грузов помашинными отправками на маятниковых и кольцевых маршрутах в городах при разных способах их организации. Для подтверждения эффективности организации работы автотранспортных средств при перевозках грузов в городах представлены обобщающие результаты разработанных планов перевозок грузов на основе математической модели описания функционирования малой не насыщенной автотранспортной системы перевозок грузов и выполнены расчеты себестоимости.

*Ключевые слова:* Помашинные отправки, Кольцевые, маятниковые маршруты. Городское сообщение, Планы перевозок грузов, Способы организации перевозок, Затраты на перевозку

**Введение**

Способ перевозок грузов помашинными отправками в городах, с применением автомобильного транспорта, может организовываться и исполняться, в том числе:

- группой АТС на различных маятниковых и кольцевых маршрутах при подаче в один из пунктов погрузки;

- группами АТС на вышеперечисленных маршрутах (кроме маятникового с обратным не груженым пробегом, где группа одна), при подаче во все пункты маршрута на первую погрузку [2]. В статье [1] отмечается, что рост потребностей в грузовых перевозках сопровождается проблемами, связанными с отсутствием маршрутных сетей и недостатком информации о дорожных условиях для грузового автотранспорта. Это негативно сказывается на социально-экономическом развитии, как отдельных городов, так и всей страны. В связи с увеличивающейся нагрузкой на дороги и ростом интенсивности грузовых перевозок в мегаполисах возникает острыя потребность в планировании и регулировании транспортных потоков. Для решения этих задач создаются интеллектуальные транспортные системы (ИТС), которые обеспечивают комфорт участников дорожного движения и предоставляют информацию о состоянии дорожной сети, снижая материальные и финансовые затраты [2]. Вопросы оптимизации маршрутов и координации различных видов транспорта также обсуждаются в работе [3]. Эти исследования показывают, что применение современных методов анализа данных и моделирования позволяет значительно улучшить эффективность использования АТС в городах. Проблема экологических последствий увеличения объемов грузовых перевозок исследуется в статье [4]. В них приводятся данные о воздействии выбросов вредных веществ на окружающую среду и здоровье населения, а также предлагаются меры по снижению негативного воздействия АТС на природу. Авторы подчеркивают важность учета интересов всех участников транспортного процесса, включая водителей и жителей города, а также необходимость разработки комплексных мер по улучшению экологической ситуации и снижению уровня шума от АТС. Экономический аспект организации грузовых перевозок изучен в исследовании [5]. Они показывают, что правильная организация перевозок может привести к значительному сокращению затрат на топливо, ремонт и обслуживание автомобилей, а также повысить общую производительность транспортных компаний. В работе [6]

© Е.Е. ВИТВИЦКИЙ, Е.С. ГАЛАКТИОНОВА, Н.И. ЮРЬЕВА, 2025

авторы рассматривают концепцию внедрения «децентрализованной транспортной логистики», когда решения по вопросам маршрутизации грузовых перевозок принимаются на местном уровне. Активно изучаются различные технологии перевозок, как в междугородном сообщении [7], так и в городском [8, 9], в частности, применение сменных кузовов [8], контейнерных перевозок [9]. Решению задачи выбора АТС для перевозки грузов в городских условиях эксплуатации посвящены работы [10]. Одним из актуальных на сегодня направлений считается применение беспилотных АТС, изучению аспектов решения спектра проблем, связанных с ним посвящены исследования [11]. Значительное внимание уделяется применению цифровых технологий, таких как блок-чейн, big data, интернет-вещей [12]. В основном потенциал их применения в настоящее время видят в рамках управления цепями поставок на международном уровне. Работа [13] посвящена исследованию практики выполнения грузовых автомобильных перевозок в городских условиях эксплуатации, в том числе, изучению условий перевозок грузов, установленных в Инкотермс-2010 и сопоставлению их с реальными условиями городских автомобильных перевозок грузов, в частности установлено, что «форма организации грузовых автомобильных перевозок в городах зависит от условий поставки товаров в договоре купли-продажи, заключенным продавцом и покупателем», а также, что «централизованная форма организации грузовых автомобильных перевозок возможна при CPT, CIP, DAP, DAT, децентрализованная при EXW». В работе [14] приводятся результаты изучения научных представлений по планированию и организации перевозок грузов в городских условиях эксплуатации, в частности указано, что существует две формы организации перевозок: децентрализованная и централизованная, представлены их особенности, а также выявлены и охарактеризованы методы организации централизованных грузовых автомобильных перевозок. Ряд работ [15, 16] посвящен, в том числе, исследованию влияния технико-эксплуатационных показателей (ТЭП) на производительность АТС. В этих работах говорится о том, что для изучения указанных показателей был использован однофакторный анализ влияния ТЭП на выработку АТС. Однако, известно, что изменение одного ТЭП неизбежно влечет за собой изменение и других ТЭП (например увеличение грузоподъемности применяемого подвижного состава одновременно вызывает изменение средней технической скорости и времени простоя под погрузкой и разгрузкой [17]), этот фактор был учтён в рамках исследования [18], где был применен двухфакторный анализ. В ряде работ [19, 20] показатель коэффициент использования пробега ( $\beta$ ) предлагается использовать, как аналитический для расчета потребности в транспортных средствах в декадном периоде [19], для установления резерва производительности АТС вследствие рассогласованности взаимодействия участников транспортного процесса (без учета класса автотранспортных системы перевозок грузов (АТСПГ), в которой осуществляются перевозки) [20]. Однако, в работе [16], сформулировано утверждение, что такой показатель, как коэффициент использования пробега для правильного описания транспортного процесса в особо малых и малых АТСПГ не должен применяться. Работы Юрьевой Н.И. и Витвицкого Е.Е. [21] позволяют обосновать размер затрат на перевозки в некоторых АТСПГ.

### **Материал и методы**

Изучение процесса разработки вариантов оперативных планов перевозок грузов помашинными отправками в городах при разных вариантах их организации и выполнения оценки полученных результатов определяет необходимость подтверждения на основе математических моделей функционирования малой ненасыщенной АТСПГ на маятниковых (кольцевом) маршрутах и нормативного подхода к обоснованию затрат на их осуществление.

### **Теория / Расчет**

При разработке планов перевозок приняты исходные данные - на территории города предстоит перевозка грузов помашинными отправками на маятниковом маршруте с обратным не груженым пробегом в автотранспортных средствах с кузовом типа фургон, от поставщика №1, разным потребителям в каждый день недели, кроме воскресенья, пробег с грузом (1г) к первому грузополучателю 10 км, пробег с грузом к каждому последующему грузополучателю возрастает с шагом 3 км. Стоянка АТС - в пункте погрузки (нулевой пробег пер-

вый равен нулю), в каждом пункте погрузки или разгрузки только один пост, пробег нулевой второй ( $l_{h2}$ ) равен холостому, значение холостого ( $l_x$ ) пробега равно  $l_g$ , значение  $l_x$  в понедельник равно 10 км. Грузоподъемность автомобилей ( $q$ ) 10 тонн, время простоя под погрузкой равно времени под разгрузкой, время простоя под погрузкой-разгрузкой ( $t_{pv}$ ) равно 1 часу, грузовые операции выполняются с использованием ручной гидравлической тележки (рохля), перемещаемые транспортные пакеты собраны на стандартном поддоне (1200x1000), грузоподъемность 1000 кг, масса поддона с грузом брутто 1 тонна. Средняя техническая скорость ( $V_t$ ) 24 км/ч, время в наряде ( $T_h$ ) одна смена (8 часов), обед водителей возможен в пункте погрузки или разгрузки или по ходу следования, с 12.00 до 13.00 ежедневно. Класс груза первый ( $\gamma$ ), перевозка осуществляется по улице 1-ая Зеленая, в направлении с севера на юг, односторонний грузопоток. Перевозка предполагается группой АТС, прямоугольно-линейная схема городской транспортной сети [22]. При разработке плана перевозок применены теоретические подходы и математические модели, разработанные в СибАДИ [23]. Расчет плана перевозок для группы АТС на маятниковом маршруте с обратным не груженым пробегом, выполнен согласно дискретному подходу, по модели малой не насыщенной АТСПГ (СибАДИ), для всех дней недели, при увеличении пробега с грузом, холостого и второго нулевого на 3 км, против предыдущего дня. Результаты представим в таблице 1. Затраты определены с использованием программно-математического обеспечения [24, 25], результаты расчетов представлены в таблицах 1-3.

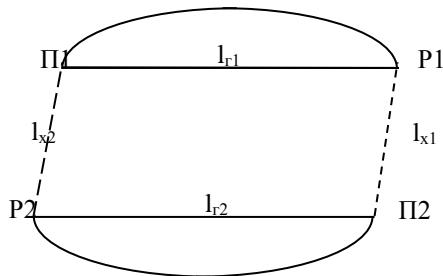
Таблица 1 - Результаты работы группы автомобилей по дням недели от поставщика №1

ТЭП	День недели					
	понедельник	вторник	среда	четверг	пятница	суббота
Пробег с грузом $l_g$ , км	10	13	16	19	22	25
Холостой пробег $l_x$ , км	10	13	16	19	22	25
Длина маршрута $l_m$ , км	20	26	32	38	44	50
Время ездки, оборота $t_{e,o}$ , ч	1,83	2,083	2,33	2,58	2,83	3,08
Выработка в тоннах за ездку, оборот $Q_{e,o}$ , ч	10	10	10	10	10	10
Выработка в ткм за ездку, оборот $P_{e,o}$ , ч·км	100	130	160	190	220	250
Пропускная способность грузового поста, $A'_3$ , ед. с окр. вниз	3	4	4	5	5	6
Число ездок общее $Z_{общ}$ , ед.	12	13	12	13	11	12
Выработка группы АТС за день $Q_{h,T}$	120	130	120	130	110	120
Выработка группы АТС за день $P_{h,T}$ , ч·км	1200	1690	1920	2470	2420	3000
Общий проег группы АТС за день $L_{общ}$ , км	240	338	240	220	220	240
Общее время работы группы АТС за день $T_{h,факт}$ , ч	21,99	23,83	22,0	22,16	20,16	22
Коэффициент использования пробега за день $\beta_{день}$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Полная себестоимость перевозок за день, руб.	32 525,3	42 373,6	45 315,9	55 824,2	52 146,1	65 085,0
Себестоимость перевозки 1 т	271,04	325,95	377,6 3	429,4 2	474,06	542,38

Выяснилось, что одновременно во времени уже описанной практики работы первой группы АТС выполняются перевозки от поставщика №2, по улице 3-ая Зеленая, в направлении с юга на север, также односторонний грузопоток, все остальные исходные данные и условия аналогичны выше рассмотренному примеру. Поэтому результаты работы группы АТС по дням недели от поставщика №2 также представлены в таблице 1. Другим вариантом организации перевозок грузов в рассматриваемых условиях может быть применение кольцевого маршрута, при удовлетворении требований.

В понедельник Поставщик №1 находится через улицу, напротив потребителя, обслуживаемого в понедельник поставщиком №2, а Поставщик №2 находится через улицу, напро-

тив потребителя, обслуживаемого в понедельник поставщиком №1. Между названными улицами и объектами, на них расположенные, 3 км. В зависимости от взаимного расположения грузовых пунктов и транспортных связей схема кольцевого маршрута в понедельник имеет вид (рис. 1).



**Рисунок 1 - Схема кольцевого маршрута:**  
 $l_{r1}$  ( $l_{r2}$ ) пробег с грузом первой (второй) ездки, км;  $l_{x1}$  ( $l_{x2}$ ) пробег холостой соответствующей ездки, км

Рассчитаем план перевозок по 1 варианту организации. Расчет плана перевозок для группы АТС для всех дней недели на кольцевом маршруте (в малой не насыщенной АТСПГ выполнен согласно дискретному подходу и модели СибАДИ), при увеличении пробега с грузом, холостого и второго нулевого на 3 км, против предыдущего дня. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты работы группы автомобилей по дням недели при подаче на первую погрузку к поставщику №1 (кольцевой маршрут)

ТЭП	День недели					
	понедельник	вторник	среда	четверг	пятница	суббота
$l_{r1}$ ( $l_{r2}$ ), км	10	13	16	19	22	25
$l_{x1}$ ( $l_{x2}$ ), км	3	6	9	12	15	18
$l_m$ , км	26	38	50	62	74	86
$t_o$ , ч.	3,08	3,58	4,08	4,58	5,08	5,58
$A'_\Theta$ , с окр.вниз, ед.	6	7	8	9	10	11
Количество ездок, ед.						
1 авто, ед.	5	4	4	3	3	3
2 авто, ед.	4	4	3	3	3	2
3 авто, ед.	4	4	3	3	3	2
4 авто, ед.	4	3	3	3	2	2
5 авто, ед.	3	3	3	2	2	2
6 авто, ед.	3	3	2	2	2	2
7 авто, ед.	-	2	2	2	2	2
8 авто, ед.	-	-	2	2	2	1
9 авто, ед.	-	-	-	1	1	1
10 авто, ед.	-	-	-	-	1	1
11 авто, ед.	-	-	-	-	-	1
$Z_{общ}$ , ед.	23	23	22	21	21	19
$Q_h$ , т	230	230	220	210	210	190
$P_h$ , т·км	2300	2990	3520	3990	4620	4750
$L_{общ}$ , км	328	458	578	674	782	780
$T_h$ факт	36,35	42,1	40,59	49,08	57,55	51,47
$\beta_{день}$	0,7	0,65	0,6	0,59	0,59	0,61
Полная себестоимость, руб.	50 622,9	62 802,5	70 343,9	81 463,1	89 576,9	92 455,5
Себестоимость перевозки 1 т	220,1	273,0	319,7	387,9	426,5	486,6

Проверкой установлено выполнение требований для создания кольцевого маршрута. Схема движения автомобиля – погрузка в П1, перевозка груза в Р1, разгрузка, движение холостым пробегом в П2, погрузка, перевозка груза в Р2 разгрузка, движение в П1 на погрузку. Количество выполняемых ездок за оборот ( $Zeo$ ) – две. Перевозка груза на кольцевом маршруте может быть организована в двух вариантах: 1 вариант - при подаче всех автомобилей в один пункт погрузки, например в П1; 2 вариант – при подаче всех автомобилей в оба пункта погрузки, в П1 и в П2.

Рассмотрим другой вариант организации работы группы АТС на кольцевом маршруте – одновременная подача во все пункты погрузки. Расчет плана перевозок для группы АТС для всех дней недели на кольцевом маршруте (в малой не насыщенной АТСПГ выполнен согласно дискретному подходу и модели СибАДИ), при увеличении пробега с грузом, холостого и второго нулевого на 3 км, против предыдущего дня. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Результаты работы групп автомобилей по дням недели при подаче на первую погрузку к поставщикам №1 и №2 одновременно (кольцевой маршрут)

ТЭП	День недели					
	понедельник	вторник	среда	четверг	пятница	суббота
$l_{r1} (l_{r2}), \text{км}$	10	13	16	19	22	25
$l_{x1} (l_{x2}), \text{км}$	3	6	9	12	15	18
$l_m, \text{км}$	26	38	50	62	74	86
$t_o, \text{ч}$	3,08	3,58	4,08	4,58	5,08	5,58
$A'_3, \text{с окр.. с каждого поста погрузки, ед.}$	3+3	3+3	4+4	4+4	5+5	5+5
Количество ездок, ед.						
с П1, 1 авто, ед	5	4	4	3	3	3
2 авто, ед.	4	4	3	3	3	2
3 авто, ед.	4	4	3	3	3	2
4 авто, ед.	-	-	3	3	2	2
5 авто, ед.	-	-	-	-	2	2
с П2, 1 авто, ед	5	4	4	3	3	3
2 авто, ед.	4	4	3	3	3	2
3 авто, ед.	4	4	3	3	3	2
4 авто, ед.	-	-	3	3	2	2
5 авто, ед.	-	-	-	-	2	2
$Z_{\text{общ}}$ , ед.	26	24	26	24	26	22
$Q_n, \text{т}$	260	240	260	240	260	220
$P_n, \text{т}\cdot\text{км}$	2600	3120	4160	4560	5720	5500
$L_g \text{ день}, \text{км}$	260	312	416	456	572	550
$L_{\text{общ}}, \text{км}$	352	384	698	800	1004	960
$T_n \text{ факт}, \text{ч}$	40,68	43,02	54,86	57,36	70,98	61,98
$\beta_{\text{день}}$	0,74	0,81	0,6	0,57	0,57	0,57
Полная себестоимость, руб.	54292,74	58 194,70	83 763,58	90 321,84	107 871,38	105 171,56
Себестоимость перевозки 1 т	208,82	242,48	322,17	376,34	414,89	478,05

### Результаты

Гипотеза о способе повышения выработки АТС в тоннах, при освоении односторонних (но не встречных) грузопотоков в городах, применением кольцевого маршрута (1 вариант организации), чем на нескольких маятниковых маршрутах с обратным не груженым пробегом подтверждена только для первого значения пробега с грузом (10 км). Гипотеза о способе повышения выработки АТС в тоннах при освоении односторонних (но не встречных) грузопотоков в городах организацией кольцевого маршрута (2 вариант организации), чем на нескольких маятниковых маршрутах с обратным не груженым пробегом подтверждена только для трех значений пробега с грузом 10, 16, 22 км.

### Обсуждение

В рассмотренных условиях постановки и решения задачи полная себестоимость перево-

зок грузов на двух маятниковых маршрутах с обратным не груженым пробегом больше полной себестоимости перевозок грузов группы АТС на кольцевом маршруте (1 вариант организации) на любых расстояниях, так и по сравнению с полной себестоимостью перевозок грузов групп АТС на кольцевом маршруте (2 вариант организации), на любых значениях пробега с грузом, кроме пробега с грузом 22 км. В рассмотренных условиях постановки и решения задачи себестоимость перевозок 1 тонны груза на двух маятниковых маршрутах с обратным не груженым пробегом больше себестоимости перевозок 1 тонны груза группой АТС на кольцевом маршруте при любых вариантах организации перевозок на любых расстояниях.

Организация перевозок грузов на кольцевом маршруте с подачей двух групп АТС на первую погрузку в каждый пункт погрузки (2 вариант организации) по критерию выработки групп АТС в тоннах более результативна, чем организация перевозок грузов на кольцевом маршруте с подачей группы АТС на первую погрузку в один пункт погрузки (1 вариант организации), при всех рассмотренных значениях пробега с грузом. В рассмотренных условиях постановки и решения задачи себестоимость перевозки 1 тонны груза на кольцевом маршруте (1 вариант организации) на любых расстояниях больше, по сравнению с себестоимостью перевозок 1 тонны груза на кольцевом маршруте (2 вариант организации), кроме пробега с грузом 16 км.

### **Выводы**

Результаты перевозок грузов зависят от множества факторов, в том числе, от способов их организации, что позволяет не только отразить особенности исполнения перевозок, но и сравнить возможные результаты работы автомобилей, в сопоставимых условиях. Применение моделей функционирования малой ненасыщенной АТСПГ для разработки плана перевозок на кольцевом маршруте, при организации работы АТС с одновременной подачей в два пункта погрузки позволило доказать, что при данном способе организации перевозок в городах обеспечивается минимальная себестоимость перевозки 1 тонны груза.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Кочерга В.Г., Зырянов В.В., Хачатуян А.В. Планирование и организация грузовых автомобильных перевозок на улично-дорожной сети мегаполисов // Инженерный вестник Дона. 2012. Т. 20. №2. С. 737-741.
2. Коляда Н.Ю., Петренко А.А. Перспективы развития беспилотного автомобильного транспорта в сфере грузовых перевозок // Техника и технология транспорта. 2020. №2(17). С. 14.
3. Дицманидзе О.Н., Карев А.М., Митягин Г.Е. О перспективах развития автомобильного транспорта в агропромышленном комплексе // Международный научный журнал. 2016. №1. С. 53-65.
4. Сыздыкбаева Б.У., Раимбеков Ж.С., Сейдуалин Д.А. Организация грузовых перевозок в системе городской логистики товародвижения: зарубежный опыт // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. №7. С. 388-398.
5. Dablanc L. Good transport in large European cities: Difficult to organize, difficult to modernize // Transportation Research Part A: Policy and Practice. 2007. Т. 41. №3. С. 280-285. DOI: 10.1016/j.tra.2006.05.005.
6. Sternberg H., Andersson M. Decentralized intelligence in freight transport-A critical review // Computers in Industry. 2014. Т. 65. №2. С. 306-313. DOI: 10.1016/j.compind.2013.11.011.
7. Федоренко А.В., Цыганков А.В. Комплексный подход к внедрению контрейлерных перевозок в России // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2015. Т. 5. №1(6). С. 21-28.
8. Боденко Е.М. Анализ полученных результатов при организации утилизации строительных отходов // Известия Международной академии аграрного образования. 2018. №41-2. С. 74-79.
9. Ханин Д.М., Рябов И.М. Недостатки существующей технологии и организации городской доставки молочной продукции и разработка новой на основе предложенных передвижных контейнеров // Вестник евразийской науки. 2016. Т. 8. №5(36). С. 104.
10. Барыльникова Е.П., Кулаков А.Т., Талипова И.П. Модель выбора подвижного состава для перевозки грузов автомобильным транспортом // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2017. №12. С. 102-106.
11. Быков А.И. Применение беспилотных транспортных средств, угрозы, риски и правовые механизмы их предотвращения // Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: интеллектуальные транспортные системы. 2016. С. 108-115.
12. Дыbsкая В.В., Сергеев В.И. Основные тренды в управлении цифровыми цепями поставок // Цифровая революция в логистике: эффекты, конгломераты и точки роста. 2018. С. 58-63.
13. Витвицкий Е.Е., Айтбагина Э.Р. «ИНКОТЕРМС-2010» и организация перевозок грузов в городах // Наука сегодня: задачи и пути их решения. 2016. С. 1718.
14. Шаповал Д.В., Астапов А.Н. Известные научные представления по формам организации перевозок грузов // Фундаментальные и прикладные науки-основа современной инновационной системы. 2015. С. 108-112.
15. Николин В.И., Мочалин С.М., Витвицкий Е.Е., Николин И.В. Проектирование автотранспортных систем доставки грузов: монография. СибАДИ. Омск: СибАДИ, 2001. 186 с.
16. Николин В.И., Витвицкий Е.Е., Мочалин С.М. Грузовые автомобильные перевозки: монография. Сибирская автомобильно-дорожная академия. Омск: Вариант-Сибирь, 2004. 479 с.

17. Рихтер М.Г. Методика анализа эффективности функционирования автотранспортных систем: автореф. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. Омск, 1993. 8 с.
18. Витвицкий Е.Е., Айтбагина Э.Р. Влияние применения более грузоподъемных автотранспортных средств и увеличения расстояния перевозок грузов на производственную себестоимость в совокупности микроавтотранспортных систем // Наука сегодня: факты, тенденции, прогнозы. 2017. С. 18-21.
19. Кенжегулова, С. А. Я. Современные и эффективные методы управления автотранспортными перевозками // Логистика. 2012. №5. С. 32-34.
20. Курганов В.М., Мукаев В.Н., Грязнов М.В. Оптимизация затрат на автомобильные перевозки промышленного предприятия // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2018. Т. 15. №5 (63). С. 672-685.
21. Юрьева Н.И., Витвицкий Е.Е. Электронная база данных «Справочные и нормативные материалы по автомобильному транспорту» // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов Наука и образование. 2015. №5. С. 66-66.
22. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов: учебник для вузов. М.: Транспорт, 1990. 240 с.
23. Витвицкий Е.Е. Моделирование транспортных процессов: учебное пособие [Электронный ресурс]. Омск: СибАДИ, 2017. URL: <http://bek.sibadi.org/fulltext/tsd341.pdf>.
24. Юрьева Н.И., Витвицкий Е.Е. Программно-математическое обеспечение «Расчет затрат на перевозку грузов в составе моделей микро и особо малой автотранспортных систем» // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов Наука и образование. 2015. №6. С. 71-71.
25. Витвицкий Е.Е. Теория транспортных процессов и систем (Грузовые автомобильные перевозки): учебник. 2-е изд., испр. и доп. Омск: СибАДИ, 2014. 216 с.

**Витвицкий Евгений Евгеньевич**

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет

Адрес: 644080, Россия, г. Омск, просп. Мира, 5

Д.т.н., профессор, профессор кафедры «Организация перевозок и безопасность движения», эксперт-член Комиссии по вопросам цифровой и низкоуглеродной трансформации отрасли, ускоренному внедрению новых технологий Общественного совета Минтранса России

E-mail: vitvitsky\_ee@mail.ru

**Галактионова Елена Сергеевна**

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет

Адрес: 644080, Россия, г. Омск, просп. Мира, 5

К.т.н., доцент, доцент кафедры «Организация перевозок и безопасность движения»

E-mail: es\_galaktionova@inbox.ru

**Юрьева Наталья Ивановна**

Региональный оператор по обращению с твердыми коммунальными отходами по Омской области ООО «Магнит»

Адрес: 644024, Россия, г. Омск, ул. Декабристов, 45/1

Экономист отдела «Экономического анализа и тарифного регулирования»

E-mail: yureva\_ni@mail.ru

E.E. VITVITSKY, E.S. GALAKTIONOVA, N.I. YURYEVA

**RESEARCH OF THE PROCESS OF DEVELOPING OPERATIONAL PLANS FOR CARGO TRANSPORTATION BY TRUCK IN CITIES WITH DIFFERENT WAYS OF ORGANIZING IT**

*Abstract. The subject of the study is the possibility of using mathematical modeling to build reliable plans for cargo transportation by truck on pendulum and ring routes in cities with different ways of organizing them. To confirm the efficiency of organizing the work of motor vehicles in transporting goods in cities, the generalized results of the developed plans for cargo transportation are presented based on a mathematical model for describing the functioning of a small road transport system for cargo transportation and the full cost of their implementation is calculated.*

*Keywords:* Truck shipments, Ring, pendulum routes. Urban communication, Cargo transportation plans, Transportation organization methods, Transportation costs

**BIBLIOGRAPHY**

1. Kocherga V.G., Zyryanov V.V., Hachaturyan A.V. Planirovanie i organizatsiya gruzovykh avtomobil'nykh perevozok na ulichno-dorozhnoy seti megapolisov // Inzhenernyy vestnik Doma. 2012. T. 20. №2. S. 737-741.
2. Kolyada N.YU., Petrenko A.A. Perspektivy razvitiya bespilotnogo avtomobil'nogo transporta v sfere gruzovykh perevozok // Tekhnika i tekhnologiya transporta. 2020. №2(17). S. 14.
3. Didmanidze O.N., Karev A.M., Mityagin G.E. O perspektivakh razvitiya avtomobil'nogo transporta v ag-

- ropromyshlennom komplekse // Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal. 2016. №1. S. 53-65.
4. Syzdykbaeva B.U., Raimbekov ZH.S., Seydualin D.A. Organizatsiya gruzovykh perevozok v sisteme gorodskoy logistiki tovarodvizheniya: zarubezhnyy opyt // Byulleten' nauki i praktiki. 2018. T. 4. №7. S. 388-398.
5. Daiblanc L. Good transport in large European cities: Difficult to organize, difficult to modernize // Transportation Research Part A: Policy and Practice. 2007. T. 41. №3. S. 280-285. DOI: 10.1016/j.tra.2006.05.005.
6. Sternberg H., Andersson M. Decentralized intelligence in freight transport-A critical review // Computers in Industry. 2014. T. 65. №2. S. 306-313. DOI: 10.1016/j.compind.2013.11.011.
7. Fedorenko A.V.. Tsigankov A.V. Kompleksnyy podkhod k vnedreniyu kontreylernykh perevozok v Ros-sii // Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii. 2015. T. 5. №1(6). S. 21-28.
8. Bodenko E.M. Analiz poluchennykh rezul'tatov pri organizatsii utilizatsii stroitel'nykh otkhodov // Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya. 2018. №41-2. S. 74-79.
9. Hanin D.M., Ryabov I.M. Nedostatki sushchestvuyushchey tekhnologii i organizatsii gorodskoy dostavki molochnoy produktsii i razrabotka novoy na osnove predlozhennykh peredvizhnykh konteynerov // Vestnik evraziyskoy nauki. 2016. T. 8. №5(36). S. 104.
10. Barylnikova E.P., Kulakov A.T., Talipova I.P. Model' vybora podvizhnogo sostava dlya perevozki gruzov avtomobil'nym transportom // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. 2017. №12. S. 102-106.
11. Bykov A.I. Primenenie bespilotnykh transportnykh sredstv, ugrozy, riski i pravovye mekhanizmy ikh predotvratsheniya // Sovremennye problemy bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti: intellektual'nye transportnye sistemy. 2016. S. 108-115.
12. Dybskaya V.V., Sergeev V.I. Osnovnye trendy v upravlenii tsifrovymi tsepyami postavok // Tsifrovaya revolyutsiya v logistike: effekty, konglomeraty i tochki rosta. 2018. S. 58-63.
13. Vitvitskiy E.E., Aytbagina E.R. "INKOTERMS-2010" i organizatsiya perevozok gruzov v gorodakh // Nauka segodnya: zadachi i puti ikh resheniya. 2016. S. 1718.
14. Shapoval D.V., Astapov A.N. Izvestnye nauchnye predstavleniya po formam organizatsii perevozok gruzov // Fundamental'nye i prikladnye nauki-osnova sovremennoy innovatsionnoy sistemy. 2015. S. 108-112.
15. Nikolin V.I., Mochalin S.M., Vitvitskiy E.E., Nikolin I.V. Proektirovanie avtotransportnykh sistem dostavki gruzov: monografiya. SibADI. Omsk: SibADI, 2001. 186 s.
16. Nikolin V.I., Vitvitskiy E.E., Mochalin S.M. Gruzovye avtomobil'nye perevozki: monografiya. Sibirskaya avtomobil'no-dorozhnaya akademiya. Omsk: Variant-Sibir', 2004. 479 s.
17. Rikhter M.G. Metodika analiza effektivnosti funktsionirovaniya avtotransportnykh sistem: avtoref. na soisk. uchen.step. kand. tekhn. nauk. Omsk, 1993. 8 s.
18. Vitvitskiy E.E., Aytbagina E.R. Vliyanie primeneniya bolee gruzopod'emnykh avtotransportnykh sredstv i uvelicheniya rassstoyaniya perevozok gruzov na proizvodstvennyu sebestoimost' v sovokupnosti mikro avtotransportnykh sistem // Nauka segodnya: fakty, tendentsii, prognozy. 2017. S. 18-21.
19. Kenzhegulova, S. A. YA. Sovremennye i effektivnye metody upravleniya avtotransportnymi perevozkami // Logistika. 2012. №5. S. 32-34.
20. Kurganov V.M., Mukaev V.N., Gryaznov M.V. Optimizatsiya zatrata na avtomobil'nye perevozki promyshlennogo predpriyatiya // Vestnik Sibirskoy gosudarstvennoy avtomobil'no-dorozhnoy akademii. 2018. T. 15. №5 (63). S. 672-685.
21. YUr'eva N.I., Vitvitskiy E.E. Elektronnaya baza dannykh "Spravochnye i normativnye materialy po avtomobil'nomu transportu" // Hroniki ob"edinennogo fonda elektronnykh resursov Nauka i obrazovanie. 2015. №5. S. 66-66.
22. Lobanov E.M. Transportnaya planirovka gorodov: uchebnik dlya vuzov. M.: Transport, 1990. 240 s.
23. Vitvitskiy E.E. Modelirovaniye transportnykh protsessov: uchebnoe posobie [Elektronnyy resurs]. Omsk: SibADI, 2017. URL: <http://bek.sibadi.org/fulltext/tsd341.pdf>.
24. YUr'eva N.I., Vitvitskiy E.E. Programmno-matematicheskoe obespechenie "Raschet zatrata na perevozku gruzov v sostave modeley mikro i osobo maloy avtotransportnykh sistem" // Hroniki ob"edinennogo fonda elektronnykh resursov Nauka i obrazovanie. 2015. №6. S. 71-71.
25. Vitvitskiy E.E. Teoriya transportnykh protsessov i sistem (Gruzovye avtomobil'nye perevozki): uchebnik. 2-e izd., ispr. i dop. Omsk: SibADI, 2014. 216 s.

**Vitvitsky Evgeniy Evgenievich**

Siberian State Automobile and Highway University  
Address: 644080, Russia, Omsk, Mira Avenue, 5  
Doctor of Technical Sciences  
E-mail: vitvitsky\_ee@mail.ru

**Galaktionova Elena Sergeevna**

Siberian State Automobile and Highway University  
Address: 644080, Russia, Omsk, Mira Avenue, 5  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: es\_galaktionova@inbox.ru

**Yuryeva Natalya Ivanovna**

Regional operator for handling municipal solid waste in Omsk region OOO "Magnet"  
Address: 644024, Russia, Omsk, st. Dekabristov, 45/1  
Economist of the Department of "Economic Analysis and Tariff Regulation"  
E-mail: yureva\_ni@mail.ru

Научная статья  
УДК 656.072.5  
doi:10.33979/2073-7432-2025-3-1(90)-42-51

А.А. КУДРЯВЦЕВ, А.Э. АЛИЕВ

## КОНТРОЛЬ ОПЛАТЫ ПРОЕЗДА НАЗЕМНОГО ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА МОСКВЫ ПРИ БЕСТУРНИКЕТНОМ РЕЖИМЕ ВЗИМАНИЯ ОПЛАТЫ ПРОЕЗДА: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

**Аннотация.** В статье представлен подход к определению времени и места возникновения максимального количества безбилетных пассажиров для планирования работы контролеров в ГУП «Мосгортранс» и отдела «контроль оплаты проезда в городском транспорте» в ГКУ «Организатор перевозок».

**Ключевые слова:** городской пассажирский транспорт, контроль оплаты, бестурникетный режим взимания оплаты, диспетчерское управление, ТС высокой степени автоматизации

### Введение

Вопрос контроля оплаты проезда становится особенно актуальным на фоне внедрения бескондукторных систем, которые охватывают широкий спектр технологий - от стационарных валидаторов до платежей по геопозиции и оплаты проезда по биометрии [1].

Современная политика Российской Федерации в сфере пассажирских перевозок претерпевает концептуальные изменения. На государственном уровне происходит переосмысление роли общественного транспорта - от исключительно коммерческого предприятия к социально значимой услуге. Этот подход нашел отражение в ключевых документах стратегического планирования, включая Транспортную стратегию РФ до 2030 года. [2]. Так как перевозка пассажиров представляет собой важный социальный сервис, предоставляемый транспортными компаниями различных форм собственности.

Транспортные управления субъектов Российской Федерации и местные власти осуществляют реформы в сфере транспорта, переводя пассажирские перевозки на брутто-контрактную основу. Параллельно с этим развитие интеллектуальных систем и информационных технологий делает контроль за оплатой проезда более эффективным, что способствует оптимизации всего процесса перевозки [3].

Современные достижения в области искусственного интеллекта и науки, и техники [4] и различные интеллектуальные транспортные системы [5], предполагают, что в ближайшем будущем на общественном транспорте будут внедрены системы, которые стремительно трансформируют общественный транспорт, приближая эру полной автоматизации: уже сегодня тестируются беспилотные автобусы (Navya, EasyMile), автономные метропоезда (Нюрнберг, Париж) и дроны-такси (Uber Elevate), а интеллектуальные транспортные системы внедряют адаптивные маршрутные сети, предиктивное обслуживание и «умные» остановки с распознаванием лиц, в конечном итоге это может привести к полной автоматизации их работы [6].

Интеграция бескондукторных систем оплаты проезда является важнейшим аспектом, способствующим повышению эффективности и безопасности пассажирских перевозок, что требует дальнейшего внимания и разработки современных решений в этой области.

К числу основных программных решений для диспетчерского контроля в России относятся: система «Цифровой диспетчер», разработанная компанией «ТранснавиСофт» [7]; система «NimBus», реализованная компанией «Gurtam» [8]; а также система «ACK – Пассажирские перевозки», созданная компанией «ACK» [9].

Таким образом, внедрение новых технологий контроля оплаты проезда, таких как оплата по геопозиции и биометрия, не только упрощает процесс для пассажиров, но и обес-

печивает более прозрачный и эффективный подход к управлению финансами в сфере общественного транспорта. Это создаёт возможность минимизировать убытки от безбилетного проезда и улучшить качество обслуживания, что положительно скажется на имидже транспортных компаний и удовлетворённости пользователей.

### ***Материал и методы***

#### **Контроль оплаты проезда наземного пассажирского транспорта**

Люди, заведомо не желающие оплачивать свой проезд или покупать проездной билет в общественном транспорте, - проблема мирового уровня. В Европе, России, США, с данной проблемой борются по-разному, например в Берлине пассажир, задержанный за безбилетный проезд, в случае проверки обязан предъявить один из документов: внутренний или заграничный паспорт, водительские права. Также допускается устное сообщение личных данных для сверки. Сотрудники контроля вправе обратиться в полицию для подтверждения информации. Хотя физическое воздействие со стороны контролёров запрещено и карается по закону, они могут задержать безбилетного пассажира до прибытия правоохранителей. Такие меры направлены на обеспечение соблюдения правил проезда без нарушения прав граждан. Во Франции за проезд без билета предусмотрен штраф в размере 50–180 евро. Оплатить его можно сразу на месте – наличными или банковской картой. Если у нарушителя нет при себе денег, оформляется протокол, а сумма штрафа автоматически увеличивается на 22 евро. Погасить задолженность необходимо в течение двух месяцев, иначе дело передадут судебным приставам для принудительного взыскания. Помимо штрафования за безбилетный проезд, контролер имеет право брать штраф за прочие нарушения правил пользования общественным транспортом. Например, если кто-то решил использовать сиденья напротив в качестве подставки для ног, штраф составит 45 евро.

В Соединенных Штатах система общественного транспорта в основном работает по предоплате. В мегаполисах пассажиры чаще всего пользуются смарт-картами, баланс которых можно пополнить в терминалах метро, аптеках и других точках продаж. Оплатить проезд можно и непосредственно при входе в автобус – через платежный автомат, принимающий наличные или считающий данные с карты. Однако этот метод создает неудобства: пассажиры вынуждены тратить время в очередях, а автобусы дольше стоят на остановках. Нью-Йорк нашел частичное решение проблемы, установив билетные автоматы на остановках. Теперь пассажиры могут заходить в автобус через любые двери, но только при наличии заранее купленного билета. Несмотря на это, многие горожане пренебрегают правилами: с момента запуска системы более 14000 человек получили штрафы в размере \$100 за безбилетный проезд. Оплатить штраф можно онлайн, по телефону (назав реквизиты карты), либо отправив чек по почте. Контроль за соблюдением правил осуществляют инспекторы MTA (Metropolitan Transportation Authority) – городской транспортной компании. В Нью-Йорке команды инспекторов, как правило, устраивают рейды в час пик. Многие пассажиры возмущаются тем, что их штрафуют, когда они не успевают купить билет, опаздывая на автобус, однако инициаторы введения новой системы считают, что необходимо приучать людей оплачивать проезд своевременно.

В Москве на 2003г. проблема безбилетных пассажиров также была очень актуальна. По результатам внедрения в 2003 году системы мониторинга пассажирских потоков было получено, что количество безбилетных пассажиров, до 2003 г. доходило на некоторых маршрутах до 50-55 % самого крупного перевозчика г. Москвы ГУП «Мосгортранс», состоящего из 53 подразделений [10]. Уже к концу 2004 г. весь подвижной состав ГУП «Мосгортранс» был оборудован турникетами, что привело к уменьшению количества безбилетных пассажиров.

По некоторым данным к 2014 г. количество безбилетников не привышало 8-10 %. Однако, с 2004г. многократно сократился пассажиропоток ГУП «Мосгортранс». Причиной такого сокращения стала установка турникетов: время посадки пассажиров увеличилось, в результате чего уменьшилась скорость передвижения городского пассажирского транспорта и комфортность самой перевозки. Вследствие этого, пассажиры, не имеющие проездных льгот, стали отдавать предпочтение альтернативным (частным) перевозчикам.

В свете ориентации политики департамента транспорта г. Москвы на повышение привлекательности транспорта общего пользования, особенно наземного, снятие турникетов привело к тому, что средняя скорость перевозки повысилась на ~ 10-15 %, повысив пропускную способность маршрута и уменьшив максимальное наполнение салона в часы пик.

Но, встал вопрос: существует ли альтернативные методы борьбы с безбилетными пассажирами при отсутствии турникетов в салоне общественного транспорта?

В настоящее время взимание платы за проезд на наземном муниципальном транспорте г. Москвы (ГУП «Мосгортранс») и на маршрутах, обслуживаемых частными перевозчиками, происходит с помощью автоматизированной системы контроля проезда (АСКП). В состав системы взимания платы входят средства оплаты проезда посредством устройств контроля и погашения билетов (валидатор). Валидаторы - электронные или электронно-механические устройства, предназначенные для отображения и/или проверки записанных на бесконтактные или контактные электронные носители для оперативного контроля над правомерностью прохода пассажира в салон автобуса, троллейбуса, трамвая и иных подобных видов наземного транспорта.

Для оплаты проезда пассажиру при входе в трамвай, троллейбус, автобус необходимо приложить проездной билет, платежную (банковскую) карту или иное электронное средство платежа с технологией бесконтактной оплаты к мишени устройства контроля и погашения билетов (валидатора).

После снятии турникетов, основная нагрузка легла на мероприятия по контролю оплаты проезда в салоне транспортного средства контролирующими органами. В настоящее время контроль оплаты проезда осуществляют ГУП «Мосгортранс» и Государственное казенное учреждение г. Москвы «Организатор перевозок». Контролеры ГУП «Мосгортранс» могут осуществлять проверку только на маршрутах своего парка [11]. Основной функцией ГКУ «Организатор перевозок» является контроль соблюдения техники безопасности при перевозке пассажиров и соблюдения правил пользования городским пассажирским транспортом [12]. При этом контроль может осуществляться на любых маршрутах ГУП «Мосгортранс» и других перевозчиков. Контроль оплаты проезда производится выборочно в часы наибольшего пассажиропотока, как и везде в мире. В силу существующих законодательных ограничений, контролёр не может выписать штраф человеку, который отказывается предъявить документ, удостоверяющий личность – в этом случае контролёр имеет право доставить нарушителя в полицию или иное служебное помещение для составления протокола (ст. 27.2 КоАП РФ), если на месте составить протокол об административном правонарушении невозможно. При доставлении безбилетника к сотрудникам полиции, контролёр имеет право применять физическую силу. Сложность заключается в том, что контролёр имеет право на доставление безбилетного пассажира, не предъявившего удостоверяющий личность документ, но не обладает правом на его административное задержание, то есть «кратковременное ограничение свободы физического лица» (ст. 27.3 КоАП РФ). Контролёр, задерживающий безбилетного пассажира в салоне автобуса, троллейбуса или трамвая, превышает свои полномочия, и задержанный имеет право обратиться с жалобой в полицию.

### **Теория / Расчет**

#### Определение места и времени максимального пассажиропотока безбилетных пассажиров

Задача информационного обеспечения работы службы контролеров любого муниципалитета сводится к двум задачам:

- 1) оценка количества безбилетных пассажиров;
- 2) определение места и времени максимального количества безбилетных пассажиров в салоне пассажирского транспорта.

Рассмотрим имеющиеся форматы данных от информационных систем на транспорте, которые могут позволить решить указанные выше задачи.

1.«Автоматизированная системой мониторинга пассажиропотока» (АСМПП). Данная система предназначена для комплексной оптимизации пассажирских перевозок в задачах среднесрочного и долгосрочного планирования. В основе АСМПП лежат технологии автоматического сбора информации о пассажиропотоках на маршрутной сети города и оперативное получение характеристик пассажиропотока в формате данных табличного обследования. При использовании высокоточных датчиков подсчёта пассажиров «IRMA Matrix» возможно решение задачи определения фактического количества пассажиров в салоне транспортного средства в реальном времени. Датчики работают по принципу замера расстояния до объекта инфракрасным излучением и проецирования результата на 500 пиксельную матрицу во встроенным анализирующем блоке. По закрытию дверей информация о входе/выходе поступает в бортовой навигационно-связной блок и высыпается по GPRS/GSM в аналитическую подсистему [13].

№П/П	Название остановки	Вошло	Вышло	Наполнение	Время
1	Метро "Бибирево"	3	0	3	06:34
2	Дом обуви	4	2	5	06:36
3	Улица Плещеева, 20	8	2	11	06:40
4	Улица Плещеева	15	0	26	06:43
5	Центр детского творчества	4	8	22	06:45
6	Школа № 332	2	8	16	06:47
7	Почта	15	1	30	06:51
8	Дом культуры	10	1	39	06:54
9	Поликлиника	8	15	32	06:55
10	Улица Корнейчука, 24	2	3	31	06:59
11	Улица Корнейчука	0	31	0	07:01
1	Улица Корнейчука	47	0	47	07:06
2	Улица Корнейчука, 24	24	0	71	07:06
3	Поликлиника	15	5	81	07:08
4	Дом культуры	26	8	99	07:10
5	Почта	17	15	101	07:13
6	Школа № 332	2	25	78	07:15
7	Центр детского творчества	4	17	65	07:17
8	Улица Плещеева	15	5	75	07:20
9	Улица Плещеева, 20	19	2	92	07:23
10	Дом обуви	34	7	119	07:24
11	Аптека	2	27	94	07:27
12	Метро "Бибирево"	0	94	0	07:28
1	Метро "Бибирево"	38	0	38	07:30
2	Дом обуви	21	0	59	07:31
3	Улица Плещеева, 20	17	5	71	07:33
4	Улица Плещеева	27	8	90	07:37
5	Центр детского творчества	36	0	126	07:39
6	Школа № 332	15	7	134	07:42
7	Почта	4	44	94	07:44
8	Дом культуры	15	24	85	07:46
9	Поликлиника	3	45	43	07:48
10	Улица Корнейчука, 24	10	34	19	07:52
11	Улица Корнейчука	0	19	0	07:55
1	Улица Корнейчука	17	0	17	07:57
2	Улица Корнейчука, 24	11	0	28	07:59

***Рисунок 1 – Данные системы АСМПП***

Анализируя формат данных, предоставляемый указанной системой (рис.1), можно видеть, что АСМПП выдает напрямую количество пассажиров в салоне транспорта. Исходя из предположения, что спрос на транспортные услуги у безбилетных пассажиров и у тех, кто

оплачивает проезд, распределены одинаково, можно показать, что в этом случае максимально количество безбилетных пассажиров в салоне транспорта будет возникать на перегоне с максимальным наполнением салона:

$$N_i = C_i \cdot \frac{\sum_{j=1}^i (I_{nj} - T_{xj})}{\sum_{j=1}^i C_j},$$

где  $N_i$  - количество безбилетных пассажиров на  $i$ -й остановке;

$C_i$  - общее количество пассажиров в салоне на  $i$ -й остановке (наполнение салона);

$I_{nj}$  - количество пассажиров, вошедших на  $j$ -й остановке;

$T_{xj}$  - количество пассажиров, оплативших проезд на  $j$ -й остановке;

$\sum_{j=1}^i (I_{nj} - T_{xj})$  - сумма неоплативших проезд на всех остановках от 1 до  $i$ ;

$\sum_{j=1}^i C_j$  - общее количество пассажиров в салоне на всех остановках от 1 до  $i$ .

2. Для АСКП стандартной формой для анализа объема оплативших проезд пассажиров является отчетная форма следующего формата (рис. 2).

### Почасовая перевозка по маршруту

#### Маршрут №

Понедельник 25 февраля 2024

Билеты	06 - 07	07 - 08	08 - 09	09 - 10	10 - 11
Платные билеты	26	207	347	188	95
1 ПОЕЗДКА	-	5	4	8	5
2 ПОЕЗДКИ	-	-	-	2	2
5 ПОЕЗДОК	15	17	10	16	6
10 ПОЕЗДОК	0	25	29	20	7
20 ПОЕЗДОК	5	8	48	15	5
60 ПОЕЗДОК	0	29	25	14	4
Посадочный талон водителя	0	32	54	45	17
ТАТ для граждан	6	35	62	20	11
Транспортная карта 1 день	-	1	-	-	-
Транспортная карта 5 дней	-	1	-	2	-
Транспортная карта 30 дней	0	20	25	12	13
Транспортная карта 90 дней	0	25	18	9	7
Транспортная карта 365 дней	0	3	3	6	4
ЕДИННЫЙ	0	4	47	11	10
Смарт-карта студента гос. ВУЗа	0	2	19	7	3
Смарт-карта студента НЕ гос. ВУЗа	-	-	3	-	-
Бесплатные билеты	27	133	239	161	127
Социальная карта москвича	0	114	121	144	114
Социальная карта жителя МО	7	17	89	13	10
ВЕСБ Москва	2	1	28	1	2
БЛТ 3 ДНЯ	18	-	-	-	-
Проездной документ дружинника	0	1	1	3	1
Итого	53	340	586	349	222

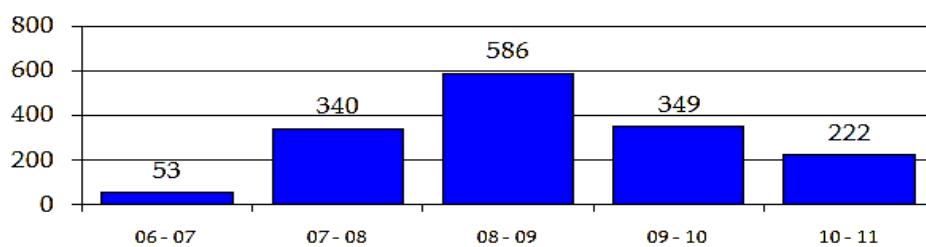


Рисунок 2 – Данные из системы АСКП

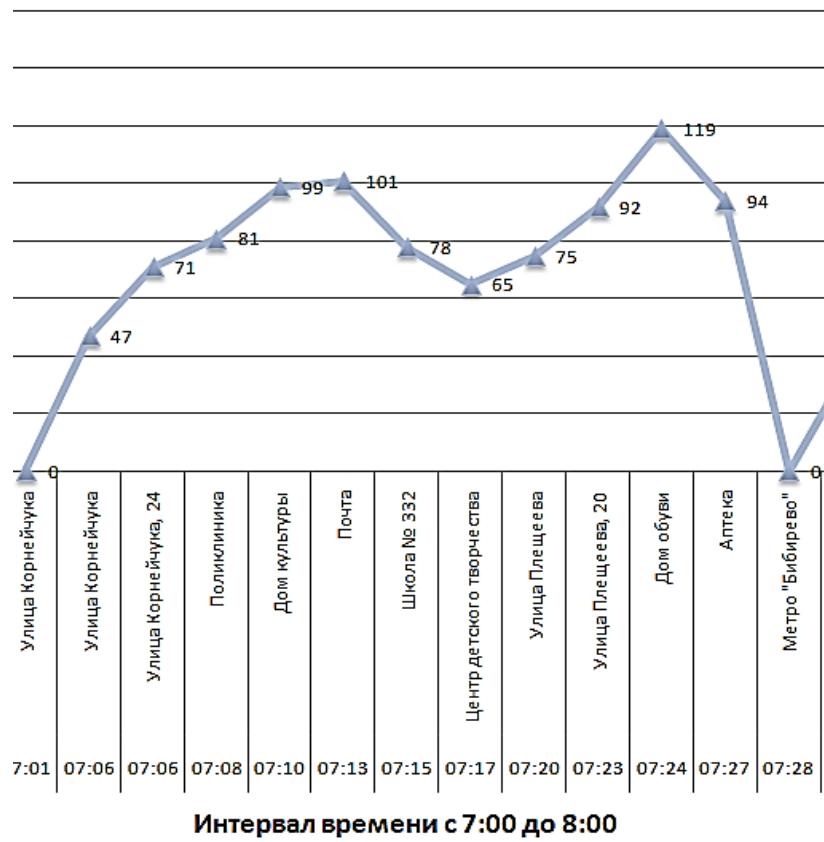
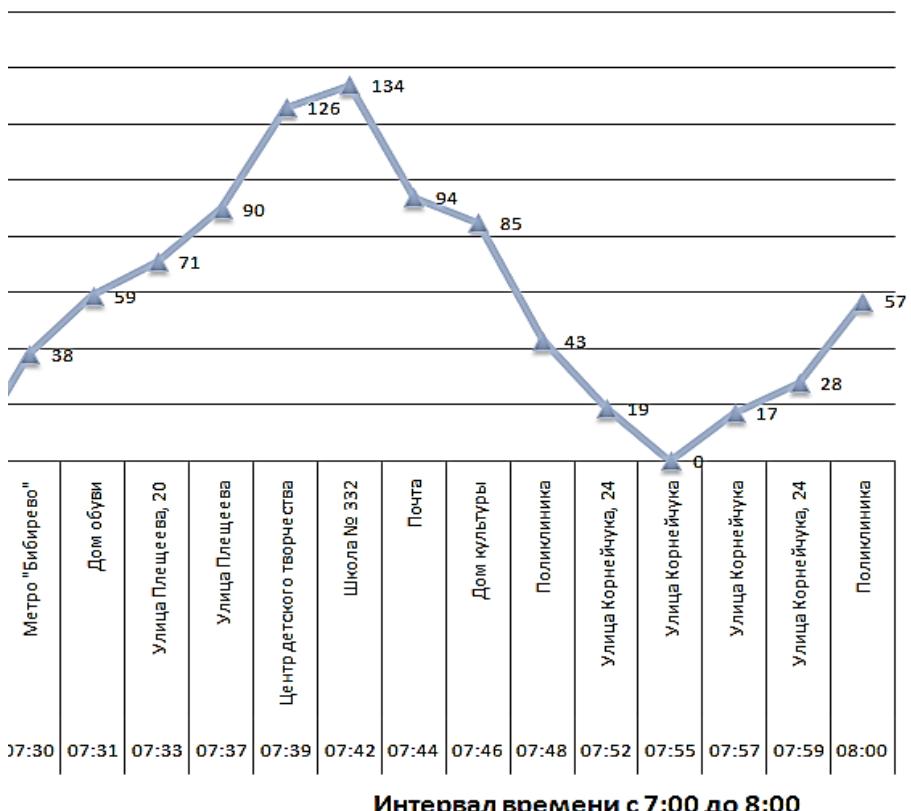
Если задача поиска времени и места наибольшего количества безбилетных пассажиров решается на основе данных АСМПП, то задача оценки количества безбилетных пассажиров

напрямую не может быть решена с использованием данных АСМПП и АСКП в представленных форматах. Авторами предлагается следующая методика преобразования входных данных: из данных АСМПП (рис. 2) выбираются интервалы, равные одному часу (рис. 3) этот интервал с 07:00 до 08:00). В этом интервале видно, что при движении подвижного состава в сторону метро, максимальная наполняемость салона была в 07:24 на остановочном пункте «Дом обуви» и равнялась 119 пассажиров (рис. 4.1). При движении подвижного состава в обратную сторону (от метро), максимальная наполняемость была в 07:42 на остановочном пункте «Школа №332» и равнялась 134 пассажира (рис. 4.2). Из этих данных можно сделать вывод о том, что на указанных остановочных пунктах в салоне подвижного состава находится максимальное количество безбилетных пассажиров.

7	Почта	15	1	30	06:51
8	Дом культуры	10	1	39	06:54
9	Поликлиника	8	15	32	06:55
10	Улица Корнейчука, 24	2	3	31	06:59
11 07:01	Улица Корнейчука	0	31	0	07:01
1 07:06	Улица Корнейчука	47	0	47	07:06
2 07:06	Улица Корнейчука, 24	24	0	71	07:06
3 07:08	Поликлиника	15	5	81	07:08
4 07:10	Дом культуры	26	8	99	07:10
5 07:13	Почта	17	15	101	07:13
6 07:15	Школа № 332	2	25	78	07:15
7 07:17	Центр детского творчества	4	17	65	07:17
8 07:20	Улица Плещеева	15	5	75	07:20
9 07:23	Улица Плещеева, 20	19	2	92	07:23
10 07:24	Дом обуви	34	7	119	07:24
11 07:27	Аптека	2	27	94	07:27
12 07:28	Метро "Бибирево"	0	94	0	07:28
1 07:30	Метро "Бибирево"	38	0	38	07:30
2 07:31	Дом обуви	21	0	59	07:31
3 07:33	Улица Плещеева, 20	17	5	71	07:33
4 07:37	Улица Плещеева	27	8	90	07:37
5 07:39	Центр детского творчества	36	0	126	07:39
6 07:42	Школа № 332	15	7	134	07:42
7 07:44	Почта	4	44	94	07:44
8 07:46	Дом культуры	15	24	85	07:46
9 07:48	Поликлиника	3	45	43	07:48
10 07:52	Улица Корнейчука, 24	10	34	19	07:52
11 07:55	Улица Корнейчука	0	19	0	07:55
1 07:57	Улица Корнейчука	17	0	17	07:57
2 07:59	Улица Корнейчука, 24	11	0	28	07:59
3 08:00	Поликлиника	39	10	57	08:00
4	Дом культуры	22	1	78	08:02
5	Почта	27	15	90	08:04
6	Школа № 332	39	27	102	08:06
7	Центр детского творчества	17	5	114	08:06
8	Улица Плещеева	39	7	146	08:07
9	Улица Плещеева, 20	7	12	141	08:09

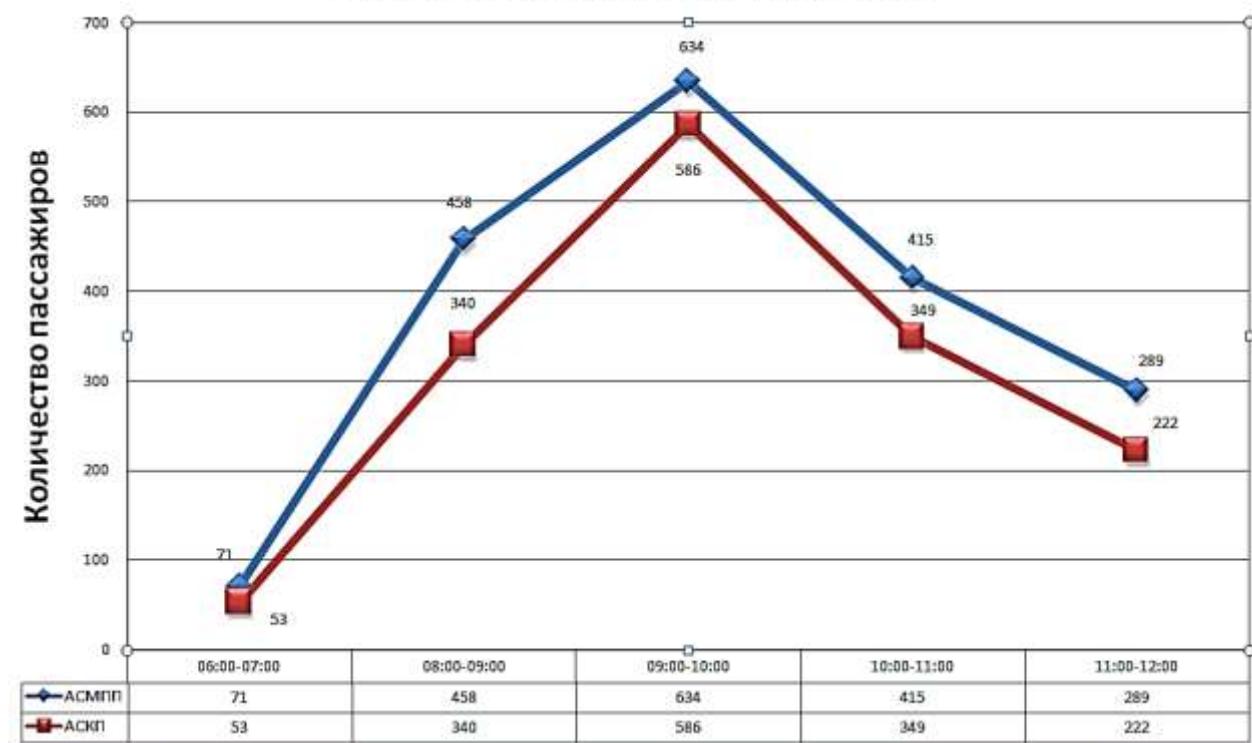
***Рисунок 3 – Обработка данных АСМПП***

В результате сравнения сумм пассажиров, вошедших в салон подвижного состава за данные интервалы, и количество оплат проезда по системе АСКП (рис. 2) за эти же интервалы времени, получаем результат: График (рис. 5) показывает, что количество вошедших пассажиров и количество оплативших пассажиров за интервал, равный одному часу, отличается на количество безбилетных пассажиров. В указанном часе это 118 человек.

**График наполняемости подвижного состава за 1 час****Интервал времени с 7:00 до 8:00****Рисунок 4.1 – Данные АСМПП (к метро Бибирево)****График наполняемости подвижного состава за 1 час****Интервал времени с 7:00 до 8:00**

*Рисунок 4.2 – Данные АСМПП (от метро Бибирево)*

## Сравнение данных двух систем



*Рисунок 5 – Сравнение часовых данных АСМПП и АСКП*



*Рисунок 6 – Визуализация маршрута работы КРС, сформированного автоматизированной разрабатываемой системой*

### ***Результаты и обсуждение***

Полученная количественная оценка безбилетных пассажиров на каждом целевом маршруте позволяет перейти к решению задачи построения оптимального маршрута для бригад контролеров ГУП «Мосгортранс» и отдела «контроль оплаты проезда в городском транспорте» в ГКУ «Организатор перевозок». Маршрут каждой бригады должен состоять из последовательности достаточно близко расположенных остановочных пунктов заданного сегмента маршрутной сети с максимальным количеством безбилетных пассажиров. На рисунке 6 линиями показаны маршруты движения подвижного состава, так же отмечено в какое время и в каком месте количество пассажиров в салоне подвижного состава максимальна. Красными пунктирными стрелками показан маршрут движения контролёров между остановочными пунктами различных маршрутов с максимальным количеством пассажиров в подвижном составе. По маршруту движения контролёров также отмечены времена запланированного прибытия группы КРС к каждому остановочному пункту с учетом времени, необходимого на проверку одного транспортного средства плюс среднее время ожидания данного транспортного средства заданного маршрута на остановочном пункте.

### ***Выходы***

С точки зрения математики имеем оптимизационную задачу, где необходимо построить маршрут для бригады КРС, в котором был бы пройден путь по остановочным пунктам (ОП) с максимальным количеством безбилетных пассажиров.

Исходные данные для перебора:

- оценка количества безбилетных пассажиров по ОП, являющихся концом «максимального перегона» по часам суток;
- оценка времени движения между ОП;
- оценка времени ожидания транспортного средства на заданном остановочном пункте с учетом неравномерности движения транспорта по загруженным дорогам в заданный период суток.
- оценка времени проверки и принятия мер для одного транспортного средства.

Задача переборная, является подклассом задачи коммивояжера, в которой необходимо перестраивать веса вершин и дуг после каждого перехода в следующую вершину. В связи с данным фактом использование алгоритмов, дающих оптимальное решение с высокой вероятностью, невозможно. Поиск решения должен производится на основе полного перебора на небольшом объеме вершин-остановок.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Департамента транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры г. Москвы [Электронный ресурс]. Официальный сайт. URL: [https://transport.mos.ru/mostrans/all\\_news/112855/](https://transport.mos.ru/mostrans/all_news/112855/).
2. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 [Электронный ресурс] / Официальный интернет-сайт федерального дорожного агентства РОСАВТОДОР. URL: <https://rosavtodor.gov.ru/docs/transportnaya-strategiya-rf-na-period-do-2030-goda-s-prognozom-na-period-do-2035-g>.
3. Ефименко Д.Б. Методологические основы построения навигационных систем диспетчерского управления перевозочным процессом на автомобильном транспорте (на примере городского пассажирского транспорта): дис... д-ра техн. наук. Москва: 2012. 479 с.
4. Planning for AGI and beyond. 2023 [Электронный ресурс] / Официальный интернет-сайт компании OpenAI. URL: <https://openai.com/blog/planning-foragi-and-beyond>.
5. ГОСТ 32422. Глобальная навигационная спутниковая система. Системы диспетчерского управления городским пассажирским транспортом. Требования к архитектуре и функциям; введ. 2014-07-01. М.: Стандартинформ, 2018. 4 с.
6. Власов В.М., Ефименко Д.Б., Богумил В.Н. Применение цифровой инфраструктуры и телематических систем на городском пассажирском транспорте. Москва: НИЦ ИНФРА-М, 2023. 352 с.
7. Транснависофт [Электронный ресурс]. Официальный сайт. URL: <http://www.trnsoft.ru/cifrovoy-dispatcher>.
8. NimBus: Мониторинг общественного транспорта [Электронный ресурс]. Официальный сайт/ URL: <https://wialon.com/ru/public-transport-management/>
9. ACK - Пассажирский транспорт [Электронный ресурс]. Официальный сайт. URL: <https://ask-glonass.ru>.
10. ГУП «Мосгортранс» [Электронный ресурс]/ Официальный сайт. URL: <https://www.mosgortrans.ru/about/branches/>.
11. Департамент транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры города Москвы [Электронный ресурс]. Официальный сайт. URL: <https://www.mos.ru/dt/function/kontrol-oplaty-proezd/vyderzhki-instrukcii-kontrolerov/>

12. ГУП «Мосгортранс» [Электронный ресурс]. Официальный сайт. URL: <https://www.mosgortrans.ru/passenger/check-men/>.
13. Iris-Sensing [Электронный ресурс]. Официальный сайт. URL: <https://www.iris-sensing.com/ru/>
14. Транснависофт [Электронный ресурс]. Официальный сайт. URL: <http://www.trnsoft.ru>.

**Кудрявцев Александр Александрович**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Адрес: 125319, Россия, Москва, Ленинградский пр., 64

К.т.н., доцент

E-mail: kudryavtsevaa@transnavi.ru

**Алиев Александр Эдуардович**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Адрес: 125319, Россия, Москва, Ленинградский пр., 64

Аспирант

E-mail: sans.magadan@mail.ru

A.A. KUDRYAVTSEV, A.E. ALIEV

## **FARE CONTROL FOR MOSCOW'S GROUND-BASED URBAN PASSENGER TRANSPORT IN A TURNSTILE-FREE MODE OF FARE COLLECTION: PROBLEMS AND SOLUTIONS**

*Abstract.* The article presents an approach to determining the time and place of occurrence of the maximum number of stowaways for planning the work of supervisors in the State Unitary Enterprise Mosgortrans and the department of «fare control in urban transport» in the State State Institution Organizer of Transportation.

**Keywords:** urban passenger transport, payment contro, turnstile-free payment collection, dispatch control, vehicles with a high degree of automation

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Departamenta transporta i razvitiya dorozhno-transportnoy infrastruktury g. Moskvy [Elektronnyy resurs]. Ofitsial`nyy sayt. URL: [https://transport.mos.ru/mostrans/all\\_news/112855/](https://transport.mos.ru/mostrans/all_news/112855/).
2. Transportnaya strategiya Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda s prognozom na period do 2035 [Elektronnyy resurs] / Ofitsial`nyy internet-sayt federal`nogo dorozhnogo agentstva ROSAVTODOR. URL: <https://rosavtodor.gov.ru/docs/transportnaya-strategiya-rf-na-period-do-2030-goda-s-prognozom-na-period-do-2035-g>.
3. Efimenko D.B. Metodologicheskie osnovy postroeniya navigatsionnykh sistem dispatcherskogo upravleniya perevozochnym protsessom na avtomobil`nom transporte (na primere gorodskogo passazhirskogo transporta): dis...d-ra tekhn. nauk. Moskva: 2012. 479 s.
4. Planning for AGI and beyond. 2023 [Elektronnyy resurs] / Ofitsial`nyy internet-sayt kompanii OpenAI. URL: <https://openai.com/blog/planning-foragi-and-beyond>.
5. GOST 32422. Global`naya navigatsionnaya sputnikovaya sistema. Sistemy dispatcherskogo upravleniya gorodskim passazhirskim transportom. Trebovaniya k arkhitekture i funktsiyam; vved. 2014-07-01. M.: Standartinform, 2018. 4 s.
6. Vlasov V.M., Efimenko D.B., Bogumil V.N. Primenenie tsifrovoy infrastruktury i telematiceskikh sistem na gorodskom passazhirskom transporte. Moskva: NITS INFRA-M, 2023. 352 s.
7. Transnavisoft [Elektronnyy resurs]. Ofitsial`nyy sayt. URL: <http://www.trnsoft.ru/cifrovoy-dispatcher>.
8. NimBus: Monitoring obshchestvennogo transporta [Elektronnyy resurs]. Ofitsial`nyy sayt/ URL: <https://wialon.com/ru/public-transport-management>/
9. ASK - Passazhirskiy transport [Elektronnyy resurs]. Ofitsial`nyy sayt. URL: <https://ask-glonass.ru>.
10. GUP «Mosgortrans» [Elektronnyy resurs]/ Ofitsial`nyy sayt. URL: <https://www.mosgortrans.ru/about/branches/>.
11. Departament transporta i razvitiya dorozhno-transportnoy infrastruktury goroda Moskvy [Elektronnyy resurs]. Ofitsial`nyy sayt. URL: <https://www.mos.ru/dt/function/kontrol-oplaty-proezd/vyderzhki-iz-instrukcii-kontrolerov/>
12. GUP «Mosgortrans» [Elektronnyy resurs]. Ofitsial`nyy sayt. URL: <https://www.mosgortrans.ru/passenger/check-men/>.
13. Iris-Sensing [Elektronnyy resurs]. Ofitsial`nyy sayt. URL: <https://www.iris-sensing.com/ru/>
14. Transnavisoft [Elektronnyy resurs]. Ofitsial`nyy sayt. URL: <http://www.trnsoft.ru>.

**Kudryavtsev Alexander Alexandrovich**

Moscow Automobile and Road Construction

State Technical University

Address: 125319, Russia, Moscow

Candidate of Technical Sciences

E-mail: kudryavtsevaa@transnavi.ru

**Aliev Alexander Eduardovich**

Moscow Automobile and Road Construction

State Technical University

Address: 125319, Russia, Moscow

Postgraduate student

E-mail: sans.magadan@mail.ru

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА**

Научная статья

УДК 656.13

doi: 10.33979/2073-7432-2025-3-1(90)-52-57

И.Е. ИЛЬИНА, К.А. ПЕРЕКУСИХИНА

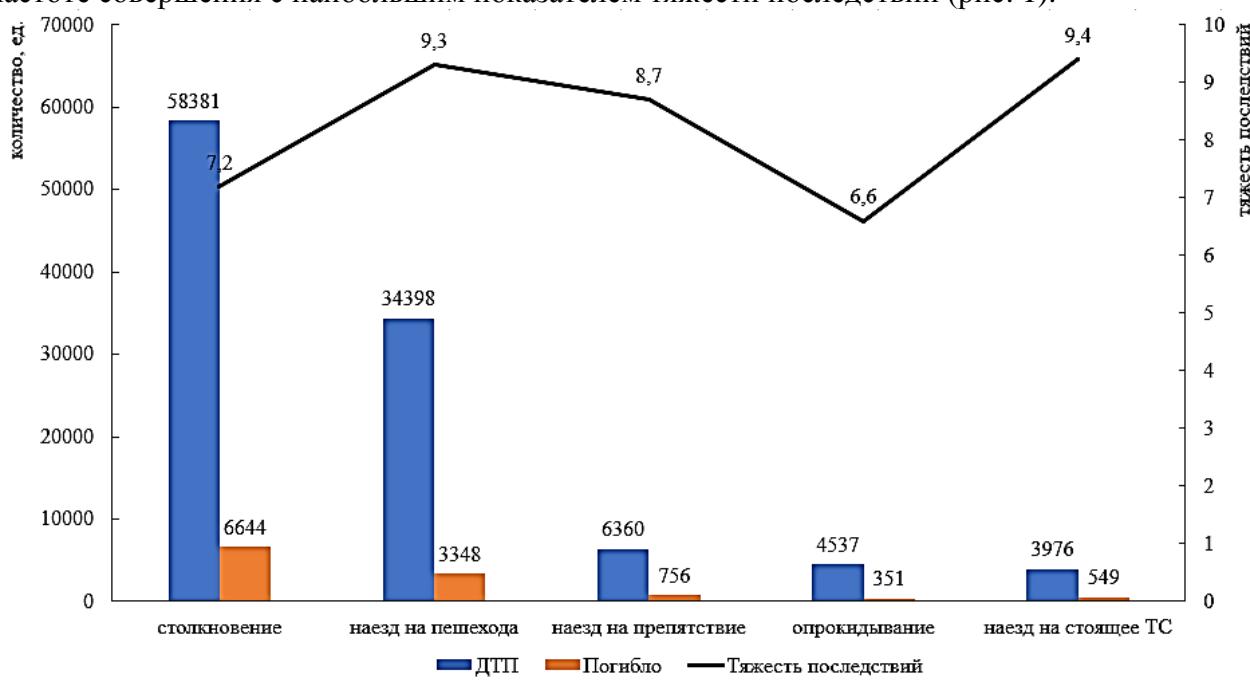
**АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДТП С УЧАСТИЕМ ПЕШЕХОДОВ ПО ФАКТОРУ «ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА»**

**Аннотация.** Предметом исследования является фактор «температура воздуха» при анализе дорожно-транспортных происшествий, связанных с наездом на пешехода. Проведен анализ исследований ученых и информационно-аналитических обзоров по данной тематике. На основе массива статистических данных аварийности с участием пешеходов по Пензенской области выполнена проверка их распределения по нормальному закону с учетом данных холодного и теплого периодов года.

**Ключевые слова:** безопасность дорожного движения, пешеход, фактор «температура воздуха»

**Введение**

На основании официальных статистических данных аварийности дорожно-транспортное происшествие (ДТП), связанное с наездом на пешеходов, является вторым по частоте совершения с наибольшим показателем тяжести последствий (рис. 1).



*Рисунок 1 – Распределение показателей аварийности во виду ДТП [1]*

На возможность совершения ДТП связанное с наездом на пешехода влияет большое количество факторов, но в официальных источниках названы лишь четыре – нарушение правил дорожного движения водителем и пешеходом, неудовлетворительные дорожные условия и неисправность транспортного средства.

Печатновой Е.В., Новиковым И.А., Нечаевым К.С., Ивановым И.П. [2-4] определены зависимости риска возникновения наезда на пешехода на федеральных автомобильных дорогах от погодных условий, а также выявлены условия, способствующие возникновению наез-

© И.Е. ИЛЬИНА, К.А. ПЕРЕКУСИХИНА, 2025

дов, среди которых неблагоприятные погодные условия и период интенсивных осадков.

Ким П.А., Озорнин С.П., Масленников В.Г. [5, 6] в своих исследованиях учитывали видимость и вид пешеходного перехода. Ими рассмотрены основные проблемы обеспечения безопасности пешеходов на нерегулируемых пешеходных переходах в условиях ограниченной видимости в темное время суток.

Артемовым А.Ю., Дорохиным С.В., Клявиным В.Э. проведен обзор влияния факторов риска возникновения ДТП, в том числе наезда на пешехода. Среди них выделяются и обосновываются те, которые оказывают существенное влияние на вероятность возникновения ДТП [7, 13].

Лопарев Е.А., Сергунова А.С. изучали влияние внешних факторов, установлена зависимость наездов на пешеходов от продолжительности светового дня и наличия снежного покрова [8].

Влияние застроенной территории на частоту и риск дорожно-транспортных происшествий с участием пешеходов рассмотрены зарубежными учеными Chen P., Zhou J. [9].

Анализ факторов, связанных с тяжестью травм пешеходов при авариях на международных шоссе проведен William Agyemang, Emmanuel Kofi Adanu, Jun Liu, Steven Jones [10].

В связи с этим целесообразно провести анализ ДТП, связанных с наездом на пешехода с учетом временного фактора, а именно месяц, день недели и фактора погоды.

Анализ работ ученых и эмпирические данные позволяют сделать вывод о существовании большого количества факторов, влияющих на безопасность дорожного движения, и, в частности, на риск возникновения ДТП с участием пешеходов.

Целью исследования является проведение анализа распределения ДТП с участием пешеходов по временному фактору.

### ***Материал и методы***

Изучение официальных отчетов НИЦ БДД МВД России за длительный период времени и трудов ученых по данной тематике позволил установить, что температурный фактор оказывает большое влияние на риск возникновения ДТП.

Для осуществления исследований была сформирована выборка из 372 ДТП, связанных с наездом на пешеходов по Пензенскому региону за период 1.01.2021 по 31.12.2024 на основании данных аварийности представленных на официальном сайте ГИБДД [1].

Массив данных условно разделен на две части – холодный и теплый период года, характеризуемые среднесуточной температурой наружного воздуха ниже и выше +10° С соответственно. В Пензенской области это периоды с 9 октября по 9 апреля и с 10 апреля по 8 октября.

В качестве метода анализа использовался статистический закон нормального распределения, который предполагает проверку данных на нормальность.

В настоящее время авторы продолжают системно изучать проблемы повышения безопасности дорожного движения для постановки гипотезы дальнейших научных исследований [11, 12].

### ***Теория / Расчет***

На первом этапе математической обработки данных формируем статистическую совокупность для теплого периода года, состоящую из 162 вариантов и интервальный вариационный ряд. Используя равнointервальную группировку формируем группы. Для теплого периода года размах вариации  $R$  составляет значение 20,4. Оптимальное количество интервалов  $k$  определено по формуле Стерджеса и составляет 8. Длина частичного интервала  $h$  с учетом округления составляет 3. Перебор по 8 интервалам составляет 3,6.

На основании данных получены абсолютные и относительные частоты интервалов, а также их плотность и накопленная частота (табл. 1)

Таблица 1 – результаты математической обработки данных по фактору «температура воздуха» для теплого периода года

интервалы		середина интервала, $x_i$	частоты, $n_i$	относительные частоты, $w_i$	плотности интервалов, $w_i/h$	накопленная частота, $w_n$
10,8	13,8	12,3	5	0,03	0,01	0,03
13,8	16,8	15,3	10	0,06	0,02	0,09
16,8	19,8	18,3	28	0,17	0,06	0,27
19,8	22,8	21,3	34	0,21	0,07	0,48
22,8	25,8	24,3	38	0,23	0,08	0,71
25,8	28,8	27,3	34	0,21	0,07	0,92
28,8	31,8	30,3	10	0,06	0,02	0,98
31,8	34,8	33,3	3	0,02	0,01	1,00

На втором этапе математической обработки данных формируем статистическую совокупность для холодного периода года, состоящую из 201 вариантов и интервальный вариационный ряд. И также, используя равноинтервальную группировку формируем группы. Для холодного периода года размах вариации  $R$  составляет значение 29. Оптимальное количество интервалов  $k$  также определено по формуле Стерджеса и составляет 8. Длина частичного интервала  $h$  с учетом округления составляет 4. Перебор по 8 интервалам составляет 3.

На основании данных получены абсолютные и относительные частоты интервалов, а также их плотность и накопленная частота для холодного периода года (табл. 2)

Таблица 2 – Результаты математической обработки данных по фактору «температура воздуха» для холодного периода года

интервалы, $x$		середина интервала, $x_i$	частоты, $n_i$	относительные частоты, $w_i$	плотности интервалов, $w_i/h$	накопленная частота, $w_n$
-18,8	-14,8	-16,8	5	0,02	0,01	0,02
-14,8	-10,8	-12,8	13	0,06	0,02	0,09
-10,8	-6,8	-8,8	14	0,07	0,02	0,16
-6,8	-2,8	-4,8	24	0,12	0,03	0,28
-2,8	1,2	-0,8	55	0,27	0,07	0,55
1,2	5,2	3,2	58	0,29	0,07	0,84
5,2	9,2	7,2	25	0,12	0,03	0,97
9,2	13,2	11,2	7	0,03	0,01	1,00

На третьем этапе графически отобразим полученные результаты, т.е. построим гистограмму относительных частот по частичным интервалам и их плотностям (рис. 2), полигон относительных частот с учетом середины интервалов и относительных частот (рис. 3), эмпирическую функцию распределения (рис. 4).

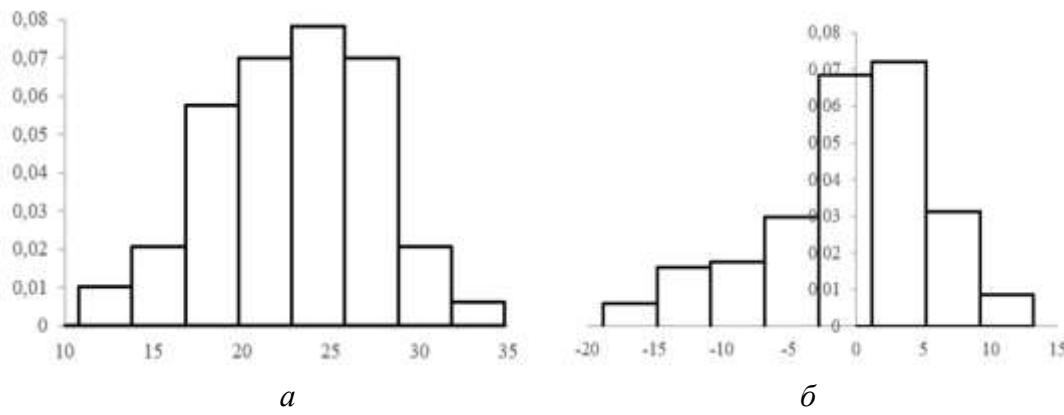
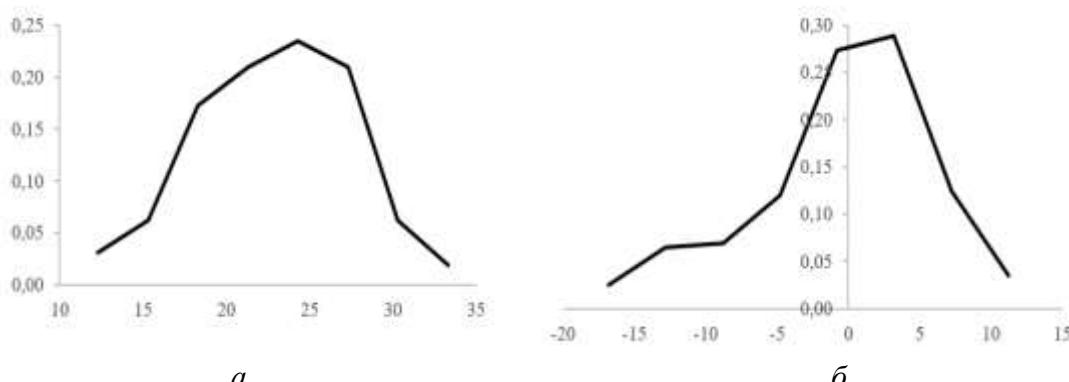


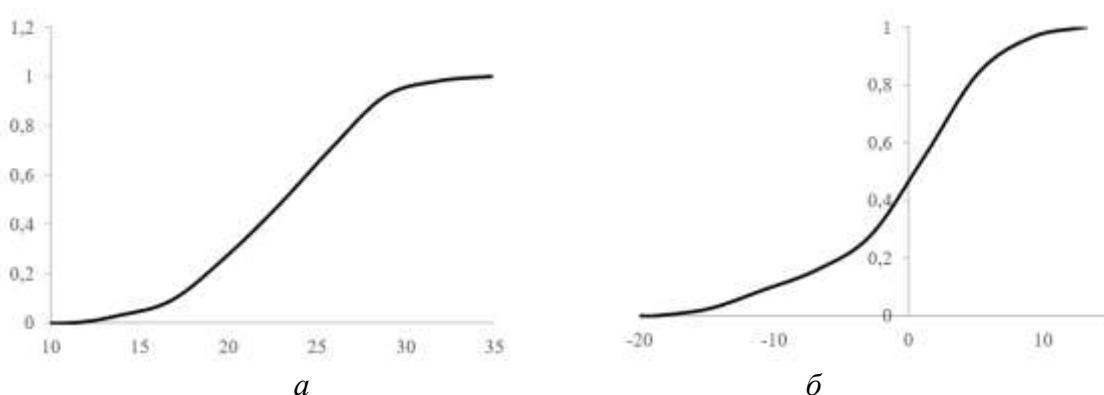
Рисунок 2 – Гистограмма относительных частот нормального распределения показателей аварийности по фактору «температура воздуха»

*а - для теплого периода года, б - для холодного периода года*



*Рисунок 3 – Кривая полигона относительных частот по фактору «температура воздуха»*

*а - для теплого периода года, б - для холодного периода года*



*Рисунок 4 – Интегральная кривая нормального распределения по фактору «температура воздуха»*

*а - для теплого периода года, б - для холодного периода года*

### **Результаты**

На основании анализа гистограмм относительных частот (рис. 2) определена частота ДТП с участием пешеходов в разные периоды года от общего количества значений. Так, в теплый период года наибольшая доля ДТП происходит при температуре от +15 до +25°C, в зимний период года – при температуре от -3 до +5°C.

Полигон относительных частот (рис. 3) графически отображает вариационные ряды, то есть соотношения между значениями температуры воздуха и соответствующими относительными частотами и является эмпирическим законом распределения исследуемого признака «температура воздуха».

Интегральная кривая нормального распределения (рис. 4) отражает вероятность того, что случайная величина, распределённая по нормальному закону, примет значения из диапазона от  $-\infty$  до  $x$ . Проверим гипотезу о том, что  $x$  распределено по нормальному закону с помощью правила 3-х сигм. Если случайная величина распределена нормально, то абсолютная величина её отклонения от математического ожидания не превосходит утроенного среднеквадратического отклонения, т.е. все значения случайной величины должны попасть в интервал:  $(x-3\cdot\sigma; x+3\cdot\sigma)$ . Для холодного периода года этот интервал составит:  $(-0,642-3\cdot6,133; -0,642+3\cdot6,133) = (-19,041; 17,757)$ . Все значения величин попадают в интервал, так как  $x_{min}=-17,3$ ;  $x_{max}=11,7$ . Для теплого периода года интервал составит:  $(22,755-3\cdot4,623; 22,755+3\cdot4,623) = (8,886; 36,624)$ . Все значения величин попадают в интервал, так как  $x_{min}=12,6$ ;  $x_{max}=33$ . То есть данные распределены по нормальному закону.

### ***Обсуждение***

Территория РФ находится в разных тепловых поясах, что соответственно «создает» неравнозначные условия вероятности возникновения ДТП по фактору «температура воздуха». Потенциальное количество участников дорожного движения – пешеходов соответствует количеству населения РФ и составляет более 140 млн. человек, т.к. на основании ПДД «к пешеходам относятся лица, передвигающиеся в инвалидных колясках, ведущие средство индивидуальной мобильности, велосипед, мопед, мотоцикл, везущие санки, тележку, детскую или инвалидную коляску, а также использующие для передвижения роликовые коньки, самокаты и иные аналогичные средства».

Таким образом, поставленная задача – повышение безопасности дорожного движения пешеходов является несомненно актуальной и соответствует направлению реализации Стратегии БДД на 2025-2030 годы с перспективой до 2036 года.

### ***Выводы***

Проверка нормального распределения данных ДТП, связанных с наездом на пешеходов по фактору «температура воздуха» необходима для проверки достоверности полученных результатов, а также для выбора методов статистического анализа при дальнейших исследованиях, определения значимости некоторых выбросов данных. Полученные результаты математической обработки данных подтверждают, что они распределены по нормальному закону.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации в 2023 году [Электронный ресурс] / Информационно-аналитический обзор. URL: <https://нцбдд.мвд.рф>.
2. Печатнова Е.В., Новиков И.А., Нечаев К.С., Иванов И.П. Влияние отдельных метеорологических параметров на риск возникновения наезда на пешехода // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2024. №6. С. 53-59. DOI: 10.36535/0236-1914-2024-06-8 EDN: DFZCZS.
3. Печатнова Е.В., Новиков И.А. Оценка распределения числа наездов на пешеходов по участкам дорог с различными характеристиками // Вестник гражданских инженеров. 2023. №5(100). С. 79-87. DOI: 10.23968/1999-5571-2023-20-5-79-87 EDN: LEDBNQ.
4. Печатнова Е.В., Новиков И.А., Кирюшин И.И., Шаталов Е.В. Влияние периода суток на риск возникновения наезда на пешехода // Воронежский научно-технический вестник. Т. 3. №3. 2023. С. 60-66.
5. Ким П.А., Озорнин С.П., Масленников В.Г. Снижение риска наезда на пешеходов в условиях ограниченной видимости на нерегулируемых пешеходных переходах // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. №6(89). С. 147-154. EDN: SGIWEL.
6. Озорнин С.П., Ким П.А Обеспечение безопасности пешеходов в условиях интенсивного городского движения автомототранспортных средств // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2013. Т. 2. №2(71). С. 21-25. EDN: RCNHUF.
7. Артемов А.Ю., Дорохин С.В. Влияние факторов на вероятность возникновения наезда на пешехода // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. Орёл. 2020. С. 161-165. EDN: GBXXPP.
8. Лопарев Е.А., Сергунова А.С. Влияние внешних факторов на уровень дорожно-транспортных происшествий, связанных с наездами на пешеходов // Безопасность дорожного движения. 2022. №1. С. 28-34.
9. Chen P., Zhou J. Effects of the built environment on automobile-involved pedestrian crash frequency and risk // Journal of Transport & Health. 2016. Vol. 3 (4). P. 448-456
10. William Agyemang, Emmanuel Kofi Adanu, Jun Liu, Steven Jones. A latent class multinomial logit analysis of factors associated with pedestrian injury severity of inter-urban highway crashes // Journal of Transportation Safety & Security. 2022. Vol. 15. P. 1008-1028. DOI: 10.1080/19439962.2022.2153952.
11. Ильина И.Е., Витвицкий Е.Е., Перекусихина К.А., Рассоха В.И. Определение потенциальных мест концентрации дтп по причине нарушения ПДД водителями с учетом человеческого фактора // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2025. №2. С. 64-74. DOI: 10.25198/2077-7175-2025-2-64. EDN: LSCTNM.
12. Ильина И.Е., Витвицкий Е.Е. Индексы для оценки уровня безопасности дорожного движения в регионах // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2025. Т. 22. №1(101). С. 68-77. DOI: 10.26518/2071-7296-2025-22-1-68-77. EDN: XVCDWQ.
13. Корчагин В.А., Клявин В.Э., Суворов В.А., Зеленцов М.В. Определение степени влияния факторов на вероятность возникновения ДТП // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Международной научно-технической конференции. 2010. С. 185-189. EDN: TRDARX.

**Ильина Ирина Евгеньевна**

Пензенский государственный аграрный университет  
Адрес: 440014, Россия, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30  
К.т.н., доцент кафедры технический сервис машин  
E-mail: iie.1978@yandex.ru

**Перекусихина Кристина Александровна**

Государственное бюджетное учреждение Пензенской области «Безопасный регион»  
Адрес: 440031, Россия, г. Пенза, ул. Окружная, стр. 3Б  
Аналитик отдела организации дорожного движения  
E-mail: k.perekusihina@br.pnzreg.ru

I.E. ILYINA, K.A. PEREKUSIKHINA

## **ANALYSIS OF THE DISTRIBUTION OF ACCIDENTS INVOLVING PEDESTRIANS BY THE «AIR TEMPERATURE» FACTOR**

**Abstract.** The subject of the study is the «air temperature» factor in the analysis of traffic accidents related to pedestrian collisions. The analysis of research by scientists and information and analytical reviews on this topic is carried out. Based on an array of statistical data on pedestrian accidents in the Penza region, their distribution was checked according to the normal law, taking into account the data of the cold and warm periods of the year.

**Keywords:** road safety, pedestrian, air temperature factor

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Dorozhno-transportnaya avariynost` v Rossiyiskoy Federatsii v 2023 godu [Elektronnyy resurs] / Informatsionno-analiticheskiy obzor. URL: <https://ntsbdd.mvd.rf>.
2. Pechatnova E.V., Novikov I.A., Nechaev K.S., Ivanov I.P. Vliyanie otdel'nykh meteorologicheskikh parametrov na risk vozniknoveniya naezda na peshekhoda // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchnyy informatsionnyy sbornik. 2024. №6. S. 53-59. DOI: 10.36535/0236-1914-2024-06-8 EDN: DFZCZS.
3. Pechatnova E.V., Novikov I.A. Otsenka raspredeleniya chisla naezdov na peshekhodov po uchastkam do-rog s razlichnymi kharakteristikami // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2023. №5(100). S. 79-87. DOI: 10.23968/1999-5571-2023-20-5-79-87 EDN: LEDBNQ.
4. Pechatnova E.V., Novikov I.A., Kiryushin I.I., Shatalov E.V. Vliyanie perioda sutok na risk vozniknoveniya naezda na peshekhoda // Voronezhskiy nauchno-tehnicheskiy vestnik. T. 3. №3. 2023. S. 60-66.
5. Kim P.A., Ozornin S.P., Maslennikov V.G. Snizhenie riska naezda na peshekhodov v usloviyakh ograničennoy vidimosti na nereguliruemых peshekhodnykh perekhodakh // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2014. №6(89). S. 147-154. EDN: SGIWEL.
6. Ozornin S.P., Kim P.A. Obespechenie bezopasnosti peshekhodov v usloviyakh intensivnogo gorodskogo dvizheniya avtomototransportnykh sredstv // Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2013. T. 2. №2(71). S. 21-25. EDN: RCNHUF.
7. Artemov A.YU., Dorokhin S.V. Vliyanie faktorov na veroyatnost` vozniknoveniya naezda na peshekhoda // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy VI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Oriol. 2020. S. 161-165. EDN: GBXXPP.
8. Loparev E.A., Sergunova A.S. Vliyanie vneshnikh faktorov na uroven` dorozhno-transportnykh proisshestviy, svyazannykh s naezdami na peshekhodov // Bezopasnost` dorozhnogo dvizheniya. 2022. №1. S. 28-34.
9. Chen P., Zhou J. Effects of the built environment on automobile-involved pedestrian crash frequency and risk // Journal of Transport & Health. 2016. Vol. 3 (4). P. 448-456
10. William Agyemang, Emmanuel Kofi Adanu, Jun Liu, Steven Jones. A latent class multinomial logit analysis of factors associated with pedestrian injury severity of inter-urban highway crashes // Journal of Transportation Safety & Security. 2022. Vol. 15. P. 1008-1028. DOI: 10.1080/19439962.2022.2153952.
11. Il'ina I.E., Vitvitskiy E.E., Perekusikhina K.A., Rassokha V.I. Opredelenie potentsial`nykh mest kontsen-tratsii dtp po prichine narusheniya PDD voditelyami s uchetom chelovecheskogo faktora // Intellekt. Innovatsii. Inves-titsii. 2025. №2. S. 64-74. DOI: 10.25198/2077-7175-2025-2-64. EDN: LSCTNM.
12. Il'ina I.E., Vitvitskiy E.E. Indeksy dlya otsenki urovnya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v regionakh // Vestnik Sibirskego gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. 2025. T. 22. №1(101). S. 68-77. DOI: 10.26518/2071-7296-2025-22-1-68-77. EDN: XVC DWQ.
13. Korchagin V.A., Klyavin V.E., Suvorov V.A., Zelentsov M.V. Opredelenie stepeni vliyaniya faktorov na veroyatnost` vozniknoveniya DTP // Transportnye i transportno-tehnologicheskie sistemy: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii. 2010. S. 185-189. EDN: TRDARX.

**Ilina Irina Evgenievna**

Penza State Agrarian University  
Adress: 440014, Russia, Penza, Botanicheskaya str., 30  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: iie.1978@yandex.ru

**Perekusikhina Kristina Alexandrovna**

Penza Region State Budgetary Institution «Safe Region»  
Adress: 440031, Russia, Penza, Okruzhnaya str.  
Traffic Management Department, analyst  
E-mail: k.perekusihina@br.pnzreg.ru

Научная статья  
УДК 656.072.6  
doi: 10.33979/2073-7432-2025-3-1(90)-58-67

С.С. ХАЖОКОВА, Я.С. ТКАЧЕВА

## АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ АДЫГЕЯ И ЯБЛОНОВСКОЙ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

**Аннотация.** Статья посвящена раскрытию проблемы транспортного обслуживания населения с учетом особенностей региона. Проведен анализ транспортной подвижности населения. Решение проблем функционирования транспортного комплекса Республики Адыгея требует комплексного подхода. Необходимо совершенствовать маршрутную сеть, обеспечивать большую доступность транспорта для населения, повышать безопасность дорожного движения.

**Ключевые слова:** транспорт, общественный транспорт, методы обследования пассажиропотока, транспортная подвижность населения, анкетирование пассажиров, городская агломерация

### **Введение**

Одним из условий экономического роста города, области и страны является развитие транспортного комплекса темпами, опережающими рост экономики. Этому условию, в первую очередь, соответствует городской, пригородный пассажирский транспорт, который развивается более высокими темпами, чем другие виды транспорта [7].

Автомобильный пассажирский транспорт имеет ряд существенных преимуществ перед другими видами массового пассажирского транспорта (трамвай, железнодорожный флот и т.д.). К ним относятся: высокая маневренность, т.е. способность доставлять пассажиров непосредственно к месту работы или жилья; большую скорость движения на дорогах с усовершенствованным покрытием; возможность переключения части неиспользованных автобусов внутригородских маршрутов в выходные дни на маршруты пригородного сообщения [9].

### **Материал и методы**

Республика Адыгея расположена в северо-западной части Кавказа на левобережье рек Кубани и Лабы. Протяженность территории с севера на юг составляет 150 км, с запада на восток – 60 км. Адыгея находится внутри Краснодарского края. Северная часть республики - равнина, южная - предгорья и горы Большого Кавказа.

Площадь территории составляет 7792 тыс. кв. км. Численность населения (по состоянию на 01.12.2024 г.) - 497 985 жителей. Плотность населения на 1 января 2025 года составила 57,6 чел. на 1 кв. км – одна из самых высоких в Российской Федерации. Республика Адыгея со всех сторон граничит с Краснодарским краем и не имеет общих границ с другими регионами.

Столица Республики Адыгея – город Майкоп, с численностью населения 167,7 тыс. человек, площадь территории – 58,6 км<sup>2</sup>. В составе Республики Адыгея 7 районов, 2 города, 3 поселка городского типа, 48 сельских поселений, 227 сельских населенных пунктов.

Два города республиканского значения с подчинёнными населёнными пунктами: Майкоп (Майкопский республиканский городской округ), Адыгейск (Адыгейский республиканский городской округ) [6].

В состав Яблоновской городской агломерации входит: «Яблоновское городское поселение» и муниципальными образованиями «Город Адыгейск», «Старобжегокайское сельское поселение», «Тахтамукайское сельское поселение», «Афипсипское сельское поселение» – «спутниками» многокомпонентная система с интенсивными производственными, транспортными и культурными связями, в частности, наличием «маятниковой» трудовой миграции

© С.С. ХАЖОКОВА, Я.С. ТКАЧЕВА, 2025

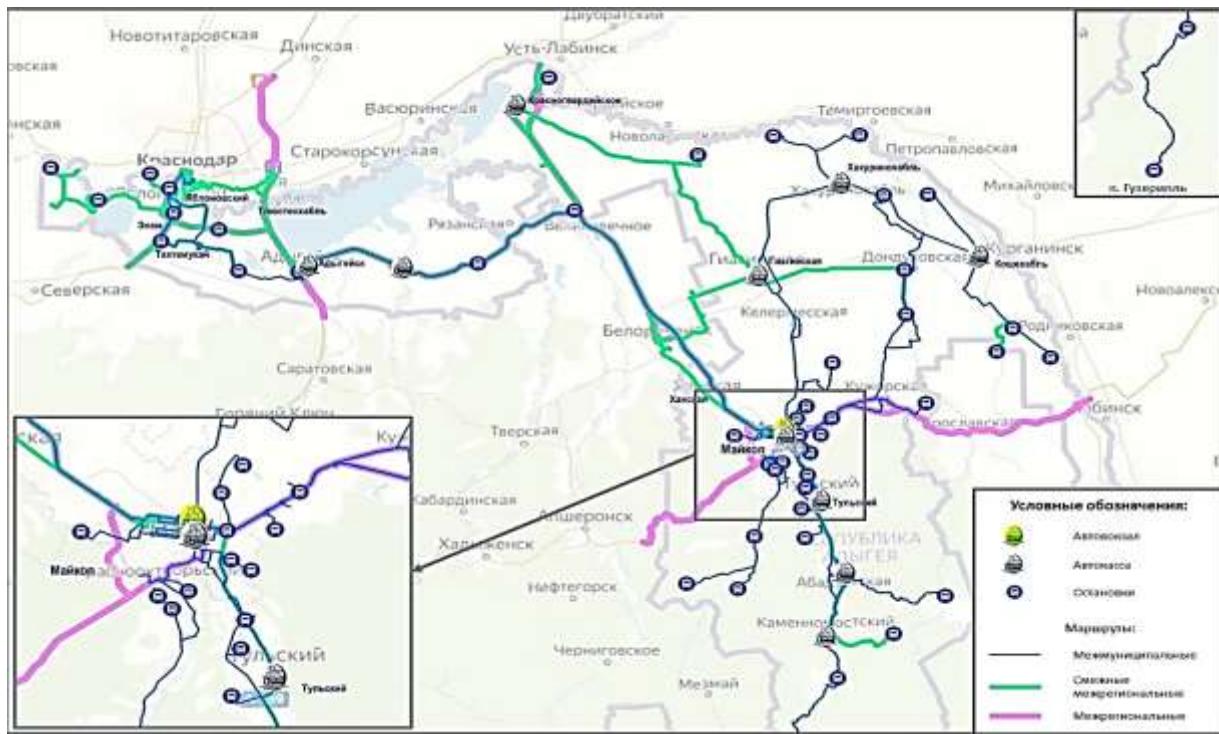
населения в пределах одних суток [3].

Динамика показателей социально-экономического развития, и планируемые проекты по развитию хозяйства региона в перспективе определяют факторы, непосредственно воздействующие на конъюнктуру транспортного рынка. Они учитываются при прогнозировании и целевом моделировании состояния транспортной системы, при определении потребности в мероприятиях и объема регионального транспортного заказа [2].

Существующая маршрутная сеть республики, в том числе и Яблоновской городской агломерации представлена: межрегиональными, смежными межрегиональными, межмуниципальными и муниципальными маршрутами.

### **Теория**

Межрегиональные маршруты как начинаются и заканчиваются в республике, так и проходят транзитом через неё. Смежные межрегиональные маршруты выполняют перевозки пассажиров между городом Краснодаром и населенными пунктами Республики Адыгея, в частности с пгт. Яблоновский. Межрегиональные маршруты связывают муниципальные районы республики. Большая часть межмуниципальных маршрутов начинается в городе Майкопе. Муниципальные маршруты выполняют перевозки внутри муниципальных районов [1]. Межмуниципальная маршрутная сеть сформирована 61 маршрутом. Данные маршруты представлены в Реестре межмуниципальных маршрутов регулярных перевозок на официальном сайте исполнительных органов государственной власти Республики Адыгея (рис. 1).



*Рисунок 1 – Маршрутная сеть пассажирского транспорта общего пользования в Республике Адыгея*

Основная часть маршрутов начинается или заканчивается в г. Майкоп (59 маршрутов).

Всего в г. Майкоп 4 конечных остановочных пункта: автокасса «Майкопская», 30 маршрутов начинаются или заканчиваются с данной автокассы; остановочный пункт «Центральный рынок», 18 маршрутов начинаются или заканчиваются с данного остановочного пункта; автовокзал «Майкопский», 9 маршрутов начинаются или заканчиваются с данного автовокзала; с остановочных пунктов «ул. Железнодорожная» и «Западный жилой район» начинается или заканчивается по 1 маршруту [5].

Кроме того, 7 маршрутов начинаются или заканчиваются в п. Каменномостский, по 5 маршрутов начинаются или заканчиваются в пос. Тульском и пос. Краснооктябрьском, и по 2

маршрута начинаются или заканчиваются в пгт. Яблоновский, ост. «Тульское ПМК», а. Кошхабль, пос. Приреченский, ст. Дагестанская, ст. Кужорская, х. Шаумян, п. Цветочный, п. Даховская, п. Садовый.

Всего насчитывается 44 начальных или конечных остановочных пункта. Стоит отметить, что в реестре существуют маршруты с одинаковыми начальными и конечными остановочными пунктами, а также с практически одинаковыми трассами маршрутов и остановочными пунктами, но имеющими: маршруты 145, 145А «г. Майкоп, Автокасса «Майкопская» - х. Шаумян – Майкоп «Центральный рынок» (маршруты являются круговыми встречными, перевозчик один); маршруты 101/1, 104/2, 104/3, 104/4, 104/5, 104/6, 104/7 «г. Майкоп Автокасса «Майкопская» - п. Каменномостский Автокасса «Хаджох» (различаются перевозчиками); маршруты 111/1, 111/2 «г. Майкоп, Автокасса «Майкопская» - п. Садовый (ВИР)» (различаются перевозчиками); маршруты 120/2, 120/3 «г. Майкоп, Центральный рынок - пос. Приречный» (различаются перевозчиками); маршруты 133, 134/2 «г. Майкоп Автокасса «Майкопская» – Даховская» (различаются перевозчиками); маршруты 424/1, 424/2 «г. Майкоп Автокасса «Майкопская» - пгт. Яблоновский» (различаются перевозчиками); маршруты 105/1, 105/2 «г. Майкоп Автокасса «Майкопская» - ст. Дагестанская» (различаются перевозчиками).

Также в реестре существуют маршруты с одинаковыми начальными и конечными остановочными пунктами, но с разной протяженностью маршрута, с разной трассой прохождения, разными остановочными пунктами: маршруты 108/1, 108/2, 148/1, 148/2, 148/3 «г. Майкоп, Центральный рынок - пос. Краснооктябрьский» (различаются перевозчиками); маршруты 912, 3187 «г. Майкоп Автокасса «Майкопская» - АВ «Западный» г. Грозный» (различаются перевозчиками); маршруты 430/1, 430/2 «г. Майкоп Автокасса «Майкопская» - а. Кошхабль, ж/д станция» (перевозчик один); маршруты 127/1, 127/2, 127/3, 130/1, 130/2 «г. Майкоп Центральный рынок/ Автокасса «Майкопская» - пос. Тульский ост. «Универмаг» /Автокасса «Тульская» (различаются перевозчиками, а также остановками отправления или прибытия); маршруты 123/1, 123/2 «г. Майкоп Центральный рынок - п. Цветочный» (перевозчик один); маршруты 103/1, 103/2 «г. Майкоп Автокасса «Майкопская» - ст. Кужорская» (различаются перевозчиками).

Согласно статьи 3 Федерального закона от 13 июля 2015 г. №220-ФЗ «Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» смежный межрегиональный маршрут регулярных перевозок - межрегиональный маршрут регулярных перевозок в границах субъекта Российской Федерации - города федерального значения Москвы, Санкт-Петербурга или Севастополя и граничащего с ним субъекта Российской Федерации либо межрегиональный маршрут регулярных перевозок в границах Краснодарского края и Республики Адыгея [12].

Согласно реестру смежных межрегиональных маршрутов регулярных перевозок между субъектами Российской Федерации, Республикой Адыгея и Краснодарским краем всего существует 44 смежных межрегиональных маршрута между Республикой Адыгея и Краснодарским краем. Согласно данному реестру 32 маршрута начинаются или заканчиваются в г. Краснодаре. В г. Майкоп начинаются или заканчиваются 16 маршрутов. На остановочном пункте «Мега» в а. Новая Адыгея начинаются или заканчиваются 5 маршрутов. И по 3 маршрута начинаются или заканчиваются в г. Белореченск, пгт. Энем, и ст. Гиагинская [14].

Всего согласно реестру, насчитывается 28 начальных или конечных остановочных пункта. Так же, как и с муниципальными маршрутами, в реестре смежных межрегиональных маршрутов существуют маршруты с одинаковыми начальными и конечными остановочными пунктами, а также с практически одинаковыми трассами маршрутов и остановочными пунктами: маршруты 171 «ОП «ТЭЦ» г. Краснодар - ОП «ул. Первомайская» г.

Адыгейск» представлен 2 раза, с одинаковым номером, но с разными перевозчиками; маршруты 439 «г. Майкоп Автовокзал «Майкопский» - АВ г. Геленджик» представлен 3 раза в реестре, с одинаковым номером, но с разными перевозчиками.

Также в реестре существуют маршруты с одинаковыми начальными и конечными остановочными пунктами, но с разной протяженностью маршрута, с разной трассой прохождения, разными остановочными пунктами: маршруты 114 «Гиагинская автокасса - АВ г. Белореченск» представлен 2 раза в реестре, с одинаковым номером, но с разными перевозчиками; маршрут 7-Б, 129 «ОП «ул. Космическая» п. Яблоновский - ОП «Кооперативный рынок» / ОП «ЦКР» г. Краснодар» (различаются перевозчиками, а также остановкой отправления); маршруты 410 «г. Майкоп Автовокзал «Майкопский» - АВ г. Гуково» представлен 3 раза в реестре, с одинаковым номером, но с разными перевозчиками; маршруты 107-А, 183, 188 «г. Краснодар ОП «Кооперативный рынок» / ОП «ул. Ковтюха»/ОП «ЦКР (Сенной рынок)» - ОП «Амбар» пгт. «Энем» (перевозчик один, отличаются остановкой отправления).

Межрегиональная маршрутная сеть автобусных перевозок в границах Республики Адыгея сформирована 40 маршрутами. Данные маршруты представлены в Реестре регулярных автобусных маршрутов между субъектами Российской Федерации на официальном сайте Министерства транспорта Российской Федерации.

От общего числа этих маршрутов начинаются и заканчиваются 22 и 18 проходит транзитом. Межрегиональные маршруты в качестве конечных и начальных пунктов отправляются до следующих городов: Ростов-на-Дону, Грозный, Нальчик, Анапа, Астрахань, Геленджик, Гуково, Кисловодск, Черкесск, Сочи, Махачкала, Евпатория, Волжский, Георгиевск, Суворовская (Ставропольский край), Ставрополь, Теберда (Карачаево-Черкесская Республика), Ейск, Белореченск, Ялта, Москва.

Непосредственно от автовокзала Майкопа начинаются маршруты до: Гуково, Ставрополя, Ростова-на-Дону, Ейска, Ялты, Москвы, Грозного, Нальчика, Кисловодска, Махачкалы, Черкесска, Георгиевска. Транзитом через республику проходят маршруты по направлениям: Ставрополь-Анапа; Астрахань-Геленджик; Кисловодск-Сочи; Теберда-Ростов-на-Дону; Дербент-Сочи; Дербент - Евпатория; Сочи-Астрахань; Волжский-Белореченск.

Так же, как и со смежными межрегиональными маршрутами, в реестре межрегиональных маршрутов существуют маршруты с одинаковыми начальными и конечными остановочными пунктами, а также с практически одинаковыми трассами маршрутов и остановочными пунктами: маршруты 989 (2 записи в реестре), 716, 2242 «г. Майкоп Автовокзал «Майкопский» - «Ставропольский автовокзал» г. Адыгейск» (различаются перевозчиками); маршруты 582, 610, 3076 «Ставропольский автовокзал - АВ г. Анапа» (различаются перевозчиками); маршруты 526 «АВ МУП г. Сочи «Сочиавтотранс» – АВ г. Кисловодск» представлен 3 раза в реестре, с одинаковым номером, но с разными перевозчиками.

Сеть муниципальных, смежных межрегиональных и межрегиональных маршрутов, проходящие в границах Яблоновской городской агломерации представлена на рисунке 2.

Смежные межрегиональные маршруты Краснодарского края. На территории Республики Адыгея, в том числе и Яблоновской городской агломерации осуществляют перевозки пассажиров смежные межрегиональные маршруты Краснодарского края [13]. Маршрутная сеть построена таким образом, что часть маршрутов заканчивается на территории республики, а часть маршрутов проходит транзитом. Условно данные маршруты можно разделить на пригородные (24 маршрута) и междугородние (72 маршрута). Пригородные маршруты начинаются на территории Краснодарского края и заканчиваются в населенных пунктах Республики Адыгея. Маршрутная сеть данных маршрутов построена до следующих населенных пунктов: аул Новая Адыгей, г. Адыгейск, г. Майкоп, аул Кошхабль, пгт. Яблоновский, пгт. Псебай.

Междугородние маршруты проходят через Республику Адыгею транзитом. Маршруты проходят по участкам федеральных и региональных дорог в границах республики, в том числе: М-4 «Дон», А-160 «Майкоп-Кореновск», Р-217 «Кавказ», А-146 «Краснодар – Верхнебаканский», 79А-110 «Энем-Адыгейск-Бжедугхабль» [14].

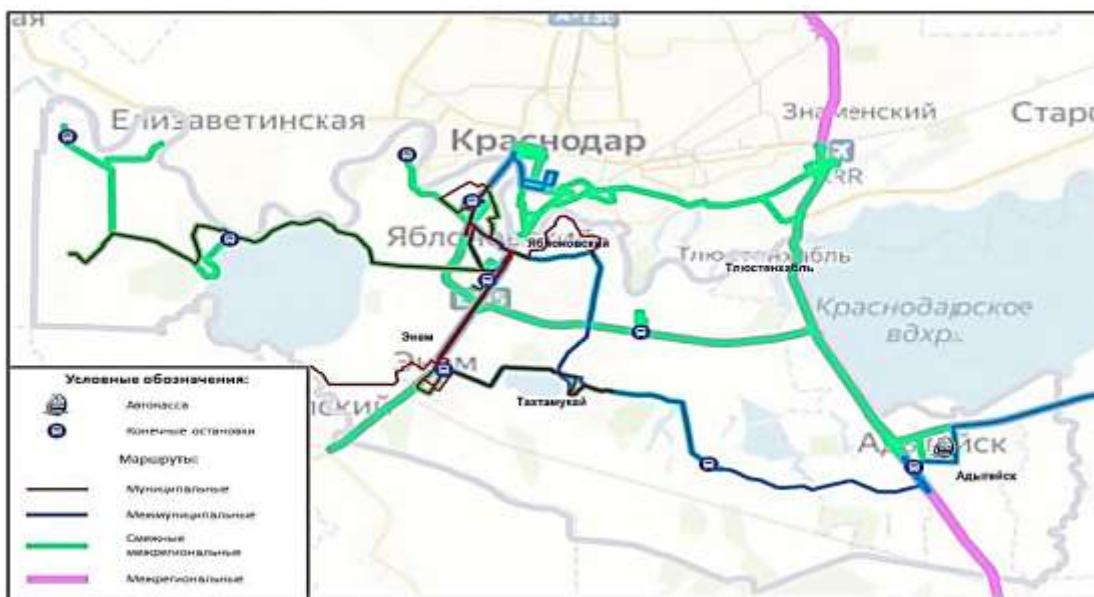


Рисунок 2 – Маршрутная сеть общественного транспорта в границах Яблоновской агломерации

### **Расчет**

Полученные результаты позволили выявить места с наибольшей величиной пассажиропотоков на межмуниципальном и смежном межрегиональном транспорте в границах Республики Адыгея.

Наибольшая величина пассажиропотока наблюдается на участке УДС в пгт. Яблоновский на подходе к Тургеневскому мосту (Тургеневское шоссе) около 8-7 тыс. пасс/сутки. При этом на маршрутах сети принадлежащей Республике Адыгея и муниципальные маршруты приходится более 5 тыс. пасс/сутки, на маршруты Краснодарского края более 2 тыс. пасс/сутки. В данном случае следует отметить, что маршрутная сеть на связи Республики Адыгея и города Краснодара в данный период построена таким образом, что маршруты проходят по Тургеневскому мосту. Фактически они проходят в большей степени по Яблоновскому мосту, но в данный момент мост находится на реконструкции. После завершения работ, маршрутная сеть будет изменена с прохождением по данному мосту.

Пассажиропотоки направлены от пгт. Яблоновский в двух основных направлениях. В направлении п. Энем, Афипский и далее к городам Черноморского побережья. Суммарная величина пассажиропотоков достигает более 4 тыс. пасс/сутки в одном направлении. В разрезе маршрутов, около 2 тыс. пасса/сутки приходится на маршруты реестра Республики Адыгея и около 2 тыс. пасс/сутки на маршруты реестра Краснодарского края и межрегиональные маршруты, проходящие транзитом. Данное направление наиболее загружено в летний период, величина пассажиропотоков будет увеличиваться в 2 раза [15].

В направлении от Краснодара до Адыгейска (М-4) суммарная величина пассажиропотоков достигает до 1,5 тыс. пасс/сутки. В разрезе маршрутов, около 0,9 тыс. пасс/сутки приходится на маршруты реестра Республики Адыгея и около 0,6 тыс. пасс/сутки на маршруты реестра Краснодарского края и межрегиональные маршруты, проходящие транзитом.

Далее в направлении Горячий Ключ (М-4) величина пассажиропотока уменьшается до 0,4 тыс. пасс/сутки, при этом распределение величины пассажиропотока делится в равных частях (около 50 %) между маршрутами Республики Адыгея и Краснодарского края. Следует отметить, что общий пассажиропоток на данном направлении выше. В данном направлении (Горячий Ключ – Черноморское побережье) пассажиропоток частично перераспределяется на пригородный железнодорожный транспорт (величина пассажиропотока достигает 0,5-1,0 тыс. пасс/сутки), а также на дальних связях на индивидуальный автомобильный транспорт.

Пассажиропоток с пгт. Яблоновский и Краснодар (М-4) в направлении Адыгейска –

Белореченска достигает величины более 1,5 тыс. пасс/сутки в одном направлении, при этом на маршруты реестра Республики Адыгея приходится около 50 % всего пассажиропотока (0,8 тыс. пасс/сутки). Пассажиропотоки реестра маршрутов Краснодарского края наиболее высокие в границах Яблоновской городской агломерации. Суммарная величина пассажиропотоков в данных населенных пунктах составляет около 50 % от величины всего потока. На остальной территории Республики Адыгея доля перевозок маршрутов реестра Краснодарского края незначительна и составляет не более 20 % от общего пассажиропотока. Связано это в первую очередь с преобладанием маршрутов и количества подвижного состава реестра Республики Адыгея.

### ***Результат***

Проведенный анализ маршрутной сети и результатов натурных обследований позволил определить, что максимальная загрузка подвижного состава составляет не более 50%, тем самым имеется значительный резерв пропускной способности маршрутов. Результаты социологического опроса населения в Республике Адыгея для выявления транспортных потребностей. Целью социологического опроса является исследование основных закономерностей формирования транспортных и пассажирских потоков в отдельных муниципальных образованиях Республики Адыгея, выявлению основных транспортных проблем. Результаты опросов использованы для разработки перечня мероприятий по развитию транспортной системы Республики Адыгея и Яблоновской агломерации.

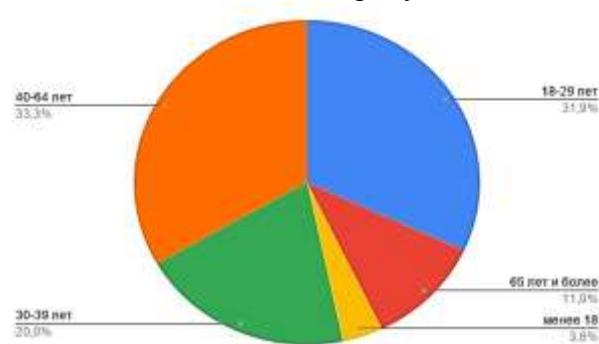
Всего в опросе прошло 1555 человек из 11 административно - территориальных единиц. Из общего числа жителей, прошедших анкетирование, в Республике Адыгея, большую часть опрошенных составляет женская часть населения. Наглядно данная статистика приведена на рисунке 3.

По возрастному признаку жителей, прошедших социологический опрос, можно поделить на 5 категорий: менее 18 лет; 18-29 лет; 30-39 лет; 40-64 лет; 65 лет и более.

Наглядное количество проголосовавших по диапазонам показано на рисунке 4.



*Рисунок 3 – Пол*



*Рисунок 4 – Возраст*

Подвижность населения Республики Адыгея довольно высокая: 44,5 % прошедших опрос отметили, что они несколько раз в неделю ездят по работе и/или учёбе в другой населённый пункт.

По данным с рисунка видно, что 55 % респондентов живут на одном месте или редко куда-либо уезжают из своего города или хутора/села, 44,5 % несколько раз в неделю едут по работе/учёбе в другие населенные пункты и 0,5 % уезжают надолго и живут месяцами за пределами своего города или хутора/села.

Из рисунков видно, что большинство поездок в будние дни совершаются с работы на работу и на учебу. Поездки за покупками, по личным и семейным делам, для посещения объектов культуры, отдыха, спорта 48,8 % респондентов совершают 2-3 дня в неделю, а 30,5 % совсем не совершают таких поездок.

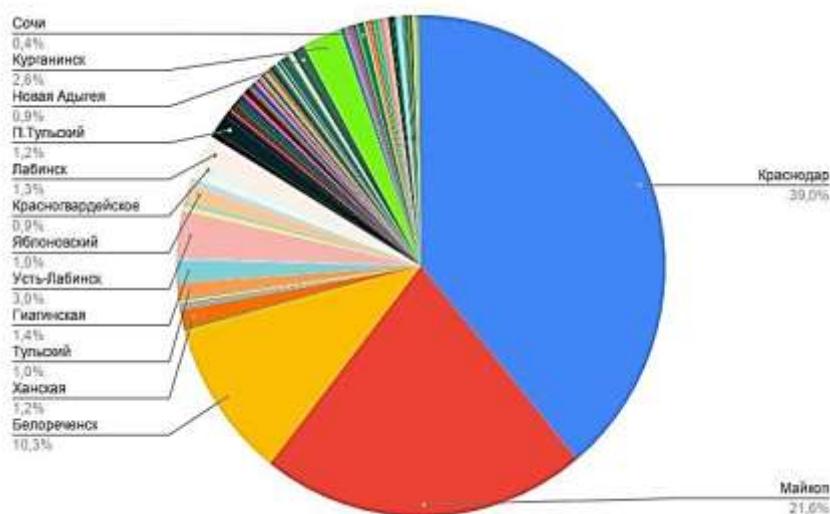


Рисунок 5 – Передвижение из места проживания

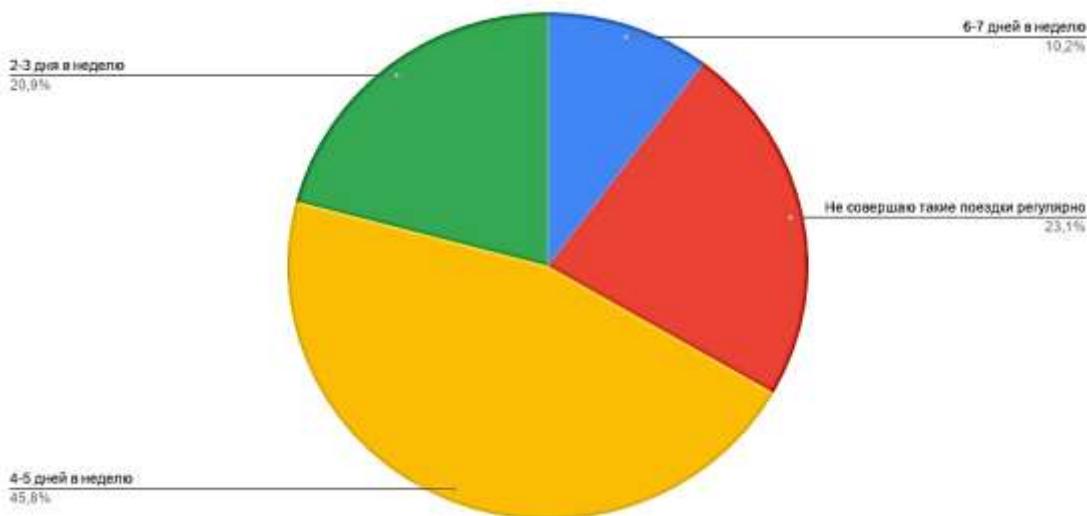


Рисунок 6 – Маршрут поездок (на работу/с работы)

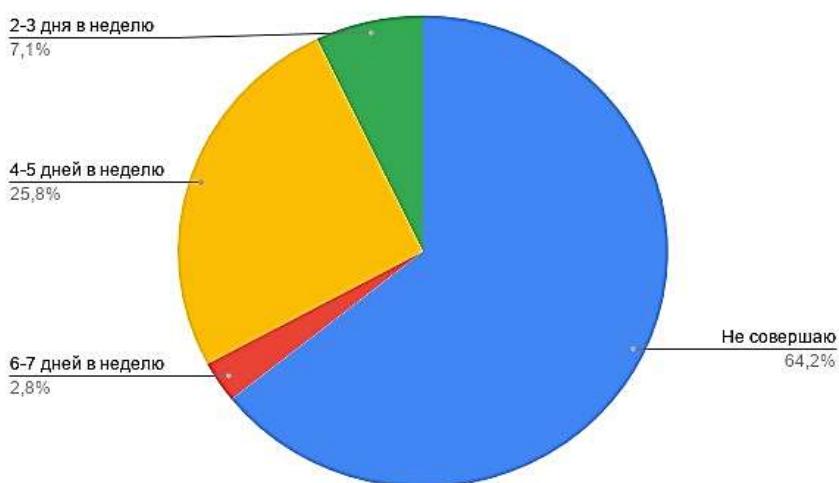
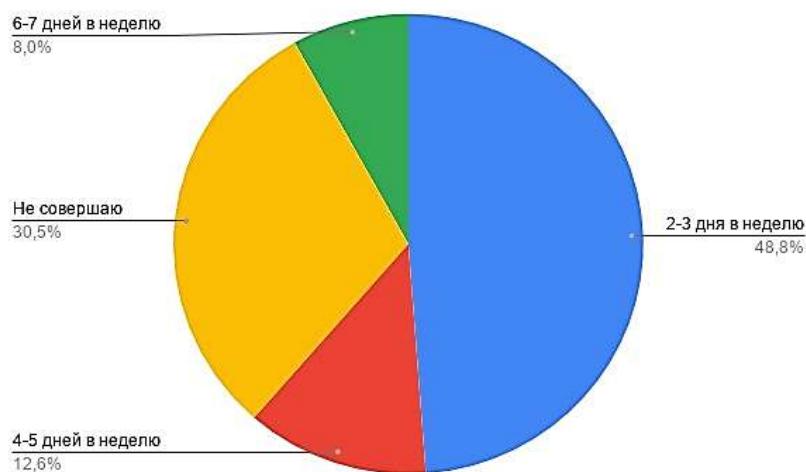


Рисунок 7 – Маршрут поездок (на учебу/по учебе)



*Рисунок 8 – Маршрут поездок  
(за покупками/по личным и семейным делам/посещение объектов культуры, отдыха, спорта)*

### **Результаты и обсуждение**

Из опроса видно, что переход на общественный транспорт, при наличии своего личного автомобиля может произойти при следующих условиях: вырастет стоимость бензина, ухудшится материальное положение, ухудшится ситуация с пробками на дорогах и время в пути на машине начнет превышать время в пути на общественном транспорте, улучшится работа общественного транспорта (изменится расписание, комфорт проезда). Однако, большинство среди опрошенных, имеющих личный автомобиль сейчас, отказались бы от перехода на общественный транспорт практически при любых «экстремальных» условиях.

### **Вывод**

По результатам опроса можно сделать выводы, что для жителей Республики Адыгея в расписании движения общественного транспорта есть следующие неудобства: низкая скорость перемещения, нарушение расписания движения общественного транспорта, неудобное расписание общественного транспорта (поздно начинается первый рейс, рано заканчивается последний рейс, большой интервал движения и т.д.). Так же у жителей Республики Адыгея возникают проблемы с подвижным составом: изношенный парк транспортных средств, низкий уровень комфорта в салонах транспортных средств (давка, запахи, слишком жарко или слишком холодно), отсутствие низкопольных автобусов, троллейбусов, отсутствие автобусов и троллейбусов большой вместимости.

Проблемы, связанные с инфраструктурой общественного транспорта: плохое качество дорог, отсутствие выделенных полос для общественного транспорта, неудовлетворительное состояние остановочных пунктов (отсутствие навеса, расписания движения и т.д.), отсутствие информационной системы оповещения граждан о расписании и движении общественного транспорта на остановочных пунктах. Также проблемы с маршрутами общественного транспорта: неудобное расположение остановочных пунктов, приходится часто пересаживаться, востребованный маршрут обслуживается только маршрутными такси, маршрут не соблюдается, маршрут слишком длинный или слишком короткий, маршруты часто меняются.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Злобина Н.И., Денисов Г.А., Белокуров В.П., Климова Г.Н. Пути повышения безопасности работы городского пассажирского транспорта // Университетская наука - 2016 тезисы докладов Международной научно-технической конференции в 3-х томах. Приазовский государственный технический университет. 2016. С. 258.
2. Кулев А.В., Новиков А.Н., Кулев М.В., Кулева Н.С. Повышение эффективности функционирования городского пассажирского транспорта // Информационные технологии и инновации на транспорте материалы 2-ой Международной научно-практической конференции. 2016. С. 378-382.
3. Гукетлев Ю.Х., Ткачева Я.С., Хажокова С.С., Шаповалова Н.Г. Исследование транспортных передвижений населения г. Майкоп // Мир транспорта и технологических машин. 2019. № 3 (66). С. 51-57.
4. Белокуров В.П., Бусарин Э.Н., Кораблев Р.А., Гукетлев Э.Ю., Гасанов И.М. Особенности формиро-

вания маршрутной сети городского пассажирского транспорта // Актуальные вопросы инноваций в условиях рыночной экономики: Сборник статей по материалам научно-практической конференции. Автомобильно-транспортный институт. 2023. С. 110-115.

5. Белокуров В.П., Кораблев Р.А., Бусарин Э.Н., Гукетлев Э.Ю. Моделирование пассажирских перевозок в зависимости от изменения пассажиропотока в течении года // Мир транспорта и технологических машин. 2022. №4-2 (79). С. 62-69.

6. Беданов М.К., Гукетлев Ю.Х., Ткачева Я.С., Гукетлев Э.Ю. Повышение эффективности сезонных пассажирских перевозок в южных городах (на примере г.Майкопа) // Вестник Национального Института Бизнеса. 2022. №2(46). С. 29-37.

7. Гукетлев Ю.Х., Ткачева Я.С., Гукетлев Э.Ю. Оптимальное распределение сезонного дополнительного пассажирского транспорта в летний период времени в городах Юга России // Мир транспорта и технологических машин. 2022. №3-1(78). С. 50-57.

8. Родькина Е.М., Кожин Г.В., Володькин П.П. Разработка комплексного подхода к решению вопросов транспортного обслуживания населения // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. №4-1(15-1). С. 378-383.

9. Хажокова С.С., Ткачева Я.С. Анализ пассажиропотока населения республики Адыгея // Тенденции развития науки и образования. 2022. №87-4. С. 143-146.

10. Хажокова С.С., Ермолин А.Н. Обследование пассажиропотока республики Адыгея // Научный журнал. Вестник Донецкой академии транспорта. №1. Донецк (ДАТ). 2023. С. 22-29.

11. Хажокова С.С., Ткачева Я.С., Шаповалова Н.Г. Логистический принцип доступности городского пассажирского транспорта // Сборник научных трудов по результатам XL международной научно-практической конференции «Наука России: Цели и задачи». Самара: Научный центр «LJournal». 2023. 100 с.

12. Васильева В.В., Юнг А.А., Шевцова А.Г. Оценка влияния СИМ на показатели транспортного потока при совместном движении // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №1-2(80). С. 43-49.

13. Корчагин В.А., Новиков А.Н., Ляпин С.А., Ризаева Ю.Н. Сложные саморазвивающиеся транспортные системы // Мир транспорта и технологических машин. 2016. №2(53). С. 110-116.

14. Исследование пассажиропотока визуальным методом в г.Орле: св-во о регистрации базы данных 2022621668 RU. № 2022621506 / Новиков А.Н. Кулев А.В., Кулев М.В., Ломакин Д.О., Васильева В.В.; заявл. 24.06.22; опубл. 08.07.22.

15. Исследование пассажиропотока и пассажирообмена табличным методом на маршрутной сети городского пассажирского транспорта: св-во о регистрации базы данных 2023620711 RU. №2023620381 / Родимцев С.А. Кулев А.В., Кулев М.В., Ломакин Д.О., Родичев А.Ю.; заявл. 13.02.23; опубл. 27.02.23.

**Хажокова Саният Султановна**

Майкопский государственный технологический университет

Адрес: 385000, Россия, г. Майкоп, ул. Первомайская, д. 191

К.э.н., доцент кафедры автомобильного транспорта

E-mail: sonyahazhokov@mail.ru

**Ткачева Яна Сергеевна**

Майкопский государственный технологический университет

Адрес: 385000, Россия, г. Майкоп, ул. Первомайская, д. 191

К.э.н., зав. кафедрой автомобильного транспорта

E-mail: tkachev4@mail.ru

S.S. KHAZHOKOVA, Y.S. TKACHEVA

**ANALYSIS OF THE SYSTEM OF TRANSPORT SERVICES FOR THE POPULATION OF THE REPUBLIC OF ADYGEA AND THE YABLONOVO URBAN AGGLOMERATION**

*Abstract. The article is devoted to the disclosure of the problem of public transport services, taking into account the peculiarities of the region. The analysis of the transport mobility of the population is carried out. Solving the problems of the functioning of the transport complex of the Republic of Adygea requires an integrated approach. It is necessary to improve the route network, ensure greater accessibility of transport for the public, and improve road safety.*

*Keywords:* transport, public transport, methods of passenger traffic survey, transport mobility of the population, passenger survey, urban agglomeration

## BIBLIOGRAPHY

1. Zlobina N.I., Denisov G.A., Belokurov V.P., Klimova G.N. Puti povysheniya bezopasnosti raboty gorodskogo passazhirskogo transporta // Universitetskaya nauka - 2016 tezisy dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii v 3-kh tomakh. Priazovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet. 2016. S. 258.
2. Kulev A.V., Novikov A.N., Kulev M.V., Kuleva N.S. Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya gorodskogo passazhirskogo transporta // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte materialy 2-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2016. S. 378-382.
3. Guketlev YU.H., Tkacheva YA.S., Hazhokova S.S., Shapovalova N.G. Issledovanie transportnykh peredvizheniy naseleniya g. Maykop // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2019. № 3 (66). S. 51-57.
4. Belokurov V.P., Busarin E.N., Korablev R.A., Guketlev E.YU., Gasanov I.M. Osobennosti formirovaniya marshrutnoy seti gorodskogo passazhirskogo transporta // Aktual'nye voprosy innovatsiy v usloviyakh rynochnoy ekonomiki: Sbornik statey po materialam nauchno-prakticheskoy konferentsii. Avtomobil'no-transportnyy institut. 2023. S. 110-115.
5. Belokurov V.P., Korablev R.A., Busarin E.N., Guketlev E.YU. Modelirovaniye passazhirskikh perevozok v zavisimosti ot izmeneniya passazhiropotoka v techenii goda // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2022. №4-2 (79). S. 62-69.
6. Bedanokov M.K., Guketlev YU.H., Tkacheva YA.S., Guketlev E.YU. Povyshenie effektivnosti sezonnnykh passazhirskikh perevozok v yuzhnykh gorodakh (na primere g. Maykopa) // Vestnik Natsional'nogo Instituta Biznesa. 2022. №2(46). S. 29-37.
7. Guketlev YU.H., Tkacheva YA.S., Guketlev E.YU. Optimal'noe raspredelenie sezonnogo dopolnitel'nogo passazhirskogo transporta v letniy period vremeni v gorodakh Yuga Rossii // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2022. №3-1(78). S. 50-57.
8. Rod'kina E.M., Kozhin G.V., Volod'kin P.P. Razrabotka kompleksnogo podkhoda k resheniyu voprosov transportnogo obsluzhivaniya naseleniya // Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovanii XXI veka: teoriya i praktika. 2015. T. 3. №4-1(15-1). S. 378-383.
9. Hazhokova S.S., Tkacheva YA.S. Analiz passazhiropotoka naseleniya respubliki Adygeya // Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya. 2022. №87-4. S. 143-146.
10. Hazhokova S.S., Ermolin A.N. Obsledovanie passazhiropotoka respubliki Adygeya // Nauchnyy zhurnal. Vestnik Donetskoy akademii transporta. №1. Donetsk (DAT). 2023. S. 22-29.
11. Hazhokova S.S., Tkacheva YA.S., Shapovalova N.G. Logisticheskiy printsip dostupnosti gorodskogo passazhirskogo transporta // Sbornik nauchnykh trudov po rezul'tatam XL mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Nauka Rossii: Tseli i zadachi». Samara: Nauchnyy tsentr «LJournal». 2023. 100 s.
12. Vasil'eva V.V., Yung A.A., Shevtsova A.G. Otsenka vliyaniya SIM na pokazateli transportnogo potoka pri sovmestnom dvizhenii // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №1-2(80). S. 43-49.
13. Korchagin V.A., Novikov A.N., Lyapin S.A., Rizaeva YU.N. Slozhnye samorazvivayushchiesya transportnye sistemy // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2016. №2(53). S. 110-116.
14. Issledovanie passazhiropotoka vizual'nym metodom v g.Orle: sv-vo o registratsii bazy dannykh 2022621668 RU. № 2022621506 / Novikov A.N. Kulev A.V., Kulev M.V., Lomakin D.O., Vasil'eva V.V.; zayavl. 24.06.22; opubl. 08.07.22.
15. Issledovanie passazhiropotoka i passazhiroobmena tablichnym metodom na marshrutnoy seti gorodskogo passazhirskogo transporta: sv-vo o registratsii bazy dannykh 2023620711 RU. №2023620381 / Rodimtsev S.A. Kulev A.V., Kulev M.V., Lomakin D.O., Rodichev A.YU.; zayavl. 13.02.23; opublyu 27.02.23.

**Khazhokova Saniyat Sultanovna**

Maikop State Technological University

Adress: 385000, Russia, Maikop, ul. Pervomayskaya, 191

Candidate of Economic Sciences

E-mail: sonyahazhokov@mail.ru

**Yana Sergeevna Tkacheva**

Maikop State Technological University

Adress: 385000, Russia, Maikop, ul. Pervomayskaya, 191

Candidate of Economic Sciences

E-mail: tkachev4@mail.ru

Научная статья

УДК 656.13

doi: 10.33979/2073-7432-2025-3-1(90)-68-75

Д.Р. КРАЙНОВ, М.В. ПОЛУЭКТОВ

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕСУРСА ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

**Аннотация.** Проведён общий анализ долговечности элементов топливной аппаратуры дизельных двигателей. На основе данных, полученных на предприятии грузового автосервиса, определены характеристики ресурса форсунок и топливных насосов высокого давления (ТНВД). Исследованы факторы, способствующие снижению ресурса форсунок и ТНВД. Построена схема взаимосвязи факторов, сделаны предложения эксплуатационного характера по поддержанию величины ресурса элементов дизельной топливной аппаратуры на высоком уровне.

**Ключевые слова:** топливная аппаратура дизельного двигателя, форсунка, топливный насос высокого давления, ресурс, долговечность, эксплуатационные факторы

### **Введение**

Одной из важнейших систем дизельного двигателя является система питания двигателя топливом, также известная как дизельная топливная аппаратура (ДТА) [1, 2]. Отклонение параметров работы данной системы от нормативных значений приводит не только к снижению производительности автомобилей, но и к нарушению экологических норм, а в отдельных случаях – к пожару или взрыву. Таким образом, обеспечение высокой надёжности ДТА является актуальной задачей. При этом, несмотря на активное продвижение автомобилей с электрическим приводом, сектор дизельных грузовых автомобилей остаётся крайне востребованным.

Анализ имеющихся публикаций показал, что многие из них посвящены вопросам долговечности элементов двигателей тракторов, сельхозмашин, карьерных самосвалов и тепловозов [3, 4]. Применительно к автомобильным двигателям часть публикаций посвящена вопросам диагностирования неисправностей ДТА [5-7]. Имеются исследования характеристик безотказности ДТА автомобилей семейств КамАЗ, Урал, Фиат Дукато [8-10]. Рассматриваются отдельные методы повышения ресурса деталей и сопряжений [11, 12]. Ряд авторов рассматривает влияние отдельных факторов на надёжность системы [13, 14].

Таким образом, проблема долговечности элементов системы и ДТА в целом применительно к автомобильным двигателям в имеющихся публикациях рассматривается недостаточно.

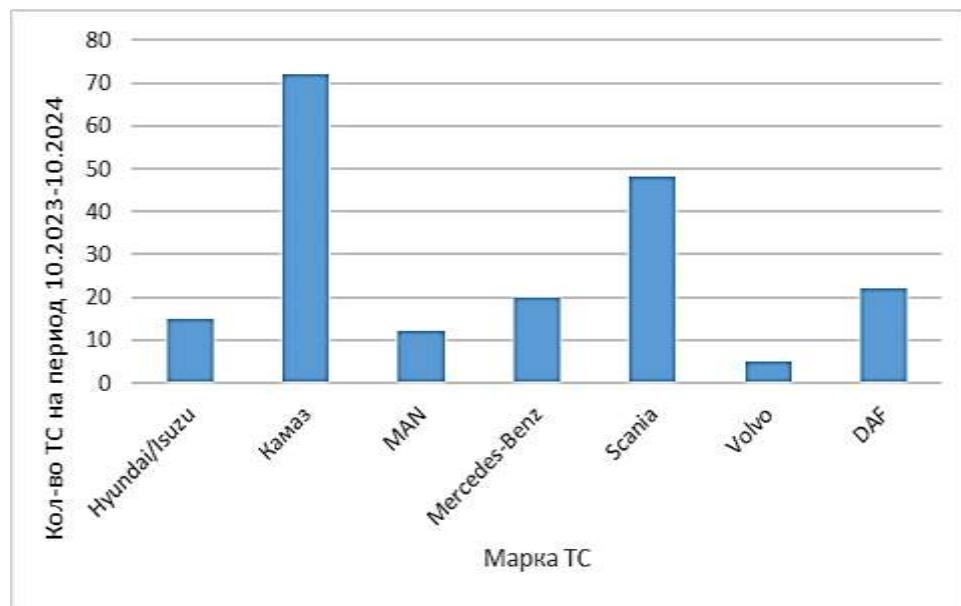
### **Материал и методы**

Предлагаемое исследование посвящено изучению характерных неисправностей ДТА и её долговечности в целом. Исследование опирается как на теоретические предпосылки, так и на практический материал, полученный в ходе работы одного из предприятий автосервиса, расположенного в г. Волгограде и обслуживающего грузовые автомобили средней и большой грузоподъёмности.

Рассматриваемое предприятие оказывает широкий спектр услуг по ТО и ремонту автотранспортных средств. На участок топливной аппаратуры в среднем приходится 15 % от общего количества обращений клиентов. Клиентами предприятия являются преимущественно автотранспортные предприятия, эксплуатирующие грузовые автомобили, из г. Волгограда (68 % обращений), других городов (18 %), а также частные владельцы грузового автотранспорта (14 %).

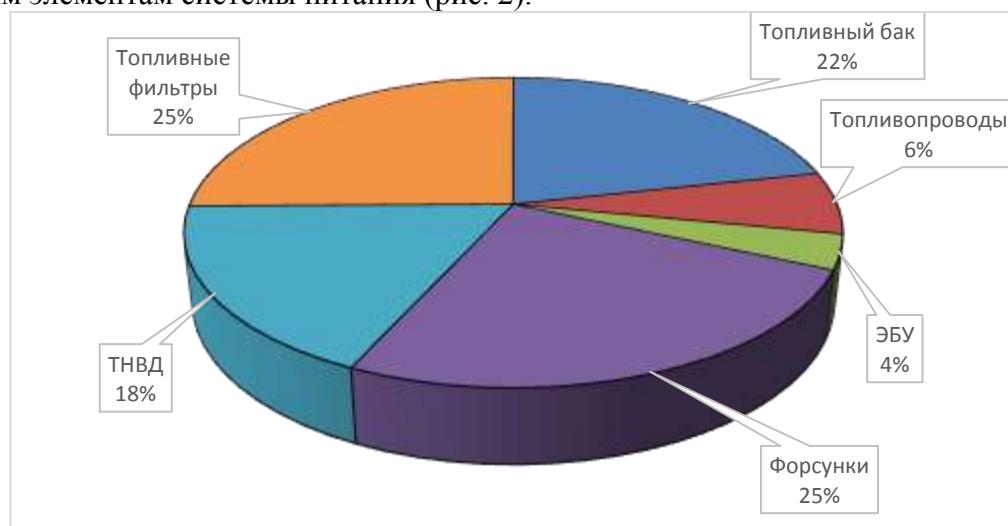
В рамках данного исследования были рассмотрены только те клиенты предприятия, которые обратились за услугами по ТО или ремонту топливной аппаратуры в течение одного года. Распределение услуг по маркам автотранспортных средств представлено на рисунке 1.

© Д.Р. КРАЙНОВ, М.В. ПОЛУЭКТОВ, 2025



*Рисунок 1 - Распределение количества обращений на ТО и ремонт ДТА по маркам автотранспортных средств на исследуемом предприятии*

Существуют различные варианты исполнения ДТА [1, 2, 15, 16], но все они имеют практически одинаковый набор элементов, определяющих техническое состояние системы в целом. В ходе исследования был проведён анализ распределения обращений на предприятие по основным элементам системы питания (рис. 2).



*Рисунок 2 - Распределение обращений на ремонт ДТА по элементам системы*

Основным методом исследования является пассивный эксперимент со статистической обработкой его результатов.

### **Теория / Расчёт**

В рамках исследования была выполнена оценка относительной долговечности элементов ДТА, перечисленных на рисунке 2. Критическими по ресурсу элементами системы признаны форсунки и ТНВД, которые стали объектом детального исследования.

Была проанализирована выборка топливных форсунок автомобилей семейства КамАЗ, включающая 100 единиц [17, 18]. Гистограмма распределения наработки приведена на рисунке 3, а статистическая функция интенсивности отказов – на рисунке 4.

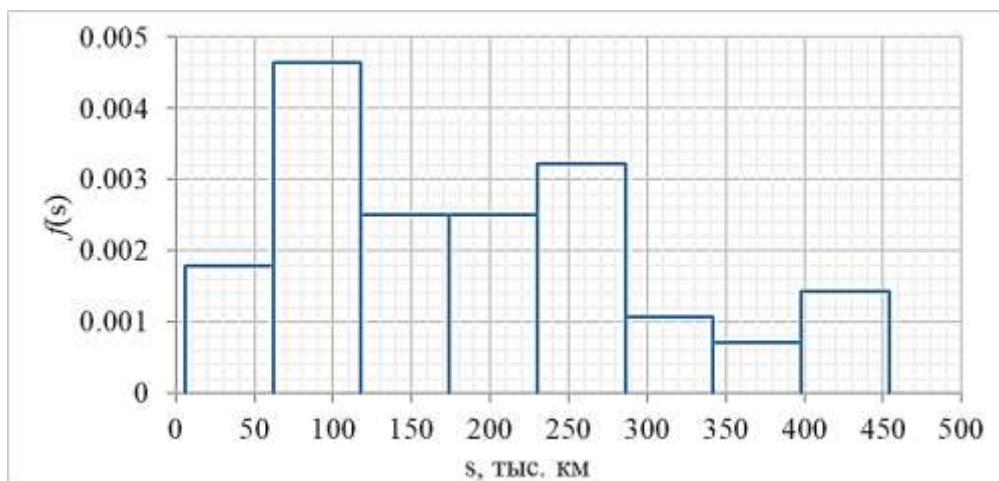


Рисунок 3 - Гистограмма распределения наработки форсунок автомобилей КамАЗ, обслуживаемых на исследуемом предприятии

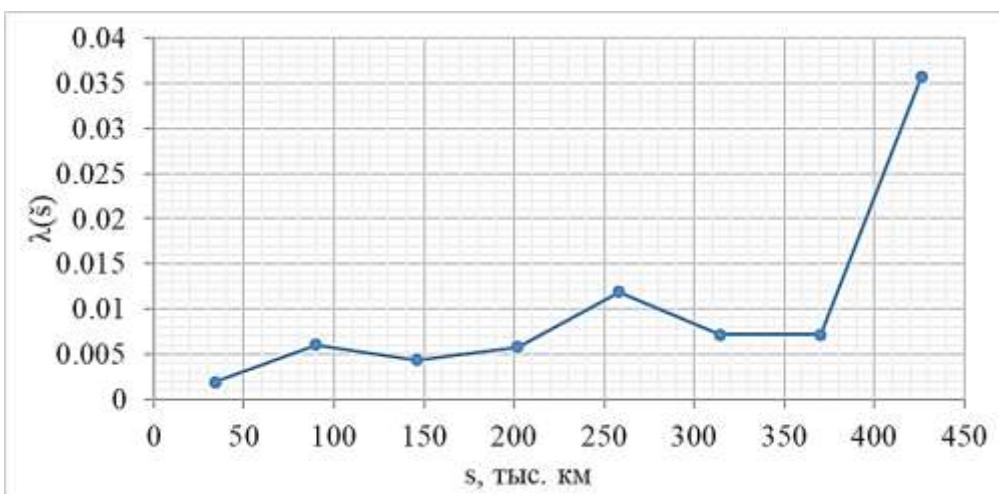


Рисунок 4 - Статистическая функция интенсивности отказов форсунок

По графикам зависимостей были выдвинуты гипотезы о том, что исследуемая функция представляет собой нормальное распределение или распределение Вейбулла. С использованием критерия согласия Пирсона, было окончательно установлено, что законом, которому подчиняется данное распределение, является распределением Вейбулла. При этом математическое ожидание ресурса форсунки составило 190 тыс. км.

Аналогичное исследование массива отказов ТНВД дало схожий результат (рис. 5). Зависимость подчиняется закону Вейбулла, а математическое ожидание ресурса составило 180 тыс. км.

Завод-производитель дает гарантию на автомобиль и его комплектующие, включая форсунки и ТНВД, в два года или 100 тыс. км пробега [19]. Таким образом, полученные значения ресурса почти вдвое превосходят гарантийный пробег, это говорит о достаточно высокой надежности узла. Тем не менее, полученная величина позволяет рекомендовать дополнение работ ТО, проводимого при пробеге в 175 тыс. км углубленной диагностикой форсунок, включая качество распыла, величину подачи и обратный слив топлива, а также ТНВД. Это позволит избежать внезапных отказов и в целом повысить долговечность узла.

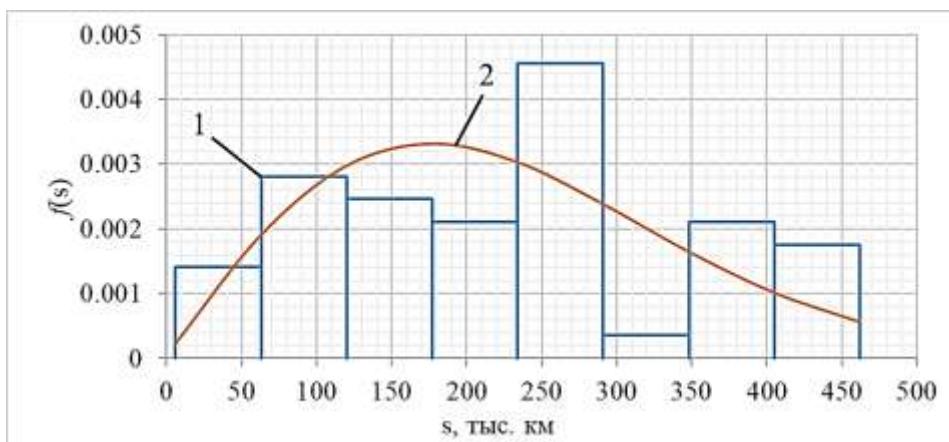


Рисунок 5 - Гистограмма (1) и плотность распределения (2) наработка ТНВД исследуемых автомобилей

### Результаты

Одной из ключевых задач исследования является не просто определение величины ресурса элементов, а оценка влияния на них факторов различного вида. Для каждого автомобиля, вошедшего в выборку, проведён детальный анализ таких факторов с использованием всей доступной информации. В порядке убывания значимости факторы распределились следующим образом:

- использование некачественного дизельного топлива;
- попадание воды в систему питания;
- перегрев двигателя вследствие работы автомобиля с перегрузом (не допускается правилами дорожного движения, но, к сожалению, встречается);
- несвоевременная замена фильтрующих элементов;
- использование запасных частей и топливных фильтров низкого качества;
- разрушение перегородок топливного бака, что приводит к попаданию металлической стружки в систему питания.

Более половины клиентов предприятия (63 % от общего числа обратившихся с неисправностями ДТА) приводят жалобы на качество дизельного топлива, реализуемого на тех или иных АЗС. В рамках исследования не всегда была возможность проверки соответствия топлива требованиям ГОСТ 305 – 2013, но по косвенным признакам были сделаны предположения о несоответствии смазывающих свойств, фракционного состава, содержания серы и др. Вместе с тем, значимость параметров топлива для ресурса ДТА крайне высока [20-22]. На рисунке 6 показан пример деталей ТНВД, имеющих аварийный износ вследствие использования дизельного топлива с низкой смазывающей способностью.



Рисунок 6 – Износ подкачивающего насоса ТНВД вследствие использования дизельного топлива с малой смазывающей способностью

Наличие воды в топливе способствует интенсивной коррозии рабочих поверхностей, а некачественная очистка топлива – абразивному изнашиванию, что также установлено в ходе изучения рабочих поверхностей деталей (рис. 7).



Рисунок 7 – Коррозионный и абразивный износ элементов форсунки

#### *Обсуждение*

Исследование выявило существенное взаимное влияние технического состояния одних элементов на интенсивность изменения состояния других. В частности, коррозионные процессы внутри топливного бака негативно сказываются на долговечности ТНВД и форсунок, однако выявление этих процессов затруднительно, поскольку внешние диагностические признаки их не отражают. На рис. 8 приведены примеры коррозии топливных баков автомобилей клиентов рассматриваемого предприятия.



Рисунок 8 – Примеры коррозии топливных баков автомобилей

В исследуемую выборку попали также примеры, в которых из-за несвоевременного обслуживания ДТА возникла необходимость в дорогостоящем ремонте других систем двигателя (рис. 9).

Приведённые выше качественные характеристики были переведены в количественные путём оценки частоты проявления различных факторов, влияющих на ресурс форсунок и ТНВД дизельного двигателя среди клиентов рассматриваемого предприятия. Результаты проведённой работы представлены в виде схемы (рис. 10), на которой цифрами возле линий связи указан вклад (доля) того или иного фактора в снижение ресурса форсунок или ТНВД по отношению к нормативному. Как видно, нижний уровень схемы целиком состоит из характеристик применяемого дизельного топлива.



Рисунок 9 – Последствия эксплуатации ТС с неисправной ДТА

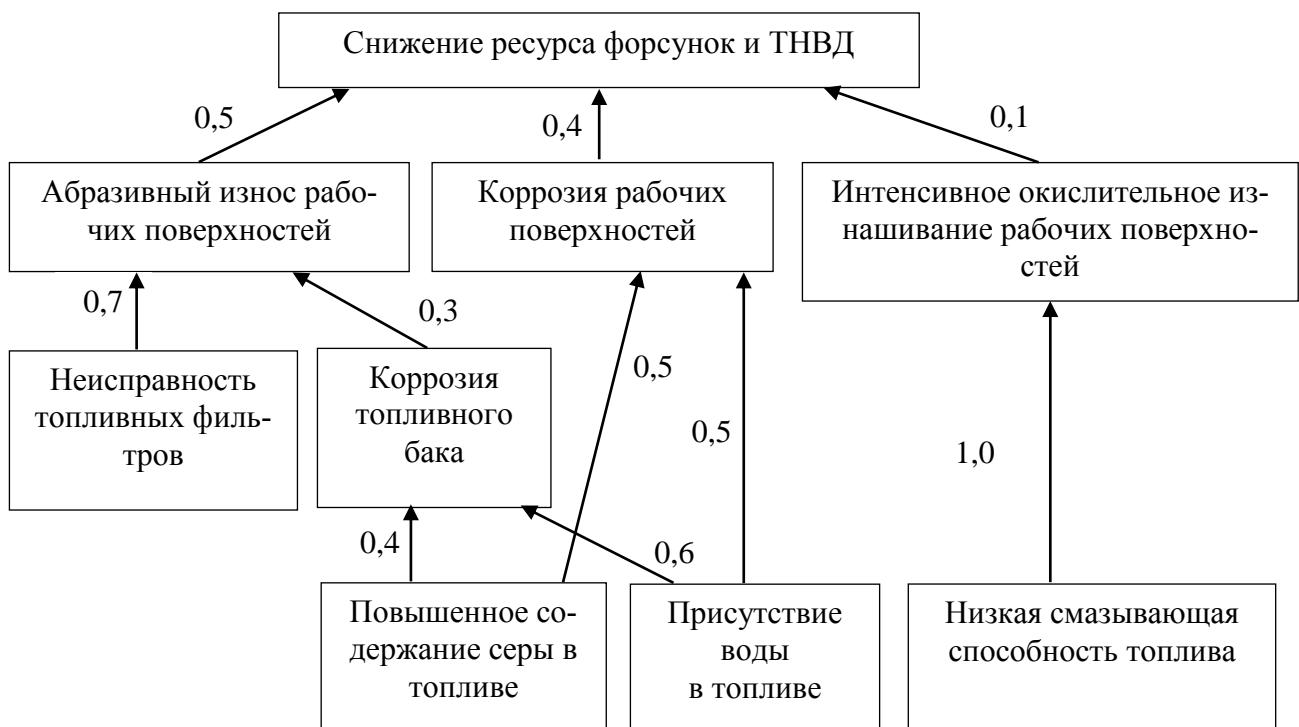


Рисунок 10 – Схема взаимосвязи факторов, определяющих ресурс форсунок и ТНВД дизельного двигателя

### Выводы

В ходе проведённого исследования был сделан вывод, что для обеспечения высокой величины ресурса форсунок и ТНВД автомобилей КамАЗ необходимо:

- заправлять автомобиль на проверенных АЗС. Если была совершена вынужденная заправка на сомнительной АЗС, необходимо провести диагностику системы питания, а при возможности – оценить соответствие параметров топлива требованиям ГОСТ 305 - 2013;
- своевременно производить ТО системы, чтобы гарантировать качественную работу фильтров и других элементов. Обращать внимание на такие диагностические признаки, как дымный выхлоп, затруднённый пуск двигателя, снижение мощности;
- рекомендовать включение в состав ТО - 175 тыс. км детальной диагностики топливных форсунок и ТНВД, поскольку данное обслуживание предшествует критическому пробегу, при котором указанные элементы с наибольшей вероятностью выходят из строя.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хорош А.И., Хорош И.А. Дизельные двигатели транспортных и технологических машин: Учебное пособие. 2-е изд., испр. С-Пб.: Лань, 2022. 704 с.
2. Белов В.П., Апелинский Д.В. Системы питания ДВС. М.: ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», 2021. 107 с.
3. Жданко Д.А., Мухля О.О. Оценка технического состояния форсунок топливной системы Common Rail на примере трактора Беларус с двигателем Д-243.5S3B // Агропанорама. 2021. №5. С. 34-39.
4. Лебедев А.Т., Болотков А.Л., Лебедев П.А. Повышение долговечности распылителей форсунок автотракторных дизелей // Вестник АПК Ставрополья. 2018. №2. С. 34-37.
5. Ременцов А.Н. Диагностика систем питания бензиновых и дизельных двигателей // Грузовое и пассажирское автохозяйство. 2015. №2. С. 67-71.
6. Сенин П.В., Галин Д.А. Диагностика форсунок топливной системы Common Rail // Нива Поволжья. 2016. №4. С. 113-120.
7. Новиков С.В., Загородний Н.А., Семыкина А.С., Конев А.А. Анализ резервов возможностей безразборных методов диагностирования состояния грузовых автомобилей // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №4-3 (87). С. 45-54.
8. Гусельников А.С. Влияние эксплуатационной скорости на параметр потока отказов элементов системы питания двигателей автомобилей КАМАЗ-43118 // Транспортное машиностроение. 2024. №2(26). С. 40-48.
9. Гусельников А.С., Захаров Н.С. Исследование влияния условий эксплуатации на надежность элементов топливной аппаратуры автомобилей Урал-4320 // Транспорт Урала. 2023. №4(79). С. 83-89.
10. Баженов Ю.В., Баженов М.Ю., Каленов В.П. Исследование эксплуатационной надежности систем питания топливом дизельных двигателей // Мир транспорта и технологических машин. 2021. №3(74). С. 9-16.
11. Благова О., Лебедев А.Т., Лебедев П.А., Васин В.А. К вопросу повышения ресурса прецизионных деталей топливной аппаратуры // Труды ГОСНИТИ. 2014. Т. 116. С. 108-113.
12. Шахов В.В., Затин И.М. [и др.] Основные дефекты и способы восстановления прецизионных деталей топливных насосов высокого давления дизельных ДВС // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2024. №2(106). С. 109-114.
13. Борисов Г.А., Колодяжная И.Н., Ичанкин Ю.В. Анализ условий эксплуатации дизельных двигателей в условиях пониженных температур // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2013. №1(17). С. 38-43.
14. Гапиров А.Д. О проблемах эксплуатации дизельных ДВС с современными системами топливоподачи // Вопросы науки и образования. 2018. №24(36). С. 16-18.
15. Краснокутский В.В., Русанов М.А., Троицкая И.П. Системы питания дизельных двигателей. Ч. 2. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2017. 61 с.
16. Зотов Н.М., Ткаченко А.С., Хамидулина А.Р. Экспертиза допустимости изменения систем питания и охлаждения дизельных автомобильных двигателей // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы. 2011. Т. 4. №12(85). С. 72-75.
17. Шишмарёв В.Ю. Надежность технических систем: Учебник для вузов. 2-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2023. 289 с.
18. Чернышов К.В. Показатели надёжности технических систем: наработка до отказа, ресурс, срок службы: Учебное пособие. ВолгГТУ, 2007. 80 с.
19. Автомобили КамАЗ-43253, 43255, 53229, 55111, 65115, 65116, 65117, 6540. Руководство по эксплуатации. М.: АвтоАльфа, 2018. 241 с.
20. Зыков С.А., Марков В.А., Крылов В.И. Исследования загрязненности и обводнености дизельного топлива. Часть 2 // АвтоГазоЖивочный комплекс + Альтернативное топливо. 2017. Т. 16. №5. С. 203-220.
21. Корнеев С.В., Бакулина В.Д., Пашукевич С.В. Использование показателей качества моторных масел в оценке периодичности их замены в двигателях внутреннего сгорания автомобилей // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №4-2(83). С. 3-8.
22. Чванов К.Г. Современные подходы к оценке технического состояния дизельной топливной аппаратуры // Управление рисками в АПК. 2016. №7. С. 13-19.

**Крайнов Даниил Романович**

Волгоградский государственный технический университет

Адрес: 40005, Россия, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, 28

Магистрант

E-mail: daniel2001kdr@yandex.ru

**Полуэктов Михаил Владимирович**

Волгоградский государственный технический университет

Адрес: 40005, Россия, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, 28

К.т.н., доцент кафедры «Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей»

E-mail: poluektov@vstu.ru

**D. R. KRAYNOV, M.V. POLUEKTOV  
TRUCKS DIESEL ENGINE FUEL EQUIPMENT  
RESOURCE INVESTIGATION**

**Abstract.** A general analysis of the durability of diesel engine fuel equipment components has been conducted. Based on data obtained at a truck service center, the resource characteristics of injectors and high-pressure fuel pumps (HPFP) have been determined. Factors contributing to a decrease in the resource of injectors and HPFPs have been studied. A diagram of the relationship between factors has been constructed, and operational proposals have been made to maintain the resource value of diesel fuel equipment components at a high level.

**Keywords:** diesel engine fuel equipment, injector, high-pressure fuel pump, resource, durability, operational factors

## BIBLIOGRAPHY

1. Horosh A.I., Horosh I.A. Dizel'nye dvigateli transportnykh i tekhnologicheskikh mashin: Uchebnoe posobie. 2-e izd., ispr. S-Pb.: Lan`, 2022. 704 s.
2. Belov V.P., Apelinskiy D.V. Sistemy pitaniya DVS. M.: FGBOU VO «Moskovskiy politekhnicheskiy universitet», 2021. 107 s.
3. ZHdanko D.A., Mukhlya O.O. Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya forsunok toplivnoy sistemy Common Rail na primere traktora Belarus s dvigatelem D-243.5S3B // Agropanorama. 2021. №5. S. 34-39.
4. Lebedev A.T., Bolotkov A.L., Lebedev P.A. Povyshenie dolgovechnosti raspyliteley forsunok avtomobilnykh dizelyey // Vestnik APK Stavropol`ya. 2018. №2. S. 34-37.
5. Rementsov A.N. Diagnostika sistem pitaniya benzinykh i dizel`nykh dvigateley // Gruzovoe i pasazhirskoe avtokhozyaystvo. 2015. №2. S. 67-71.
6. Senin P.V., Galin D.A. Diagnostika forsunok toplivnoy sistemy Common Rail // Niva Povolzh`ya. 2016. №4. S. 113-120.
7. Novikov S.V., Zagorodniy N.A., Semykina A.S., Konev A.A. Analiz rezervov vozmozhnostey bezrashennykh metodov diagnostirovaniya sostoyaniya gruzovykh avtomobiley // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №4-3 (87). S. 45-54.
8. Gusel`nikov A.S. Vliyanie ekspluatatsionnoy skorosti na parametr potoka otkazov elementov sistemy pitaniya dvigateley avtomobiley KAMAZ-43118 // Transportnoe mashinostroenie. 2024. №2(26). S. 40-48.
9. Gusel`nikov A.S., Zakharov N.S. Issledovanie vliyaniya usloviy ekspluatatsii na nadezhnost` elementov toplivnoy apparatury avtomobiley Ural-4320 // Transport Urala. 2023. №4(79). S. 83-89.
10. Bazhenov YU.V., Bazhenov M.YU., Kalenov V.P. Issledovanie ekspluatatsionnoy nadezhnosti sistem pitaniya toplivom dizel`nykh dvigateley // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2021. №3(74). S. 9-16.
11. Blagova O., Lebedev A.T., Lebedev P.A., Vasin V.A. K voprosu povysheniya resursa pretsizionnykh detaley toplivnoy apparatury // Trudy GOSNITI. 2014. T. 116. S. 108-113.
12. Shakhov V.V., Zatin I.M. [i dr.] Osnovnye defekty i sposoby vosstanovleniya pretsizionnykh detaley toplivnykh nasosov vysokogo davleniya dizel`nykh DVS // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024. №2(106). S. 109-114.
13. Borisov G.A., Kolodyazhnaya I.N., Ichankin YU.V. Analiz usloviy ekspluatatsii dizel`nykh dvigateley v usloviyakh ponizhennykh temperatur // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva. 2013. №1(17). S. 38-43.
14. Gapirov A.D. O problemakh ekspluatatsii dizel`nykh DVS s sovremennymi sistemami toplivopodachi // Voprosy nauki i obrazovaniya. 2018. №24(36). S. 16-18.
15. Krasnokutskiy V.V., Rusanov M.A., Troyanovskaya I.P. Sistemy pitaniya dizel`nykh dvigateley. Ch. 2. Chelyabinsk: Izdatel`skiy tsentr YUUrGU, 2017. 61 s.
16. Zотов N.M., Ткаченко A.S., Хамидуллина A.R. Ekspertiza dopustimosti izmeneniya sistem pitaniya i okhlazhdeniya dizel`nykh avtomobil`nykh dvigateley // Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Nazemnye transportnye sistemy. 2011. T. 4. №12(85). S. 72-75.
17. Shishmariov V.YU. Nadezhnost` tekhnicheskikh sistem: Uchebnik dlya vuzov. 2-e izd., ispr. i dop. M.: YUrayt, 2023. 289 s.
18. Chernyshov K.V. Pokazateli radiozhnosti tekhnicheskikh sistem: narabotka do otkaza, resurs, srok sluzhby: Uchebnoe posobie. VolgGTU, 2007. 80 s.
19. Avtomobili KamAZ-43253, 43255, 53229, 55111, 65115, 65116, 65117, 6540. Rukovodstvo po ekspluatatsii. M.: AvtoAl`fa, 2018. 241 s.
20. Zykov S.A., Markov V.A., Krylov V.I. Issledovaniya zagryaznennosti i obvodnenosti dizel`nogo topliva. Chast` 2 // AvtoGazoZapravochnyy kompleks + Al`ternativnoe toplivo. 2017. T. 16. №5. S. 203-220.
21. Korneev S.V., Bakulina V.D., Pashukevich S.V. Ispol`zovanie pokazateley kachestva motornykh masel v otsenke periodichnosti ikh zameny v dvigatelyakh vnutrennego sgoraniya avtomobiley // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №4-2(83). S. 3-8.
22. CHvanov K.G. Sovremennye podkhody k otsenke tekhnicheskogo sostoyaniya dizel`noy toplivnoy apparatury // Upravlenie riskami v APK. 2016. №7. S. 13-19.

**Kraynov Daniil Romanovich**

Volgograd state technical university

Address: Russia, Volgograd, Lenin avenue, 28

Master's student

E-mail: daniel2001kdr@yandex.ru

**Poluektov Mikhail Vladimirovich**

Volgograd state technical university

Address: Russia, Volgograd, Lenin avenue, 28

Candidate of technical science

E-mail: poluektov@vstu.ru

Научная статья  
УДК 656.09  
doi: 10.33979/2073-7432-2025-3-1(90)-76-83

Е.И. ЛЕЖНЕВА

## К ВОПРОСУ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ВОДИТЕЛЯ

**Аннотация.** В работе обобщены факторы, которые могут негативно повлиять на способность управлять транспортным средством с учетом психофизиологического состояния водителя. Представлены результаты опроса водителей индивидуальных транспортных средств для ранжирования факторов, которые влияют на их функциональное состояние. Описано потенциальное воздействие неблагоприятных факторов внешней среды на водителей, включая негативные эффекты отдельных токсичных веществ, содержащихся в отработавших газах двигателей внутреннего сгорания, что может приводить к снижению внимания и реакции водителей, увеличивая риск дорожно-транспортных происшествий.

**Ключевые слова:** автотранспорт, транспортный поток, затор, внешняя среда, факторы, токсичные вещества, утомляемость

### Введение

Деятельность водителя можно сравнить с работой оператора в условиях, характеризующихся определенной вероятностью возникновения аварийных ситуаций, необходимостью обработки больших объемов информации и возможными резкими изменениями функциональных состояний. Эти состояния могут варьироваться от монотонной работы и спокойствия до стрессовых ситуаций и повышенной эмоциональной нагрузки [1]. Такие специфические условия требуют от водителя повышенной квалификации и могут стать причиной ошибок и сбоев в его деятельности, что негативно сказывается на его работоспособности.

Поведение водителя за рулем подвержено влиянию множества факторов, начиная от его текущего эмоционального состояния и заканчивая опытом вождения и уровнем усталости. Эти факторы, взаимодействуя между собой, формируют индивидуальный стиль вождения, который оказывает непосредственное влияние на характеристики транспортного потока. В условиях высокой интенсивности движения и сложной дорожной обстановки, даже незначительные отклонения в поведении водителей могут приводить к возникновению заторов и аварийных ситуаций [2]. Это приводит к вариативности скоростных режимов и дистанций между транспортными средствами, формируя сложные паттерны движения, которые необходимо учитывать при моделировании и управлении транспортными потоками. Оптимизация этих потоков является ключевой задачей для повышения эффективности транспортных систем, снижения заторов и повышения безопасности дорожного движения [3]. Водители принимают решения относительно управления транспортными средствами в зависимости от своих целей и задач. Основные параметры транспортного потока включают интенсивность, плотность, состав и скорость движения. Человеческий фактор в транспортном потоке, являющийся ключевым элементом системы «водитель – автомобиль - среда», проявляется неизменно. Чем выше плотность транспортного потока, тем ниже скорость движения автомобилей. Плотный трафик требует от водителя повышенной концентрации внимания и быстроты реакции, что при длительном воздействии приводит к утомлению и снижению когнитивных функций. Таким образом, интенсивный и плотный транспортный поток оказывает комплексное негативное воздействие на функциональное состояние водителей, ухудшая их физическое и психическое здоровье, а также повышая риск возникновения ДТП.

Заторы на перекрестках в пиковые часы существенно увеличивают время поездки и снижают скорость движения. Пребывание в заторах негативно влияет на психофизиологическое состояние водителей, вызывая ухудшение их функциональных возможностей и ряд психических расстройств. Это, в свою очередь, приводит к изменениям в поведении водителей

© Е.И. ЛЕЖНЕВА, 2025

на дороге, что отражается на безопасности транспортного процесса за счет появления новых факторов риска дорожно-транспортных происшествий. Динамичная обстановка на дорожной сети Российской Федерации требует адаптации психологических стереотипов и моделей поведения водителей к новым условиям для обеспечения надежности работы и безопасности дорожного движения.

### **Материал и методы**

Работа системы «водитель - автомобиль - среда» определяется множеством факторов, которые оказывают значительное влияние на её эффективность, надежность и безопасность. В связи с этим важно выделить ключевые факторы, влияющие на надежность функционирования данной системы. Автор исследования [4] предлагает проводить отбор факторов учитывая:

Значимость фактора: фактор должен оказывать существенное влияние на функционирование системы.

Измеримость фактора: фактор должен быть количественно или качественно измерим.

Возможность управления фактором: на фактор должно быть возможно оказать управляющее воздействие, факторы, не поддающиеся управлению, могут быть лишь учтены при анализе, но не использованы для повышения надежности.

Взаимосвязь с другими факторами: необходимо учитывать взаимосвязь между факторами, поскольку влияние одного фактора может усиливаться или ослабляться воздействием других.

Стоимость управления фактором: управление фактором должно быть экономически оправданным.

Сгруппированные категории факторов и сами факторы, оказывающие влияние на систему «водитель - автомобиль - среда», представлены на рисунке 1.



*Рисунок 1 – Факторы, влияющие на работу системы «водитель - автомобиль - среда»*

В условиях высокой плотности транспортного потока водители ограничены в своих действиях и вынуждены адаптироваться к установленным правилам движения и характеристикам общего транспортного потока [5]. Индивидуальные водители не имеют возможности влиять на режим движения, несоблюдение которого приводит к значительному увеличению времени в пути и повышает вероятность дорожно-транспортных происшествий. В таких условиях возрастает значение системы управления транспортными потоками, которая отвечает за сбор и обработку информации о потоках и влияет на их характеристики.

### **Теория / Расчет**

Функциональное состояние водителя – это совокупность психофизиологических характеристик и параметров, определяющих его способность эффективно выполнять функции управления транспортным средством в конкретный момент времени [6]. Функциональное

состояние водителя является важным аспектом безопасности дорожного движения, так как от него зависит способность адекватно оценивать ситуацию на дороге и принимать правильные решения [7].

Утомление – это состояние, характеризующееся снижением работоспособности и активности организма, возникающее в результате длительной физической или умственной нагрузки. Оно может проявляться в виде чувства усталости, снижения концентрации внимания, ухудшения реакции и общей слабости [8].

Работоспособность – это способность человека выполнять определенные виды деятельности, задачи или работу с заданной эффективностью и качеством. Она зависит от различных факторов, включая физическое и психическое состояние, уровень подготовки, мотивацию, условия труда и окружающую среду [9].

Работоспособность может быть оценена по нескольким критериям: физическая работоспособность, т. е способность организма выполнять физические нагрузки, что включает в себя силу, выносливость, скорость и координацию движений; умственная (интеллектуальная) работоспособность, а именно способность к выполнению умственных задач, таких как анализ, решение проблем, творчество и концентрация внимания; эмоциональная работоспособность, оценивающая уровень эмоциональной устойчивости и способность справляться со стрессом и эмоциональными нагрузками. Работоспособность может изменяться в зависимости от времени суток, уровня утомления, состояния здоровья и других факторов [10]. Некоторые авторы [11] описывают работоспособность как уровень эффективности труда, при котором достигается максимальный результат без вреда для здоровья. Тип работоспособности и частота ее изменений связаны с продолжительностью фаз функционального состояния человека [1].

В соответствии с рекомендациями, представленными в [4], был определен набор факторов, которые были включены в анкету для проведения опроса водителей личного автотранспорта (рис. 2). Необходимое количество опрашиваемых было установлено исходя из информации, представленной в работе [13] и составило 200 анкет.

<b>Анкета</b>		
для определения значимости факторов, влияющих на функциональное состояние водителя		
Пол	<input type="checkbox"/> мужской <input type="checkbox"/> женский	
Возраст	<input type="checkbox"/> 20-30 <input type="checkbox"/> 30-40 <input type="checkbox"/> 40-50	<input type="checkbox"/> 50-60 <input type="checkbox"/> старше 60
<b>Какие из перечисленных факторов вызывают у Вас повышение эмоционального напряжения?</b>		
п/п	Фактор	Значимость (балл)
1	Продолжительность поездки	
2	Интенсивность движения	
3	Состояние дорожного покрытия	
4	Транспортные заторы	
5	Время суток (светлое время, темное время)	
6	Погодно-климатические условия (дождь, снег)	
7	Количество перекрестков	
8	Количество искусственных неровностей на пешеходных переходах	
<b>Примечание:</b>		
«1» балл – наиболее значимый фактор; «8» баллов – наименее значимый фактор		

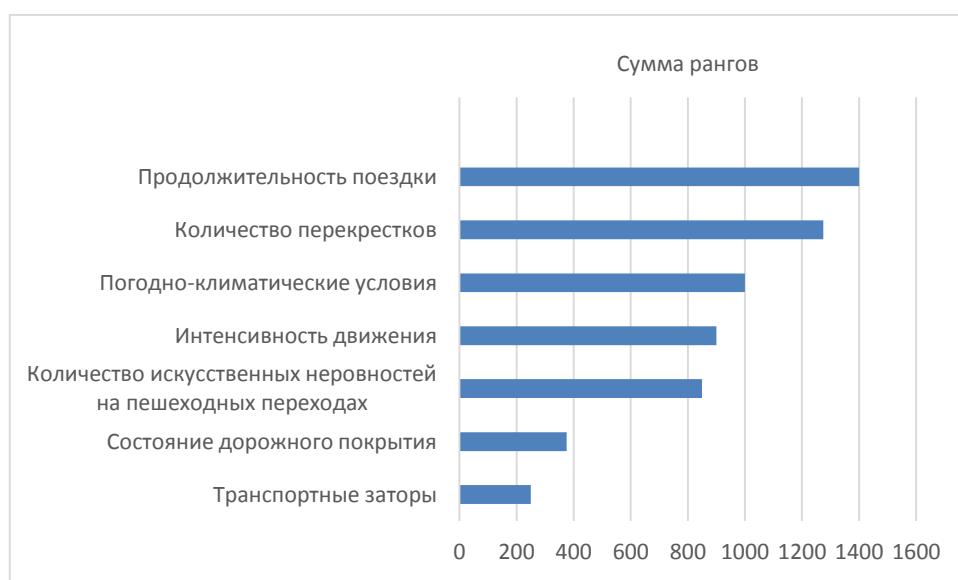
**Рисунок 2 – Бланк анкеты для опроса водителей-экспертов**

Значимость факторов в процессе исследования проводили на основании ранговой корреляции [14]. Водители-эксперты осуществляли ранжирование факторов, результаты обработки анкет опроса водителей представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты обработки анкет опроса водителей

Факторы	Эксперты					Сумма рангов
	1	2	3	...	200	
Продолжительность поездки	8	7	1		8	1400
Интенсивность движения	1	3	3		3	900
Состояние дорожного покрытия	3	4	6		2	375
Транспортные заторы	2	1	2		1	250
Время суток (светлое время, темное время)	4	6	4		6	1125
Погодно-климатические условия (дождь, снег)	5	5	5		5	1000
Количество перекрестков	7	8	8		7	1275
Количество искусственных неровностей на пешеходных переходах	6	2	7		4	850

Априорная диаграмма рангов представлена на рисунке 3.



*Рисунок 3 – Диаграмма рангов*

В ходе работы было принято решение исключить из дальнейшего анализа фактор с наибольшей суммой рангов, а именно продолжительность поездки. Согласованность мнений проводили по коэффициенту конкордации. В результате использования методики, представленной в работе [15], пришли к выводу, что полученные результаты свидетельствуют о согласованности мнений экспертов.

Также водителям ставился дополнительный вопрос про их осведомленность о возможных рисках, связанных с воздействием токсичных веществ, попадающих в салон автомобиля при движении в транспортном потоке. Результаты показали, что 78 % опрошенных никогда не задумывались о наличии таких веществ в автомобиле, а 60 % не предполагали о возможных негативных последствиях для своего здоровья от воздействия токсичных веществ отработавших газов двигателей внутреннего сгорания.

Анализ литературных источников позволил установить корреляцию между уровнем содержания токсичных веществ в атмосферном воздухе и частотой дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Эта связь обусловлена несколькими факторами:

1. Здоровье водителей: высокий уровень токсичных веществ в воздухе может негативно влиять на здоровье людей, включая водителей; хронические заболевания, вызванные загрязнением воздуха (например, заболевания легких, сердечно-сосудистые проблемы), могут снижать внимание и реакцию водителей, увеличивая риск ДТП.

2. Психоэмоциональное состояние: загрязнение воздуха может также влиять на психоэмоциональное состояние водителей, вызывая стресс, раздражительность и утомляемость,

что может привести к ухудшению концентрации и повышению вероятности совершения ошибок на дороге.

3. Погодные условия: токсичные вещества могут взаимодействовать с атмосферными условиями, создавая смог или ухудшая видимость, а плохая видимость и неблагоприятные метеорологические условия могут увеличить вероятность ДТП.

4. Качество дорожного покрытия: загрязнение может приводить к образованию налета или скользкой поверхности на дорогах, что также увеличивает риск аварий.

5. Снижение общественного транспорта: в регионах с высоким уровнем загрязнения воздуха может наблюдаться снижение использования общественного транспорта, что приводит к увеличению числа автомобилей на дорогах и, соответственно, к большему количеству ДТП.

6. Влияние на поведение водителей: загрязнение воздуха может влиять на поведение водителей, например, увеличивая агрессивность или снижая терпение, что может привести к более рискованным маневрам на дороге.

Важным шагом является создание комплексной системы анализа данных, полученных в результате медико-биологических исследований, с целью выявления факторов риска и разработки эффективных стратегий профилактики ДТП. Такая система должна учитывать индивидуальные особенности водителей, условия эксплуатации автотранспорта и факторы внешней среды (рис. 4).



*Рисунок 4 – Воздействие неблагоприятных факторов внешней среды на организм водителя*

Автотранспортные средства рассредоточены по городской территории, что способствует увеличению общего уровня загрязнения. Отработавшие газы двигателей внутреннего сгорания попадают в атмосферный воздух у поверхности земли, что затрудняет их рассеивание ветром в сравнении с промышленными выбросами, а это приводит к накоплению вредных веществ в зоне дыхания людей. При оценке состояния атмосферного воздуха чаще всего ведется учет  $CO$ ,  $CH$  и  $NO_x$  [16]. Информация о влиянии данных веществ на человека представлена в таблице 2.

Угарный газ оказывает воздействие на центральную нервную систему, что может проявляться в изменении цветовой чувствительности глаз и, следовательно, повышать риск дорожно-транспортных происшествий. Бенз(а)пирен ( $C_{20}H_{12}$ ) обладает наркотическим эффектом, вызывая состояние эйфории, что также может способствовать увеличению вероятности ДТП. По степени воздействия на здоровье человека оксиды азота представляют собой более

серьезную угрозу, чем угарный газ и их количество увеличивается в условиях затора при повышении температуры в двигателе.

Таблица 2 - Воздействие токсичных компонентов отработавших газов двигателей внутреннего сгорания на человека

Вещество	Влияние на человека
<i>CO</i>	Нарушает обмен кислорода в крови, воздействует на центральную нервную систему, нарушает работу сердечно-сосудистой системы человека
<i>CH</i>	Вызывает развитие злокачественных новообразований
<i>NO<sub>x</sub></i>	Раздражает слизистую

Описанные воздействия могут приводить к снижению внимания и реакции водителей, увеличивая риск ДТП. В группу риска в первую очередь входят таксисты, дальнобойщики, курьеры и водители общественного транспорта.

### ***Обсуждение***

Для более детального анализа влияния выявленных факторов на функциональное состояние водителей, целесообразно проведение экспериментальных исследований в условиях, максимально приближенных к реальным. Это позволит оценить изменения физиологических показателей, таких как частота сердечных сокращений, артериальное давление и электроэнцефалограмма, в зависимости от интенсивности воздействия каждого фактора.

Также, перспективным направлением исследований является разработка моделей прогнозирования функционального состояния водителя на основе анализа данных о дорожной обстановке и индивидуальных характеристик водителя. Такие модели могут быть использованы для предупреждения водителей о возможном ухудшении их функционального состояния и принятия мер для предотвращения аварийных ситуаций. Важным аспектом является также разработка эффективных методов борьбы с негативным влиянием факторов, ухудшающих функциональное состояние водителей, а именно влияние загрязненного воздуха и как следствие ухудшение концентрации внимания, увеличение времени реакции, снижение остроты зрения и возникновение головных болей, это те факторы, которые повышают риск возникновения дорожно-транспортных происшествий. Это подчеркивает необходимость изучения закономерностей изменения функционального состояния водителя на участках транспортной сети после выхода из затора.

Для дальнейшего исследования потребуется:

- наблюдение функционального состояния водителя с использованием электрокардиограммы или электроэнцефалограммы;
- разработка зависимостей времени реакции водителя с учетом его психоэмоциональных характеристик;
- оценка риска возникновения дорожно-транспортного происшествия.

### ***Выходы***

Полученные результаты позволяют сделать вывод о приоритетности факторов, влияющих на функциональное состояние водителя. Первоочередное внимание следует уделять устранению или минимизации заторов на дорогах. Это может быть достигнуто путем оптимизации дорожного движения, внедрения интеллектуальных транспортных систем и развития общественного транспорта.

Не менее важным является поддержание дорожного покрытия в надлежащем состоянии. Регулярный ремонт и своевременное устранение дефектов позволят повысить скорость движения и снизить психоэмоциональное напряжение водителей.

Что касается искусственных неровностей, то необходимо пересмотреть их применение на пешеходных переходах. Возможно, стоит использовать альтернативные способы снижения скорости, которые не создают дополнительных неудобств для водителей.

При разработке стратегий управления дорожным движением следует учитывать интенсивность потока и погодные условия. В пиковые часы необходимо принимать меры по снижению загруженности дорог, а в неблагоприятных погодных условиях – информировать водителей о возможных опасностях и рекомендовать снижение скорости.

Внедрение результатов исследований в практику позволит повысить безопасность дорожного движения и снизить количество дорожно-транспортных происшествий, связанных с ухудшением функционального состояния водителей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Душков Б.А., Королев А.В., Смирнов Б.А. Основы инженерной психологии: Учебник. Москва: Академический Проект, 2020. 574 с.
2. Капский Д.В., Пегин П.А., Лобач И.И. Психофизиология участников дорожного движения (транспортная психология): Учебно-методическое пособие. Минск: БНТУ, 2018. 385 с.
3. Давидич Ю.О. Проектирование автотранспортных технологических процессов с учетом психофизиологии водителя. Харьков: ХНАДУ, 2006. 292 с
4. Френкель А.А. Многофакторные корреляционные модели производительности труда. Изд. 2, стереотип, 2022. 100 с.
5. Беженцев А.А. Безопасность дорожного движения: Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. Москва: ИНФРА-М, 2025. 320 с.
6. Мунипов В.М., Зинченко В.П. Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и среды: Учебник. М.: Логос, 2001. 356 с.
7. Системология на транспорте / Э.В. Гаврилов, М.Ф. Дмитриченко, В.К. Доля и др. Кн. V: Эргономика. К.: Знание, 2008. 256 с.
8. Лежнева Е.И. Эффективность экспрессного режима движения автобусов в крупнейших городах: дис. ... канд. техн. наук. ХНАГХ. Х., 2007. 147 с.
9. Ведясова О.А. Руководство по физиологии труда: учебное пособие. Самара: Самарский университет, 2008. 132 с.
10. Эргономика: Учебник и практикум для среднего профессионального образования / Ю.Г. Одегов, В.Н. Сидорова, М. Н. Кулапов. М.: Юрайт, 2025. 157 с.
11. Гигиена умственного труда: учебное пособие / И.А. Молодцова, Л.П. Сливина, Е.И. Калиниченко и др. Волгоград: ВолгГМУ, 2022. 72 с.
12. Сологуб В.А., Юсупова О.В. Основы эргономики и дизайна автомобилей и тракторов: методические указания. Оренбургский гос. ун-т. Оренбург: ОГУ, 2019. 95 с.
13. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. Москва: Наука, 1971. 576 с.
14. Ерешенко Т.В., Михайлова Н.А. Планирование эксперимента: учебно-практическое пособие. Волгоград: ВолгГАСУ, 2014.
15. Галушки В.Г. Вероятностно-статистические методы на автотранспорте. К.: Высшая школа, 1976. 232 с.
16. Трофименко Ю.В. Пути повышения экологической и дорожной безопасности автотранспортного комплекса России // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12. №1-9. С. 235-239.
17. Нерубленко Д.С., Горенко Ю.В., Лежнева Е.И. Оценка функционального состояния водителя под воздействием загрязняющих веществ отработавших газов ДВС // Отраслевые проблемы экологической безопасности (2019): сборник статей V Международной научно-практической конференции студентов, магистров и аспирантов. Харьков: ХНАДУ. С. 166-169.

### Лежнева Елена Ивановна

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, д.46

К.т.н., доцент кафедры «Эксплуатация и организация движения автотранспорта»

E-mail: legneva@yandex.ru

E.I. LEZHNEVA

## DETERMINATION BY EXPERT METHOD OF FACTORS INFLUENCING THE FUNCTIONAL STATE OF A DRIVER

*Abstract. The paper considers the significance of the driver's functional state in the context of his activity. The relationship between functional state, performance level and fatigue is analysed. The results of drivers' questionnaires concerning the assessment of the influence of various factors on their functional state are presented. The potential impact of unfavourable environmental factors on drivers, including the negative effects of certain toxic substances contained in exhaust gases of internal combustion engines, is discussed.*

*tion engines on human health, which in turn may increase the probability of road accidents, is also described.*

**Keywords:** motor transport, traffic flow, congestion, external environment, factors, toxic substances, fatigue

## BIBLIOGRAPHY

1. Dushkov B.A., Korolev A.V., Smirnov B.A. Osnovy inzhenernoy psikhologii: Uchebnik. Moskva: Akademicheskiy Proekt, 2020. 574 s.
2. Kapskiy D.V., Pegin P.A., Lobach I.I. Psikhofiziologiya uchastnikov dorozhnogo dvizheniya (transportnaya psikhologiya): Uchebno-metodicheskoe posobie. Minsk: BNTU, 2018. 385 s.
3. Davidich YU.O. Proektirovanie avtotransportnykh tekhnologicheskikh protsessov s uchetom psikhofiziologii voditelya. Har`kov: HNADU, 2006. 292 s.
4. Frenkel' A.A. Mnogofaktornye korrelyatsionnye modeli proizvoditel`nosti truda. Izd. 2, stereotip, 2022. 100 s.
5. Bezhentsev A.A. Bezopasnost` dorozhnogo dvizheniya: Uchebnoe posobie. 2-e izd., ispr. i dop. Moskva: INFRA-M, 2025. 320 s.
6. Munipov V.M., Zinchenko V.P. Ergonomika: chelovekoorientirovannoe proektirovanie tekhniki, programmnnykh sredstv i sredy: Uchebnik. M.: Logos, 2001. 356 s.
7. Sistemologiya na transporte / E.V. Gavrilov, M.F. Dmitrichenko, V.K. Dolya i dr. Kn. V: Ergonomika. K.: Znanie, 2008. 256 s.
8. Lezhneva E.I. Effektivnost` ekspressnogo rezhima dvizheniya avtobusov v krupneyshikh gorodakh: dis. ... kand. tekhn. nauk. HNAGH. H., 2007. 147 s.
9. Vedyasova O.A. Rukovodstvo po fiziologii truda: uchebnoe posobie. Samara: Samarskiy universitet, 2008. 132 s.
10. Ergonomika: Uchebnik i praktikum dlya srednego professional`nogo obrazovaniya / YU.G. Odegov, V.N. Sidorova, M. N. Kulapov. M.: YUrayt, 2025. 157 s.
11. Gigiena umstvennogo truda: uchebnoe posobie / I.A. Molodtsova, L.P. Slivina, E.I. Kalinichenko i dr. Volgograd: VolgGMU, 2022. 72 c.
12. Sologub V.A., YUsupova O.V. Osnovy ergonomiki i dizayna avtomobiley i traktorov: metodicheskie uka-zaniya. Orenburgskiy gos. un-t. Orenburg: OGU, 2019. 95 s.
13. Mitropol'skiy A.K. Tekhnika statisticheskikh vychisleniy. Moskva: Nauka, 1971. 576 s.
14. Ereshchenko T.V., Mikhaylova N.A. Planirovanie eksperimenta: uchebno-prakticheskoe posobie. Volgograd: VolgGASU, 2014.
15. Galushko V.G. Veroyatnostno-statisticheskie metody na avtotransporte. K.: Vysshaya shkola, 1976. 232 s.
16. Trofimenco YU.V. Puti povysheniya ekologicheskoy i dorozhnoy bezopasnosti avtotransportnogo kompleksa Rossii // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. 2010. T. 12. №1-9. S. 235-239.
17. Nerublenko D.S., Gorenko YU.V., Lezhneva E.I. Otsenka funktsional`nogo sostoyaniya voditelya pod vozdeystviem zagryaznyayushchikh veshchestv otrabotavshikh gazov DVS // Otraslevye problemy ekologicheskoy bezopasnosti (2019): sbornik statey V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, magistrov i aspirantov. Har`kov: HNADU. S. 166-169.

**Lezhneva Elena Ivanovna**

Belgorod State Technological University  
Address: 308012, Russia, Belgorod, st. Kostyukova 46  
Candidate of technical science  
E-mail: legneva@yandex.ru

Научная статья  
УДК 623  
doi:10.33979/2073-7432-2025-3-1(90)-84-90

В.И. СЕРГИЕНКО, Т.М. ЗАЯЦ

## КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ МНОГОЦЕЛЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЗАЩИТОЙ

**Аннотация.** Показана актуальность организации мониторинга состояния степени уровня защищенности автомобилей многоцелевого назначения, базирующаяся на критерии эффективности «уровень защищенности». Разработана концептуальная информационная модель системы оценки, прогнозирования и управления уровнем защищенности, описывающая процедуру оценки и управления, и основанная на мониторинге факторов, оказывающих влияние на защищенность автомобилей многоцелевого назначения.

**Ключевые слова:** информационная модель, уровень защищенности, принятие решения, автомобили многоцелевого назначения

### **Введение**

Объекты военной автомобильной техники (ВАТ), являются основой обеспечения тактической и оперативной подвижности подразделений и частей, сухопутных и других видов и родов войск. Автомобили многоцелевого назначения (АМН) – один из самых многочисленных классов ВАТ [1], являются сложными техническими системами со значительным количеством ограничений и обратных связей. В связи с этим при внесении изменений в конструкцию узла, отвечающего за один показатель, меняются характеристики другого показателя. Под свойствами любого технического изделия (объекта АМН) понимаются его объективные особенности, проявляющиеся при создании и эксплуатации. Характеристика одной из сторон свойства - это показатели. Каждое свойство характеризуется определёнными показателями, которые могут иметь как количественную, так и качественную характеристики [2]. Наличие объективной информации о реальном положении дел в различных структурах и организациях для руководителей любых уровней всегда являлось одной из главных задач, как при оперативном управлении, так и при выборе стратегии развития [3]. Развитие цифровых технологий позволяет вывести решение этой задачи на новый качественный уровень. Применительно к силовым ведомствам эти задачи трансформируются из дискретного представления данных в непрерывное. Так информации о уровне защищенности АМН, выражаемой в значениях коэффициента его [4], уже явно недостаточно. Учитывая, что процесс управления уровнем защищенности АМН, базируется на получении информации о состоянии объекта и последующем воздействии на него. Эффективное управление уровня защищенности должно базироваться на непрерывном, полном и достоверном потоке информации о изменении состоянии, как во внешних, так и внутренних изменениях в системе [5].

### **Материал и методы**

Решение в сложившейся ситуации по оценке уровня защищенности АМН может включать выполнение следующих задач:

- 1) организация мониторинга состояния уровня защищенности АМН;
- 2) остаточного ресурса автомобилей, с построением вариационного ряда воздействий при учете единичных показателей повышающий защищенность объектов;
- 3) коэффициента технической готовности, выраженного в боеспособности автомобилей к выполнению задач по предназначению для каждой единицы техники [4];
- 4) введение в качестве критерия оценки эффективности деятельности оборонно-промышленного комплекса, а также должностных лиц соединений и воинских частей по обеспечению заданного уровня защищенности в любых условиях обстановки в указанные сроки.



Рисунок 1 – Недостатки системы оценки уровня защищенности АМН

В рамках модели управления системы оценки уровня и соответствия с моделью обеспечения её функционирования (рис. 2) была разработана концептуальная информационная модель системы оценки уровнем защищенности



Рисунок 2 – Модель обеспечения функционирования системы

### Теория

Получаемая информация должна быть объективна, ее первичное получение не связано с целенаправленным ручным вводом, а ее актуальность и достоверность обеспечиваться автоматизированной системой оценки защищенности [9]. Идентичность информации, методов ее обработки для всех уровней управления определит ее востребованность [13] как в соединениях, так и в органах военного управления.

Необходимость применения информационных моделей обусловлена возможностью представлять сложные процессы (системы) в виде графических форм (графа, блок-схемы, алгоритма решения задачи, диаграммы) [10, 12]. Отличительной чертой информационной модели является способность работать в режиме реального времени с информацией (данными) об объекте [11, 14]. Достаточным набором условий для построения информационной модели оценки защищенности АМН являются: информация о состоянии системы, ее цели, имеющиеся внутренние и внешние ресурсы, время для достижения этих целей и необходимые для этого действия. Концептуальная информационная модель позволяет выстроить эффективную систему оценки уровня защиты.

Для построения концептуальной информационной модели на первом этапе необходимо определить состав системы [15] (сущности) факторов влияющих на защищенность АМН.

На втором этапе определим и опишем, операторы системы и построим концептуальную информационную модель оценки уровня защищенности.

Рассмотрим и опишем параметры, оказывающие влияние на систему оценки уровня защищенности, требующие учёта при формировании концептуальной информационной модели.

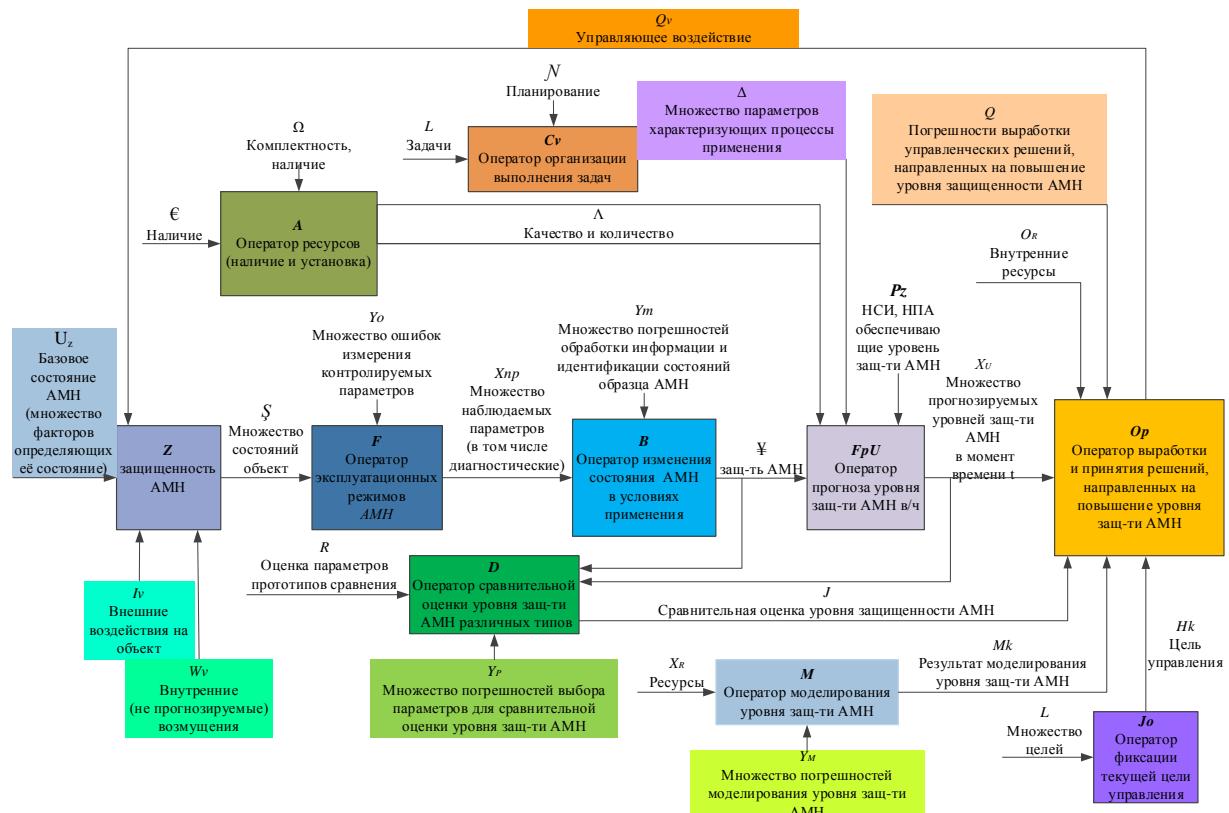


Рисунок 3 – Концептуальная информационная модель оценки уровня защищенности АМН

Оператор **Z** является оператором, изменяющим структурные параметры под воздействием внутренних и внешних факторов, а также управляющими решений. Входными данными

ми являются значения параметров, описывающих:

- $U_z$  – начальное техническое состояние АМН;
- $I_v$  – внешние воздействия на объект;
- $W_v$  – внутренние возмущения системы;
- $Q_v$  – управляющие воздействия.

В результате работы данного оператора формируется поток данных  $S$  характеризующий множество состояний объектов АМН.

В результате эксплуатации и применения образцов АМН поток данных  $S$  обрабатывается оператором  $F$  при реальных ошибках измерения контролируемых параметров  $Y_o$ .

Эта первичная информация поступает в бортовую системы, а затем дублируется в базе данных (БД) типовой конструкции и БД технической готовности транспортного средства (ТС) обслуживающей организации в off-line режиме. Если проведенные воздействия относятся к изменению системы, то создаются БД типовой конструкции системы автомобиля. В указанных БД скапливается массив статистической информации о воздействиях и соответствующих им распределениям наработки по режимам работы и условиям эксплуатации. Поток для входа такой информации в БД с ТС открыт [6].

В результате происходит непрерывное изменение наработки на эксплуатационных режимах, а выходом из оператора  $F$  является прогнозируемый вариационный ряд отказа  $X_{pr}$ . Полученный остаточный ресурс  $X_{pr}$  до отказа каждого образца АМН с учетом погрешностей обработки информации и идентификации состояний образца АМН  $Y_m$  в процессе выполнения задач позволяет оценить с помощью оператора  $B$  его боеспособность.

Информация от операторов  $Z$ ,  $F$ ,  $B$  последовательно поступает в оператор прогноза уровня защищенности (оператор  $FpU$ ), который выполняет обработку информации для прогноза уровня защищенности АМН. Получение прогнозируемых воздействий базируется на информации о режимах работы, условиях эксплуатации, диагностических параметрах, воздействиях на автомобиль и информации из БД типовой конструкции [7]. Обработка этой информации завершается аналитическим прогнозом воздействий. Для каждого автомобиля формируется свой объем информации [8].

Интегрированные данные  $\Psi$  по всем образцам на выходе из оператора  $B$  следуют по двум направлениям: в оператор  $FpU$ , для оценки уровня защищенности автомобиля и в оператор сравнения  $D$ . В оператор  $FpU$ , кроме потока  $\Psi$  следуют потоки  $\Lambda$ ,  $\Delta$ ,  $Pz$ .

При этом поток  $\Lambda$  является следствием обработки информации  $\epsilon$  о наличии ресурсов номенклатуру, комплексность и наличие средств  $\Omega$  в операторе  $A$  (оператор качества и количества). В данном операторе на основании полученной информации о динамике изменения состояния обрабатывается информация об укомплектованности комплектов дополнительной защиты с последующей передачей информации в потоке  $\Lambda$  оператору  $FpU$ ,

Поток  $\Delta$  является следствием обработки информации об особенностях эксплуатации в операторе  $Cv$  на основании информации о планировании  $N$  и задачах  $L$  – определяющих уровень защиты.

Поток  $Pz$  является нормативной информацией для работы оператора  $FpU$ , которая разделяется на нормативно-справочную и нормативно-правовую.

Оператор сравнения  $D$  позволяет оценить уровень защищенности образцов АМН различных типов для принятия решений о расширении номенклатуры или модернизации комплектов защиты для АМН. Входной информацией  $R$  является ограниченный перечень параметров прототипов сравнения. Ими могут быть приняты как зарубежные, так и отечественные. Погрешность выбранных параметров для оператора сравнительной оценки учитывается потоком  $Y_p$ .

Оператор  $M$  по запросу моделирует получение возможных уровней защищенности АМН при различных ресурсах  $X_R$ , с учетом погрешностей модели  $Y_M$ . Разработанная модель уровня защищенности АМН позволяет:

- определить базовое значение уровня защищенности;

- рассчитать стоимость увеличения значения фактора на один класс;
- определить значение уровня при увеличении значения факторов;
- определить наиболее эффективное распределение ресурсов для повышения значения факторов, что приведет к повышение уровня защищенности АМН;
- рассчитать прирост уровня защищенности АМН, после проведенных мероприятий.

С учетом требований многофункциональности оператор  $J_o$  фиксирует (выбирает) цель из множества возможных  $L$  и передает ее оператору  $Op$  для выработки и принятия решения, направленного на поддержание и повышение уровня защищенности АМН.

Ключевым оператором системы является оператор  $Op$  выработки и принятия управлений решений, связанных с обеспечением, поддержанием и повышением уровня защищенности АМН. Результатом работы оператора  $Op$  является управление решение, формирующее управляющее воздействие  $Q_v$ . На входе в оператор:

- поток информации  $X_U$  о текущем уровне защищенности АМН;
- поток информации, по сравнительной оценке,  $J$  с выбранными прототипами сравнения;
- результаты моделирования  $Mk$ ;
- информация о выбранной цели управления  $Hk$ ;
- поток информации о внутренних ресурсах  $O_R$ ;
- погрешность выбора решений  $Q$ , определяемая другими факторами.

### **Результаты**

Разработанная концептуальная информационная модель системы управления уровнем защищенности АМН отвечает принципам многофункциональности и комплексности. Комплексный аспект предполагает единую методическую и информационную базу для оценки уровня защищённости, как отдельной части автомобиля, так и автомобиль в целом.

Многофункциональный аспект предполагает использование методического аппарата и единой информационной базы для решения различных задач благодаря структурной декомпозиции механизма вычислений при единстве исходных данных:

- оценки уровня защищенности как элемента, так и автомобиль в целом;
- управления уровнем защищенности в целом;
- сравнительной оценки уровня защиты АМН различных типов;
- решение задач повышения подвижности войск.

### **Выводы**

Таким образом, на основании разработанной концептуальной информационной модели системы управления уровнем защищенности АМН можно сделать следующие выводы:

Созданная информационная модель управление уровня защищенности АМН, основывается на взаимосвязи между потоками информации и операторами, которые её обрабатывают. Она включает в себя девять операторов событийно-функциональных процессов, что позволяет реализовать комплексный подход и всесторонне освещает процедуру оценки и управления уровнем защищенности АМН на основании постоянного мониторинга факторов, влияющих на него. Применение информационных технологий в области повышения защищенности АМН позволяет работать с большими объемами данных, обрабатывать слабоструктурированную информацию, ускорять процесс принятия решений и интегрировать различные типы данных в одну систему.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Концепция развития военной автомобильной техники до 2030 года (Проект), дсп. М.: МО РФ, 2022. 74 с.
2. Эксплуатация вооружения и военной техники сухопутных войск: учебник. М.: Издание общевойсковой академии ВС РФ, 2000.
3. Заяц Ю.А., Шабанов А.В. Концептуальная информационная модель системы управления технической готовностью военной автомобильной техники войсковой части // Оборонный комплекс-научно-техническому прогрессу России. Москва. 2021. С. 13-17.
4. Об утверждении Руководства по проверке и оценке состояния вооружения и военной техники общего

войскового назначения в Вооруженных Силах Российской Федерации: Приказ МО РФ 2017 г. №605.

5. Лагутина Е.И., Заяц Ю.А. Концептуальная информационная модель системы оценки, прогнозирования и управлением уровнем боевой готовности системы связи военного назначения: сборник трудов XLIII Всероссийского НТК «Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем. Серпухов: филиал военной академии РВСН им. Петра Великого. 2024. С. 76-82.

6. Заяц Ю.А., Заяц Т.М. Концептуальная модель управления технической готовностью транспортных средств с использованием современных информационно-коммуникационных технологий // Актуальные направления научных исследований XXI века: Теория и практика. Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова. 2016. Т. 4. №5-4(25-4). С. 255–259.

7. Заяц Ю.А., Сальников А.В. Расчет коэффициента технической готовности образцов военной автомобильной техники по временным показателям // Научный резерв. Рязань: РВВДКУ. 2018. №4. С. 36–40.

8. Заяц Т.М. Системно-информационный анализ учетно-планирующей деятельности специалиста автомобильной службы // Техника и технологии. 2005. №2(8). С. 60-62.

9. Заяц Т.М., Слуцкий К.А. Системно-информационный анализ факторов, влияющих на уровень боеготовности вооружения боевой машины // Научный резерв. 2019. №2(6). С. 38-47.

10. Загородний Н.А., Головкин М.В., Бондарь А.С. Исследование перспективных направлений развития информационных транспортных систем // Мир транспорта и технологических машин. Орел: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева. 2024. №1-1(84). С. 39-47.

11. Загородний Н.А. Построение концептуальной информационной модели системы оценки, прогнозирования и управления эксплуатационной надежностью автомобилей // Транспортное машиностроение. Брянск: Брянский государственный технический университет. 2025. №2(38). С. 16-24.

12. Борисов В.В., Бычков И.А., Дементьев А.В., Соловьев А.П., Федулов А.С. Компьютерная поддержка сложных организационно-технических систем. М.: Горячая линия - Телеком, 2002. 154 с.

13. Цветков В.Я. Модель информационной ситуации // Перспективы науки и образования. 2017. №3(27). С. 13-19.

14. Корнев Л.В. Нечеткая модель оценки рисков информационной безопасности и поддержки уровня защищенности ERP- систем // Молодой ученый. 2021. №27(369). С. 48-54.

15. Батьковский А.М., Суханов А.В., Фомина А.В., Хитов С.Б. Оценка защищенности сложных информационных систем предприятий ОПК // Вопросы радиоэлектроники. 2017. №1. С. 104-112.

**Сергиенко Виктор Игоревич**

Рязанское гвардейское высшее воздушно-десантное командное училище

Адрес: 390000 г. Рязань, пл. генерала армии В. Ф. Маргелова, д. 1

Адъюнкт очной штатной адъюнктуры

E-mail: viktor5208088@yandex.ru

**Заяц Татьяна Михайловна**

Рязанское гвардейское высшее воздушно-десантное командное училище

Адрес: 390000 г. Рязань, пл. генерала армии В. Ф. Маргелова, д. 1

К.т.н., профессор кафедры математических и естественнонаучных дисциплин

E-mail: sajua@yandex.ru

V.I. SERGIENKO, T.M. ZAYATS

**THE CONCEPTUAL INFORMATION MODEL OF THE ASSESSMENT  
THE SECURITY LEVEL OF MULTI-PURPOSE VEHICLES  
WITH ADDITIONAL PROTECTION**

*Abstract. The relevance of the organization of monitoring the state of the degree of security of multipurpose vehicles based on the effectiveness criterion "security level" is shown. A conceptual information model of a system for assessing, forecasting and managing the level of protection has been developed, describing the assessment and management procedure, and based on monitoring factors that affect the security of multi-purpose vehicles.*

*Keywords:* information model, security level, decision-making, multipurpose vehicles

**BIBLIOGRAPHY**

1. Kontseptsiya razvitiya voennoy avtomobil`noy tekhniki do 2030 goda (Proekt), dsp. M.: MO RF, 2022. 74 s.
2. Ekspluatatsiya vooruzheniya i voennoy tekhniki sukhoputnykh voysk: uchebnik. M.: Izdanie obshchevoyskovoy akademii VS RF, 2000.

3. Zayats YU.A., Shabanov A.V. Kontseptual`naya informatsionnaya model` sistemy upravleniya tekhnicheskoy gotovno s`yu voennoy avtomobil`noy tekhniki voyskovoy chasti // Oboronnyy kompleks-nauchno-tehnicheskому progressu Rossii. Moskva. 2021. S. 13-17.
4. Ob utverzhdenii Rukovodstva po proverke i otsenke sostoyaniya vooruzheniya i voennoy tekhniki obshchevoyskovogo naznacheniya v Vooruzhennykh Silakh Rossiyiskoy Federatsii: Prikaz MO RF 2017 g. №605.
5. Lagutina E.I., Zayats YU.A. Kontseptual`naya informatsionnaya model` sistemy otsenki, prognozirovaniya i upravleniem urovnem boevoy gotovnosti sistemy svyazi voennogo naznacheniya: sbornik trudov XLIII Vsesrossiyskogo NTK "Problemy effektivnosti i bezopasnosti funktsionirovaniya slozhnykh tekhnicheskikh i informatsionnykh sistem. Serpukhov: filial voennoy akademii RVSN im. Petra Velikogo. 2024. S. 76-82.
6. Zayats YU.A., Zayats T.M. Kontseptual`naya model` upravleniya tekhnicheskoy gotovnost`yu transportnykh sredstv s ispol`zovaniem sovremennykh informatsionno-kommunikatsionnykh tekhnologiy // Aktual`nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: Teoriya i praktika. Voronezh: Voronezhskiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskiy universitet im. G.F. Morozova. 2016. T. 4. №5-4(25-4). S. 255-259.
7. Zayats YU.A., Sal`nikov A.V. Raschet koefitsienta tekhnicheskoy gotovnosti obraztsov voennoy avtomobil`noy tekhniki po vremennym pokazatelyam // Nauchnyy rezerv. Ryazan`: RVVDKU. 2018. №4. S. 36-40.
8. Zayats T.M. Sistemno-informatsionnyy analiz uchetno-planiruyushchey deyatel`nosti spetsialista avtomobil`noy sluzhby // Tekhnika i tekhnologii. 2005. №2(8). C. 60-62.
9. Zayats T.M., Slutskiy K.A. Sistemno-informatsionnyy analiz faktorov, vliyayushchikh na uroven` boegotovnosti vooruzheniya boevoy mashiny // Nauchnyy rezerv. 2019. №2(6). S. 38-47.
10. Zagorodniy N.A., Golovkin M.V., Bondar` A.S. Issledovanie perspektivnykh napravleniy razvitiya informatsionnykh transportnykh sistem // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. Orel: Orlovskiy gosudarstvennyy universitet imeni I.S. Turgeneva. 2024. №1-1(84). S. 39-47.
11. Zagorodniy N.A. Postroenie kontseptual`noy informatsionnoy modeli sistemy otsenki, prognozirovaniya i upravleniya ekspluatatsionnoy nadezhnosti avtomobiley // Transportnoe mashinostroenie. Bryansk: Bryanskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet. 2025. №2(38). S. 16-24.
12. Borisov V.V., Bychkov I.A., Dement`ev A.V., Solov`ev A.P., Fedulov A.S. Komp`yuternaya podderzhka slozhnykh organizatsionno-tehnicheskikh sistem. M.: Goryachaya liniya - Telekom, 2002. 154 s.
13. TSvetkov V.YA. Model` informatsionnoy situatsii // Perspektivy nauki i obrazovaniya. 2017. №3(27). S. 13-19.
14. Kornev L.V. Nechetkaya model` otsenki riskov informatsionnoy bezopasnosti i podderzhki urovnya zashchishchennosti ERP- sistem // Molodoy uchenyy. 2021. №27(369). S. 48-54.
15. Bat`kovskiy A.M., Sukhanov A.V., Fomina A.V., Hitov S.B. Otsenka zashchishchennosti slozhnykh informatsionnykh sistem predpriyatii OPK // Voprosy radioelektroniki. 2017. №1. S. 104-112.

**Viktor Igorevich Sergienko**

Ryazan Guards Higher Airborne Command School  
Address: 390000, Russia, Ryazan, Army General V.F. Margelov Square, 1  
Adjunct of the full-time staff adjunct  
E-mail: viktor5208088@yandex.ru

**Hare Tatiana Mikhailovna,**

Ryazan Guards Higher Airborne Command School  
Address: 390000, Russia, Ryazan, Army General V.F. Margelov Square, 1  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: sajua@yandex.ru

Научная статья

УДК 656.09

doi:10.33979/2073-7432-2025-3-1(90)-91-99

Л.Е. КУЩЕНКО, Л.А. КОРОЛЁВА, Д.И. АНДРЮШИНА, О.А. АКИМОЧКИНА

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ ВОДИТЕЛЬСКИМ СТАЖЕМ И ВИДОМ ДТП**

**Аннотация.** Данное исследование посвящено анализу корреляции между водительским стажем и показателями аварийности в пределах Белгородской городской агломерации. Результаты статистического анализа демонстрируют наличие прямой зависимости между недостаточным опытом вождения и повышенной частотой ДТП. На основании полученных данных сформулированы рекомендации по разработке комплексной стратегии обеспечения безопасности дорожного движения. Карта аварийности позволяет выявить наиболее опасные участки и принять необходимые профилактические меры. Результаты исследования подчеркивают значимость систематической профилактической работы, совершенствования организации дорожного движения и повышения уровня квалификации автовладельцев в области безопасности дорожного движения.

**Ключевые слова:** дорожно-транспортное происшествие, городская агломерация, статистика, стаж водителя, транспортные средства, математическая статистика, корреляционная связь

### **Введение**

В настоящее время безопасность дорожного движения (БДД) является одной из наиболее острых социальных проблем во многих городских агломерациях, в том числе и в Белгородской городской агломерации. Для данного региона характерны высокая плотность автомобильного движения, смешанный состав транспортного потока, активное развитие транспортной инфраструктуры и стабильный рост населения. Все перечисленные факторы оказывают непосредственное влияние на частоту и специфику дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Одним из наиболее существенных аспектов, определяющим риск возникновения аварийных ситуаций, является опыт водителей, выражаемый величиной водительского стажа. Именно поэтому изучение взаимосвязи уровня квалификации участников дорожного движения и вероятности попадания в дорожные происшествия приобретает особую значимость для разработки эффективных мероприятий, способствующих повышению общей безопасности на дорогах города.

Статистический анализ свидетельствует о том, что степень участия водителя в ДТП зависит от опыта управления автомобилем. Рассмотрим наиболее распространенные типы ДТП и как они связаны с разным уровнем водительского опыта.

### **Материал и методы**

Следует подчеркнуть, что существует тесная взаимосвязь между видом ДТП и возрастным диапазоном водителя. Согласно статистическим данным, вероятность наступлений определенных видов аварий существенно варьируется в зависимости от возраста водителя и опыта его вождения.

Молодые водители (с опытом управления до 2 лет) считаются наиболее рискованными на дороге. Статистика показывает, что молодые водители чаще становятся участниками ДТП из-за нехватки привычки заранее оценивать дорожную обстановку, склонности к опасным манёврам и утомляемости при длительных поездках. Нередко именно начинающие водители склонны нарушать правила дорожного движения (ПДД) - превышают допустимую скорость, игнорируют знаки приоритета и дорожную разметку.

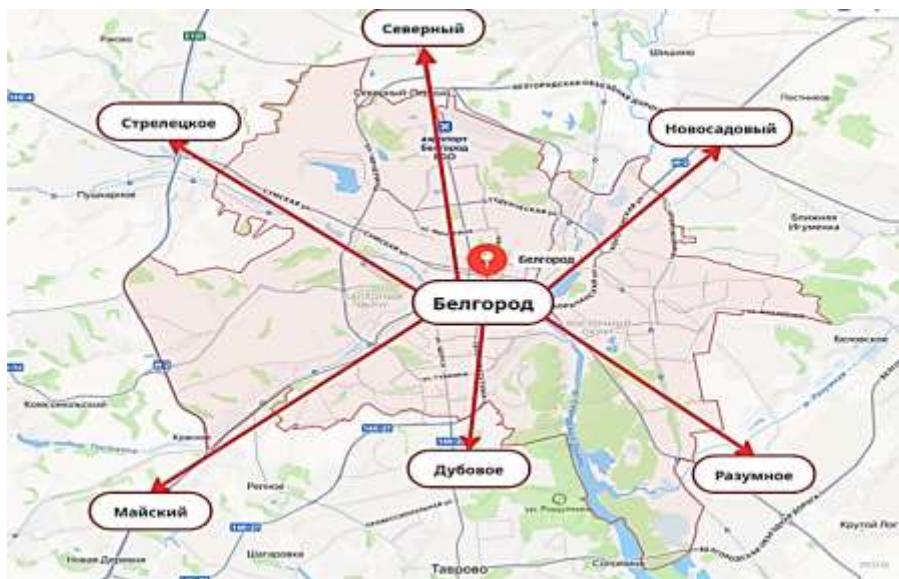
Водители со стажем от 2 до 5 лет также характеризуются высоким уровнем риска, это обусловлено тем, что некоторые негативные модели поведения за рулем остаются неизменными. Несмотря на приобретённый опыт, некоторые водители продолжают принимать необдуманные решения при различных опасных ситуациях на дороге, игнорируя меры безопасности и пренебрегая правилами, а именно, превышают скоростной режим. Также стоит отметить, что у водителей с данным стажем начинают проявляться признаки халатного отношения к техническому состоянию транспортного средства (ТС).

Большинство водителей, управляющих автомобилем от 5 до 10 лет становятся более внимательными, осторожными и ответственными. Тем не менее, статистика свидетельствует, что определённый уровень рисков сохраняется. Из-за уверенности в своем опыте водители перестают замечать незначительные угрозы и допускают нарушения. Состояние плохого самочувствия, усталость, а также отвлекающие факторы приводят к возникновению аварийных ситуаций на дороге.

Водители старшей возрастной группы, обладающие водительским стажем от 10 до 15 лет, могут также иметь значительно повышенную вероятность попадания в ДТП вследствие возрастного снижения физиологических способностей, ухудшение когнитивных функций, тем самым теряя способность быстро реагировать на внезапные изменения дорожной обстановки, а также приверженность старым привычкам и пренебрежение новыми ПДД. Стоит отметить, что постепенное ухудшение зрения, слуха и замедление психомоторных реакций негативно сказываются на способность управлять ТС при динамично изменяющихся условиях на дороге.

## Teoria

Анализ статистических данных, собранных на шести транспортных направлениях Белгородской городской агломерации (Северный, Новосадовый, Разумное, Дубовое, Майский, Стрелецкое), рассмотренных в работе, выявил места повышенной концентрации ДТП, характеризующихся преобладанием столкновений, наездов на пешехода, съездов с дороги и др. (рис. 1).



### **Рисунок 1 – Схема рассматриваемых населенных пунктов Белгородской городской агломерации**

Анализ данных за 2020 год выявил, что для начинающих водителей (стаж до 2 и от 2 до 5 лет) наиболее частыми причинами аварий на данных участках были столкновения транспортных средств и наезды на пешеходов. Водители с опытом управления от 5 до 10 лет чаще всего попадали в ДТП из-за столкновений и съездов с проезжей части (табл. 2). Пик аварийности в 2020 году пришелся на водителей с опытом вождения от 10 до 15 лет – зафиксировано

175 ДТП, основными видами которых являлись столкновения и наезды на пешеходов.

**Таблица 1 - Соотношение типов ДТП и опыта вождения водителей за 2020 год**

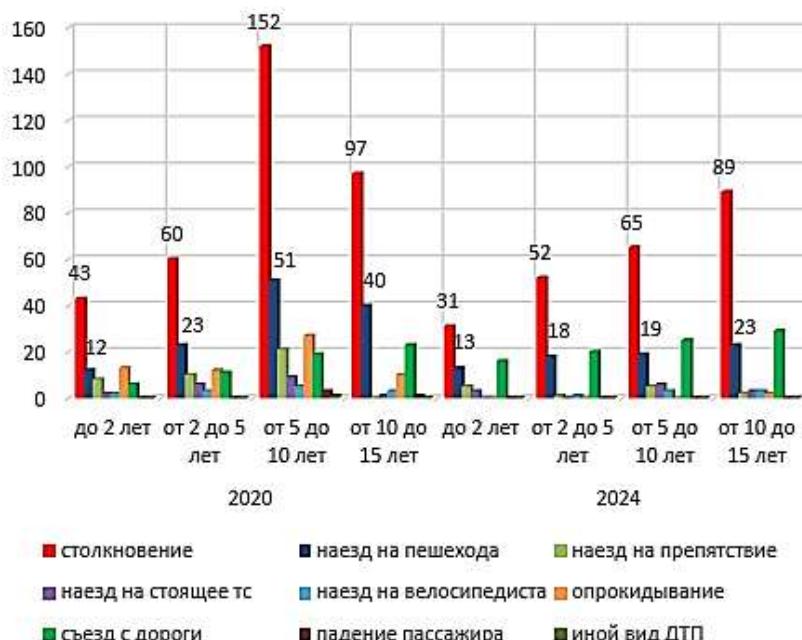
2020 год	Вид ДТП							Иной вид ДТП	Всего
	Стаж вождения ТС	Столкновение	Наезд на пешехода	Наезд на препятствие	Наезд на стоящее ТС	Наезд на велосипедиста	Опрокидывание	Съезд с дороги	
до 2 лет	45	19	6	3	1	2	12	0	88
от 2 до 5 лет	63	27	4	0	1	8	21	0	124
от 5 до 10 лет	81	23	11	1	6	10	26	1	159
от 10 до 15 лет	97	40	0	1	3	10	23	1	175

Для сравнения, в таблице 2 представлены аналогичные данные за 2024 год. В соответствии с таблицей 2, наиболее распространенными видами ДТП для всех категорий водительского стажа стали столкновения и съезд с дороги. В 2024 году общее число ДТП снизилось, однако максимальное количество аварий (151) по-прежнему приходится на водителей с опытом вождения от 10 до 15 лет, для которых наиболее характерны столкновения и съезды с дороги.

**Таблица 2 - Соотношение типов ДТП и опыта вождения водителей за 2024 год**

2024 год	Вид ДТП							Иной вид ДТП	Всего
	Стаж вождения ТС	Столкновение	Наезд на пешехода	Наезд на препятствие	Наезд на стоящее ТС	Наезд на велосипедиста	Опрокидывание	Съезд с дороги	
до 2 лет	41	6	9	3	0	0	13	0	72
от 2 до 5 лет	58	12	6	1	1	1	25	0	104
от 5 до 10 лет	88	22	1	1	2	0	24	2	140
от 10 до 15 лет	89	23	2	3	3	2	29	0	151

Ниже представлена сравнительная статистика больших показателей числа ДТП за 2020 и 2024 года (рис. 2). Из графика отчетливо видна существенная тенденция снижения числа ДТП.



**Рисунок 2 – Статистика по стажу виновного водителя**

Наиболее аварийно-опасными участками дороги для молодых водителей с опытом управления до двух лет являются дорожные пересечения, такие как перекрестки и кольцевые развязки. Основными причинами возникновения ДТП на данных участках, как правило, выступают нарушения правил приоритетности проезда, резкое снижение скорости перед остановкой и несоблюдение достаточной дистанции между автомобилями. Молодым водителям сложно адекватно оценивать дорожную ситуацию и реагировать на изменения условий движения, что увеличивает вероятность попадания в ДТП.

Категория водителей со стажем от 2 до 5 лет сталкивается с проблемами на городских улицах высокой плотностью трафика. Дорожные инциденты данной категории водителей часто связаны с некорректным выполнением манёвров перестраивания и попытками объезда других автомобилей в местах, где это запрещено ПДД. Недостаток опыта маневрирования и неверная оценка дистанции между движущимися автомобилями повышает риск столкновений.

У водителей со стажем от пяти до десяти лет при движении вне населённых пунктов увеличивается количество опасных ситуаций, связанных с превышением установленной скорости движения на трассе и съездом на обочину из-за усталости водителя. Данные факторы, согласно статистическим данным, способствуют увеличению числа аварийных случаев среди водителей с достаточным опытом. Скоростные участки загородных трасс требуют повышенного внимания и строгого соблюдения скоростного режима, поскольку даже незначительная ошибка может привести к серьёзным последствиям.

У водителей, опыт вождения которых от 10 до 15 лет зоны риска отмечаются на парковочных зонах и стоянках, это обусловлено тем, что опытные водители менее внимательны в определённых ситуациях.

Для наглядного примера на рисунке 3 разработана карта аварийности, она служит для визуализации пространственного распределения ДТП с учетом водительского стажа участников. Тем самым позволяет выявить зоны повышенного риска и разработать адресные меры по повышению БДД.



Рисунок 3 – Карта аварийности по водительскому стажу

Для результативного снижения уровня аварийности требуется комплексное использование нескольких стратегий:

Во-первых, разработка образовательных ресурсов и учебно-методических материалов, направленных на каждую возрастную категорию водителей, учитывающих поведенческие особенности в процессе управления ТС. Во-вторых, повышение степени ответственности за

соблюдение требований ПДД и ужесточение штрафов за грубые нарушения. В-третьих, проведение систематических проверок технического состояния автомобиля и обеспечение надзора за работоспособностью ключевых компонентов и систем ТС в соответствии с требованиями технического регламента. В-четвертых, модернизация систем, касающихся:

- организации проверок технического состояния ТС и контроль исправности основных узлов и механизмов автомобиля;

- улучшения освещённости и маркировки дорожных покрытий, установка предупреждающих знаков и светофоров на особо загруженных участках дорог.

Также важное значение имеет регулярное тестирование водителей на предмет понимания особенностей безопасной езды и знания ПДД, что способствует предотвращению аварийных ситуаций.

Для проведения анализа видов ДТП, произошедших за последние 5 лет с 2020 по 2024 годы, была собрана подробная информация по всей Белгородской городской агломерации. В данной статье представлены данные, полученные с помощью документального изучения (табл. 3) и расчетные значения для участков Белгородской городской агломерации.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что на исследуемом участке за последние 5 лет произошло 2367 ДТП, это говорит о значительном уровне аварийности в данном регионе.

Проведенный анализ выявил (табл. 3), что наибольшая доля аварий зафиксирована среди водителей с опытом вождения от 5 до 10 лет, причем всего зарегистрировано 757 случаев ДТП, среди которых доминируют случаи столкновения ТС (410 инцидентов) и съезды с дороги (132 случая). Это обстоятельство подчеркивает необходимость принятия специальных профилактических мер, нацеленных на совершенствование профессионального мастерства, повышения уровня осведомленности и усиление информационной поддержки именно для данной категории водителей. Вместе с тем было отмечено относительно низкое количество дорожных происшествий среди автомобилистов с опытом вождения менее двух лет (всего зафиксировано 373 аварии). При этом структура аварий близка к группе с опытом вождения от 5 до 10 лет, где наибольшее число составляют столкновения автомобилей (192 инцидента) и съезд с дороги (75 случаев).

Таблица 3 - Зависимость между видом ДТП и возрастным диапазоном за 5 лет

Стаж вождения ТС	Вид ДТП								Иной вид ДТП	Всего
	Столкновение	Наезд на пешехода	Наезд на препятствие	Наезд на стоящее ТС	Наезд на велосипедиста	Опрокидывание	Съезд с дороги	Падение пассажира		
до 2 лет	192	55	32	10	2	6	75	1	0	373
от 2 до 5 лет	282	83	25	4	5	12	105	0	0	516
от 5 до 10 лет	410	118	45	18	18	12	132	4	0	757
от 10 до 15 лет	405	126	28	14	15	16	114	3	0	721

### *Результаты и обсуждения*

Применяя методы математической статистики и теории вероятностей, были вычислены такие параметры, как математическое ожидание, дисперсия, корреляционный коэффициент, это дало возможность определить наиболее тесную корреляционную зависимость между событиями случайного процесса.

Каждая строка в таблице 3 представляет собой отдельный опыт, то есть одну реализацию конкретного процесса. Аналогично, каждый столбец соответствует определенному значению времени, что можно назвать сечением процесса. Исходя из этого, математическое ожидание будет вычислено по формуле:

$$m_x(t_k) = \sum_{i=1}^n x_i(t_k)/n. \quad (1)$$

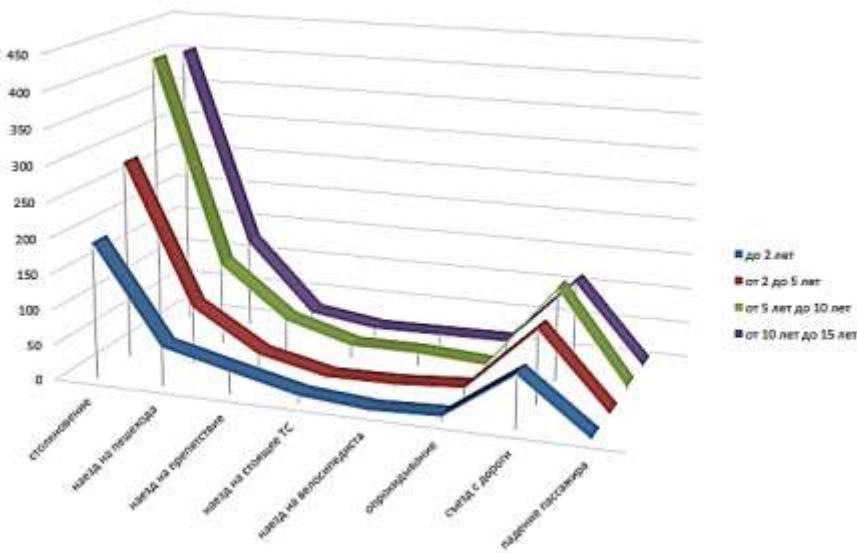


Рисунок 4 – Статистика зависимости между видом ДТП и стажем вождения ТС за 5 лет

Дисперсия для сечения  $t_k$  рассчитана по формуле (2):

$$D_x(t_k) = \sum_{i=1}^n [x_i(t_k) - m_x(t_k)]^2(n - 1). \quad (2)$$

Корреляционный коэффициент для сечений  $t_k$  и  $t_t$

$$\rho_x(t_k, t_t) = \frac{\sum_{i=1}^n [x_i(t_k) - m_x(t_k)][x_i(t_t) - m_x(t_t)]}{(n-1)\delta_x(t_k)\delta_x(t_t)}. \quad (3)$$

На основании формул 1-3 были произведены расчеты, представленные ниже. Рассматривая аварийность как случайный процесс, можно спрогнозировать, в каком промежутке возрастного диапазона будет зафиксирована наибольшая частота аварий.

$$M_1 = \frac{192+55+32+10+2+6+75+1}{9} = 41,44.$$

Вычислим дисперсии по формуле (2) и получим:

$$D_1 = \frac{(192-41,44)^2 + (55-41,44)^2 + (32-41,44)^2 + (10-41,44)^2 + (2-41,44)^2 + (6-41,44)^2 + (75-41,44)^2 + (1-41,44)^2}{(8-1)} = 3902,53.$$

Найдем коэффициенты корреляции согласно формуле (3):

$$\rho_{12} = 0,996; \rho_{13} = 0,995; \rho_{23} = 0,997, \rho_{24} = 0,994.$$

Аналогично производятся все остальные расчеты.

Таким образом, сильная корреляционная связь присутствует практически между всеми сечениями, но хочется выделить между 2 и 3 сечениями.

Если во втором сечении произошло 282 аварии, то найдем математическое ожидание по формуле (4) количество аварий, произошедших в третьем сечении.

$$M_y(\varepsilon) = r \left( \frac{\delta_\eta}{\delta_\varepsilon} \right) (x - a) + b, \quad (4)$$

где  $a$  и  $\delta_\varepsilon$  – математическое ожидание и стандартное отклонение величины  $\varepsilon$ ;

$b$  и  $\delta_\eta$  – математическое ожидание и стандартное отклонение величины  $\eta$ .

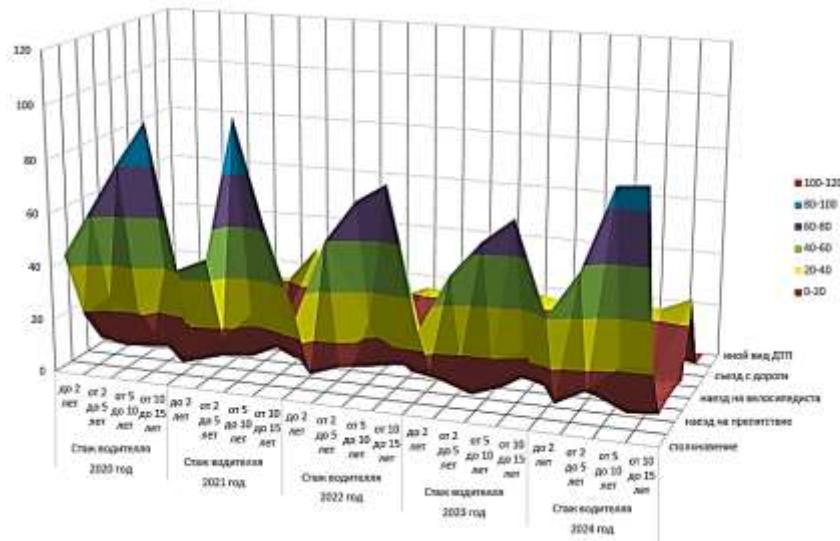
$$M_{P2}(P_3) = \rho_{23} \left( \frac{\delta_3}{\delta_2} \right) (282 - 57,3) + 80,1 = 0,997 \cdot \left( \frac{131,63}{92,64} \right) \cdot (282 - 57,3) + 80,1 = 398,22.$$

Чтобы облегчить восприятие информации на рисунке 4, водительский стаж распределён на 4 возрастные группы: водители с опытом управления до 2х лет, от 2х до 5ти лет, от 5ти до 10ти лет и от 10 до 15 лет.

Результаты исследования наглядно демонстрируют необходимость разработки и реализации профилактических мероприятий для Белгородской городской агломерации, направленных на снижение количества ДТП, особенно среди указанных категорий водителей.

Для достижений этой цели целесообразно сосредоточиться на внедрении образовательных программ, дополнительных курсов повышения квалификации, пропаганде осторожного стиля вождения и постоянном информационном просвещении населения региона.

Следует подчеркнуть, что одни и те же виды ДТП случались у водителей со стажем от 5 до 10 лет и от 10 лет до 15 лет в значительном объеме.



*Рисунок 5 – Данные статистики связи видов ДТП с опытом вождения водителей за пятилетний период*

### **Выводы**

Итак, проведённое исследование выявило ряд значимых факторов, влияющих на БДД на определенной территории региона. Полученные данные позволяют заключить, что одной из ключевых проблем является недостаточный уровень подготовки водителей со стажем вождения от пяти до десяти лет. Статистически, именно представители данной категории чаще всего становятся участниками ДТП, что объясняется их ограниченным опытом, а также недостаточным реагированием на нестандартные ситуации, склонностью к нарушению ПДД и недооценкой потенциальных рисков.

Для оптимизации уровня дорожной безопасности требуется реализация комплекса мероприятий, направленных на профилактику аварийности среди указанной группы автомобилистов. Математический анализ выявил корреляционную зависимость между видом ДТП и водительским стажем, с наиболее выраженной корреляцией между вторым и третьим сегментами сечения.

### **Благодарность**

*Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Проритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.*

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Кущенко Л.Е., Кущенко С.В., Кравченко А.А., Давыдова Е.В. Исследование эколого-экономических показателей автомобильного транспорта в городской агломерации Белгородской области // Мир транспорта и технологических машин. 2021. №1(72). С. 79-87.
2. Власов А.А. Теория транспортных потоков: Монография. Пенза: ПГУАС, 2014. С. 124.
3. Гай Л.Е., Шутов А.И., Воля П.А., Кущенко С.В. Заторовые явления. Возможности предупреждения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №3. С. 166-169.
4. Kushchenko L.E., Kushchenko S.V. The solving of optimizing the structure of a transport node problem by the fuzzy set method // Information Technologies and Management of Transport Systems: MATEC Web of Conferences The VII International Scientific and Practical Conference (ITMTS). 2021.
5. Организация дорожного движения: Учебное пособие / Л.Е. Кущенко, С.В. Кущенко, А.Н. Новиков, И.А. Новиков. Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2020. 196 с.
6. Электронный ресурс: [www.gibdd.ru](http://www.gibdd.ru).
7. Кущенко Л.Е., Кравченко А.А., Рыжкин П.П., Королева Л.А. Влияние состояния качества автомобильных дорог на ДТП // Мир транспорта и технологических машин. 2020. №1(68). С. 49-58.
8. Кущенко Л.Е., Кущенко С.В., Новиков А.Н., Новиков И.А. Анализ существующих методов оценки вероятности возникновения ДТП на участках УДС города // Вестник гражданских инженеров. СПбГАСУ. 2021. №2(85). С. 222-232.
9. Новиков И.А. Технические средства организации движения. Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова. 2009. 302 с.
10. Podoprigora N.V., Marusin A.V., Pegin P.A., Karelina E.A., Akulov A.A. Systematic approach in information support of the «Road user-vehicle-road-external environment» system // Systems of Signals Generating and

Processing in the Field of on Board Communications, SOSG. 2022. Conference Proceedings. doi:10.1109/IEEECONF53456.2022.9744276.

11. Novikov A., Shevtsova A., Evtyukov S., Marusin A. Establishment of Causal Relationships of the Occurrence of Road Accidents // International Conference on Engineering Management of Communication and Technology (EMCTECH). 2022. P. 1-5. doi: 10.1109/EMCTECH55220.2022.9934073.

12. Кущенко Л.Е., Новописный Е.А., Новиков И.А., Камбур А.С. Статистический анализ вероятности возникновения дорожно-транспортных происшествий на основе данных интеллектуальных транспортных систем Белгородской агломерации (научная статья) // Вестник гражданских инженеров. 2022. №2(85). С. 222-232.

13. Гай Л.Е., Новиков И.А., Воля П.А. Анализ статистических данных как путь решения проблемы в обеспечении безопасности дорожного движения // Сб. III международной научно-практической конф. Харьков. 2013. С. 21- 25.

14. Васильев А.П. Эксплуатация автомобильных дорог. В 2 т.: Учебник для студ. высших учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия». 2010. 320 с.

15. Руминский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. М.: Наука, 1971. 352 с.

16. Вентцель Е.С. Теория вероятности. М.: ФМ, 1966. 442 с.

17. Podoprigoza N.V., Marusin A.V., Pegin P.A., Karelina E.A., Akulov A.A. Systematic approach in information support of the «Road user-vehicle-road-external environment» system // Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications Conference Proceedings. 2022. doi:10.1109/IEEECONF53456.2022.9744276.

18. Агеев Е.В., Виноградов Е.С. Совершенствование системы подготовки водителей категории «В», влияющий на безопасность дорожного движения // Мир транспорта и технологических машин. 2019. №4(67). С. 104-111.

19. Гай Л.Е., Шатова Ю.С., Высоцкая А.Н. Влияние профессионализма водителя на безопасность движения (научная статья) // International Conference «Process Management and Scientific Developments». 2020. С. 107-111.

20. Гай Л.Е., Давыдова Е.В., Пехов А.А. Влияние технического состояния автомобиля на безопасность дорожного движения (научная статья) // Анализ проблем и поиск решений повышения результативности современных научных исследований: Сборник статей Международной научно-практической конференции, Оренбург. 2020 г. С. 17-21.

**Кущенко Лилия Евгеньевна**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46

Д.т.н., доцент кафедры «Эксплуатации и организации движения автотранспорта»

E-mail: lily-041288@mail.ru

**Андрюшина Диана Ивановна**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46

Магистрант

E-mail: dana.danilova.01@mail.ru

**Королева Лилия Александровна**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46

Аспирант

E-mail: koroleva\_liliy@mail.ru

**Акимочкина Ольга Александровна**

Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева

Адрес: 302030, Россия, г. Орел, ул. Московская, д. 77

Студент

E-mail: tvk5876@rambler.ru

---

L.E. KUSHCHENKO, D.I. ANDRYUSHINA, L.A. KOROLEVA, O.A. AKIMOCHKINA

**DEVELOPMENT OF AN INFORMATION MODEL WARNING THE DRIVER ABOUT MOVEMENT ALONG A DANGEROUS ROAD SECTION**

*Abstract. This study focuses on analyzing the correlation between driving experience and accident rates within the Belgorod agglomeration. The results of statistical analysis demonstrate a direct relationship between insufficient driving experience and an increased frequency of accidents. Based on these findings, recommendations have been formulated for developing a comprehensive road safety strategy. The accident map allows for identifying the most dangerous areas and implementing necessary preventive measures. The study highlights the importance of systematic preventive efforts, improving traffic management, and enhancing the skills of car owners in terms of road safety.*

**Keywords:** traffic accident, urban agglomeration, statistics, driver experience, vehicles, mathematical statistics, correlation

**Acknowledgments**

The work was carried out within the framework of the implementation of the federal program for supporting universities «Priority 2030» using equipment based on the High Technology Center of the V.G. Shukhov BSTU.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Kushchenko L.E., Kushchenko S.V., Kravchenko A.A., Davydova E.V. Issledovanie ekologo-ekonomiceskikh pokazateley avtomobil'nogo transporta v gorodskoy aglomeratsii Belgorodskoy oblasti // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2021. №1(72). S. 79-87.
2. Vlasov A.A. Teoriya transportnykh potokov: Monografiya. Penza: PGUAS, 2014. C. 124.
3. Gay L.E., Shutov A.I., Volya P.A., Kushchenko S.V. Zatorovye yavleniya. Vozmozhnosti preduprezhdeniya // Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova. 2013. №3. S. 166-169.
4. Kushchenko L.E., Kushchenko S.V. The solving of optimizing the structure of a transport node problem by the fuzzy set method // Information Technologies and Management of Transport Systems: MATEC Web of Conferences The VII International Scientific and Practical Conference (ITMTS). 2021.
5. Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya: Uchebnoe posobie / L.E. Kushchenko, S.V. Kushchenko, A.N. Novikov, I.A. Novikov. Belgorod: BGTU im. V. G. Shukhova, 2020. 196 s.
6. Elektronnyy resurs: www.gibdd.ru.
7. Kushchenko L.E., Kravchenko A.A., Ryzhkin P.P., Koroleva L.A. Vliyanie sostoyaniya kachestva avtomobil'nykh dorog na DTP // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2020. №1(68). S. 49-58.
8. Kushchenko L.E., Kushchenko S.V., Novikov A.N., Novikov I.A. Analiz sushchestvuyushchikh metodov otsenki veroyatnosti vozniknoveniya DTP na uchastkakh UDS goroda // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. SPbGASU. 2021. №2(85). S. 222-232.
9. Novikov I.A. Tekhnicheskie sredstva organizatsii dvizheniya. Belgorod: BGTU im. V. G. Shukhova. 2009. 302 s.
10. Podoprigora N.V., Marusin A.V., Pegin P.A., Karelina E.A., Akulov A.A. Systematic approach in information support of the "Road user-vehicle-road-external environment" system // Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG. 2022. Conference Proceedings. doi:10.1109/IEEECONF53456.2022.9744276 .
11. Novikov A., Shevtsova A., Evtyukov S., Marusin A. Establishment of Causal Relationships of the Occurrence of Road Accidents // International Conference on Engineering Management of Communication and Technology (EMCTECH). 2022. R. 1-5. doi: 10.1109/EMCTECH55220.2022.9934073.
12. Kushchenko L.E., Novopisnyy E.A., Novikov I.A., Kambur A.S. Statisticheskiy analiz veroyatnosti vozniknoveniya dorozhno-transportnykh proisshestviy na osnove danniy intellektual'nykh transportnykh sistem Belgorodskoy aglomeratsii (nauchnaya stat'ya) // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2022. №2(85). S. 222-232.
13. Gay L.E., Novikov I.A., Volya P.A. Analiz statisticheskikh danniy kak put' resheniya problemy v obespechenii bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Sb. III mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konf. Har'kov. 2013. S. 21- 25.
14. Vasilev A.P. Ekspluatatsiya avtomobil'nykh dorog. V 2 t.: Uchebnik dlya stud. vysshikh ucheb. zavedeniy. M.: Izdatel'skiy tsentr "Akademiya". 2010. 320 s.
15. Rumshinskij L.Z. Matematicheskaya obrabotka rezul'tatov eksperimenta. M.: Nauka, 1971. 352 s.
16. Ventsel' E.S. Teoriya veroyatnosti. M.: FM, 1966. 442 s.
17. Podoprigora N.V., Marusin A.V., Pegin P.A., Karelina E.A., Akulov A.A. Systematic approach in information support of the "Road user-vehicle-road-external environment" system // Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications Conference Proceedings. 2022. doi:10.1109/IEEECONF53456.2022.9744276 .
18. Ageev E.V., Vinogradov E.S. Sovrshennostvovanie sistemy podgotovki voditeley kategorii "V", vli-yayushchiy na bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2019. №4(67). C. 104-111.
19. Gay L.E., Shatova Y.U.S., Vysotskaya A.N. Vliyanie professionalizma voditelya na bezopasnost' dvizheniya (nauchnaya stat'ya) // International Conference "Process Management and Scientific Developments". 2020. S. 107-111.
20. Gay L.E., Davydova E.V., Pekhov A.A. Vliyanie tekhnicheskogo sostoyaniya avtomobilya na bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya (nauchnaya stat'ya) // Analiz problem i poisk resheniy povysheniya rezul'tativnosti sovremennykh nauchnykh issledovanii: Sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Orenburg. 2020 g. S. 17-21.

**Kushchenko Liliya Evgen'evna**

Belgorod state technological university  
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46  
Doctor of technical science  
E-mail: lily-041288@mail.ru

**Korolyova Liliya Alexandrovna**

Belgorod State Technological University  
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46  
Graduate student  
E-mail: koroleva\_liliy@mail.ru

**Andryushina Diana Ivanovna**

Belgorod state technological university  
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46  
Master's student  
E-mail: dana.danilova.01@mail.ru

**Akimochkina Olga Aleksandrovna**

Orel State University  
Address: 302030, Russia, Orel, Moskovskaya St., 77  
Student  
E-mail: tvk5876@rambler.ru

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2025-3-1(90)-100-108

М.Ю. КАРЕЛИНА, А.В. ПОДГОРНЫЙ, Д.С. ТАЛДЫКИН

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОБУСНОГО ПАРКА С УЧЕТОМ СИСТЕМЫ КРИТЕРИЕВ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*Аннотация.* Статья рассматривает вопросы выбора транспортных средств в сфере коммерческой деятельности. Авторы предлагают использовать методы теории информации и теории информационного взаимодействия для оценки качества автобусов по технико-эксплуатационным показателям. Рассматривается влияние научно-технического прогресса на изменение уровня неопределенности ситуации. Предлагаются инструменты теории принятия решений для учета степени неопределенности информационной ситуации. Определяются системы критериальных предпочтений, которые помогают определить условия, которым должны удовлетворять автобусы для эффективной эксплуатации. Обсуждаются методы сравнения вариантов автобусов на этапе принятия решения о вводе в эксплуатацию.

**Ключевые слова:** информационное взаимодействие, иерархическая структура, непараметрическая статистика, ранговая корреляция, инструмент теории принятия решений

### Введение

Автомобильная промышленность в России сталкивается с новыми вызовами. Ключевой вопрос - эффективное управление общественным транспортом. Однако, несмотря на активное внедрение инноваций, многие транспортные средства продолжают эксплуатироваться сверх нормативного срока службы, не отвечая современным стандартам и требованиям безопасности. Для решения данной проблемы необходимо системно подойти к проектированию структуры автобусных парков. Это подразумевает целенаправленное управление оптимизацией с учетом специфических условий эксплуатации. Выбор подходящей модели автобуса, которая обеспечит максимальную эффективность по нескольким критериям, требует разработки специальных методов оценки эффективности на основе комплекса технических и коммерческих показателей [1]. Однако, выбор транспортных средств не ограничивается лишь техническими характеристиками. Важную роль играет информационная природа взаимодействия. Оценка качества автобусов на основе технико-экономических показателей требует применения методов теории информации и теории информационного взаимодействия. Процесс выбора автобусов представляет собой сложную задачу, включающую анализ параметрической информации в четырех основных формах: события, величины, функции и комплексы взаимодействий [2]. При этом вероятность реализации каждого показателя является характеристикой уровня неопределенности. Новые качественные показатели, возникающие в результате научно-технического прогресса, изменяют априорные вероятности событий и снижают уровень неопределенности ситуации. Таким образом, задача заключается в поиске вектора целевых переменных, удовлетворяющих ограничениям и оптимизирующих векторную функцию, соответствующую целевым функциям. Инструменты теории принятия решений должны учитывать степень неопределенности в исследуемой информационной ситуации.

### Материал и методы

При выборе различных моделей автобусов для внедрения, следует учитывать ряд качественных характеристик. Чтобы получить объективные результаты, может быть полезно отказаться от экспертной оценки и использовать вероятностные методы. Один из эффективных подходов в данном контексте – применение методов теории статистических выводов, основанных на принципах непараметрической статистики. В рамках этого подхода используется модель ранжирования на основе условных критериев предпочтения. Каждая опция получает порядковый номер, отражающий сравнительную производительность по определен-

ному качественному показателю. Результаты данного ранжирования в виде матрицы

$$A = \|r_{ij}\|, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n, \quad (1)$$

где  $r_{ij}$  – ранг (порядковый номер)  $j$ -го варианта;

$n$  – число вариантов образца;

$m$  – число рассматриваемых качественных показателей.

В качестве интегральной меры предпочтения используются известные коэффициенты ранговой корреляции. Для данной задачи коэффициент ранговой корреляции имеет вид

$$\rho_j = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - 1)}{m(n-1)}. \quad (2)$$

При этом  $\rho_j = 1$  соответствует наилучшему вариантам исследуемых автобусов, а  $\rho_j = 0$  – наихудшему.

Для того чтобы оценить вероятность ошибки первого рода (то есть отклонения гипотезы о наиболее подходящей альтернативе, когда она на самом деле является наиболее подходящей), необходимо воспользоваться следующими теоретическими предположениями. Известно, что для случайной величины, значение которой ограничено интервалом  $[0; 1]$ , можно определить отличную статистическую модель в виде  $\beta$ -распределения.  $\beta$ -распределение широко используется для описания многих реальных случайных величин благодаря тому, что оно имеет различные формы в зависимости от своих параметров [3]. Например, коэффициент ранговой корреляции – величина, которая попадает в этот контекст. Поэтому логично ссылаться на  $\beta$ -распределение для описания его статистических свойств.

$$P(\rho_j < x) \approx I_x(a, b), \quad (3)$$

где

$$I_x(a, b) = \frac{1}{B(a, b)} \int_0^1 l^{a-1} (1-l)^{b-1} dt, \quad (4)$$

где  $(a, b)$  – параметры распределения;

$B(a, b)$  –  $B$ -функция Эйлера.

Параметры формы  $B(a, b)$  –  $\beta$ -распределения связаны математическим ожиданием  $M_\rho$  и дисперсией  $D_\rho$  случайной величины, описываемой этим законом, следующими зависимостями

$$M_\rho = \frac{a}{a+b}; \quad (5)$$

$$D_\rho = \frac{ab}{(a+b)^2(a+b+1)}, \quad (6)$$

отсюда

$$a = \frac{M_\rho^2(1-M_\rho)}{D_\rho} - M_\rho; \quad (7)$$

$$b = \frac{M_\rho}{D_\rho} (1 - M_\rho)^2 - (1 - M_\rho). \quad (8)$$

Необходимо вычислить величины математического ожидания  $M_\rho$  и дисперсии  $D_\rho$ . Учитывая, что математическое ожидание  $M_\rho$  и дисперсия  $D_\rho$  случайной величины определяется, как:

$$S_i = \sum_{i=1}^m (r_{ij} - 1), \quad (9)$$

определяются соответственно величинами:

$$M_s = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n S_j; \quad (10)$$

$$D_s = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (S_j - M_s)^2, \quad (11)$$

а, номера  $r_{ij}$  представляют собой последовательность чисел от 1 до  $n$ , в результате выводится следующее выражение:

$$M_s = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (r_{ij} - 1) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (r_{ij} - 1); \quad (12)$$

$$M_s = \frac{m}{n} \sum_{j=1}^n (r_{ij} - 1); \quad (13)$$

$$M_s = \frac{m(n-1)}{2}. \quad (14)$$

В результате аналогичных преобразований следует:

$$D_s = \frac{R}{n} - \frac{m^2(n-1)^2}{2}, \quad (15)$$

где

$$R = \sum_{j=1}^n S_j^2. \quad (16)$$

Тогда математическое ожидание и дисперсия коэффициента ранговой корреляции соответственно равны:

$$M_\rho = 1 - \frac{M_s}{m(n-1)}; \quad (17)$$

$$D_\rho = \frac{D_s}{m^2(n-1)^2}; \quad (18)$$

$$M_\rho = \frac{1}{2}; \quad (19)$$

$$D_\rho = \frac{R}{m^2 n(n-1)^2} - \frac{1}{4}. \quad (20)$$

Подставляя предыдущие выражения, вычисляются искомые значения параметров аппроксимирующего  $\beta$ -распределения.

$$a = b = \frac{1}{2} \left\{ \frac{[m^2 n(n-1)^2]}{[4R - m^2 n(n-1)^2]} - 1 \right\}. \quad (21)$$

Для определения критического значения ранговой корреляции  $\chi_r$  по заданному уровню значимости (вероятность ошибки первого рода)  $\gamma = 1 - p$  используют следующее широко распространённое соотношение:

$$\chi_r = M_\rho + \psi(1 - \gamma) [M_\rho(1 - M_\rho)]^{1/2} (a + b)^{-1/2} + [\psi^2(p) - 1] \frac{1 - 2M_\rho}{3} \cdot \frac{1}{a+b}, \quad (22)$$

где  $\psi(p)$  –  $p$ -квантиль нормального распределения.

Учитывая предыдущие вычисления выявляется зависимость:

$$p = 1 - \gamma. \quad (23)$$

В результате находится итоговое значение:

$$\chi_r = \frac{1}{2} \left[ 1 + \psi(1 - \gamma) \left( \frac{4R - m^2 n(n-1)^2}{2m^2 n(n-1)^2 - 4R} \right)^{1/2} \right]. \quad (24)$$

Далее следует рассмотреть преимущества и недостатки данного подхода. Для этого он иллюстрируется на гипотетическом примере.

Пусть имеется 4 варианта решения, характеризующиеся восьмью качественными показателями  $W_i$ . При этом получено некоторое количество рангированных рядов предпочтения одного варианта другому (табл. 1)

Таблица 1 – Ряды предпочтения вариантов решения

№	Качественный показатель	Предпочтение
1	$W_1$	$T_1 > T_2 > T_3 > T_4$
2	$W_2$	$T_2 > T_4 > T_1 > T_3$
3	$W_3$	$T_3 > T_2 > T_1 > T_4$
4	$W_4$	$T_4 > T_1 > T_2 > T_3$
5	$W_5$	$T_1 > T_3 > T_2 > T_4$
6	$W_6$	$T_2 > T_1 > T_4 > T_3$
7	$W_7$	$T_4 > T_1 > T_3 > T_2$
8	$W_8$	$T_2 > T_4 > T_3 > T_1$

где  $T_j$  –  $j$ -вариант решения;

$>$  – знак предпочтения.

По результатам ранжирования строится матрица рангов, элементы которой определяются номером варианта  $T_j$  в ряду  $W_i$ .

$$A = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 3 & 1 & 4 & 2 \\ 3 & 2 & 1 & 4 \\ 2 & 3 & 4 & 1 \\ 1 & 3 & 2 & 4 \\ 2 & 1 & 4 & 3 \\ 2 & 4 & 3 & 1 \\ 4 & 1 & 3 & 2 \end{vmatrix}. \quad (25)$$

По представленному алгоритму вычисляются значения коэффициентов ранговой корреляции и представляются их в виде таблицы 2.

Таблица 2 – Результаты расчета коэффициентов корреляции  $\rho_j$

$T_j$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$
$\rho_j$	0,5833	0,7251	0,3333	0,5417

Из таблицы 2 следует, что наибольшему значению  $\rho_2 = 0,7251$  соответствует вариант  $T_2$ .

Для оценки вероятности ошибок первого рода производятся соответствующие расчёты по итоговой формуле при условии, что:

$$n = 4$$

$$m = 8$$

$$R = 10^2 + 9^2 + 16^2 + 13^2 = 606$$

Таблица 3 – Данные расчёта ошибки первого рода

$\gamma$	0,14	0,12	0,10	0,08	0,06
$\chi_r$	0,723	0,745	0,767	0,793	0,823

Анализ критических значений позволяет сделать вывод, что для наилучшего варианта  $T_2$ , определяемого ранговым коэффициентом  $\rho_2 = 0,7251$  величина  $\gamma$  не превышает 0,12. В результате, введенный коэффициент ранговой корреляции позволяет сравнивать различные решения на основе набора качественных характеристик (показателей) и выбирать наиболее предпочтительное [4]. Как было отмечено ранее, данный подход основан на модели ранжирования по условным критериям предпочтения. Это означает, что каждой версии решения присваивается ранг, основанный на том, как она сравнивается по определенной качественной характеристике. Однако, стоит отметить, что данный подход имеет некоторые недостатки. Например, он опирается на субъективные решения относительно структуры входных данных (если используются аналитические вычислительные модели) [4].

Метод оценки автобусов на основе набора качественных показателей с использованием критериальных корреляций отличается от других методов тем, что процедура ранжирования основана не на выборе наилучшего варианта решения в соответствии с критерием, а на выборе набора критериальных предпочтений. Данный подход аналогичен методу Фишберна, который использует теорию информационного взаимодействия для определения системы критериальных предпочтений, которым можно приписать значимые веса для количественной оценки эффективности сравниваемых вариантов. Система критериальных предпочтений определяет конкретные условия, которые должен выполнять автобус, чтобы работать хорошо. Например, если основным критерием являются габаритные размеры, такие как длина автобуса, то возможно обсудить условия эксплуатации в исторических городах, где пространство ограничено. Если же основным критерием является надежность, то следует рассмотреть районы с ограниченными возможностями для технического обслуживания и ремонта [6]. Проанализировав каждый возможный набор критериальных предпочтений, более разумно будет соотнести их с конкретными условиями эксплуатации автобусов. Еще одним преимуществом предлагаемого подхода является возможность расчёта всех информационных состояний исследуемой системы, определяемым выражением

$$N = n!, \quad (26)$$

где  $N$  – количество исследуемых информационных состояний или всех возможных наборов предпочтений;

$n$  – количество рассматриваемых критериев.

Для повышения эффективности расчетов, планируется изменить систему маркировки исходных данных. Это подразумевает переход от использования коэффициентов ранговой корреляции к коэффициентам критериальной корреляции и упрощение процесса создания алгоритмов расчета [7]. Следует представить результаты данного критериального ранжирования в виде матрицы, что было учтено в формуле (25)

$$A = \|r_{ij}\|, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n, \quad (27)$$

где  $r_{ij}$  – ранг (порядковый номер)  $j$ -го критерия;

$m$  – число вариантов рассматриваемых вариантов;

$n$  – число рассматриваемых качественных показателей (критериев).

С учетом предыдущих вычислений, а также необходимости перевода качественных показателей в количественные по шкале от 0 до 1 (нормирование с учётом противоречивого целеполагания), производится математические преобразования. Тогда  $r_{ij}$  будет определяться исходя из рекуррентного выражения,

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{1-\rho_j}{k}, & \text{если } j \leq k \\ \frac{\rho_j}{n-k}, & \text{если } k < j < n, \text{ где } 0 < \rho_j < \frac{1}{n}, \\ \frac{1-\rho_j}{n-k}, & \text{если } j = n \end{cases} \quad (28)$$

где  $k = \max_j a_{ij}, = 1, \dots, n$ .

Особенностью данной модели, является следующее:

Значение  $r_{ij}$  тождественно коэффициенту относительной важности исследуемых показателей и является искомой величиной;

Значение  $\rho_j$  или коэффициента ранговой корреляции является задаваемой величиной, характеризующей степень критериального предпочтения (от абсолютно нейтрального до максимально возможного).

Математическая модель определения эффективности автобусов (27) реализована в ПО. Алгоритм на ПО представлен на рисунке 1.

### Результаты и обсуждение

В результате исследований была обоснована необходимость разработки модели выбора автобусов по номенклатуре ТЭП на основе информационно-вероятностного (энтропийного) подхода. При этом структура исследуемых ТЭП должна носить иерархический характер. Структура ТЭП в зависимости от уровня масштабирования исследуемой системы может носить иерархический характер и соответствовать следующим признаками: наличие достаточной полноты охвата исследуемой структуры; единство классификационных признаков на каждом уровне расчленения иерархической структуры; непересекаемость разделов иерархической структуры; открытость структуры (возможность дополнения другими признаками исследуемых объектов системы); ограниченное объем ТЭП, так как слишком большое число требований и показателей затрудняет поиск оптимального решения [8].

Определено, что при сравнении вариантов автобусов на стадии принятия решений о вводе в эксплуатацию не желательно прибегать к методам экспертного (субъективного) оценивания, но есть возможность использовать методы теории статистических выводов, основанный на непараметрической статистике [9].

Второй случай аналогичен подходу, основанному на оценках Фишбера, когда определяется система предпочтений критериев, позволяющая, используя теорию информационного взаимодействия и определять значения весовых коэффициентов для расчёта эффективности сравниваемых вариантов [10].

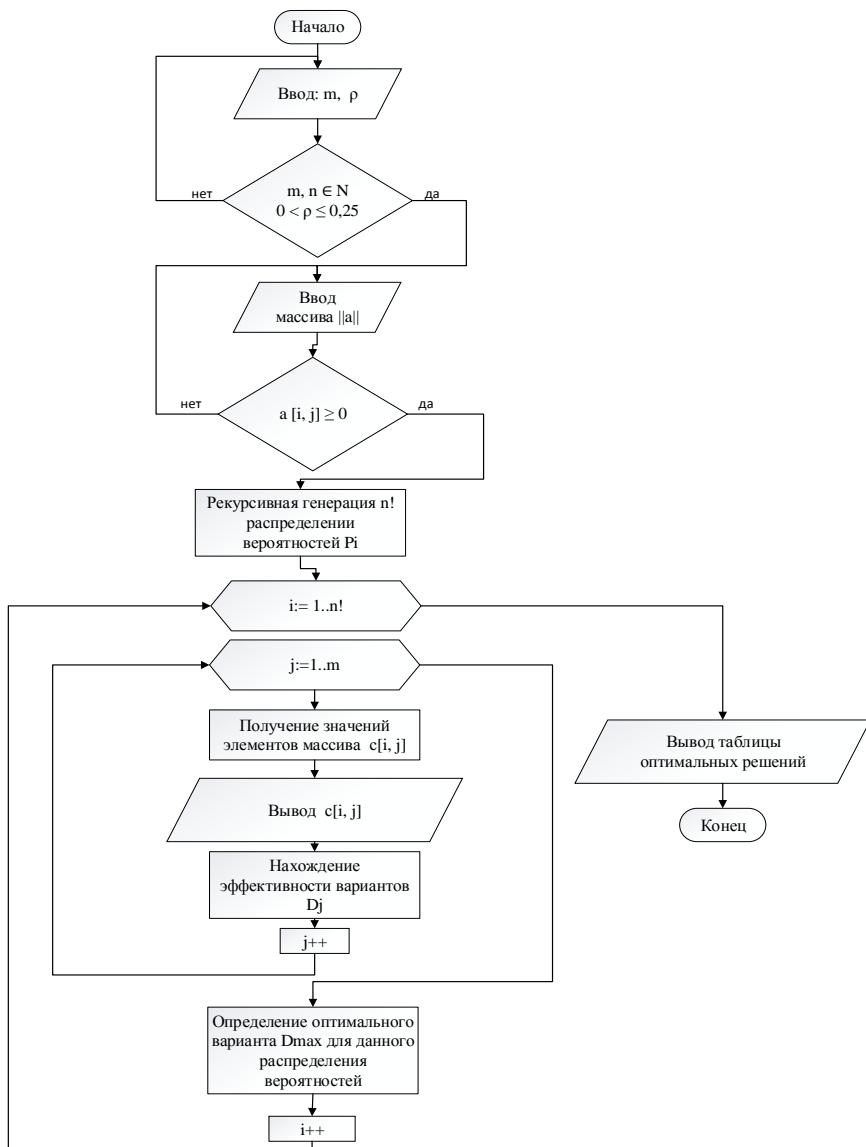


Рисунок 1 - Строение транспортно-логистической системы

### Выходы

В случае применения разработанного метода для оценки эффективности автобусов система предпочтений критериев определяет специфические условия их эксплуатации. Поэтому в основу метода оценки эффективности по совокупности ТЭП была положена (разработана) специальная математическая модель, основанная на применении коэффициента критериальной корреляции.

В основе данных методов лежат модели ранжирования по условным критериям предпочтения:

1) модель, основанная на введении коэффициента ранговой корреляции. Ее недостатком является (при наличии аналитической модели расчёта) субъективизм при определении структуры входных данных, когда искусственно выбирается критерий предпочтения;

2) модель, основанная применении коэффициента критериальной корреляции, заключающаяся в том, что процедура ранжирования производится не основе предпочтения варианта решения по некоторому критерию, а по критериальных предпочтений.

Особенность данной модели, является следующее:

1) значение  $r_{ij}$  тождественно коэффициенту относительной важности исследуемых показателей и является искомой величиной;

2) значение  $\rho_j$  или коэффициента ранговой корреляции является задаваемой величиной, характеризующей степень критериального предпочтения (от абсолютно нейтрального до максимально возможного).

Математическая модель определения эффективности автобусов реализована в ПО, автоматизирующего определение эффективного решения из сравниваемых вариантов моделей автобусов.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Смирнов П.И., Карелина М.Ю., Субботин Б.С. Применение систем транспортной телематики для повышения эффективности эксплуатации техники. Вологда: Вологодский государственный университет, 2023. 124 с. EDN WQLOPT.
2. Карелина М.Ю., Сидоров Б.Б. Анализ математических моделей представления показателей, определяющих возрастную структуру машинотракторного парка // Чтения академика В.Н. Болтинского: Сборник статей. Ч. 1. Москва: ООО "Сам Полиграфист". 2022. С. 26-33. EDN JBDRTV.
3. Карелина М.Ю., Птицын Д.А., Ершов В.С., Акулов А.А. Контроль трудоемкости текущего ремонта подвижного состава как критерий управления транспортной системы // XIV Всероссийская мультиконференция по проблемам управления МКПУ-2021: Материалы XIV мультиконференции в 4 томах. Т. 4. Ростов-на-Дону - Таганрог: Южный федеральный университет. 2021. С. 154-155. EDN EGMFPZ.
4. Ivanov I., Terentyev A., Evtukov S. Digital platform and ecosystem for providing regional transport mobility // Transportation Research Procedia. Saint Petersburg. 2020. P. 211-217. DOI 10.1016/j.trpro.2020.10.026. EDN JVAKQZ.
5. А.В. Терентьев, И.В. Арифуллин, В.Д. Егоров, А.Ю. Андреев Математические модели принятия решений в интеллектуальных транспортных системах // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2021. №1(64). С. 106-113. EDN RVWWIZ.
6. Карелина М.Ю., Арифуллин И.В., Терентьев А.В. Система управления качеством эксплуатации автомобиля // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2019. №2(57). С. 34-42. EDN OZYBPU.
7. Грязнов М.В., Давыдов К.А., Адувалин А.А. Нормирование затрат на эксплуатацию автобусного парка // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2016. Т. 1. С. 26-29. EDN WMBNWJ.
8. Грязнов М.В., Адувалин А.А. Обоснование актуальности совершенствования методического подхода к нормированию технической эксплуатации автобусов // Прогрессивные технологии в транспортных системах: Сборник материалов XIV Международной научно-практической конференции. Оренбург: Оренбургский государственный университет. 2019. С. 185-192. EDN CWGATW.
9. Аубекеров Н.А., Цайрат Г. Ц. Особенности методов оценки [определения] ресурса подвижного состава автомобильного транспорта // Труды университета. 2020. №1(78). С. 102-106. EDN WMUCYZ.
10. Курганов В.М., Грязнов М.В., Дорофеев А.Н., Адувалин А.А. Методика нормирования материальных ресурсов для автобусов // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2022. №1. С. 102-116. DOI 10.25198/2077-7175-2022-1-102. EDN XEXVJR.
11. Снарский С.В., Гафиятуллин А.А., Кулаков А.Т. Методика определения остаточного ресурса автомобильного дизельного двигателя при бортовом диагностировании // Научная мысль. 2017. №3. С. 210-221.
12. Айзенсон А.Е., Горностаев А.И., Живов С.Б. Методика прогнозирования остаточного ресурса подшипниковых узлов КШМ двигателя КАМАЗ-740 с применением тестового вибрационного метода диагностирования // Двигателестроение. 2000. №4(202). С. 22-24.
13. Кириллов А.Г., Ратников А.С., Кокарев О.П. Методика оперативного прогнозирования остаточного ресурса элементов тормозной системы // Вестник гражданских инженеров. 2020. №1(78). С. 168-172. DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-1-168-172.
14. Коченов В.А., Авдеева Е.А., Меженина Е.И. Самоорганизация трения и изнашивания в подшипниковых узлах скольжения // Вестник машиностроения. 2023. Т. 102. №12. С. 1033-1038. DOI 10.36652/0042-4633-2023-102-12-1033-1038.
15. Кравченко И.Н., Зорин В.А., Пучин Е.А., Бондарева Г.Н. Основы надежности машин: Учебное пособие для вузов. Москва, 2007. 484 с.

### **Карелина Мария Юрьевна**

Государственный университет управления; Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Адрес: 109542, Россия, г. Москва, Рязанский пр-кт, д. 99; 125319, Россия, г. Москва, Ленинградский пр-кт, д. 64 Д.т.н., д.п.н., проф., проректор, заведующий кафедрой «Детали машин и теория механизмов»

E-mail: karelinamu@mail.ru

**Подгорный Артем Велимирович**

Государственный университет управления; Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Адрес: 109542, Россия, г. Москва, Рязанский пр-кт, д. 99; 125319, Россия, г. Москва, Ленинградский пр-кт, д. 64  
Преподаватель кафедры «Детали машин и теория механизмов» МАДИ, специалист ГУУ

E-mail: pavtxt@mail.ru

**Талдыкин Дмитрий Сергеевич**

Государственный университет управления; Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Адрес: 109542, Россия, г. Москва, Рязанский пр-кт, д. 99; 125319, Россия, г. Москва, Ленинградский пр-кт, д. 64  
Лаборант кафедры «Детали машин и теория механизмов» МАДИ, младший научный сотрудник ГУУ  
E-mail: dima.dima.taldykin@mail.ru

---

M.Y. KARELINA, A.V. PODGORNY, D.S. TALDYKIN

**DEVELOPMENT OF A METHOD FOR EVALUATING THE  
EFFECTIVENESS OF A BUS FLEET, TAKING INTO ACCOUNT A  
SYSTEM OF OPERATING CRITERIA**

***Abstract.** The article examines the issue of vehicle selection in the context of commercial activity. It puts forward the view that the methods of information theory and information interaction theory should be employed to assess the quality of buses in terms of technical and operational indicators. The article considers the impact of scientific and technological progress on the changing level of uncertainty in the situation. In this context, the article proposes that decision-making theory tools should be used to take into account the degree of uncertainty of the situation. Systems of criterion preferences are established to facilitate the determination of the conditions that buses are required to fulfil in order for them to be operated efficiently. Methods of comparing bus variants at the stage of decision-making on commissioning are presented.*

**Keywords:** Information interaction, hierarchical structure, nonparametric statistics, rank correlation, decision theory tool

**BIBLIOGRAPHY**

1. Smirnov P.I., Karelina M.YU., Subbotin B.S. Primenenie sistem transportnoy telematiki dlya povysheniya effektivnosti ekspluatatsii tekhniki. Vologda: Vologodskiy gosudarstvennyy universitet, 2023. 124 s. EDN WQLOPT.
2. Karelina M.YU., Sidorov B.B. Analiz matematicheskikh modeley predstavleniya pokazateley, opredelyayushchikh vozrastnuyu strukturu mashinotraktornogo parka // Chteniya akademika V.N. Boltinskogo: Sbornik statey. Ch. 1. Moskva: OOO "Sam Poligrafist". 2022. S. 26-33. EDN JBDRTV.
3. Karelina M.YU., Ptitsyn D.A., Ershov V.S., Akulov A.A. Kontrol` trudoemkosti tekushchego remonta podvizhnogo sostava kak kriteriy upravleniya transportnoy sistemy // XIV Vserossiyskaya mul'tikonferentsiya po problemam upravleniya MKPU-2021: Materialy XIV mul'tikonferentsii v 4 tomakh. T. 4. Rostov-na-Donu - Taganrog: YUzhnyy federal`nyy universitet. 2021. S. 154-155. EDN EGMFPZ.
4. Ivanov I., Terentyev A., Evtukov S. Digital platform and ecosystem for providing regional transport mobility // Transportation Research Procedia. Saint Petersburg. 2020. P. 211-217. DOI 10.1016/j.trpro.2020.10.026. EDN JVAKQZ.
5. A.V. Terent`ev, I.V. Arifullin, V.D. Egorov, A.YU. Andreev Matematicheskie modeli prinyatiya resheniy v intellektual`nykh transportnykh sistemakh // Vestnik Moskovskogo avtomobil`no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). 2021. №1(64). S. 106-113. EDN RVWWIZ.
6. Karelina M.YU., Arifullin I.V., Terent`ev A.V. Sistema upravleniya kachestvom ekspluatatsii avtomobilya // Vestnik Moskovskogo avtomobil`no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). 2019. №2(57). S. 34-42. EDN OZYBPU.
7. Gryaznov M.V., Davydov K.A., Aduvalin A.A. Normirovanie zatrata na ekspluatatsiyu avtobusnogo parka // Aktual`nye problemy sovremennoy nauki, tekhniki i obrazovaniya. 2016. T. 1. S. 26-29. EDN WMBNWJ.
8. Gryaznov M.V., Aduvalin A.A. Obosnovanie aktual`nosti sovershenstvovaniya metodicheskogo podkho-da k normirovaniyu tekhnicheskoy ekspluatatsii avtobusov // Progressivnye tekhnologii v transportnykh sistemakh:

Sbornik materialov XIV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Orenburg: Orenburgskiy gosudarstvenny universitet. 2019. S. 185-192. EDN CWGATW.

9. Aubekerov N.A., TSayrat G. TS. Osobennosti metodov otsenki [opredeleniya] resursa podvizhnogo sotava avtomobil'nogo transporta // Trudy universiteta. 2020. №1(78). S. 102-106. EDN WMUCYZ.

10. Kurganov V.M., Gryaznov M.V., Dorofeev A.N., Aduvalin A.A. Metodika normirovaniya material'nykh resursov dlya avtobusov // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. 2022. №1. S. 102-116. DOI 10.25198/2077-7175-2022-1-102. EDN XEXVJR.

11. Snarskiy S.V., Gafiyatullin A.A., Kulakov A.T. Metodika opredeleniya ostatochnogo resursa avtomobil'nogo dizel'nogo dvigatelya pri bortovom diagnostirovani // Nauchnaya mysl'. 2017. №3. S. 210-221.

12. Ayzentson A.E., Gornostaev A.I., ZHivotov S.B. Metodika prognozirovaniya ostatochnogo resursa podshipnikovykh uzlov KSHM dvigatelya KAMAZ-740 s primeneniem testovogo vibratsionnogo metoda diagnostirovaniya // Dvigatelstroenie. 2000. №4(202). S. 22-24.

13. Kirillov A.G., Ratnikov A.S., Kokarev O.P. Metodika operativnogo prognozirovaniya ostatochnogo resursa elementov tormoznoy sistemy // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2020. №1(78). S. 168-172. DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-1-168-172.

14. Kochenov V.A., Avdeeva E.A., Mezhenina E.I. Samoorganizatsiya treniya i iznashivaniya v podshipnikovykh uzlakh skol'zheniya // Vestnik mashinostroeniya. 2023. T. 102. №12. S. 1033-1038. DOI 10.36652/0042-4633-2023-102-12-1033-1038.

15. Kravchenko I.N., Zorin V.A., Puchin E.A., Bondareva G.N. Osnovy nadezhnosti mashin: Uchebnoe posobie dlya vuzov. Moskva, 2007. 484 s.

**Karelina Maria Yuryevna**

State University of Management; Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI)

Address: 109542, Russia, Moscow, Ryazansky pr., 99; 125319, Russia, Moscow, Leningradskiy pr., b. 64

Doctor of Technical Sciences, Doctor of Pedagogical Sciences

E-mail: karelina@ mail.ru

**Podgorny Artem Velimirovich**

State University of Management; Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI)

Address: 109542, Russia, Moscow, Ryazansky pr., 99; 125319, Russia, Moscow, Leningradskiy pr., b. 64

Lecturer of the Department "Machine Parts and theory of mechanisms", specialist GUU

E-mail: pavtxt@ mail.ru

**Taldykin Dmitry Sergeevich**

State University of Management; Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI)

Address: 109542, Russia, Moscow, Ryazansky pr., 99; 125319, Russia, Moscow, Leningradskiy pr., b. 64

Laboratory assistant at the Department of Machine Parts and Theory of Mechanisms at MADI, junior research assistant at GUU

E-mail: dima.dima.taldykin@ mail.ru

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ**

Научная статья

УДК 656

doi: 10.33979/2073-7432-2025-3-1(90)-109-115

А.С. СЕМЫКИНА, Н.А. ЗАГОРОДНИЙ, М.В. ПЕТРУК, М.А. ЛОЗОВАЯ

### **ПОВЫШЕНИЕ И УЛУЧШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ**

**Аннотация.** Статья посвящена анализу организации дорожного движения в России, её эволюции за последнее десятилетие и перспективам развития. Рассматриваются ключевые аспекты, включая нормативно-правовую базу, технические средства и современные технологические решения. Проводится сравнительный анализ подходов к управлению транспортными потоками в разные периоды. Исследуются основные цели организации дорожного движения: повышение безопасности, оптимизация пропускной способности, снижение экономических и экологических потерь. Анализируются современные тенденции, включая внедрение интеллектуальных транспортных систем, использование больших данных и искусственного интеллекта. Обсуждаются перспективы развития отрасли, в том числе интеграция беспилотных транспортных средств и концепция «умного города». Статья представляет интерес для специалистов в области транспортного планирования и широкого круга читателей.

**Ключевые слова:** организация дорожного движения, транспортная инфраструктура, безопасность дорожного движения, интеллектуальные транспортные системы, управление транспортными потоками, урбанизация, автоматизация, цифровизация, беспилотные транспортные средства, умный город

#### **Введение**

В условиях стремительной урбанизации и неуклонного роста автомобилизации населения России вопросы организации дорожного движения приобретают первостепенное значение для развития транспортной инфраструктуры страны. Обширная территория Российской Федерации, разнообразие климатических условий и неравномерность распределения населения создают уникальные вызовы для специалистов и управленцев в сфере обеспечения безопасности, эффективности и устойчивости дорожного движения.

Организация дорожного движения в России представляет собой комплексную систему мероприятий, направленных на оптимизацию перемещения транспортных средств и пешеходов в рамках существующей дорожной сети. Эта многогранная деятельность охватывает широкий спектр аспектов: от проектирования и строительства дорожной инфраструктуры в различных регионах страны до разработки и внедрения интеллектуальных систем управления трафиком в крупных мегаполисах.

За последнее десятилетие подходы к организации дорожного движения в России претерпели значительные изменения. Технологический прогресс, развитие информационных технологий и растущее осознание экологических проблем привели к переосмыслению традиционных методов и стратегий в этой области. Современные решения все чаще опираются на анализ больших данных, применение искусственного интеллекта и внедрение автоматизированных систем управления, адаптированных к российским реалиям [1].

Актуальность исследования организации дорожного движения в России обусловлена не только необходимостью повышения безопасности и эффективности транспортных систем, но и стремлением к созданию более комфортной и экологически устойчивой городской среды. В условиях растущей урбанизации и увеличения плотности населения в российских городах, оптимизация дорожного движения становится ключевым фактором в обеспечении качества жизни граждан и экономического развития регионов.

Данная статья ставит своей целью всесторонний анализ концепции организации дорожного движения в контексте российской действительности, рассмотрение ее основных це-

лей и компонентов, а также исследование эволюции подходов к управлению транспортными потоками в России за последние 10 лет. Особое внимание будет уделено сравнительному анализу методов и технологий, применявшимся в прошлом, с современными инновационными решениями, реализуемыми в различных регионах страны. Такой подход позволит не только оценить достигнутый прогресс, но и наметить перспективы дальнейшего развития в этой критически важной области.

В контексте стремительно меняющегося мира и новых вызовов, стоящих перед транспортной отраслью России, понимание принципов и тенденций в организации дорожного движения становится необходимым условием для создания эффективных, безопасных и устойчивых транспортных систем будущего, способных удовлетворить уникальные потребности нашей страны.

В контексте российской действительности организация дорожного движения (ОДД) представляет собой комплексную систему мероприятий, направленных на обеспечение безопасного и эффективного функционирования транспортной инфраструктуры. Согласно Федеральному закону «Об организации дорожного движения в Российской Федерации» от 29.12.2017 N 443-ФЗ, ОДД определяется как деятельность по упорядочению движения транспортных средств и пешеходов на дорогах, направленная на снижение потерь времени (задержек) при движении транспортных средств и пешеходов, при условии обеспечения безопасности дорожного движения.

Повышение безопасности дорожного движения является наиважнейшей задачей для общества. Данной теме посвящено множество научных трудов и публикаций различных авторов, но несмотря на это разработка мероприятий по улучшению дорожной ситуации и предотвращение возникновения дорожно-транспортных происшествий является актуальной задачей.

### ***Материал и методы***

Ключевыми компонентами ОДД в России являются: материальное и инфраструктурное обустройство дорожного пространства, разработка и внедрение стандартов для транспортных средств и дорожной инфраструктуры, формирование и актуализация правил дорожного движения, осуществление надзора и контроля за соблюдением установленных норм, а также управление транспортными потоками с использованием современных технологий. Особую роль в этой системе играет ГОСТ Р 52289-2019 «Технические средства организации дорожного движения», регламентирующий применение дорожных знаков, разметки, светофоров и дорожных ограждений.

Основополагающими целями организации дорожного движения в Российской Федерации являются:

- повышение безопасности участников дорожного движения;
- оптимизация пропускной способности дорожной сети;
- минимизация экономических потерь;
- снижение негативного воздействия транспорта на окружающую среду.

Достижение этих целей осуществляется посредством реализации комплекса мер, включающих как инфраструктурные преобразования, так и внедрение инновационных технологий управления дорожным движением.

К основным мероприятиям по повышению безопасности дорожного движения относят:

- совершенствование транспортной инфраструктуры;
- обучение и своевременное информирование населения;
- повышение и контроль ответственности владельцев автомобилей и пешеходов;
- применение технических средств контроля;
- применение новых и актуальных современных технологий;
- проведение регулярного мониторинга и анализа;
- создание взаимодействия между органами власти и населением по вопросам реали-

зации комплексных программ по безопасности дорожного движения и т.д.

В области повышения безопасности движения Россия достигла значительных успехов. По данным Госавтоинспекции МВД России, за период с 2012 по 2022 год количество дорожно-транспортных происшествий с пострадавшими сократилось на 36,8%, а число погибших в ДТП уменьшилось на 44,7%. Этому способствовало внедрение автоматизированных систем фото- и видеофиксации нарушений ПДД, совершенствование дорожной инфраструктуры и повышение эффективности работы экстренных служб.

Повышение пропускной способности дорог в России осуществляется путем оптимизации организации дорожного движения с использованием интеллектуальных транспортных систем (ИТС). Например, в Москве внедрена система адаптивного управления светофорами, которая анализирует транспортные потоки в режиме реального времени и корректирует режимы работы светофоров, что позволило увеличить пропускную способность улично-дорожной сети на 15-20 %.

Эволюция организации дорожного движения в России за последние 10 лет характеризуется значительным технологическим прогрессом и изменением подходов к управлению транспортными потоками. Если в начале 2010-х годов основной акцент делался на расширении дорожной сети и внедрении базовых элементов автоматизации, то к 2020-м годам произошел переход к комплексному применению цифровых технологий и интеллектуальных систем управления.

Десять лет назад основными инструментами ОДД были традиционные средства регулирования: дорожные знаки, разметка и светофоры с фиксированными циклами работы. Системы видеонаблюдения и фиксации нарушений ПДД только начинали массово внедряться в крупных городах. В это время активно развивалась нормативно-правовая база: в 2013 году были внесены существенные изменения в Федеральный закон «О безопасности дорожного движения», направленные на усиление ответственности за нарушения ПДД.

К 2019 году ситуация значительно изменилась. Был принят и вступил в силу Федеральный закон «Об организации дорожного движения в Российской Федерации», который законодательно закрепил понятие ИТС и определил основные направления развития ОДД. В крупных городах России начали активно внедряться системы адаптивного управления дорожным движением, использующие данные с датчиков транспортного потока и камер видеонаблюдения для оптимизации работы светофоров и информационных табло.

### **Теория / Расчет**

В настоящее время организация дорожного движения в России характеризуется широким применением цифровых технологий и элементов искусственного интеллекта. Активно развиваются проекты «Умный город», в рамках которых создаются единые центры управления дорожным движением, интегрирующие различные подсистемы ИТС. Например, в Москве функционирует Центр организации дорожного движения (ЦОДД), который в режиме реального времени управляет более чем 2700 светофорами и 2000 камерами видеонаблюдения [2].

Особое внимание уделяется развитию систем информирования участников дорожного движения. На федеральных трассах устанавливаются табло переменной информации, представляющие водителям актуальные данные о дорожной обстановке, погодных условиях и возможных затруднениях движения. В крупных городах внедряются системы управления парковочным пространством, позволяющие оптимизировать использование парковочных мест и снизить нагрузку на улично-дорожную сеть.

Важным аспектом современной организации дорожного движения в России является интеграция различных видов транспорта. Развиваются системы «перехватывающих» парковок, создаются транспортно-пересадочные узлы, внедряются решения для приоритетного проезда общественного транспорта. Эти меры направлены на создание более сбалансированной и устойчивой транспортной системы, способной удовлетворить потребности растущих городских агломераций.

### **Результаты**

Перспективы развития организации дорожного движения в России тесно связаны с глобальными тенденциями в области транспортных технологий и урбанистики, но при этом учитывают специфику отечественной инфраструктуры и нормативно-правовой базы. Ключевым направлением развития является дальнейшая цифровизация и интеллектуализация систем управления дорожным движением.

В рамках национального проекта «Безопасные качественные дороги» и федерального проекта «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства» предусмотрено масштабное внедрение интеллектуальных транспортных систем (ИТС) в городских агломерациях с населением свыше 300 тысяч человек. К 2024 году планируется реализовать не менее 64 таких проектов. ИТС будут включать в себя подсистемы управления светофорными объектами, детектирования дорожного движения, информирования участников дорожного движения и управления парковочным пространством [3].

Особое внимание уделяется развитию технологий обработки больших данных (Big Data) и искусственного интеллекта (ИИ) для прогнозирования и оптимизации транспортных потоков. Например, в Москве разрабатывается система, способная предсказывать загруженность дорог с точностью до 95 % на срок до 20 минут вперед. Подобные технологии позволяют более эффективно управлять дорожным движением, снижая вероятность возникновения заторов и повышая общую пропускную способность улично-дорожной сети.

Важным аспектом будущего развития организации дорожного движения является интеграция беспилотных транспортных средств в существующую инфраструктуру. В соответствии с Распоряжением Правительства РФ от 25 марта 2020 г. № 724-р, утвердившим Концепцию обеспечения безопасности дорожного движения с участием беспилотных транспортных средств на автомобильных дорогах общего пользования, предполагается поэтапное внедрение беспилотников в транспортную систему страны. Это потребует существенной модернизации систем управления дорожным движением, включая создание высокоточных цифровых карт, развитие сетей 5G для обеспечения связи между транспортными средствами и инфраструктурой (V2X - Vehicle-to-Everything), а также адаптацию нормативно-правовой базы [4-6].

Развитие концепции «умного города» в России предполагает создание единых цифровых платформ управления городской инфраструктурой, включая транспортную систему [7, 8]. В рамках этого направления планируется интеграция различных подсистем ИТС, систем управления общественным транспортом, парковочным пространством и экологического мониторинга. Это позволит оптимизировать транспортные потоки не только с точки зрения эффективности движения, но и с учетом экологических факторов, что особенно актуально в контексте реализации Парижского соглашения по климату, ратифицированного Россией в 2019 году [9-12].

Одним из перспективных направлений является развитие мультимодальных транспортных систем, предполагающих эффективную интеграцию различных видов транспорта [13]. В крупных городах России планируется создание интеллектуальных транспортно-пересадочных узлов, обеспечивающих быструю и удобную смену вида транспорта [14-6]. Это потребует разработки комплексных систем информирования пассажиров и управления пассажиропотоками, учитывающих данные о загруженности различных видов транспорта в режиме реального времени [17].

В области повышения безопасности дорожного движения перспективным направлением является развитие систем активной безопасности транспортных средств и их интеграция с дорожной инфраструктурой [18]. Планируется внедрение технологий предупреждения столкновений, основанных на обмене данными между автомобилями и элементами дорожной инфраструктуры. Это потребует создания надежных систем связи и обработки данных, способных обеспечить минимальные задержки при передаче критически важной информации [19].

Особое внимание в перспективе будет уделяться экологическим аспектам организации дорожного движения. Планируется развитие инфраструктуры для электротранспорта, включая создание сети зарядных станций и внедрение систем приоритетного проезда для экологически чистых транспортных средств. Также рассматривается возможность внедрения динамического управления дорожным движением с учетом экологических параметров, таких как уровень загрязнения воздуха в различных районах города.

### **Обсуждение**

Перспективы развития организации дорожного движения в России связаны с дальнейшей цифровизацией и интеллектуализацией управления транспортными потоками, интеграцией беспилотных транспортных средств, развитием мультимодальных транспортных систем и повышением экологичности городского транспорта. Реализация этих направлений потребует не только технологических инноваций, но и совершенствования нормативно-правовой базы, а также подготовки квалифицированных кадров в области интеллектуальных транспортных систем [20].

Эволюция организации дорожного движения в России за последнее десятилетие демонстрирует значительный прогресс в области внедрения современных технологий и методов управления транспортными потоками. Переход от локальных решений к комплексному, системному подходу, основанному на широком применении информационных технологий и интеллектуальных систем управления, позволил существенно повысить эффективность и безопасность дорожного движения в крупных городах страны.

### **Выводы**

Достигнутые результаты, такие как снижение количества ДТП и повышение пропускной способности дорожной сети, свидетельствуют об эффективности принятых мер. Однако перед специалистами в области организации дорожного движения стоят новые вызовы, связанные с необходимостью адаптации транспортной инфраструктуры к быстро меняющимся технологиям и растущим потребностям общества.

Успешное решение стоящих перед отраслью задач позволит создать в России современную, эффективную и устойчивую транспортную систему, способную удовлетворить потребности растущих городских агломераций и обеспечить высокое качество жизни граждан. При этом ключевым фактором успеха будет являться способность интегрировать передовые мировые практики с учетом специфики российских условий и имеющегося опыта в области организации дорожного движения.

**Благодарности:** Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Булатова О.Ю. Определение основных функций ИТС при организации дорожного движения во время проведения городских массовых мероприятий // Мир транспорта и технологических машин. 2022. №3-2(78). С. 63-68. DOI 10.33979/2073-7432-2022-2(78)-3-63-68.
2. Интеллектуальные транспортные системы в дорожном движении: учебное пособие / С.А. Владимиров, В.А. Гудков, А.Б. Николаев. М.: МАДИ, 2021. 252 с.
3. ГОСТ Р 52289-2019. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств. М.: Стандартинформ, 2020.
4. Развитие транспортной системы: Государственная программа Российской Федерации; утв. постановлением Правительства РФ от 20 декабря 2017 г. № 1596.
5. Евстигнеев И.А. Интеллектуальные транспортные системы на автомобильных дорогах федерального значения России. М.: Перо, 2015. 164 с.
6. Жанказиев С.В. Разработка проектов интеллектуальных транспортных систем: Учебное пособие. М.: МАДИ, 2016. 22 с.
7. Жанказиев С.В. Интеллектуальные транспортные системы: учебное пособие. М.: МАДИ, 2016. 120 с.
8. Загородний Н.А., Шаповалова В.А. Анализ факторов и показателей аварийности с участием средств индивидуальной мобильности (СИМ) в России // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №1-2(84). С. 43-50.
9. Загородний Н.А., Головкин М.В., Бондарь А.С. Исследование перспективных направлений развития информационных транспортных систем // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №1-1(84). С. 39-47.

10. Загородний Н.А., Головкин М.В. Проблемы и перспективы использования умных городских технологий в области безопасности дорожного движения // Управление деятельностью по обеспечению безопасности дорожного движения: состояние, проблемы, пути совершенствования: Сборник материалов XVIII Международной научно-практической конференции. В 2-х частях. Орёл. 2024. С. 161-164.

11. Безопасные качественные дороги: Национальный проект (паспорт утвержден президентом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24.12.2018 № 16).

12. Официальный сайт Госавтоинспекции МВД России. URL: <http://www.gibdd.ru/>.

13. Петров А.И., Евтиков С.А. Концептуальные смыслы энтропийного анализа состояния безопасности дорожного движения в разномасштабных автотранспортных системах // Мир транспорта и технологических машин. 2022. №3-4(78). С. 55-62.

14. Об утверждении Концепции обеспечения безопасности дорожного движения с участием беспилотных транспортных средств на автомобильных дорогах общего пользования: Распоряжение Правительства РФ от 25 марта 2020 г. № 724-р.

15. Семыкина А.С., Загородний Н.А. Повышение безопасности дорожного движения за счет снижения тяжести последствий ДТП // Мир транспорта и технологических машин. №3(62) 2018. С. 88-96.

16. Семыкина А.С., Каблучко И.П., Кобзарев С.В. Экологические проблемы автомобильного транспорта и пути их решения // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: Сборник докладов. Белгород. 2024. С. 161-165.

17. О безопасности дорожного движения: Федеральный закон от 10.12.1995 №196-ФЗ (с изменениями и дополнениями).

18. Об организации дорожного движения в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон от 29.12.2017 №443-ФЗ.

19. Общесистемные меры развития дорожного хозяйства: Федеральный проект; утв. протоколом заседания проектного комитета по национальному проекту «Безопасные и качественные автомобильные дороги» от 20 декабря 2018 г. №4.

20. Якимов М.Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: монография. М.: Логос, 2013. 188 с.

**Семыкина Алла Сергеевна**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

К.т.н., старший преподаватель кафедры «Эксплуатация и организация движения автотранспорта»

E-mail: fantarock@mail.ru

**Загородний Николай Александрович**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

К.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Эксплуатация и организация движения автотранспорта»

E-mail: n.zagorodnj@yandex.ru

**Петрук Максим Витальевич**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

Студент

E-mail: maksimpetruk8@gmail.com

**Лозовая Мария Александровна**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

Ассистент кафедры начертательной геометрии и графики

E-mail: kretova.mariya.94@mail.ru

A.S. SEMYKINA, N.A. ZAGORODNY, M.V. PETRUK, M.A. LOZOVAЯ

**INCREASING AND IMPROVING ROAD SAFETY**

**Abstract.** The article analyzes the organization of road traffic in Russia, its evolution over the past decade, and development prospects. Key aspects are considered, including the regulatory framework, technical means, and modern technological solutions. A comparative analysis of approaches to traffic flow management in different periods is conducted. The main goals of traffic organization are studied: improving safety, optimizing throughput, reducing economic and environmental losses. Modern trends are analyzed, including the introduction of intelligent transport systems, the use of big data and artificial intelligence. The prospects for the development of the industry are discussed, including the integration of unmanned vehicles and the concept of a «smart city». The article will be of interest to specialists in the field of transport planning and a wide range of readers.

**Keywords:** traffic organization, transport infrastructure, road safety, intelligent transport systems, traffic flow management, urbanization, automation, digitalization, unmanned vehicles, smart city

**Acknowledgments:** The work was carried out within the framework of the implementation of the federal program for supporting universities «Priority 2030» using equipment based on the High Technology Center of the V.G. Shukhov BSTU.

## BIBLIOGRAPHY

1. Bulatova O.YU. Opredelenie osnovnykh funktsiy ITS pri organizatsii dorozhnogo dvizheniya vo vremya provedeniya gorodskikh massovykh meropriyatiy // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2022. №3-2(78). S. 63-68. DOI 10.33979/2073-7432-2022-2(78)-3-63-68.
2. Intellektual`nye transportnye sistemy v dorozhnom dvizhenii: uchebnoe posobie / S.A. Vladimirov, V.A. Gudkov, A.B. Nikolaev. M.: MADI, 2021. 252 s.
3. GOST R 52289-2019. Tekhnicheskie sredstva organizatsii dorozhnogo dvizheniya. Pravila primeneniya dorozhnykh znakov, razmetki, svetoforov, dorozhnykh ograzhdeniy i napravlyayushchikh ustroystv. M.: Standartinform, 2020.
4. Razvitiye transportnoy sistemy: Gosudarstvennaya programma Rossiyskoy Federatsii; utv. postanovleniem Pravitel'stva RF ot 20 dekabrya 2017 g. № 1596.
5. Evstigneev I.A. Intellektual`nye transportnye sistemy na avtomobil'nykh dorogakh federal'nogo znacheniya Rossii. M.: Pero, 2015. 164 s.
6. ZHankaziev S.V. Razrabotka proektorov intellektual`nykh transportnykh sistem: Uchebnoe posobie. M.: MADI, 2016. 22 s.
7. ZHankaziev S.V. Intellektual`nye transportnye sistemy: uchebnoe posobie. M.: MADI, 2016. 120 s.
8. Zagorodniy N.A., Shapovalova V.A. Analiz faktorov i pokazateley avariynosti s uchastiem sredstv individual'noy mobil'nosti (SIM) v Rossii // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №1-2(84). S. 43-50.
9. Zagorodniy N.A., Golovkin M.V., Bondar' A.S. Issledovanie perspektivnykh napravleniy razvitiya informacionnykh transportnykh sistem // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №1-1(84). S. 39-47.
10. Zagorodniy N.A., Golovkin M.V. Problemy i perspektivy ispol'zovaniya umnykh gorodskikh tekhnologiy v oblasti bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Upravlenie deyatel'nostyu po obespecheniyu bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya: sostoyanie, problemy, puti sovershenstvovaniya: Sbornik materialov XVIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. V 2-kh chastyakh. Oriol. 2024. S. 161-164.
11. Bezopasnye kachestvennye dorogi: Natsional'nyy proekt (pasport utverzhden prezidiumom Soveta pri Prezidente RF po strategicheskому razvitiyu i natsional'nym proektам, protokol ot 24.12.2018 № 16).
12. Ofitsial'nyy sayt Gosavtoinspeksii MVD Rossii. URL: <http://www.gibdd.ru/>.
13. Petrov A.I., Evtyukov S.A. Kontseptual`nye smysly entropiynogo analiza sostoyaniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v raznomasshtabnykh avtotransportnykh sistemakh // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2022. №3-4(78). S. 55-62.
14. Ob utverzhdenii Kontseptsii obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya s uchastiem bespilotnykh transportnykh sredstv na avtomobil'nykh dorogakh obshchego pol'zovaniya: Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 25 marta 2020 g. № 724-r.
15. Semykina A.S., Zagorodniy N.A. Povyshenie bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya za schet snizheniya tyanzhesti posledstviy DTP // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. №3(62) 2018. S. 88-96.
16. Semykina A.S., Kabluchko I.P., Kobzarev S.V. Ekologicheskie problemy avtomobil'nogo transporta i puti ikh resheniya // Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya molodykh uchenykh BGTU im. V.G. Shukhova: Sbornik dokladov. Belgorod. 2024. S. 161-165.
17. O bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya: Federal'nyy zakon ot 10.12.1995 №196-FZ (s izmeneniyami i dopolneniyami).
18. Ob organizatsii dorozhnogo dvizheniya v Rossiyskoy Federatsii i o vnesenii izmeneniy v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossiyskoy Federatsii: Federal'nyy zakon ot 29.12.2017 №443-FZ.
19. Obshchesistemnye mery razvitiya dorozhnogo khozyaystva: Federal'nyy proekt; utv. protokolom zasedaniya proektnogo komiteta po natsional'nomu proektu «Bezopasnye i kachestvennye avtomobil'nye dorogi» ot 20 dekabrya 2018 g. №4.
20. YAkimov M.R. Transportnoe planirovanie: sozdanie transportnykh modeley gorodov: monografiya. M.: Logos, 2013. 188 s.

**Semykina Alla Sergeevna**

Belgorod State Technological University  
Address: 308012, Russia, Belgorod, st. Kostyukova, 46  
Candidate of technical science  
E-mail: fantarock@mail.ru

**Zagorodny Nikolay Alexandrovich**

Belgorod State Technological University  
Address: 308012, Russia, Belgorod, st. Kostyukova, 46  
Candidate of technical science  
E-mail: n.zagorodnj@yandex.ru

**Petruk Maxim Vitalievich**

Belgorod State Technological University  
Address: 308012, Russia, Belgorod, st. Kostyukova, 46  
Student  
E-mail: maksimpetruk8@gmail.com

**Lozovaya Maria Alexandrovna**

Belgorod State Technological University  
Address: 308012, Russia, Belgorod, st. Kostyukova, 46  
Assistant Professor of Descriptive Geometry and Graphics  
E-mail: kretova.mariya.94@mail.ru

## ЛОГИСТИЧЕСКИЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья

УДК 65.011.56

doi: 10.33979/2073-7432-2025-3-1(90)-116-123

Р.А. ХАЛТУРИН, А.В. ТЕРЕНТЬЕВ

### МЕТОДЫ СНЯТИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В СЛОЖНЫХ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПРИ РАСПРЕДЕЛЕНИИ РЕСУРСОВ ПО ОБЪЕКТАМ ИНФРАСТРУКТУРЫ

*Аннотация.* В статье раскрываются принципы разработки математического аппарата принятия решений в условиях неопределенности. Для решения данной задачи применяется принцип максимума неопределенности, а в качестве меры неопределенности выбирается энтропия Шеннона. Максимум неопределенности достигается на оценках Фишберна, предлагающий распределение априорных вероятностей, как количественную оценку степени их предпочтения. Недостатком данного варианта решения является то, что значение показателей оценочного функционала системы является формальной величиной. Снижение субъективизма применения оценок Фишберна достигается применением разработанной его модифицированной, в части определения эффективного решения на всем возможном пространстве множества решений.

**Ключевые слова:** энтропия, неопределенность, информационное состояние, сложная система, теория принятия решений

#### **Введение**

Распределение ресурсов по объектам инфраструктуры в сложных логистических системах требует разработки специальных методов снятия неопределенности. Это обусловлено многообразием целей при наличии ресурсных ограничений, что вызывает необходимость соизмерения затрат на развитие инфраструктурных проектов с их вкладом в достижение поставленных целей. Возрастающее число альтернативных средств достижения целей и неоднозначность затрат на их реализацию обуславливает необходимость проведения целеориентированного анализа и выбора оптимальных решений из множества возможных вариантов. Межотраслевой характер процессов создания инфраструктурных систем дополнитель но требует координации и учета сложных функциональных взаимосвязей для обеспечения комплексной эффективности.

Выбор способов и средств достижения целей в таких системах подвержен влиянию значительного количества факторов неопределенности. В условиях неопределенности возникает необходимость рассмотрения ряда альтернативных направлений развития инфраструктурных систем. Процесс принятия решений в данном контексте предполагает последовательный выбор вариантов по мере разрешения имеющейся неопределенности.

#### **Материал и методы**

Для разработки математического аппарата принятия решений в условиях неопределенности, который позволит рассматривать сложные системы в условиях неопределенности необходимо классифицировать информационные ситуации, возникающие при проведении исследований (таблица 1). Для этого введём следующие обозначения:  $\Theta = \{\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_n\}$  – исходная информация (количественные оценки), представленная в виде множества взаимоисключающий состояний среды  $C$ ;  $I_i$  – информационная ситуация или степень деградации неопределенности выбора средой  $C$  из своих состояний из множества  $\Theta$ ;  $P_j$  - распределение на элементах  $\Theta_i$  множества  $\Theta$ .

Таблица 1 - Классификация информационных состояний

№	Формализация	Описание
$I_1$	$P_j = P\{\Theta = \Theta_i\}, \sum_{j=1}^n P_j = 1$	Установленное распределение априорных вероятностей на объектах множества состояний исследуемой системы в дискретной форме
$I_2$	$P(x) = \{P_1(x), P_2(x) \dots, P_n(x)\}, 0 \leq P_j(x) \leq 1$	Установленное распределением априорных вероятностей с неопределенными параметрами ( $x$ ) на объектах исследуемой системы
$I_3$	простое отношение: $\Theta_1 > \Theta_2 > \dots > \Theta_n$ , при $P_1 \geq P_2 \geq \dots \geq P_n \geq 0$ .	Установленная система приоритетов на априорных вероятностях распределения объектов множества состояний исследуемой системы, предполагающее введение отношения $P = \{P_1, P_2 \dots, P_n\}$ , а также некоторых заданных величин $\alpha_j, \beta_j$
	частичное отношение порядка через задание неравенств: $P_{j+1} + \dots + P_{j+\alpha_j} < P_j \leq P_{j+1} + \dots + P_{j+(\alpha_j+1)}$	
	интервальное отношение через задание неравенств: $\alpha_j \leq P_{j+1} \leq \beta_j = \alpha_j + \varepsilon_j$	
$I_4$	$P(\Theta) = \{P_1(\Theta), P_2(\Theta) \dots, P_n(\Theta)\}, 0 \leq P_j(\Theta_i) \leq 1$	Неизвестное распределение вероятностей на объектах множества состояний исследуемой системы (при условии отсутствием активного противодействия среды)
$I_5$	$P(\Theta) = \{P_1(\Theta), P_2(\Theta) \dots, P_n(\Theta)\}, 0 \leq P_j(\Theta_i) \leq 1$	Неизвестное распределение вероятностей на объектах множества состояний исследуемой системы (при условии наличия активного противодействия среды)

Создание математического аппарата для принятия решений в условиях неопределенности имеет целью преобразование информационных ситуаций  $I_2, I_3, I_4, I_5$  в состояние, аналогичное  $I_1$ . С этой целью предложен комплекс научных подходов и положений для определения априорных вероятностных распределений состояний исследуемой среды. В их число входят критерий Бернулли-Лапласа, принцип потенциального распределения вероятностей, а также принцип максимума неопределенности (принцип Джейнса), базирующийся на энтропии Шеннона в качестве меры неопределенности [1-3]. Основная идея экстремального подхода к учету фактора неопределенности наиболее полно проявляется посредством применения аппарата принципа максимума энтропии. Ключевой особенностью принципа максимума неопределенности является способность получать оценки априорных распределений для информационных состояний при наличии известных ограничений, представленных вероятностной мерой и заданными количественными параметрами.

Прежде чем перейти к описанию предлагаемого подхода, требуется установить понятие меры неопределенности. Мера неопределенности должна обладать свойствами быть функционалом (зависящим от функции  $P$ ), не иметь зависимости от конкретных значений случайной величины, обладать непрерывностью относительно своих аргументов, принимать нулевое значение при отсутствии неопределенности, быть аддитивной и достигать максимума.

Чаще всего в качестве меры неопределенности случайного объекта в системе с конечным множеством  $A_1, A_2, \dots, A_n$  с соответствующими вероятностями  $P_1, P_2, \dots, P_n$  принимается функционал (энтропия Шеннона).

$$H(A) = - \sum_{k=1}^n P_k \log P_k. \quad (1)$$

### Теория

На первом этапе сформируем «морфологические ящики» соответствующий сложному информационному состоянию исследуемой системы (табл. 2). В таблице 2 определённому количеству расчётных случаев соответствует некий набор значений отдельных информационных состояний  $P_{ci}$ , соответствующих отдельным сценариям или расчётным случаям. Каждый из рассматриваемых сценариев имеет набор ранговых характеристик в виде ранговой последовательности, влияющей на эффективность отдельного расчетного случае  $\mathcal{E}_i$ . Таким образом каждому информационному состоянию  $P_j$  будет соответствовать некий набор в виде

ранговой  $\{r_{11}, r_{i1}, r_{m1}, \dots, r_{1n}, r_{mj}, r_{mn}\}$  последовательности. В данном случае ранг фактора соответствует термину значимость фактора в ранговой последовательности для конкретного информационного состояния. В условиях объективной существующей неопределенности проявляется задача определения веса каждой ранговой последовательности или определения весовых коэффициентов для каждого из элементов системы в виде таблицы 3.

Таблица 2 - Морфологическая матрица расчётных случаев, характеризующих определенное информационное состояние

R		$P_j$					$\exists_i^p$
		$P_1$	...	$P_j$	...	$P_n$	
$P_{ci}$	$P_{c1}$	$p_{11}$	...	$p_{1j}$	...	$p_{1n}$	$\exists_{c1}^p$
	...	...	...	...	...	...	...
	$P_{ci}$	$p_{i1}$	...	$p_{ij}$	...	$p_{mj}$	$\exists_{ci}^p$
	...	...	...	...	...	...	...
	$P_{cm}$	$p_{m1}$	...	$p_{in}$	...	$p_{mn}$	$\exists_{cm}^p$

Поиск весовых коэффициентов представляет задачу, требующую определенного подхода. Ее решение требует проверки ряда гипотез, на основе которых, возможно построение моделей для их вычисления, учитывающих природу неопределенности ряда факторов. Успешный поиск весов (то есть получение весов с приемлемой точностью, в рамках контекста реальной задачи) создает базис для применения критерия Байеса [4] в качестве обобщенного показателя или оценочного функционала. В ситуации, когда существует несколько распределений  $P_j$ , эквивалентных исходной информации, возникает потребность в выборе конкретной модели для расчёта весовых коэффициентов. Решения вопроса лежит в плоскости концепции стохастического доминирования, которая есть ничто иное, как методология введения частичной упорядоченности для множества одномерных функций распределения. Установившийся баланс частичного порядка между функциями распределений (как устойчивое равновесие при прочих равных с математической точки зрения) зависит от содержательного контекста решаемых задач. При выборе модели расчёта весовых коэффициентов предпочтение отдается распределению с наибольшей неопределенностью, которое исключает дополнительную субъективность информации  $H$ .

В общем случае для решения поставленной задачи применяют следующий алгоритм действий:

1) определить условия, функционирования исследуемой системы, то есть определить функции среды как множество взаимоисключающих вариантов  $\Theta = (\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_j, \dots, \Theta_n)$ .

2) определить и задать основной показатель эффективности или полезности (оценочный функционал)  $\Phi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_i, \dots, \varphi_m)$ , описывающий «успех/награду/выигрыш» или «провал/штраф/проигрыш», при среде ( $C$ ) находящейся в состоянии  $\Theta_j \in \Theta$ . Примем этот показатель как  $F$ , а измеритель  $f_{jc}$  будет обозначать, что он принял конкретное численное значение (показатель), если среда находится в состоянии  $\Theta_j$ , а мы оцениваем функционал  $\varphi_{ic}$ .

3) выбрать критерий или критерии эффективности на множестве показателей  $f_{jk}$ , характеризующих сложившуюся информационную ситуацию. Принципиально здесь может сложиться ряд следующих информационных ситуаций:

а) точное знание распределения вероятностей:  $P_j = P\{\Theta = \Theta_j\}$ ,  $\sum_{j=1}^n P_j = 1$  выбора средой. С своих состояний  $\Theta_j$  из множества  $\Theta$ ;

б) информационное состояние описывается как предпочтения элементов  $\Theta$ ;

в) распределение вероятностей на элементах  $\Theta_j$  из  $\Theta$  не определено.

Рассмотрим эти характерные особенности этих информационных состояний и сведем их в общую схему. Наглядное представление данной схемы даёт матрица в виде таблицы 3.

Таблица 3 - Морфологическая матрица выбора сценариев с учетом показателя эффективности или оценочного функционала

R		Q					$\exists_i^p$
		$Q_1 P_1$	...	$Q_j P_j$	...	$Q_n P_n$	
$\Phi$	$\varphi_{c1}$	$f_{11}$	...	$f_{1j}$	...	$f_{1n}$	$\exists_{c1}^p = \sum_{j=1}^n P_j f_{j1}$
	...	...	...	...	...	...	...
	$\varphi_c$	$f_{i1}$	...	$f_{ij}$	...	$f_{mj}$	$\exists_{ci}^p = \sum_{j=1}^n P_j f_{jc}$
	...	...	...	...	...	...	...
	$\varphi_{cm}$	$f_{m1}$	...	$f_{in}$	...	$f_{mn}$	$\exists_{cm}^p = \sum_{j=1}^n P_j f_{jm}$

Как уже отмечалось выше в качестве принятия решения в рассматриваемой ситуации целесообразно использовать критерий Байеса.

$$B(P, \varphi_c^{opt}) = \begin{cases} \max B(P, \varphi_c); \quad \varphi_c \in \Phi \\ \text{или} \\ \min B(P, \varphi_c); \quad \varphi_c \in \Phi \end{cases}, \quad (2)$$

$$B(P, \varphi_k) = \sum_{j=1}^n P_j f_{ic}, \quad (3)$$

Операция максимизации или минимизации определяется физическим смыслом оценочного функционала  $F$ , тем целеполаганием, к которой стремиться система при выборе варианта решения. Суть критерия (1) заключается в максимизации (или минимизации) математического ожидания оценочного функционала. Согласно критерию Байеса решением  $\varphi_k^{opt} \in \Phi$  считается такое решение, для которого математическое ожидание оценочного функционала достигает наибольшего (или наименьшего) возможного значения. Очевидно, что вторая информационная ситуация может быть сведена к первой, если все элементы состояния среды  $\Theta_j \in \Theta$  упорядочены в порядке предпочтения. В качестве оценок неизвестных вероятностей могут быть приняты оценки Фишберна [5].

$$\hat{P}_{cj} = \frac{2(n-j+1)}{n+1}, \quad j = 1, \dots, n, \quad (4)$$

что позволяет для выбора оптимального варианта использовать критерий (1) в виде

$$B(\hat{P}, \varphi_c^{opt}) = \begin{cases} \max B \sum_{j=1}^n \hat{P}_j f_{jc}; \quad \varphi_c \in \Phi \\ \text{или} \\ \min B \sum_{j=1}^n \hat{P}_j f_{jc}; \quad \varphi_c \in \Phi \end{cases}, \quad (5)$$

где  $P_j = \hat{P}_{cj}$ .

Естественным недостатком данного варианта решения является то, что значение показателей оценочного функционала  $F$  является формальной величиной. Кроме того, ситуация усложняется, когда неизвестны предпочтения распределения  $P_j$ . В данном случае в качестве критерия оптимальности рассматриваются критерий, имеющий в своей природе потенциальном распределении вероятностей [6, 7]. Потенциальное распределение вероятностей может быть описано тем фактом, что среда эволюционирует в сторону выбора с большей вероятностью состояния из множества  $\Theta$ , на котором вклад в суммарное значение оценочного функционала  $F$  по всем решениям  $\varphi_i \in \Phi$  имеет большую величину по сравнению с другими аналогичными значениями. Вектор  $P_j$  (потенциальный вектор) априорных распределений состояний среды  $\Theta$  в таком случае определяется в виде:

- если целеполагание – уменьшение потенциала  $F$

$$\hat{P}_j = \frac{\sum_{c=1}^m f_{jc}}{\sum_{j=1}^n \sum_{c=1}^m f_{jc}}, \quad (6)$$

- если целеполагание – увеличение потенциала  $F$

$$\hat{P}_j = \frac{1}{\sum_{c=1}^m f_{ic}} \cdot \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{\sum_{c=1}^m f_{jc}}}. \quad (7)$$

Естественным недостатком данного варианта решения является субъективизм при определении значений  $\hat{P}_{cj}$ .

### Результаты

Рассмотрим возможность модификации метода снятия неопределенности, основанного на оценках Фишберна. Распределение априорных вероятностей  $\hat{P}_j$  подчинено ограничениям.

$$0 \leq \hat{P}_j \leq 1, \quad j = \overline{1, n}, \quad \sum_{j=1}^n \hat{P}_j = 1, \quad (8)$$

то есть определяется  $(n - 1)$  независимых величин. Тогда полное множество распределения априорных вероятностей  $\hat{P}_j$  может быть представлено в виде прямоугольного единичного гипертетраэдра в информационном пространстве  $(n - 1)$  независимых величин  $\sum_{j=1}^{n-1} \hat{P}_j$ . В декартовой системе координат данный гипертетраэдр формируется пересечением положительного гипероктанта гиперплоскостью, отсекающей на каждой из осей отрезок, равный единице [8,9]. Функция неопределенности второго рода обладает тем свойством, что её максимум для простого отношения порядка достигается на оценках Фишберна, при которых выполняется условие:

$$\hat{P}_{j_1} \geq \hat{P}_{j_2} \geq \dots \geq \hat{P}_{j_s} \geq \dots \geq \hat{P}_{j_{n-1}} \geq \hat{P}_{j_n}. \quad (9)$$

Число данных последовательностей определяется количеством возможных перестановок  $j_s = n!$ . При  $n = 3$  поле распределений априорных вероятностей трансформируется в прямоугольный треугольник с единичными катетами (рис. 1). Тогда количество подмножеств, каждому из которых соответствует свое соотношение между  $\hat{P}_j$ , равно  $P_3 = 3! = 6$ .

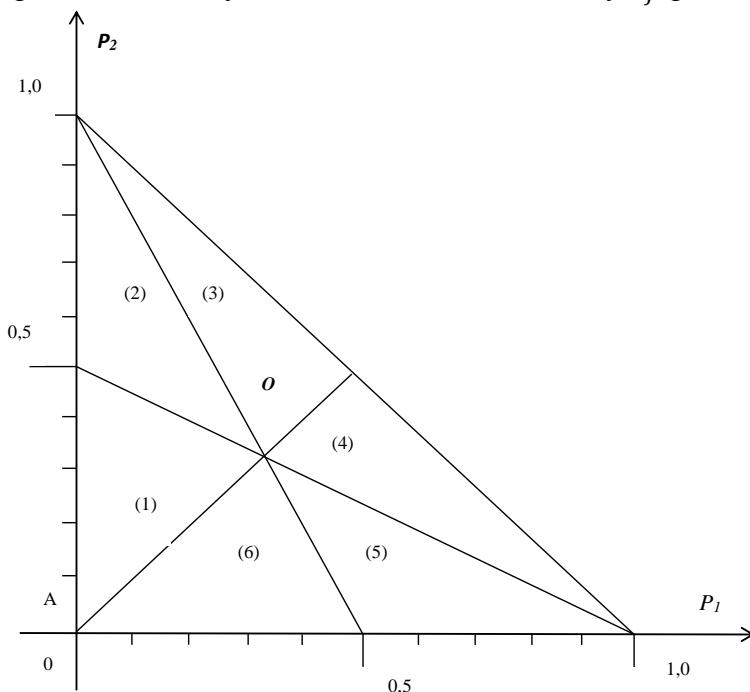


Рисунок 1 - Поле распределений коэффициентов  $\hat{P}_j$ ,  $P_3 = 3! = 6$

Можно сделать заключение о том, что все возможные решения исследуемой системы расположены внутри прямоугольного треугольника с единичными катетами и на его сторонах. На рисунке (1) медианы разбивают данный треугольник на  $3! = 6$  секторов  $\{(1), (2), \dots, (6)\}$ . Точка ( $O$ ) является делит каждую медиану в отношении  $(1/2)$  и имеет координаты  $\hat{P}_{j_1} = \hat{P}_{j_2} = \hat{P}_{j_3} = 1/3$ . Распределение площадей секторов внутри треугольника, подчиняющихся условию:

$$S_1 = S_2 = \dots = S_j = \dots = S_{n!} = \frac{1}{2n!}, \quad (10)$$

где  $S_j$  - площадь сектора;

$$j = \overline{1, n}.$$

В таблице 4 представлены шести подмножеств распределения априорных вероятностей  $\hat{P}_j$ .

Таблица 4 - Геометрическое поле распределения априорных вероятностей  $\hat{P}_j$ .

Подмножество	Соотношение априорных вероятностей $\hat{P}_j$ .
(1)	$\hat{P}_{j_1} < \hat{P}_{j_2} < \hat{P}_{j_3}$
(2)	$\hat{P}_{j_1} < \hat{P}_{j_3} < \hat{P}_{j_2}$
(3)	$\hat{P}_{j_3} < \hat{P}_{j_1} < \hat{P}_{j_2}$
(4)	$\hat{P}_{j_3} < \hat{P}_{j_2} < \hat{P}_{j_1}$
(5)	$\hat{P}_{j_2} < \hat{P}_{j_3} < \hat{P}_{j_1}$
(6)	$\hat{P}_{j_2} < \hat{P}_{j_1} < \hat{P}_{j_3}$

Тогда выражение (4) трансформируется в

$$B(\hat{P}, \varphi_c^{opt}) = \begin{cases} \max B \sum_{j=1}^n P_j f_{jc}; \quad \varphi_c \in \Phi \\ \text{или} \\ \min B \sum_{j=1}^n P_j f_{jc}; \quad \varphi_c \in \Phi \end{cases}, \quad (11)$$

где  $P_j = \max(\min_{j_s} \hat{P}_{cj})$ .

Модель для выбора оптимального варианта (10) дополняет вариант решения задачи, основанный на оценках Фишберна в части определения эффективного решения на всем возможном пространстве множества  $\Theta$ .

### Обсуждение

Формальный подход к выбору методов решения в сложных логистических системах определяется характером имеющейся информации. Выделяют условия определенности, при которых исходная информация считается точно детерминированной и представлена конкретными количественными данными. Вероятностно определенные условия предполагают, что исходная информация задана, включая случайные величины с известными вероятностными характеристиками. Условия неопределенности возникают, когда информация о величинах неточно известна или их вероятностное описание отсутствует [10].

Естественным результатом разработки математического аппарата принятия решений в условиях неопределенности является то, что информационные ситуации должны быть сведены к первой информационной ситуации. Для решения данной задачи применяется принцип максимума неопределенности, а в качестве меры неопределенности выбирается энтропия Шеннона, представленная в дифференциальной форме. Принцип максимума энтропии отражает определенную модель поведения системы, позволяя раскрыть ее свойства путем решения экстремальной задачи. При этом может существовать множество распределений  $P_j$ , эквивалентных исходной информации. Наличие таких распределений требует выбора конкретной модели расчёта весовых коэффициентов для определения оптимального сценария распределения ресурсов. Как правило, для решения поставленной задачи применяются два основных подхода.

Первый вариант базируются на так называемом потенциальному (априорном) распределении вероятностей. Принцип потенциального распределения вероятностей основан на том, что среда эволюционирует в сторону выбора с большей вероятностью. Естественным недостатком данного варианта решения является субъективизм при определении значений  $\hat{P}_{cj}$ .

Второй возможный вариант основан на оценках Фишберна, предлагающий распределение априорных вероятностей  $\hat{P}_j$ , когда количественную оценку степени предпочтения  $\hat{P}_j$  дают так называемые оценки Фишбера, на которых достигается максимум функции неопре-

деленности. Естественным недостатком данного варианта решения является то, что значение показателей оценочного функционала  $F$  является формальной величиной.

### **Выводы**

Снижение субъективизма применения оценок Фишберна достигается применением его модифицированной, в части определения эффективного решения на всем возможном пространстве множества  $\Theta$ , моделью:

$$B(\hat{P}, \varphi_c^{opt}) = \begin{cases} \max B \sum_{j=1}^n P_j f_{jc}; \quad \varphi_c \in \Phi \\ \text{или} \\ \min B \sum_{j=1}^n P_j f_{jc}; \quad \varphi_c \in \Phi \end{cases}, \quad (12)$$

где  $P_j = \max_{j_s} (\min) \hat{P}_{cj}$ .

Модель для выбора оптимального варианта (...) дополняет вариант решения задачи, основанный на оценках Фишберна в части определения эффективного решения на всем возможном пространстве множества  $\Theta$ .

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1978. 395 с.
2. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология. М.: Высшая школа, 2001. 208 с.
3. Саати Томас Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети: пер. с англ., науч. ред. А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. М.: ЛКИ, 2008. 360 с.
4. Черноруцкий И.Г. Методы принятия решений. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 416 с.
5. Фишберн П.С. Теория полезности для принятия решений. М.: Наука, 1978. 352 с.
6. Хованов Н.В., Федотов Ю.В. Модели учета неопределенности при построении сводных показателей эффективности деятельности сложных производственных систем // Научные доклады №28(Р). СПб.: НИИ менеджмента СПбГУ. 2006. 37 с.
7. Тихомирова А.Н., Сидоренко Е.В. Модификация метода анализа иерархий Т. Саати для расчета весов критериев при оценке инновационных проектов // Современные проблемы науки и образования. 2012. №2.
8. Терентьев А.В. Развитие метода районирования // Инновации на транспорте и в машиностроении: Материалы 4-ой международной научно-практической конференции. СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». 2016. С. 127-130.
9. Терентьев А.В., Прудовский Б.Д. Методы принятия решений в условиях неопределённого состояния «внешней среды» // Транспортное планирование и моделирование: сб. трудов Международной научно-практической конференции. СПб: СПбГАСУ, 2016. С. 145-149.
10. Якушев А.А. Принятие управлеченческих решений на основе системного подхода и математического моделирования [Электронный ресурс] / Современные проблемы науки и образования. 2012. №6. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=7936>.
11. Ассоциации «Цифровой транспорт и логистика» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dtla.ru/news/>.
12. Стеценко А.В., Ефремова С.М. Инновационные технологии в логистике: оценка и перспективы развития. Материалы XXII Международной научно-практической конференции. Орел. 2024. С. 155-160
13. Стеценко А.В., Ефремова С.М. Логистический менеджмент: уровень 5PL // Материалы XXI Международной научно-практической конференции. Орел. 2024. С.147-153
14. Федотова С.Н. Цифровизация транспортно-логистических услуг // Экономика и бизнес: теория и практика. 2019. № 11-3 (57). С. 124-127.
15. Шишко Е.Л. Цифровизация и конкурентоспособность в сфере логистических услуг // Логистические системы в глобальной экономике. 2020. №10. С. 344-348.

### **Халтурин Роман Александрович**

Государственный университет управления

Россия, 109542, г. Москва, Рязанский проспект, 99

К.э.н., доцент, ведущий научный сотрудник Управления координации научных исследований

E-mail: ra\_khalturn@guu.ru

### **Терентьев Алексей Вячеславович**

Государственный университет управления

Россия, 109542, г. Москва, Рязанский проспект, 99

Д.т.н., профессор, Главный научный сотрудник Управления координации научных исследований  
E-mail: av\_terentev@guu.ru

R.A. KHALTURIN, A.V. TERENTYEV

## **METHODS FOR UNCERTAINTY REDUCTION IN COMPLEX LOGISTICS SYSTEMS IN RESOURCE ALLOCATION ACROSS INFRASTRUCTURE FACILITIES**

**Abstract.** The article describes the principles for developing a mathematical framework for decision-making under uncertainty. To address this problem, the principle of maximum uncertainty is applied, with Shannon entropy chosen as the measure of uncertainty. Maximum uncertainty is achieved using Fishburn's estimates, which propose a distribution of a priori probabilities as a quantitative assessment of their degree of preference. A drawback of this approach is that the indicator values of the system's evaluation functional are a formal quantity. The subjectivity in applying Fishburn's estimates is reduced by using a developed modification thereof, which focuses on determining an effective solution over the entire possible space of the solution set.

**Keywords:** entropy, uncertainty, information state, complex system, decision theory

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Buslenko N.P. Modelirovaniye slozhnykh sistem. M.: Nauka, 1978. 395 s.
2. Venttsel' E.S. Issledovanie operatsiy. Zadachi, printsipy, metodologiya. M.: Vysshaya shkola, 2001. 208 s.
3. Saati Tomas L. Prinyatie resheniy pri zavisimostyakh i obratnykh svyazyakh: Analiticheskie seti: per. s angl., nauch. red. A.V. Andreychikov, O.N. Andreychikova. M.: LKI, 2008. 360 s.
4. Chernorutskiy I.G. Metody prinyatiya resheniy. SPb.: BHV-Peterburg, 2005. 416 s.
5. Fishbern P.S. Teoriya poleznosti dlya prinyatiya resheniy. M.: Nauka, 1978. 352 s.
6. Hovanov N.V., Fedotov YU.V. Modeli ucheta neopredelennosti pri postroenii svodnykh pokazateley effektivnosti deyatel'nosti slozhnykh proizvodstvennykh sistem // Nauchnye doklady №28(R). SPb.: NII menedzhmenta SPbGU. 2006. 37 s.
7. Tikhomirova A.N., Sidorenko E.V. Modifikatsiya metoda analiza ierarkhiy T. Saati dlya rascheta vesov kriteriev pri otsenke innovatsionnykh proektov // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2012. №2.
8. Terent'ev A.V. Razvitie metoda rayonirovaniya // Innovatsii na transporte i v mashinostroenii: Materialy 4-oy mezdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. SPb.: Natsional'nyy mineral'no-syrovoy universitet "Gornyy". 2016. S. 127-130.
9. Terent'ev A.V., Prudovskiy B.D. Metody prinyatiya resheniy v usloviyah neopredelionnogo sostoyaniya "vneshney sredy" // Transportnoe planirovaniye i modelirovaniye: sb. trudov Mezdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. SPb: SPbGASU, 2016. S. 145-149.
10. YAkushev A.A. Prinyatie upravlencheskikh resheniy na osnove sistemnogo podkhoda i matematicheskogo modelirovaniya [Elektronnyy resurs] / Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2012. №6. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=7936>.
11. Assotsiatsii "Tsifrovoy transport i logistika" [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.dtla.ru/news/>.
12. Stetsenko A.V., Efremova S.M. Innovatsionnye tekhnologii v logistike: otsenka i perspektivy razvitiya. Materialy XXII Mezdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Orel. 2024. S. 155-160
13. Stetsenko A.V., Efremova S.M. Logisticheskiy menedzhment: uroven` 5PL // Materialy XXI Mezdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Orel. 2024. S.147-153
14. Fedotova S.N. Tsifrovizatsiya transportno-logisticheskikh uslug // Ekonomika i biznes: teoriya i praktika. 2019. № 11-3 (57). S. 124-127.
15. Shishko E.L. Tsifrovizatsiya i konkurentosposobnost` v sfere logisticheskikh uslug // Logisticheskie sistemy v global'noy ekonomike. 2020. №10. S. 344-348.

**Khalturin Roman Alexandrovich**

State University of Management

Adress: 109542, Russia, Moscow, Ryazansky Prospekt

Candidate of Economic Sciences

E-mail: ra\_khalturin@guu.ru

**Terentyev Alexey Vyacheslavovich**

State University of Management

Adress: 109542, Russia, Moscow, Ryazansky Prospekt

Doctor of Technical Sciences

E-mail: av\_terentev@guu.ru

Научная статья

УДК 656.073:004.023:004.891.2

doi: 10.33979/2073-7432-2025-3-1(90)-124-133

П.Н. МИШКУРОВ

## ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

**Аннотация.** В области интеллектуализации и цифровизации транспортно-логистических процессов возрастает актуальность создания цифровых двойников технологии переработки вагонопотоков. Приводится краткое описание теории и практики применения имитационных моделей для построения цифровых двойников железнодорожных транспортно-логистических процессов, а также проблемы повышения их адаптивности и большой трудоёмкости описания технологии переработки вагонопотоков. В статье данная проблема рассматривается при планировании сложных последовательностей технологических операций железнодорожных транспортно-логистических процессов промышленных предприятий. Приводится краткое объяснение подходов к моделированию технологии переработки вагонопотоков на промышленной железнодорожной станции, а также представлены результаты их сравнительного анализа. Выявлены основные ограничения использования представленных подходов. Предложен подход к моделированию диспетчерского управления в цифровых двойниках железнодорожных транспортно-логистических процессов со сложными и многовариантными последовательностями технологических операций. Представлены результаты оценки трудоемкости и адаптивности подходов к моделированию диспетчерского управления в составе цифрового двойника железнодорожных транспортно-логистических процессов, а также результаты экспериментов на построенной имитационной модели технологии эксплуатации промышленной железнодорожной станции.

**Ключевые слова:** железнодорожные транспортно-логистические процессы, цифровой двойник, имитационное моделирование, диспетчерское управление, железнодорожная станция, технологические операции, динамические списки операций

### **Введение**

Актуальность задачи построения цифровых двойников железнодорожных транспортно-логистических процессов промышленных предприятий связана с их структурным и технологическим усложнением. Повышение требований промышленных предприятий к своевременности транспортного обслуживания структурных подразделений и стремление к сокращению транспортно-складских затрат в результате уменьшения размера транспортной партии наряду с необходимостью соблюдения интересов собственников подвижного состава и руководства транспорта общего пользования приводит к усложнению структуры вагонопотоков и технологии их переработки в промышленной транспортно-логистической системе. В таких условиях возрастают сложность и многовариантность транспортно-логистических процессов на железнодорожном транспорте необщего пользования.

Широкое применение при решении таких задач нашли различные комбинации методов прогнозирования, оптимизации и анализа состояния систем [1]. В настоящее время цифровые двойники на транспорте начинают применяться для решения задач оперативного регулирования транспортно-логистических процессов [2]. Инструменты имитационного моделирования обладают необходимым потенциалом для создания цифровых двойников динамических производственных и транспортных объектов [3]. Использование имитационных моделей позволяет наиболее детально описать транспортно-логистические процессы, спрогнозировать поведение объектов управления на несколько часов вперёд, автоматизировать рутинные управленические операции, оценить варианты принимаемых оперативных решений [4].

Большая часть исследований в области формирования цифровых двойников на железнодорожном транспорте описывает теорию и практику использования имитационного моде-

лирования для повышения точности описания функционирования железнодорожных транспортных систем. Имитационные модели на железнодорожном транспорте в настоящее время широко применяются для расчета пропускных и перерабатывающих способностей железнодорожных станций, узлов и полигонов [5], оценки соответствия структуры и технологии моделируемых объектов железнодорожного транспорта [6], экспертизы проектов развития железнодорожной инфраструктуры. Для решения таких задач широкое применения нашли асинхронные имитационные модели. Такие модели используются для планирования графика движения поездов [7], оценки их параметров [8], оптимизации работы сортировочных горок [9], промежуточных и участковых станций на сети железных дорог общего пользования, оценки перерабатывающих способностей элементов транспортных узлов и полигонов [10], исследования времени реагирования на чрезвычайные ситуации [11]. Разработчику таких моделей необходимо подробно описывать технологические операции железнодорожных транспортно-логистических процессов отдельными последовательностями элементов имитационной модели (процессный подход). В настоящее время трудоемкость построения имитационных моделей снижается в результате развития методов формализации, например метод макромоделирования железнодорожных узлов и полигонов [12]. Для этих целей используются специализированные инструменты имитационного моделирования, например ИМЕТРА, где каждая железнодорожная станция или парк путей моделируется на основе использования процессного подхода. Результатом представленных асинхронных имитационных моделей являются рекомендации для руководителей стратегического уровня управления работой железнодорожного полигона и транспортного узла, например: анализ пропускной и перерабатывающей способности, инвестиционный план, оценка качества железнодорожных перевозок.

Синхронные имитационные модели требуют дополнительных как программных, так и технических средств синхронизации реальных и модельных данных [13]. Синхронные имитационные модели используются для контроля и оптимизации графика движения поездов [14], оптимизации маршрутов грузовых поездов [15], интеллектуального и автоматизированного управления сортировочной станцией [16]. Основой данных аналитико-имитационных моделей является комплексное использование имитационного моделирования и методов оптимизации графика движения поездов, динамической оптимизации вагонопотоков, многокритериального анализа [17], нейронных сетей. В последнее время возрастает популярность агентного [18] и многоподходного имитационного моделирования, например, агентного и процессного подходов, мультиагентного [19]. Железнодорожные транспортно-логистические процессы описываются в таких моделях статическими последовательностями технологических операций или событий, взаимодействием агентов, а также комплексным использованием процессного и агентного подходов к построению имитационных моделей. Разработчику синхронных моделей требуется детально отображать как путевое развитие, так и технологию переработки вагонопотоков. В таких моделях для повышения точности описания технологии используются методики нормирования маневровой работы, пропуска транзитных поездов [20], пропускной способности железнодорожного перегона, работы сортировочной горки.

Задача использования имитационного моделирования для построения цифрового двойника железнодорожных транспортно-логистических процессов относится к особо сложным [21]. Сложность обусловлена наличием ограничений комплексного использования микроуровневых имитационных моделей и методов оптимизации.

Проблема комплексного использования микроуровневых имитационных моделей и методов оптимизации в цифровых двойниках железнодорожных транспортно-логистических процессов связана с созданием универсальных алгоритмов формирования и обработки сложных последовательностей маневровых операций [22]. Решение данной проблемы позволит снизить высокую трудоёмкость создания микроуровневых имитационных моделей железнодорожного транспорта, автоматизировать процесс построения и выбора сложных маневровых маршрутов, а также расширить возможности использования методов прогнозирования эксплуатационной обстановки в цифровых двойниках железнодорожных транспортно-логистических процессов промышленных предприятий.

### ***Материал и методы***

Решение проблемы комплексного использования микроуровневых имитационных моделей железнодорожных станций и методов оптимизации обладает рядом ограничений.

Ограничением первого уровня являются конфликты при занятии поездами одних и тех же железнодорожных путей и стрелочных переводов. Для построения микроуровневых моделей используются как универсальные, так и специализированные инструменты имитационного моделирования. Однако в каждом инструменте по-разному учитывается данное ограничение [1]. Первый подход основан на использовании Марковского процесса принятия решений. Стрелочный перевод, к которому подъезжают два поезда, переключает стрелку, приоритетность пропуска определяется согласно принципам технической обработки очередей, например, приоритет отдается тому поезду, который ранее достигнет стрелки. Данный подход противоречит требованиям правил технической эксплуатации железных дорог, что является основным ограничением его использования при построении цифровых двойников железнодорожных транспортно-логистических процессов. Второй подход основан на представлении элементов путевого развития в качестве ресурсов, которые последовательно занимаются и освобождаются при движении поезда (ресурсный подход). Такой подход используется, например, в универсальных инструментах имитационного моделирования Arena и AnyLogic. Недостатком указанных подходов является трудоёмкость описания маневровых маршрутов и ограничения по оптимизации этих маршрутов [23].

Ограничение второго уровня связано с описанием большого количества вариантов развития эксплуатационной обстановки на железнодорожной станции. В таком случае разработчику имитационной модели необходимо описывать известные ему варианты маневровых операций, например в виде дерева последовательностей элементов модели. Каждый элемент имитационной модели имитирует занятость конкретных элементов путевого развития в течение выполнения маневровой операции (процессный подход). Основным недостатком процессного подхода является необходимость составления множества последовательностей элементов модели для всех возможных вариантов маневровой работы.

Для сокращения вариантов последовательностей элементов модели используется технология макромоделирования [12], например в специализированном инструменте имитационного моделирования ИСТРА. Основой данного подхода является группировка маневровых операций на операции движения по станции и прочие статические операции. Использование макромоделирования позволяет разработчику модели формировать универсальные последовательности элементов модели по каждому железнодорожному транспортно-логистическому процессу, например прибытие или отправление поезда, расформирование, формирование поезда, постановка или снятие вагонов с грузового фронта, перестановка вагонов и т.д. Представленные имитационные модели используются, в основном, для моделирования магистральных железнодорожных станций, технология работы которых описывается укрупнено в зависимости от количества путей [24]. Однако при описании технологии эксплуатации промышленной железнодорожной станции разработчику имитационной модели необходимо строить сложные статические последовательности элементов модели. Это обусловлено наличием разветвлённой схемы путевого развития и высокой динамикой её загруженности множеством маневровых операций.

В результате использования процессного подхода оценка вариантов развития эксплуатационной обстановки ограничена статическим списком маневровых операций, в котором заранее определены места остановки поезда для смены направления его движения по маршруту из нескольких полурейсов. Для условий функционирования промышленной железнодорожной станции описание статическими списками множества вариантов маневровых маршрутов является трудоёмкой задачей, поскольку при формировании плана маневровой работы необходимо учесть места остановки отдельного поезда для смены направления его движения, в зависимости от его длины, вместимости участка пути и места установки устройств

сигнализации. Корректировка плана маневровой работы на основе внесения изменений в последовательность элементов модели приводит к дополнительным исключениям, и как следствие к ограничениям её адаптивности и точности оценки вариантов развития эксплуатационной обстановки. В результате возрастаёт актуальность создания универсального механизма формирования сложных последовательностей маневровых операций в имитационных моделях железнодорожных станций [1], на основе разработки нового подхода к моделированию технологии обработки вагонопотоков на промышленной железнодорожной станции.

### **Теория**

Моделирование технологии описывается терминами агентного и процессного подходов. Для снижения трудозатрат на описание и корректировку технологии переработки вагонов разработана универсальная конструкция, состоящая из статической последовательности процессных элементов модели, включающих технологические операции.

Основной функцией маневрового диспетчера является формирование последовательностей выполнения технологических операций. Технологические операции передаются динамическим объектам (локомотивные бригады) от управляющего объекта имитационной модели (дежурный по станции или маневровый диспетчер) [1]. Технологические операции представляются отдельным классом объектно-ориентированного языка программирования и набором следующих данных: место (дуга транспортной сети), время (продолжительность), количество (число вагонов).

Выбор оптимальных маневровых маршрутов осуществляется на основе использования методов маршрутизации и описания путевого развития железнодорожной станции в виде специализированного графа (транспортной сети). В данном графе дуги соответствуют железнодорожным путям, а вершины – устройствам сигнализации или железнодорожным стрелочным переводам. Под специализированным графиком понимается преобразованный простой график, таким образом, чтобы при формировании маневрового маршрута учитывать технологию работы железнодорожной станции, например ограничение на разворот поезда на стрелочном переводе [22]. Данное описание схемы путевого развития железнодорожной станции в цифровом двойнике технологии её эксплуатации позволит определять оптимальный маневровый маршрут, состоящий из нескольких полурейсов для отдельной технологической операции.

Взаимодействие диспетчера и локомотивных бригад моделируется на основе формирования последовательностей технологических операций [22]. Формирование очереди технологических операций и корректировка последовательности их выполнения является основой моделирования диспетчерского управления в цифровом двойнике железнодорожных транспортно-логистических процессов (рис. 1). Технологию переработки вагонопотоков в цифровых двойниках предлагается моделировать в форме динамических списков технологических операций, такой подход позволит формировать и корректировать последовательности их выполнения.

Предлагаемый подход к моделированию диспетчерского управления железнодорожной станцией предусматривает три способа формирования и корректировки динамических списков технологических операций.

Первый способ предусматривает ручной ввод технологических операций, например движение локомотива резервом из грузового фронта в приемо-отправочный парк, ручная корректировка таких последовательностей допускается в управляющем объекте (диспетчер) или основном динамическом объекте (локомотив).

Второй способ основан на использовании данных графика движения и плана формирования поездов, технологических карт, а также плановых объёмов погрузки и разгрузки вагонов при автоматическом формировании последовательности технологических операций. Ручной ввод технологических операций в каждом железнодорожном транспортно-логистическом процессе допускается. Данный способ применяется в основном в асинхронных имитационных моделях железнодорожного транспорта [1].

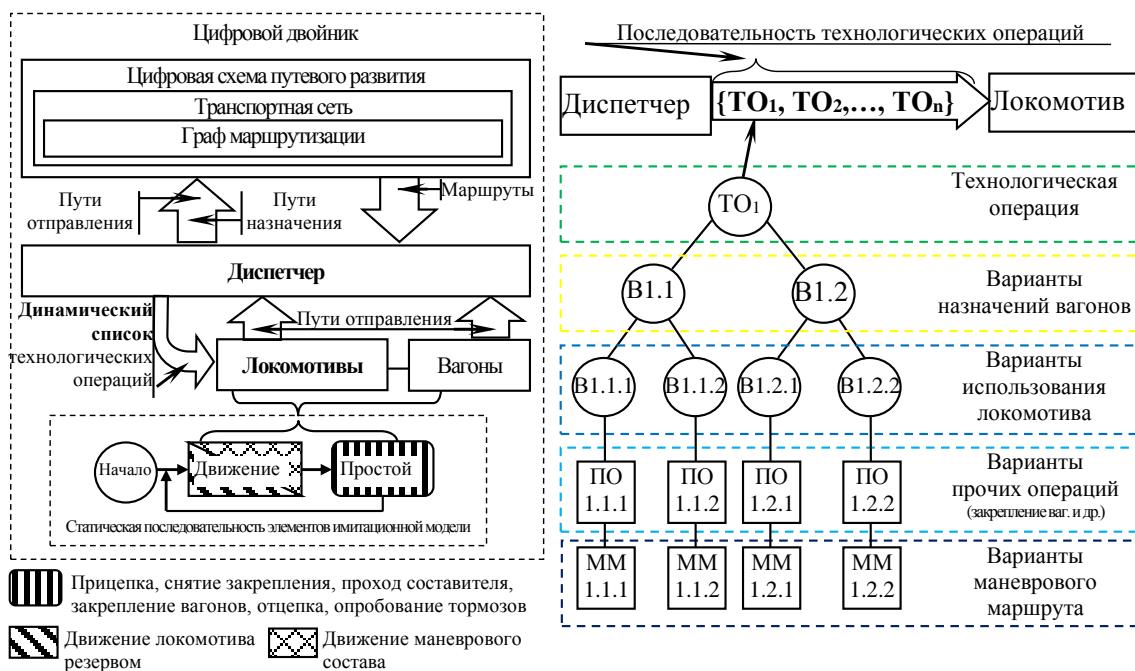


Рисунок 1 – Схема диспетчерского управления в составе цифрового двойника железнодорожных транспортно-логистических процессов

Предлагается третий способ, который позволяет корректировать последовательности технологических операций в зависимости от эксплуатационной обстановки в модели на основе использования оптимизационных алгоритмов, например, методов распределения пожарных вагонов, управления маневровой работой на станциях железнодорожного узла [24], прогнозирование продолжительности выполнения технологических операций [25], что в свою очередь расширит возможности использования методов оптимизации при корректировке и определении их состава.

### Результаты и обсуждение

Реализация предлагаемого подхода к моделированию диспетчерского управления в составе цифрового двойника железнодорожных транспортно-логистических процессов промышленного предприятия предусматривает использование комплекса разработанных решений: способ формирования динамических списков технологических операций железнодорожных транспортно-логистических процессов, подход к моделированию динамических объектов на основе комбинирования объектно-ориентированных и процесс-ориентированных парадигм программирования, способы формирования и корректировки маневровых маршрутов.

Сравнительный анализ подходов к имитационному моделированию технологии переработки вагонопотоков на железнодорожной станции проводился в два этапа. На первом этапе оценивалась трудоёмкость описания последовательностей технологических операций на основе сравнения количества элементов модели и вариантов их последовательностей в зависимости от числа маневровых операций на абстрактном примере. Задача локомотивной бригады – собрать подачу вагонов одного назначения на третьем пути. Маневровую работу локомотива выделим как совокупность технологических операций в составе транспортно-логистического процесса по расформированию вагонов. Результаты оценки трудоёмкости использования подходов к имитационному моделированию технологии эксплуатации железнодорожной станции показывают отличия количества элементов диаграммы процесса и вариантов их последовательностей (рис. 2).

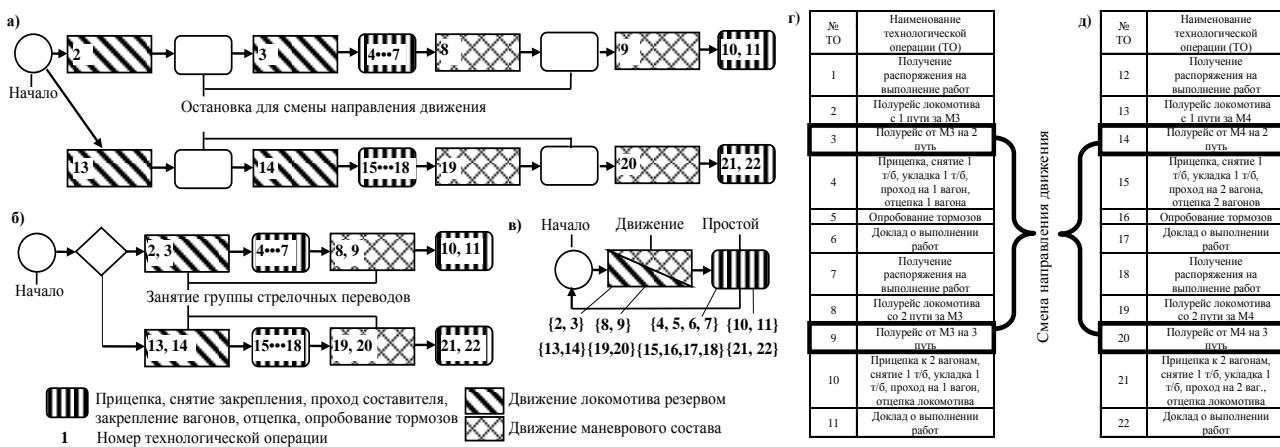


Рисунок 2 – Схемы последовательности элементов имитационной модели технологии эксплуатации железнодорожной станции: а - ресурсный подход и марковский процесс принятия решений; б - технология макромоделирования; в - предлагаемый подход; г - перестановка вагонов через нечетную горловину; д - перестановка вагонов через четную горловину

Разработчику имитационной модели приходится корректировать данные последовательности с учетом изменения технологии переработки вагонопотоков в случае использования им ресурсного подхода. В свою очередь предлагаемый подход позволит формировать универсальные статические последовательности элементов модели. Изменения технологии эксплуатации железнодорожной станции задаются на основе корректирования динамических списков технологических операций, последовательность элементов имитационной модели не меняется.

На втором этапе рассматривались возможные ограничения при моделировании диспетчерского управления. Проведены эксперименты на построенной имитационной моделью промышленной железнодорожной станции крупного металлургического комбината. Оценка подходов к моделированию диспетчерского управления проводилась на основе сравнения способов формализации последовательностей технологических операций и продолжительности имитационных экспериментов (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты сравнительного анализа подходов к описанию диспетчерского управления в имитационных моделях железнодорожных станций

Последовательности транспортно-логистических процессов		Количество ТО	Количество вариантов ТО	Продолжительность имитационного эксперимента, сек.			Количество элементов имитационной модели				
				Подход к моделированию			Подход к моделированию				
Кол-во	Параллельные процессы			Ресурс-ный	Марковский процесс	Предлагае-мый	Ресурс-ный	Марковский процесс	Предла-гаемый		
1	(1)	11	60	0,26	0,44	0,69	40	30	43		
2	(1) (5)	31	270	0,27	0,48	1,66	70	51	57		
3	(1) (2) (5)	58	314	0,28	0,45	2,28	98	73	65		
4	(1) (2) (3) (4)	182	380	0,32	0,46	2,39	111	82	65		
5	(1) (2) (3) (4) (5)	198	590	0,31	столкно-вение	2,72	154	131	65		

(1) - прибытие и отправление поездов; (2) - расформирование поездов; (3) - формирование поездов; (4) - постановка и снятие вагонов с участков их подготовки и грузовых фронтов; (5) - обработка локомотиво-составов; ТО - технологическая операция.

Представленные результаты оценки подходов к описанию диспетчерского управления в имитационных моделях железнодорожных станций показывают расхождение продолжительности имитационных экспериментов. Такое расхождение наблюдается при увеличении количества вариантов технологических операций. Использование предлагаемого подхода приводит к увеличению длительность имитационных экспериментов значительно больше, чем при использовании ресурсного подхода или Марковского процесса принятия решений.

Это связано, во-первых, с увеличением количества вариантов формирования сложных последовательностей технологических операций; во-вторых, с использованием алгоритмов обработки конфликтов при занятии одних и тех же элементов путевого развития (сети), которые необходимы для соблюдения практических правил выполнения технологических операций. При увеличении количества вариантов технологии переработки вагонопотоков использование предлагаемого подхода показывает лучшие результаты адаптивности к сложным последовательностям технологических операций. Предлагаемый подход позволит повысить адаптивность цифрового двойника железнодорожных транспортно-логистических процессов промышленного предприятия на основе автоматического формирования и корректирования динамических списков технологических операций.

### Выводы

Развитие теории цифровых двойников железнодорожных транспортно-логистических процессов промышленных предприятий находится на начальном этапе. Это связано с высокой трудоемкостью детализированного описания последовательностей технологических операций и ограничениями адаптивности самих цифровых двойников к реальным стохастическим процессам. Анализ существующих подходов к моделированию железнодорожных транспортно-логистических процессов позволяет говорить о преимуществах предлагаемого в статье подхода при высокой вариативности последовательностей технологических операций. Предложенный в работе подход расширяет адаптивность цифровых двойников железнодорожных транспортно-логистических процессов к сложным последовательностям технологических операций на основе комплексного использования разработанных решений: способ формирования динамических списков технологических операций, комбинирования объектно-ориентированных и процесс-ориентированных парадигм программирования, способы формирования и корректировки маневровых маршрутов. Реализация разработанных решений позволит использовать различные комбинации методов оптимизации в цифровых двойниках железнодорожных транспортно-логистических процессов промышленных предприятий.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-11-00164, <https://rscf.ru/project/23-11-00164/>.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рахмангулов А.Н., Корнилов С.Н., Мишкуров П.Н., Александрин Д.В. Имитационные модели в цифровых двойниках железнодорожных узлов // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2022. №3(55). С. 43-59. DOI: 10.20291/2079-0392-2022-3-43-59. EDN: ННJEEV.
2. Рахмангулов А.Н., Копылова О.А. Обзор методов и алгоритмов Big Data для решения задач прогнозирования параметров транспортных потоков и проектирования транспортно-логистических систем // Недропользование и транспортные системы. 2024. Т. 14. №2. С. 4-13. DOI: 10.18503/SMTS-2024-14-2-4-13. EDN: QPWZDO.
3. Wagg D.J., Worden K., Barthorpe R.J., Gardner P. Digital Twins: State-of-the-Art and Future Directions for Modeling and Simulation in Engineering Dynamics Applications // ASCE-ASME J Risk and Uncert in Engrg Sys Part B Mech Engng. 2020. T. 6. №3. C. 030901. DOI: 10.1115/1.4046739.
4. Baugher R.W. Simulation of Yard and Terminal Operations // Handbook of Operations Research Applications at Railroads. 2015. С. 219-242.
5. Бородин А.Ф., Николаев К.Ю., Дмитриев Е.О. [и др.]. Опыт применения в прикладных разработках и пути развития системы имитационного моделирования железнодорожных узлов и направлений // Бюллетень учченого совета АО «ИЭРТ». 2023. №8-1. С. 14-34. EDN: ONCZOS.
6. Кощеев А.А., Тимухина Е.Н., Кащеева Н.В. [и др.]. Формирование множества альтернативных решений по выбору параметров структуры и технологии работы железнодорожных станций // Транспорт Урала. 2022. №2(73). С. 65-70. DOI: 10.20291/1815-9400-2022-2-65-70. EDN: JYRQRJ.
7. Котенко А.Г., Кокурин И.М., Белозеров В.Л., Тимченко В.С. Методика оценки пропускной способности реконструируемой железнодорожной линии на основе имитационного моделирования // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2017. Т. 14. №2. С. 372-380. EDN: YUALDV.
8. Wang J., Ghanem A., Rakha H., Du J. A rail transit simulation system for multi-modal energy-efficient

routing applications // International Journal of Sustainable Transportation. 2020. №74. С. 1-16. DOI: 10.1080/15568318.2020.1718809.

9. Романова П.Б., Цыганов С.А. Формирование поездов различной массы и длины // Вестник транспорта Поволжья. 2016. №6(60). С. 71-76. EDN: XIQYSZ.

10. Тэк Е.Л., Король Р.Г. Имитационное моделирование и оценка перерабатывающих способностей элементов транспортного узла Пусан // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2022. №3(75). С. 171-180. DOI: 10.26731/1813-9108. 2022. №3(75). С. 171-180. EDN: OXEOQW.

11. Сирина Н.Ф., Сисин В.А., Сисина О.А. Реализация оптимизационно-прогностической имитационной модели процесса реагирования организационной структуры железнодорожного транспорта на акты незаконного вмешательства и иные чрезвычайные ситуации // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2022. №4(56). С. 83-93. DOI: 10.20291/2079-0392-2022-4-83-93. EDN: XSPYXU.

12. Козлов П.А., Тушин Н.А., Слободянюк И.Г. Макромоделирование железнодорожных станций и узлов // Наука и техника транспорта. 2015. №2. С. 82-88. EDN: TWBJHV.

13. Pouryousef H., Lautala P., White T. Railroad capacity tools and methodologies in the U.S. and Europe // Journal of Modern Transportation. 2015. Т. 23. №1. С. 30-42. DOI: 10.1007/s40534-015-0069-z.

14. Александров А.Э., Сурин А.В., Шипулин А.В. Использование имитационных моделей в оперативном планировании поездной работы // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2015. №4(60). С. 65-72. EDN: VCOLTH.

15. Mancera A., Bruckman D., Weidmann U. Single Wagonload Production Schemes Improvements Using GüterSim (Agent-based Simulation Tool) // Transportation Research Procedia. 2015. Т. 10. С. 615-624. DOI: 10.1016/j.trpro.2015.09.015.

16. Licciardello R., Adamko N., Deleplanque S. Integrating yards, network and optimisation models towards real-time rail freight yard operations // Ingegneria Ferroviaria. 2020. Т. 75. №3. С. 417-447.

17. Bažant M., Kavíčka A., Diviš R., Varga M. Simulation-based rail traffic optimizations applying multicriteria evaluations of variants // Mendel. 2019. Т. 25. №1. С. 139-146. DOI: 10.13164/mendel.2019.1.139.

18. Cenani Š. Emergence and complexity in agent-based modeling: Review of state-of-the-art research // Journal of Computational Design. 2021. Т. 2. №2. С. 1-24. DOI: 10.53710/jcde.983476.

19. Числов О.Н., Мамаев Э.А., Колесников М.В. [и др.]. Интеллектуализация управления мультиагентным взаимодействием при организации грузовых перевозок в припортовых транспортных системах // Известия ЮФУ. Технические науки. 2021. №7(224). С. 119-129. DOI: 10.18522/2311-3103-2021-7-119-129. EDN: KUFJTE.

20. Дудакова А.В., Упрыр Р.Ю. Моделирование технологических процессов на примере работы приемо-отправочного парка участковой станции с использованием среды имитационного моделирования AnyLogic // Общество. 2023. №3-1(30). С. 37-40. EDN EPQMDP.

21. Sun D., Zhang L., Chen F. Comparative study on simulation performances of CORSIM and VISSIM for urban street network // Simulation Modelling Practice and Theory. 2013. Т.37. С. 18-29. DOI: 10.1016/j.simpat.2013.05.007

22. Мишкуров П.Н., Рахмангулов А.Н., Фридрихсон О.В. Методика формирования транспортной сети железнодорожной станции // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2021. №3(51). С. 50-64. DOI: 10.20291/2079-0392-2021-3-50-64. EDN: OBHQTX.

23. Багинова В.В., Кузьмин Д.В. Применение алгоритмов маршрутизации агента при разработке дискретно-событийных имитационных моделей с использованием инструментов железнодорожной библиотеки Anylogic // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2023. №2(58). С. 109-118. DOI: 10.20291/2079-0392-2023-2-109-118. EDN: PZILTM.

24. Bigi F., Bosi T., Pineda-Jaramillo J. [и др.]. Long-term fleet management for freight trains: Assessing the impact of wagon maintenance through simulation of shunting policies // Journal of Rail Transport Planning & Management. 2024. Т. 29. С. 100430. DOI: 10.1016/j.jrtpm.2023.100430/

25. Ерофеев А.А., Чапский С.Ю. Прогнозирование продолжительности выполнения технологических операций в интеллектуальной системе управления транспортным процессом // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт. 2022. №1(44). С. 52-56. EDN: YHBTNA.

**Мишкуров Павел Николаевич**

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

Адрес: 455000, Россия, Магнитогорск, пр. Ленина, 38

К.т.н., доцент, доцент кафедры «Логистика и управление транспортными системами»

E-mail: p.mishkurov@magt.ru

P.N. MISHKUROV

## RAILWAY TRANSPORT AND LOGISTICS PROCESSES DIGITAL TWIN OF INDUSTRIAL ENTERPRISE

**Аннотация.** In the field of railway transportation, the relevance of rail transport and logistics processes digital twins is increasing. A brief description of the theory and practice of using simulation modeling in digital twins of transport and logistics processes is given, as well as the problems of increasing the adaptability and high labor intensity of creating detailed simulation models. The article considers this problem when planning complex sequences of technological operations. A brief explanation of approaches to modeling the technology of railway transport and logistics processes is given, and the results of their comparative analysis are presented. The main limitations of using the presented approaches are identified. An approach to modeling dispatch control in digital twins of rail transport and logistics processes with complex and multivariate sequences of technological operations is proposed. The results of assessing the labor intensity and adaptability of approaches to modeling dispatch control as part of rail transport and logistics processes digital twin are presented, as well as the results of experiments on the constructed simulation model of operating an in-plant rail yard technology.

**Ключевые слова:** digital twin, railway transport and logistics processes, rail yard, technological operations, dynamic lists of operations, simulation modeling, dispatch control

The work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation No. № 23-11-00164, <https://rsrf.ru/project/23-11-00164/>

### BIBLIOGRAPHY

1. Rakhmangulov A.N., Kornilov S.N., Mishkurov P.N., Aleksandrin D.V. Imitatsionnye modeli v tsifrovyykh dvoynikakh zheleznodorozhnykh uzlov // Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. 2022. №3(55). S. 43-59. DOI: 10.20291/2079-0392-2022-3-43-59. EDN: HHJEEV.
2. Rakhmangulov A.N., Kopylova O.A. Obzor metodov i algoritmov Big Data dlya resheniya zadach prognozirovaniya parametrov transportnykh potokov i proektirovaniya transportno-logisticheskikh sistem // Nedropol'zovanie i transportnye sistemy. 2024. T. 14. №2. S. 4-13. DOI: 10.18503/SMTS-2024-14-2-4-13. EDN: QPWZDO.
3. Wagg D.J., Worden K., Bartheorpe R.J., Gardner P. Digital Twins: State-of-the-Art and Future Directions for Modeling and Simulation in Engineering Dynamics Applications // ASCE-ASME J Risk and Uncert in Engrg Sys Part B Mech Engrg. 2020. T. 6. №3. S. 030901. DOI: 10.1115/1.4046739.
4. Baugher R.W. Simulation of Yard and Terminal Operations // Handbook of Operations Research Applications at Railroads. 2015. C. 219-242.
5. Borodin A.F., Nikolaev K.YU., Dmitriev E.O. [i dr.]. Opty primeneniya v prikladnykh razrabotkakh i puti razvitiya sistemy imitatsionnogo modelirovaniya zheleznodorozhnykh uzlov i napravleniy // Byulleten` uchenogo soveta AO «IERT». 2023. №8-1. S. 14-34. EDN: ONCZOS.
6. Koshcheev A.A., Timukhina E.N., Kashcheeva N.V. [i dr.]. Formirovanie mnozhestva al`ternativnykh resheniy po vyboru parametrov struktury i tekhnologii raboty zheleznodorozhnykh stantsiy // Transport Urala. 2022. №2(73). S. 65-70. DOI: 10.20291/1815-9400-2022-2-65-70. EDN: JYRQRJ.
7. Kotenko A.G., Kokurin I.M., Belozerov V.L., Timchenko V.S. Metodika otsenki propusknoy sposobnosti rekonstruiuemoy zheleznodorozhnoy linii na osnove imitatsionnogo modelirovaniya // Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya. 2017. T. 14. №2. S. 372-380. EDN: YUALDV.
8. Wang J., Ghanem A., Rakha H., Du J. A rail transit simulation system for multi-modal energyefficient routing applications // International Journal of Sustainable Transportation. 2020. №74. S. 1-16. DOI: 10.1080/15568318.2020.1718809.
9. Romanova P.B., Tsiganov S.A. Formirovanie poezdov razlichnoy massy i dliny // Vestnik transporta Povolzh'ya. 2016. №6(60). S. 71-76. EDN: XIQYSZ.
10. Tek E.L., Korol' R.G. Imitatsionnoe modelirovaniye i otsenka pererabatyvayushchikh sposobnostey elementov transportnogo uzla Pusan // Sovremennye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovaniye. 2022. №3(75). S. 171-180. DOI: 10.26731/1813-9108. 2022. №3(75). S. 171-180. EDN: OXEOQW.
11. Sirina N.F., Sisin V.A., Sisina O.A. Realizatsiya optimizatsionno-prognosticheskoy imitatsionnoy modeli protsessa reagirovaniya organizatsionnoy struktury zheleznodorozhnnogo transporta na akty nezakonnogo vmeshatel'stva i inye chrezvychaynye situatsii // Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. 2022. №4(56). S. 83-93. DOI: 10.20291/2079-0392-2022-4-83-93. EDN: XSPYXU.
12. Kozlov P.A., Tushin N.A., Slobodyanyuk I.G. Makromodelirovaniye zheleznodorozhnykh stantsiy i uzlov // Nauka i tekhnika transporta. 2015. №2. S. 82-88. EDN: TWBJHV.
13. Pouryousef H., Lautala P., White T. Railroad capacity tools and methodologies in the U.S. and Europe // Journal of Modern Transportation. 2015. T. 23. №1. S. 30-42. DOI: 10.1007/s40534-015-0069-z.

14. Aleksandrov A.E., Surin A.V., Shipulin A.V. Ispol`zovanie imitatsionnykh modeley v operativnom planirovaniyu poezdnoy raboty // Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. 2015. №4(60). S. 65-72. EDN: VCOLTH.
15. Mancera A., Bruckman D., Weidmann U. Single Wagonload Production Schemes Improvements Using G-terSim (Agent-based Simulation Tool) // Transportation Research Procedia. 2015. T. 10. S. 615-624. DOI: 10.1016/j.trpro.2015.09.015.
16. Licciardello R., Adamko N., Deleplanque S. Integrating yards, network and optimisation models towards real-time rail freight yard operations // Ingegneria Ferroviaria. 2020. T. 75. №3. S. 417-447.
17. Baant M., Kavika A., Divi R., Varga M. Simulation-based rail traffic optimizations applying multicriteria evaluations of variants // Mendel. 2019. T. 25. №1. S. 139-146. DOI: 10.13164/mendel.2019.1.139.
18. Cenani. Emergence and complexity in agent-based modeling: Review of state-of-the-art research // Journal of Computational Design. 2021. T. 2. №2. S. 1-24. DOI: 10.53710/jcode.983476.
19. Chislov O.N., Mamaev E.A., Kolesnikov M.V. [i dr.]. Intellektualizatsiya upravleniya mul`tiagentnym vzaimodeystviem pri organizatsii gruzovykh perevozok v priportovykh transportnykh sistemakh // Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki. 2021. №7(224). S. 119-129. DOI: 10.18522/2311-3103-2021-7-119-129. EDN: KUFJTE.
20. Dudakova A.V., Upyr` R.YU. Modelirovanie tekhnologicheskikh protsessov na primere raboty prie-moopravochnogo parka uchastkovoy stantsii s ispol`zovaniem sredy imitatsionnogo modelirovaniya AnyLogic // Obshchestvo. 2023. №3-1(30). S. 37-40. EDN EPQMDP.
21. Sun D., Zhang L., Chen F. Comparative study on simulation performances of CORSIM and VISSIM for urban street network // Simulation Modelling Practice and Theory. 2013. T.37. C. 18-29. DOI: 10.1016/j.simpat.2013.05.007
22. Mishkurov P.N., Rakhamangulov A.N., Fridrikhson O.V. Metodika formirovaniya transportnoy seti zheleznodorozhnoy stantsii // Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. 2021. №3(51). S. 50-64. DOI: 10.20291/2079-0392-2021-3-50-64. EDN: OBHQTX.
23. Baginova V.V., Kuz'min D.V. Primenenie algoritmov marshrutizatsii agenta pri razrabotke diskretno-sobytiynykh imitatsionnykh modeley s ispol`zovaniem instrumentov zheleznodorozhnoy biblioteki Anylogic // Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. 2023. №2(58). S. 109-118. DOI: 10.20291/2079-0392-2023-2-109-118. EDN: PZILTM.
24. Bigi F., Bosi T., Pineda-Jaramillo J. [i dr.]. Long-term fleet management for freight trains: Assessing the impact of wagon maintenance through simulation of shunting policies // Journal of Rail Transport Planning & Management. 2024. T. 29. S. 100430. DOI: 10.1016/j.jrtpm.2023.100430/
25. Erofeev A.A., Chapskiy S.YU. Prognozirovaniye prodolzhitel`nosti vypolneniya tekhnologicheskikh operatsiy v intellektual'noy sisteme upravleniya transportnym protsessom // Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta transporta: nauka i transport. 2022. №1(44). S. 52-56. EDN: YHBTNA.

**Mishkurov Pavel Nikolaevich**

Nosov Magnitogorsk State Technical University (NMSTU)

Address: 455000, Russif, Magnitogorsk, Lenin str., 38

Candidate of technical sciences

E-mail: p.mishkurov@magt.ru

Научная статья

УДК 656.212.7

doi: 10.33979/2073-7432-2025-3-1(90)-134-142

А.С. АКЕЛЬЕВ, Р.Г. КОРОЛЬ

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕРМИНАЛЬНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

*Аннотация.* В статье рассмотрены факторы, влияющие на состояние функционирования терминально-логистических объектов терминально-логистического района и предложена методика оценки экономикой целесообразности их функционирования при текущих параметрах грузопотока и инфраструктуры. Методика направлена на сокращение затрат владельцев инфраструктуры с учетом сохранения доступности железнодорожного транспорта для перевозок путем задействования терминала-демпфера для обработки передаваемых с терминально-логистических объектов грузопотоков с отрицательной рентабельностью. Цель работы заключается в формировании механизма экономической оценки параметров функционирования железнодорожных терминально-логистических объектов. Предметом исследования являются параметры состояния функционирования терминально-логистических объектов, объект исследования - терминально-логистическая инфраструктура терминально-логистического района. По результатам исследования сформирован алгоритм определения состояния функционирования терминально-логистических объектов и представлены варианты организации терминала-демпфера при различных условиях функционирования терминально-логистических объектов.

**Ключевые слова:** терминально-логистическая инфраструктуры, терминально-логистический объект, малодеятельная грузовая площадка, инфраструктура общего пользования, терминал-демпфер

### Введение

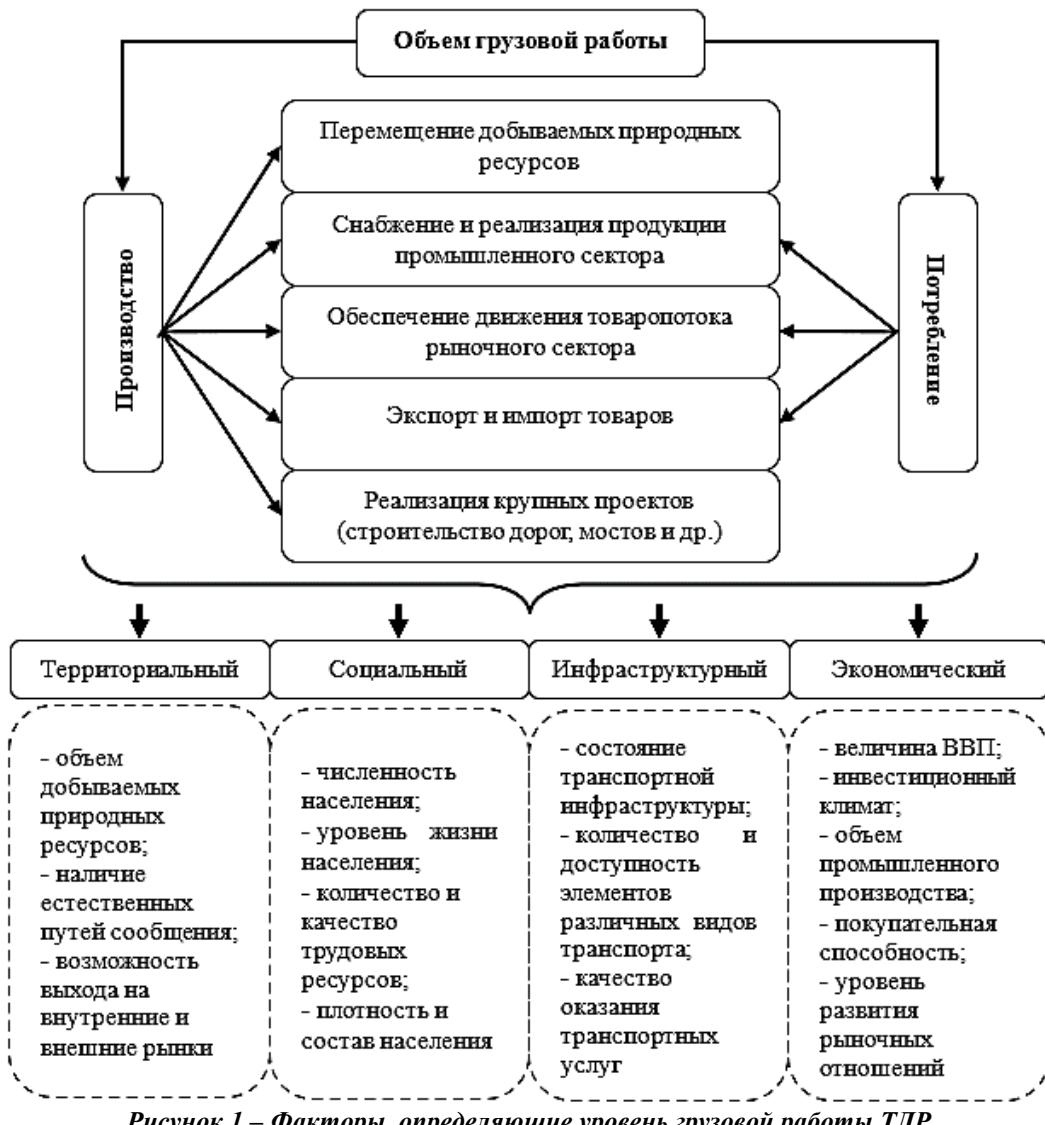
Необходимость оптимизации параметров функционирования сети терминально-логистических объектов (далее ТЛО) связана с изменяющимися требованиями транспортного рынка и повышением качества оказания логистических услуг. Завершение жизненного цикла цепей поставок приводит к спаду грузовой работы в конечных пунктах доставки и пунктах перевалки, а создание новых направлений движения грузопотока определяет потенциальные места развития ТЛО [1]. Переход между состояниями роста, рецессии, стагнации характерен для ТЛО всех видов транспорта, в том числе целесообразность функционирования ТЛО железнодорожного транспорта в большей степени зависит от наличия и показателей работы крупных производственных, добывающих предприятий и компаний среднего бизнеса [2].

### Материал и методы

ТЛО железнодорожного транспорта разделяются на объекты общего и необщего пользования, перерабатывающей способности которых в условиях изменения грузопотоков может быть недостаточно, или быть выше требуемых показателей. Инфраструктура необщего пользования обрабатывает грузопотоки собственника железнодорожного пути, или неограниченного круга грузовладельцев, получившим в установленном порядке право пользования (обслуживания) инфраструктурой. Железнодорожные ТЛО общего пользования входят в состав центральной дирекции по управлению терминально-складским комплексом (далее ЦМ) и обеспечивает доступность железнодорожного транспорта для грузовладельцев, не имеющих собственные терминальные мощности [3].

Территориальную совокупность ТЛО общего и необщего пользования можно представить в виде терминально-логистического района (далее ТЛР). Грузовую работу терминально-логистического района укрупненно можно разделить на производство (погрузка) и потребление (выгрузка) грузопотока. Использование авторами терминологии производства и потребления в отношении грузовой работы связано с более точным описание роли ТЛР в логистической цепи. Терминально-логистический район, представляющий собой систему взаи-

мосвязанных логистических элементов различных видов транспорта в пределах территории городской агломерации, или транспортно-обособленных промышленных зон, определяет возможность передачи зарожденного в пределах ТЛР грузопотока во внешнюю транспортную систему, то есть обеспечивает производство транспортных услуг [4]. Под потреблением грузопотока ТЛР понимается получение из внешней среды груза, потребляемого внутри территории, обслуживаемой ТЛР, или проходящим через него транзита с переработкой [5]. Наличие грузовой базы, обеспечивающей функционирование ТЛО в ТЛР обусловлено множеством факторов, основные представлены на рисунке 1 [6-7].



*Рисунок 1 – Факторы, определяющие уровень грузовой работы ТЛР*

Железнодорожный транспорт, в первую очередь, предназначенный для перемещения массовых грузопотоков наиболее восприимчив к изменениям объемов добываемых природных ресурсов, экспорта и импорта товаров, особенно при перевозках в направлении портов, а также величины производства промышленного сектора регионов страны [8].

В Дальневосточном регионе к основным факторам, влияющим на формирование грузовой работы ТЛО железнодорожного транспорта можно отнести: колебания объемов реализации природных ресурсов на внутренних и внешних рынках [9]; высокий темп наращивания международных перевозок через сухопутные переходы и порты; улучшение инвестиционного климата – развитие территорий опережающего развития; привлечение в регион федеральных застройщиков с повышением темпов строительства новых объектов (строительные грузы) [10]. Под влиянием факторов, представленных на рис. 1, изменялся объем грузовой работы дальневосточной дирекции по управлению терминално-складским комплексом (далее

ДВДУТСК) [11]. Динамика изменения грузовой работы ТЛО ДВДУТСК представлена на рисунке 2.

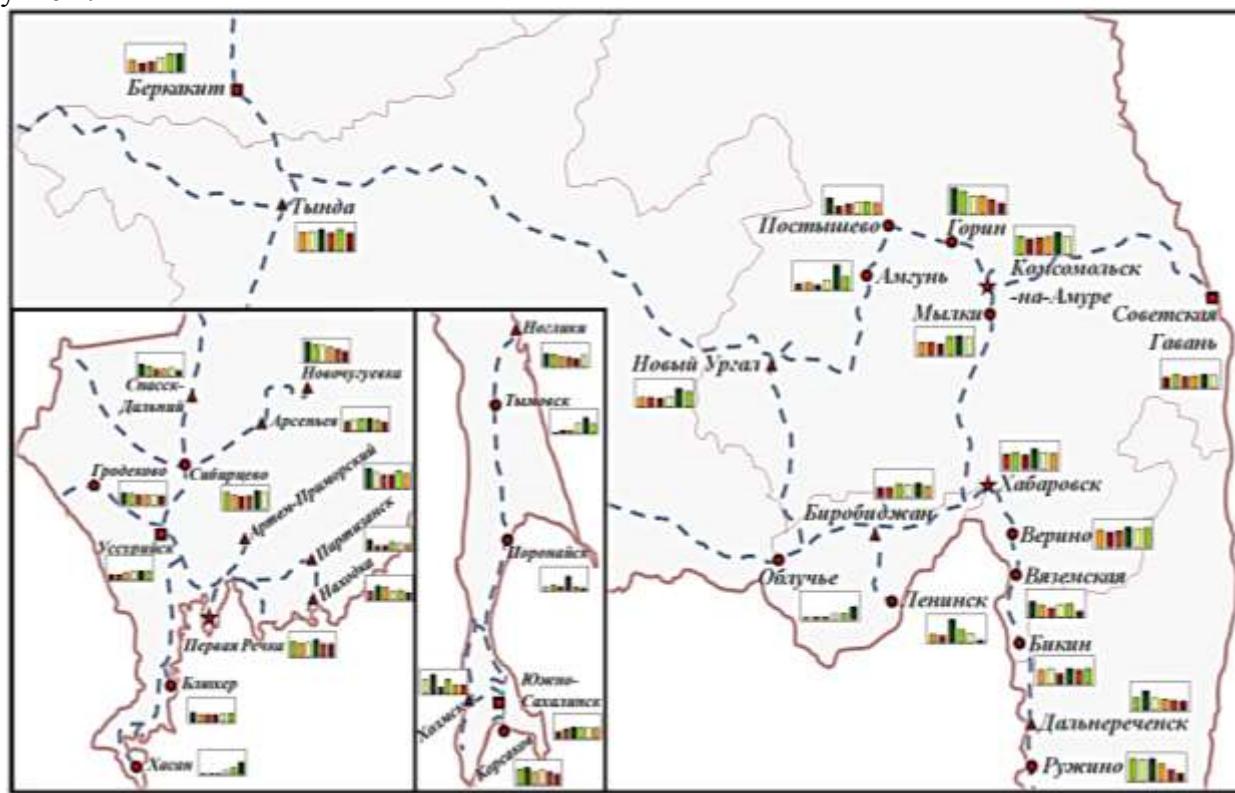


Рисунок 2 – Грузовая работа ТЛО ДВДУТСК

Условные обозначения: **Ноглики** – наименование ТЛО; — обозначение границы территории Российской Федерации; — субъектов Российской Федерации; ★ – терминально-логистический центр; ■ – грузовой терминал; ▲ – грузовая площадка; ● – малодеятельная грузовая площадка; ● – дезинфекционно-промывочная станция; ◆ – железнодорожный пункт пропуска; — график изменения грузовой работы на станции с ТЛО ДВДУТСК с 2019 по 2024 год

Разделение ТЛО на виды, обозначенные на рисунке 2, указывает на основные параметры функционирования этих объектов. Виды ТЛО железнодорожного транспорта подразделяются по основным параметрам их функционирования: количество оказываемых услуг, перерабатываемых видов грузов, грузовых фронтов, погрузочно-разгрузочных механизмов и емкости зон хранения [12]. Сравнительная характеристика видов ТЛО железнодорожного транспорта представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика ТЛО

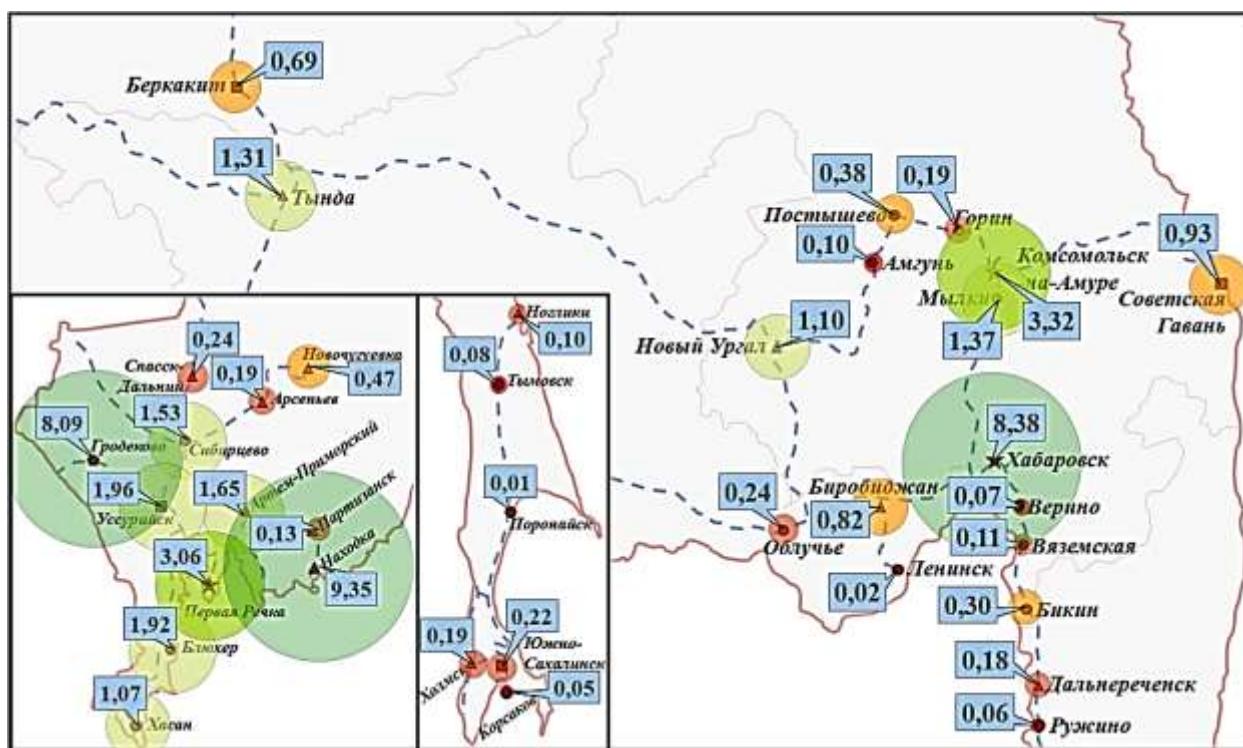
Наименование вида ТЛО	Уровень развития ТЛО			
	Оказываемые услуги	Номенклатура грузов	Грузовые фронты и ПРМ	Емкость зон хранения
Терминально-логистический центр	high	high	high	high
Грузовой терминал	mid - high	mid - high	mid	mid
Грузовая площадка	low	low	low - mid	low - mid
Малодеятельная грузовая площадка	low	low	low	low

Терминально-логистический центр – является структурно сложным ТЛО, в котором помимо переработки различных номенклатур грузов несколькими видами погрузочно-разгрузочных машин, работающими на развитой структуре грузовых фронтов с прилагающими к ним зонами хранения, оказываются сопутствующие логистические услуги. Грузовой

терминал представляет собой менее развитый ТЛО, чем терминально-логистический центр, но также может оказывать ряд сопутствующих логистических услуг и имеет развитую сеть грузовых фронтов с переработкой различной номенклатуры грузов. Грузовая площадка предназначена для переработки немногочисленной номенклатуры грузов, имеет малое количество грузовых фронтов, чаще всего один, с малым количеством погрузочно-разгрузочных машин. Малодеятельная грузовая площадка (далее МГП) является ТЛО, функционирование которого не производится на постоянной основе, но может быть возобновлено по заявке клиента путем выездной мобильной бригады.

Дезинфекционное-промывочная станция и железнодорожный пункт пропуска выделены в отдельные категории ТЛО в соответствии с теми функциями, которые они выполняют. Авторами предлагается дополнить существующую классификацию ТЛО терминалом-демпфером, суть которого заключается во временном увеличении перерабатывающей способности элементов ТЛР, за счет задействования ранее не используемой инфраструктуры для переработки поступающего грузопотока. Терминалом-демпфером, как объектом ЦМ может являться незадействованный путь станции, имеющий терминальную инфраструктуру, или путь необщего пользования, подходящие для организации грузовой работы с соответствующими характеристиками грузопотока [13].

Каждый из перечисленных объектов предназначен для обработки определенного объема грузопотока, формирующегося при определенных условиях внешней по отношению к ТЛО среде. На сегодняшний день с динамикой снижения общей погрузки на сети железных дорог (по итогам 2024 года снижения составило 4,1% относительно аналогичного показателя 2023 года [14]) объем погрузки на Дальневосточной железной дороге растет (в 2024 году + 2,6 %) [15]. Объем грузовой работы по станциям, имеющим ТЛО ДВДУТСК, представлен на рисунке 3.



**Рисунок 3 – Объем грузовой работы по станциям, обслуживающим ТЛО ДВДУТСК (млн. тонн)**

Из рисунка 3 видно основные места высокой концентрации грузовой работы, расположены в крупных транспортных узлах, небольшие объемы грузовой работы, как правило, приходятся на станции, обслуживающие МГП.

### Теория / Расчет

Оценка эффективности функционирования ТЛО с различными объемами переработки грузовых потоков по уровню прибыльности не может отражать фактические условия функционирования, определение которых важно для своевременной оптимизации параметров и повышения эффективности работы ТЛО. Методика оценки экономикой целесообразности функционирования ТЛО должна учитывать: уровень загруженности терминально-складской инфраструктуры при текущих показателях общей прибыльности ТЛО; влияние условий предоставления терминально-логистических услуг на уровень их маржинальности; влияние маржинальности каждой партии грузопотока на прибыльность ТЛО. Алгоритм определения состояния функционирования ТЛО представлен на рисунке 4.

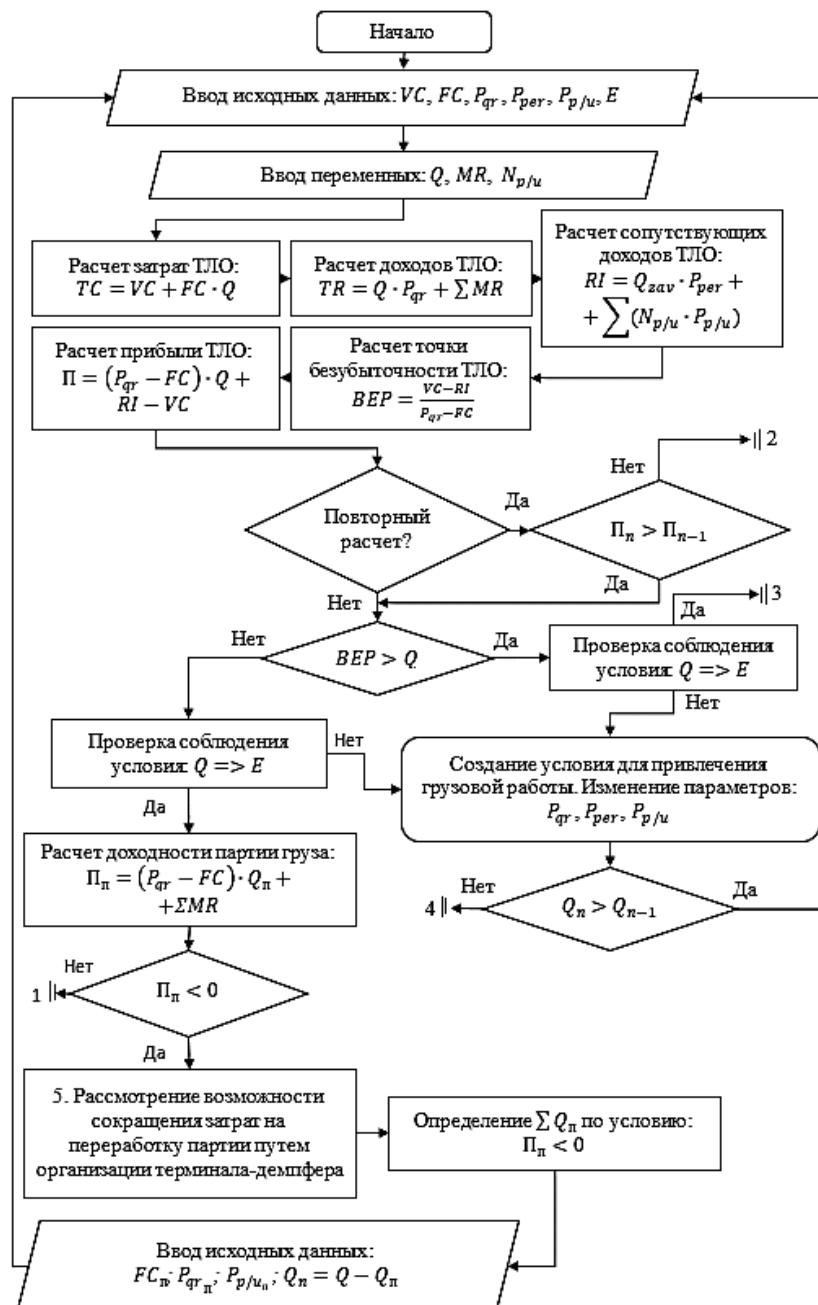


Рисунок 4 – Алгоритм определения состояния функционирования ТЛО

Условные обозначения:  $VC$  – постоянные затраты;  $FC$  – переменные затраты;  $P$  – стоимость ( $qr$  – перегрузки,  $per$  - перевозки -  $p/u$  – подачи/уборки);  $E$  – перерабатывающая способность;  $Q$  – грузооборот;  $MR$  – дополнительная прибыль;  $Np/u$  – количество подач и уборок;  $Qzav$  – грузооборот, перевозка которого железнодорожным транспортом возможна, или целесообразна из-за наличия ТЛО

На рисунке 3 определены три состояния функционирования ТЛО:

- оптимальное состояние функционирования (обозначено цифрой 1) – предполагает наличие достаточного уровня прибыли для обслуживания поступающих объемов грузопотока на ТЛО (прохождение точки безубыточности);
- требующее действий по оптимизации параметров функционирования (3 и 5) – рассмотрение возможности организации терминала-демпфера;
- низкоэффективное состояние функционирования (2 и 4) – перевод участка МЧ в категорию МГП при условии  $VEP > Q$ .

Целесообразность содержания инфраструктуры МГП определяется на основе показателей постоянных и перемененных затрат, основных и дополнительных доходов, и может быть представлена в следующем виде (1):

$$\left\{ \begin{array}{l} \Pi^{MGP} < 0 \\ \Pi^{MGP} = TR^{MGP} - FC^{MGP} + RI^{MGP} - VC^{MGP} \end{array} \right., \quad (1)$$

где  $\Pi^{MGP}$  – прибыль МГП, руб.;

$TR^{MGP}$  – доход МГП, формируемый за счет продажи услуг согласно прейскуранту и предоставления в пользование основных фондов, руб.;

$FC^{MGP}$  – переменные затраты МГП, представляющие собой затраты, находящиеся в зависимости от объема осуществляющей грузовой работы, руб.;

$RI^{MGP}$  – дополнительный доход МГП, к которому можно отнести формируемый ею дополнительный вагонопоток, без функционирования МГП этот грузопоток был бы перевезен другими видами транспорта, руб.;

$VC^{MGP}$  – постоянные затраты МГП (затраты, величина которых не зависит от объема выполняемой грузовой работы), руб.

#### ***Результаты и обсуждение***

При соблюдении критерия  $\Pi^{MGP} < 0$  совокупные затраты превышают получаемый доход, в том числе с учетом прибыли, формируемой за счет перевозочного процесса. Дальнейшее функционирование МГП в таком случае может считаться экономически нецелесообразным [16]. Условия, влияющие на результаты по критерию (1) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Условия функционирования МГП

Условия функционирования	Критерий целесообразности	Применение ТД
<ul style="list-style-type: none"> <li>- низкий объем обрабатываемого грузопотока;</li> <li>- преобладание низкодоходных грузов;</li> <li>- спад, или отсутствие роста грузовой базы</li> </ul>	$\Pi^{MGP} < 0$	Передача имеющегося грузопотока на ТД при условии обеспечения доходности операций. Сокращение постоянных затрат при сохранении доступности железнодорожного транспорта
<ul style="list-style-type: none"> <li>- снижение объема грузовой работы;</li> <li>- уход высокодоходных грузов на альтернативную инфраструктуру или виды транспорта;</li> <li>- превышение темпов роста уровня расходов над доходами</li> </ul>	$\Pi^{MGP} \rightarrow 0$	Оптимизация инфраструктуры: частичное или полное закрытие грузовых фронтов. Снижение расходов на их содержание. ТД используется для обеспечения доступности железнодорожного транспорта для объемов грузопотоков, превышающие оставшуюся перерабатывающую способность
<ul style="list-style-type: none"> <li>- стабильно низкая грузовая база транспортного узла;</li> <li>- отсутствие, или низкая конкуренция с альтернативной терминалной инфраструктурой и другими видами транспорта</li> </ul>	$\Pi^{MGP} = min$	Передача единичных грузопотоков на ТД, не отвечающих критерию обеспечения доходности при экономической целесообразности задействование ТД

Из таблицы 2 видно, что для разных условий функционирования характерны различные варианты распределения грузовой работы и оптимизации параметров ТЛО. Общим во-

просом является экономическое обоснование реализации мероприятий по передаче грузопотока и организации альтернативной терминальной инфраструктуры.

### **Выводы**

При снижении объемов грузовой работы, приходящихся на ТЛО рассматриваемого ТЛР, необходимо обеспечить экономическую целесообразность функционирования терминально-логистического комплекса ЦМ с сохранением доступности железнодорожного транспорта. Выявленные причины спада объемов грузовой работы ТЛО и пути оптимизации перерабатывающей способности ТЛР позволят сократить издержки транспортной системы и экономики региона в целом [17].

Малодеятельные грузовые площадки относятся к ТЛО, на которых были оптимизированы постоянные затраты на содержание инфраструктуры. Эффективность организации МГП зависит от соотношения затрат и доходов от переработки поступающих грузопотоков на данные ТЛО. Поэтому в работе представлен механизм экономической оценки параметров функционирования ТЛО. Содержание убыточной инфраструктуры препятствует развитию перспективных направлений и повышению экономических показателей ЦМ.

Создание вспомогательной сети терминалов-демпферов позволит сократить затраты на содержание ТЛО с показателями грузовой работы, не обеспечивающими целесообразность их функционирования, и обеспечить запас перерабатывающей способности грузонапряженных терминально-логистических районов.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Покровская О.Д. Развитие логистической транспортной системы России в условиях санкций // Бюллетень результатов научных исследований. 2023. №3. С. 58-72. DOI 10.20295/2223-9987-2023-3-58-72. EDN QTHKZC.
2. Москвичев О.В., Гаврилов М.В. К вопросу развития региональной терминально-логистической инфраструктуры ОАО «РЖД» // Наука и образование транспорту. 2024. №1. С. 91-95. EDN JPMOFR.
3. Акельев А.С. Методика воздействования мобильных бригад для увеличения перерабатывающей способности терминальной инфраструктуры железнодорожной транспортной системы // Наука и образование транспорту. 2024. №1. С. 84-87. EDN BPJGXE.
4. Покровская О.Д. Эволюция транспортных узлов как логистических объектов: Прикладная терминистика. Рига: LAP LAMBERT, 2020. 140 с. EDN YZUVXT.
5. Числов О.Н., Мизгирева Е.Е. Принципы формирования комплексного критерия оценки структуры транспортного узла // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2024. №1(93). С. 122-131. DOI 10.46973/0201-727X\_2024\_1\_122. EDN BUZZCL.
6. Апатцев В.И., Басыров И.М. Оценка факторов, влияющих на выбор оптимального месторасположения объектов логистической инфраструктуры // Наука и техника транспорта. 2017. №1. С. 33-37. EDN YHWPJR.
7. Сарвирова Н.С., Саматов У.Г., Мустанов О.Г. Выбор и обоснование мест размещения терминалов по переработке продукции // Экономика и социум. 2023. №1-1(104). С. 395-404. DOI 10.46566/2225-1545\_2023\_1\_104\_395. EDN ITCNZT.
8. Пугачев И.Н. Инфраструктурное сопровождение стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. 2024. №28. С. 72-76. DOI 10.26160/2658-3305-2024-28-72-76. EDN DBVLUY.
9. Подолинная С.Д., Король Р.Г. Определение места размещения транспортно-логистического объекта в особых экономико-географических зонах // Транспорт Урала. 2024. №4(83). С. 69-75. DOI 10.20291/1815-9400-2024-4-69-75. EDN UMZBIA.
10. На ДВЖД зафиксировано сокращение погрузки угля [Электронный ресурс]. URL: <https://vgudok.com/lenta/dalniy-vostok-ne-vezoyt-ugolyok-glavnuy-eksportnyy-region-rzhd-sokrashchaet-pogruzku-uglyu-na>.
11. Федеральные застройщики приходят на Дальний Восток [Электронный ресурс]. URL: <https://xn--d1aqf.xn--p1ai/media/smi/federalnye-zastrojshchiki-prikhodyat-na-dalniy-vostok/>.
12. Грузовые терминалы ЦМ [Электронный ресурс]. URL: [https://cargo.rzd.ru/ru/9806?directorate\\_id=&object\\_type\\_id=5&realty\\_type\\_id=](https://cargo.rzd.ru/ru/9806?directorate_id=&object_type_id=5&realty_type_id=).
13. Акельев А.С., Король Р.Г. Оптимизация параметров функционирования терминально-логистической инфраструктуры железнодорожной транспортной системы // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2024. №3(95). С. 79-89. DOI 10.46973/0201-727X\_2024\_3\_79. EDN

PXKQUX.

14. Итоги грузовой работы РЖД в 2024 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://vgudok.com/lenta/itogi-gruzovoy-raboty-rzhd-v-2024-g-snizhenie-pogruzki-pochti-po-vsem-gruzam-lidery-snizheniya>.
15. Основные производственно-экономические показатели работы ДВЖД в 2024 году [Электронный ресурс]. URL: <https://dvzd.rzd.ru/ru/2174/page/103290?id=2473&accessible=true>.
16. Акельев А.С., Король Р.Г. Совершенствование технологии транспортной работы на железнодорожных терминально-логистических объектах // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2024. №4(64). С. 87-95. DOI 10.20291/2079-0392-2024-4-87-95. EDN JNQZZZ.
17. Мамаев Э.А., Сорокин Д.В. Методические подходы структурирования показателей оценки потенциала международного транспортного коридора // Логистика и управление цепями поставок. 2024. Т. 21. №3(112). С. 11-24. EDN BJKZEV.

**Акельев Андрей Сергеевич**

Дальневосточный государственный университет путей сообщения

Адрес: 680021, Россия, г. Хабаровск, ул. Серышева, 47

Аспирант

E-mail: andrei.akelev@mail.ru

**Король Роман Григорьевич**

Дальневосточный государственный университет путей сообщения

Адрес: 680021, Россия, г. Хабаровск, ул. Серышева, 47

К.т.н., доцент, доцент кафедры «Управление процессами перевозок»

E-mail: kingkhv27@mail.ru

---

A.S. AKELEV, R.G. KOROL

## **ECONOMIC ASSESSMENT OF THE FUNCTIONING PARAMETERS OF TERMINAL AND LOGISTICS FACILITIES OF RAILWAY TRANSPORT**

**Abstract.** The article considers the factors influencing the state of functioning of the terminal and logistics facilities of the terminal and logistics district and suggests a methodology for assessing the economic feasibility of their operation under the current parameters of cargo flow and infrastructure. The methodology is aimed at reducing the costs of infrastructure owners, taking into account the continued accessibility of railway transport by using a damper terminal to process cargo flows transferred from terminal logistics facilities with negative profitability. The purpose of the work is to form a mechanism for the economic assessment of the parameters of the functioning of railway terminal and logistics facilities. The subject of the study is the parameters of the functioning of terminal and logistics facilities, the object of the study is the terminal and logistics infrastructure of the terminal and logistics district. Based on the results of the study, an algorithm for determining the state of operation of terminal logistics facilities has been formed and options for organizing a terminal damper under various operating conditions of terminal logistics facilities are presented.

**Keywords:** terminal and logistics infrastructure, terminal and logistics facility, inactive cargo area, public infrastructure, terminal damper, performance indicators of terminal and logistics facilities

## **BIBLIOGRAPHY**

1. Pokrovskaya O.D. Razvitie logisticheskoy transportnoy sistemy Rossii v usloviyakh sanktsiy // Byulleten` rezul`tativ nauchnykh issledovaniy. 2023. №3. S. 58-72. DOI 10.20295/2223-9987-2023-3-58-72. EDN QTHKZC.
2. Moskvichev O.V., Gavrilov M.V. K voprosu razvitiyu regional`noy terminal`no-logisticheskoy infrastruktury OAO «RZHD» // Nauka i obrazovanie transportu. 2024. №1. S. 91-95. EDN JPMOFR.
3. Akel`ev A.S. Metodika zadeystvovaniya mobil`nykh brigad dlya uvelicheniya pererabatyvayushchey sposobnosti terminal`noy infrastruktury zheleznodorozhnoy transportnoy sistemy // Nauka i obrazovanie transportu. 2024. №1. S. 84-87. EDN BPJGXE.
4. Pokrovskaya O.D. Evolyutsiya transportnykh uzlov kak logisticheskikh ob`ektov: Prikladnaya terminalistika. Riga: LAP LAMBERT, 2020. 140 s. EDN YZUVXT.
5. Chislov O.N., Mizgireva E.E. Printsipy formirovaniya kompleksnogo kriteriya otsenki struktury transportnogo uzla // Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. 2024. №1(93). S. 122-131. DOI 10.46973/0201-727X\_2024\_1\_122. EDN BUZZCL.

6. Apattsev V.I., Basyrov I.M. Otsenka faktorov, vliyayushchikh na vybor optimal'nogo mestoraspolozheniya ob'yektov logisticheskoy infrastruktury // Nauka i tekhnika transporta. 2017. №1. S. 33-37. EDN YHWPJR.
7. Sarvirova N.S., Samatov U.G., Mustanov O.G. Vybor i obosnovanie mest razmeshcheniya terminalov po pererabotke produktsii // Ekonomika i sotsium. 2023. №1-1(104). S. 395-404. DOI 10.46566/2225-1545\_2023\_1\_104\_395. EDN ITCNZT.
8. Pugachev I.N. Infrastrukturnoe soprovozhdenie strategii razvitiya mineral'nosyr'evoy bazy Rossiyskoy Federatsii do 2035 goda // Transportnoe, gornoe i stroitel'noe mashinostroenie: nauka i proizvodstvo. 2024. №28. S. 72-76. DOI 10.26160/2658-3305-2024-28-72-76. EDN DBVLUY.
9. Podolinnaya S.D., Korol' R.G. Opredelenie mesta razmeshcheniya transportno-logisticheskogo ob'yekta v osobykh ekonomiko-geograficheskikh zonakh // Transport Urala. 2024. №4(83). S. 69-75. DOI 10.20291/1815-9400-2024-4-69-75. EDN UMZBIA.
10. Na DVZHD zafiksировано sokrashchenie pogruzki uglya [Elektronnyy resurs]. URL: <https://vgudok.com/lenta/dalniy-vostok-ne-veztot-ugolyok-glavnnyy-eksportnyy-region-rzhd-sokrashchaet-pogruzku-uglya-na>.
11. Federal'nye zastroyshchiki prikhodyat na Dal'niy Vostok [Elektronnyy resurs]. URL: <https://xn-d1aqf.xn-p1ai/media/smi/federalnye-zastroyshchiki-prikhodyat-na-dalniy-vostok/>.
12. Gruzovye terminaly TSM [Elektronnyy resurs]. URL: [https://cargo.rzd.ru/ru/9806?directorate\\_id=&object\\_type\\_id=5&realty\\_type\\_id=1](https://cargo.rzd.ru/ru/9806?directorate_id=&object_type_id=5&realty_type_id=1).
13. Akelev A.S., Korol' R.G. Optimizatsiya parametrov funktsionirovaniya terminal'no-logisticheskoy infrastruktury zheleznodorozhnoy transportnoy sistemy // Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. 2024. №3(95). S. 79-89. DOI 10.46973/0201-727X\_2024\_3\_79. EDN PXKQX.
14. Itogi gruzovoy raboty RZHD v 2024 g. [Elektronnyy resurs]. URL: <https://vgudok.com/lenta/itogi-gruzovoy-raboty-rzhd-v-2024-g-snizhenie-pogruzki-pochti-po-vsem-gruzam-lidery-snizheniya>.
15. Osnovnye proizvodstvenno-ekonomicheskie pokazateli raboty DVZHD v 2024 godu [Elektronnyy resurs]. URL: <https://dvzd.rzd.ru/ru/2174/page/103290?id=2473&accessible=true>.
16. Akelev A.S., Korol' R.G. Sovershenstvovanie tekhnologii transportnoy raboty na zheleznodorozhnykh terminal'no-logisticheskikh ob'yektakh // Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. 2024. №4(64). S. 87-95. DOI 10.20291/2079-0392-2024-4-87-95. EDN JNQZZZ.
17. Mamaev E.A., Sorokin D.V. Metodicheskie podkhody strukturirovaniya pokazateley otsenki potentsiala mezhdunarodnogo transportnogo koridora // Logistika i upravlenie tsepyami postavok. 2024. T. 21. №3(112). S. 11-24. EDN BJKZEV.

**Akelev Andrey Sergeevich**

Far Eastern State Transport University  
Adress: 680021, Russia, Khabarovsk, st. Serysheva, 47  
Postgraduate student  
E-mail: andrei.akelev@mail.ru

**Korol Roman Grigorievich**

Far Eastern State Transport University  
Adress: 680021, Russia, Khabarovsk, st. Serysheva, 47  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: kingkhv27@mail.ru

**Уважаемые авторы!  
Просим Вас ознакомиться с требованиями  
к оформлению научных статей.**

**ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ**

- Представляемый материал должен быть оригинальным (оригинальность не менее 70 %), не опубликованным ранее в других печатных изданиях;
- объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах формата А4 и содержит от 4 до 9 страниц;
- статья предоставляется в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе);
- в одном номере может быть опубликована только одна статья одного автора, включая соавторство;
- если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует присыпать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи;
- аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки - РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

**ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ**

Научная статья, предоставляемая в журнал, должна иметь следующие **обязательные элементы**:

**Введение**

Укажите цели работы и предоставьте достаточный накопленный опыт, избегая подробного обзора литературы или обобщенных результатов.

**Материал и методы**

Предоставьте достаточно подробных сведений, чтобы можно было воспроизвести работу независимым исследователем. Методы, которые уже опубликованы, должны быть обобщены и указаны ссылкой. Если вы цитируете непосредственно из ранее опубликованного метода, используйте кавычки и также ссылайтесь на источник. Любые изменения существующих методов также должны быть описаны.

**Теория / расчет**

Раздел «Теория» должен продлить, а не повторять предысторию статьи, уже рассмотренную во введении, и заложить основу для дальнейшей работы. Напротив, раздел «Расчет» представляет собой практическое развитие с теоретической основы.

**Результаты**

Результаты должны быть четкими и краткими.

**Обсуждение**

Здесь необходимо рассмотреть значимость результатов работы, а не повторять их. Часто целесообразен комбинированный раздел «Результаты и обсуждение». Избегайте подробных цитат и обсуждений опубликованной литературы.

**Выходы**

Основные выводы исследования могут быть представлены в кратком разделе «Выходы», который может стоять отдельно или составлять подраздел раздела «Обсуждение» или «Результаты и обсуждение».

В тексте статьи **не рекомендуется**:

- применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
- применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
- применять произвольные словообразования;
- применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами;

Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

**ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ**

Статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ - 1,25 см, правое поле - 2 см, левое поле - 2 см, поля внизу и вверху - 2 см.

**Обязательные элементы:**

**-заглавие** (на русском и английском языке) публикуемого материала - должно быть точным и ёмким; слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;

**-аннотация** (на русском и английском языке) - описывает цели и задачи проведенного исследования, а также возможности его практического применения, указывает, что нового несет в себе материал; рекомендуемый средний объем - 500 печатных знаков;

**-ключевые слова** (на русском и английском языке) - это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5-10 ключевых слов;

**-список литературы** должен содержать 15-20 источников. В списке литературы количество источников, принадлежащих любому автору не должно превышать 30% от общего количества.

**ПОСТРОЕНИЕ СТАТЬИ**

- Индекс универсальной десятичной классификации (УДК) - сверху слева с абзацным отступом.
- С пропуском одной строки - выровненные по центру страницы, без абзацного отступа и набранные прописными буквами светлым шрифтом 12 pt инициалы и фамилии авторов (И.И. ИВАНОВ).

- С пропуском одной строки - название статьи, набранное без абзацного отступа прописными буквами полужирным шрифтом 14 pt и расположено по центру страницы.
- С пропуском одной строки - краткая (не более 10 строк) аннотация, набранная с абзацного отступа курсивным шрифтом 10 pt на русском языке. С абзацного отступа - ключевые слова на русском языке.
- Текст статьи, набранный обычным шрифтом прямого начертания 12 pt, с абзацной строкой, расположенный по ширине страницы.
- Список литературы, набранный обычным шрифтом прямого начертания 10 pt, помещается в конце статьи. Заголовок «**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**» набирается полужирным шрифтом 12 pt прописными буквами с выравниванием по центру.
- После списка литературы, с абзацного отступа, приводятся набранные обычным шрифтом 10 pt сведения об авторах (на русском языке) в такой последовательности:
  - Фамилия, имя, отчество (полужирный шрифт)
  - Учреждение или организация
  - Адрес
  - Ученая степень, ученое звание, должность
  - Электронная почта (обычный шрифт), не может повторяться у двух и более авторов
- С пропуском одной строки - выровненные по центру страницы, без абзацного отступа и набранные прописными буквами светлым шрифтом 12 pt инициалы и фамилии авторов (на английском языке).
- С пропуском одной строки - название статьи, набранное без абзацного отступа прописными буквами полужирным шрифтом 14 pt и расположено по центру страницы (на английском языке).
- Краткая (не более 10 строк) аннотация, набранная с абзацного отступа курсивным шрифтом 10 pt, с абзацного отступа - ключевые слова (на английском языке).
- С абзацного отступа, приводятся набранные обычным шрифтом 10 pt сведения об авторах (на английском языке).

## **ТАБЛИЦЫ, РИСУНКИ, ФОРМУЛЫ**

Все таблицы, рисунки и основные формулы, приведенные в тексте статьи, должны быть пронумерованы.

**Формулы** следует набирать в редакторе формул Microsoft Equation 3.0 с размерами: обычный шрифт - 12 pt, крупный индекс - 10 pt, мелкий индекс - 8 pt.

Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!

Русские и греческие буквы, а также обозначения тригонометрических функций, набираются прямым шрифтом, латинские буквы - курсивом.

Формулы располагают по центру страницы и нумеруют (только те, на которые приводят ссылки); порядковый номер формулы обозначается арабскими цифрами в круглых скобках около правого поля страницы.

В формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими стандартами. Описание начинается со слова «где» без двоеточия, без абзацного отступа; пояснение каждого символа дается с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Единицы измерения даются в соответствии с Международной системой единиц СИ.

Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют.

### **Пример оформления формулы в тексте**

$$q_1 = (\alpha - 1)^2 \left(1 + \frac{1}{2\alpha}\right) / d, \quad (1)$$

где  $\alpha = 1 + 2\alpha/b$  - коэффициент концентрации напряжений;

$d = 2a$  - размер эллиптического отверстия вдоль опасного сечения.

**Рисунки** и другие иллюстрации (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые. Рисунки, число которых должно быть логически оправданным, представляются в виде отдельных файлов в формате \*.eps (Encapsulated PostScript) или TIF размером не менее 300 dpi.

Если рисунок небольшого размера, желательно его обтекание текстом.

Подписи к рисункам (полужирный шрифт курсивного начертания 10 pt) выравнивают по центру страницы, в конце подписи точка не ставится, например:

### **Рисунок 1 - Текст подписи**

Пояснительные данные набираются светлым шрифтом курсивного начертания 10 pt и ставят после наименования рисунка.

**Таблицы** должны сопровождаться ссылками в тексте.

Заголовки граф и строк таблицы пишутся с прописной буквы, а подзаголовки - со строчной, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставятся. Текст внутри таблицы в зависимости от объема размещаемого материала может быть набран шрифтом меньшего кегля, но не менее 10 pt. Текст в столбцах располагают от левого края либо центрируют.

Слово «Таблица» размещается по левому краю, после него через тире располагается название таблицы, например: Таблица 1 - Текст названия

Если в конце страницы таблица прерывается и ее продолжение будет на следующей странице, нижнюю горизонтальную линию в первой части таблицы не проводят. При переносе части таблицы на другую страницу над ней пишут слово «Продолжение» и указывают номер таблицы: Пример: Продолжение таблицы 1

Нумерация граф таблицы арабскими цифрами необходима только в тех случаях, когда в тексте имеются ссылки на них, при делении таблицы на части, а также при переносе части таблицы на следующую страницу.

*Адрес издателя:*

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»  
302026, Орловская обл., г. Орёл, ул. Комсомольская, 95  
Тел.: (4862) 75-13-18  
[www.oreluniver.ru](http://www.oreluniver.ru).  
E-mail: [info@oreluniver.ru](mailto:info@oreluniver.ru)

*Адрес редакции:*

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»  
302030, Орловская обл., г. Орёл, ул. Московская, 77  
Тел.+7 905 856 6556  
[www.oreluniver.ru](http://www.oreluniver.ru).  
E-mail: [srmostu@mail.ru](mailto:srmostu@mail.ru)

Материалы статей печатаются в авторской редакции

Право использования произведений предоставлено авторами на основании  
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор, корректор,  
компьютерная верстка И.В. Акимочкина

Подписано в печать 12.09.2025. г.  
Дата выхода в свет 25.09.2025 г.  
Формат 70x108/16. Усл. печ. л. 9.1  
Цена свободная. Тираж 500 экз.  
Заказ № 203

Отпечатано с готового оригинал-макета  
на полиграфической базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»  
302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95