

ISSN 2073-7432

МИР ТРАНСПОРТА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 3-3 (78) 2022

Научно-технический
журнал

Издаётся с 2003 года

Выходит четыре раза в год

№ 3-3(78) 2022

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.

Заместитель главного редактора:

Васильева В.В. к.т.н., доц.

Редколлегия:

Агеев Е.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Агуреев И.Е. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Бажиков А.В. д-р техн. наук, проф. (Украина)
Басков В.Н. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Бондаренко Е.В. 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)
Жаковская Л. д-р техн. наук, проф. (Польша)
Жанказиев С.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Зырянов В.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Мартюченко И.Г. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Митусов А.А. д-р техн. наук, проф. (Казахстан)
Нордин В.В. к.т.н., доц. (Россия)
Прентковский О. д-р техн. наук, проф. (Литва)
Прижицы П. д-р техн. наук, проф. (Чехия)
Пушкарёв А.Е. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Ременцов А.Н. д-р пед. наук, проф. (Россия)
Сарбаев В.И. д-р техн. наук, профессор (Россия)
Сиваченко Л.А. д-р техн. наук, проф. (Беларусь)
Юнгмайстер Д.А. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Шарата А. д-р. наук, проф. (Польша)

Ответственный за выпуск: Акимочкина И.В.

Адрес редакции:

302030, Россия, Орловская обл., г. Орел,
ул. Московская, 77
Тел. +7 905 856 6556
http://oreluniver.ru/
E-mail: srmostu@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 и www.akc.ru

© Составление. ОГУ имени И.С. Тургенева,
2022

Содержание

Материалы VIII международной научно-практической конференции
«Информационные технологии и инновации на транспорте»

Эксплуатация, ремонт, восстановление

М.Ю. Обшивалкин, В.В. Епифанов, К.А. Генералова Взаимосвязь показателей технической эксплуатации автомобильного пассажирского транспорта с показателями качества перевозок на регулярных маршрутах межмуниципальных перевозок	3
Е.В. Голов, С.С. Евтуков Исследование закономерностей изменения коэффициентов жесткости автомобилей категории М₁ в зависимости от года выпуска и в соответствии с классификацией EURO NCAP	10
Д.А. Гончарова, Г.В. Пачурин Способ оценки этапов деструкции листовых автомобильных сталей	21

Технологические машины

А.А. Жосан, М.М. Ревякин, И.С. Кузнецов Анализ состояния изношенной гусеницы CAMSO AG 3500 трактора versatile 570 DT	27
---	----

Безопасность движения и автомобильные перевозки

Ди бинчжан Анализ тенденций развития технологий грузовых перевозок в Китайской народной республике	35
Е.А. Близнякова, А.В. Куликов Исследование значимости построения вершин графа посевных полей для планирования работы автомобильного транспорта на микроуровне	44
И.А. Новиков, А.Н. Дегтярь, Д.А. Лазарев, В.Л. Махонин Исследование сложного перемещения транспортного средства при проведении дорожно-транспортной экспертизы	53
А.Н. Новиков, И.А. Новиков, Д.А. Лазарев, Н.А. Загородний Комплексный подход к определению механизма дорожно-транспортного происшествия	60
И.М. Михневич, О.В. Попова Определение критериев целесообразности внедрения системы brt (bus rapid transit)	68
И.Е. Ильина, Е.Е. Витвицкий Методология стратификации субъектов РФ по состоянию безопасности дорожного движения	76
Д.В. Капский САПР оценки решений по организации дорожного движения и развитию транспортных систем	83

Вопросы экологии

А.И. Маслеев, А.Д. Кулязин, М.П. Картникова, А.В. Липенков Оценка эффективности метода муравьиной колонии для решения задачи маршрутизации транспорта	92
А.В. Домбаян, Е.Е. Шаталова Разработка мероприятий по организации дорожного движения в городах с учетом экологических параметров	105

Образование и кадры

В.М. Курганов, В.Н. Мукаев Баланс интересов промышленного предприятия и исполнителя автотранспортных услуг	110
---	-----

Экономика и управление

С.А. Ляпин, Д.А. Кадасев, Н.В. Воронин, Н.М. Жеребцова Аспекты цифровой трансформации транспортной отрасли в регионе	117
М.И. Малышев Принципы внедрения быстроразвивающихся инновационных технологий в процессы транспортной логистики	127
Д.Ю. Кочегура, Л.Б. Миротин, Е.А. Лебедев Цифровизация управления и контроля транспортно-логистическим обеспечением ресурсодобывающего комплекса	135

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: 05.22.01 - 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

Scientific and technical journal
Published since 2003
A quarterly review
№ 3-3(78) 2022

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
Associate Editor
V.V. Vasileva Can. Eng.

Editorial Board:
E.V. Ageev Doc. Eng., Prof. (Russia)
I.E. Agureev Doc. Eng., Prof. (Russia)
A.V. Bazhinov Doc. Eng., Prof. (Ukraine)
V.N. Baskov Doc. Eng., Prof. (Russia)
E.V. Bondarenko 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)
L. Źakowska Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland)
S.V. Zhanakaziev Doc. Eng., Prof. (Russia)
V.V. Zyryanov Doc. Eng., Prof. (Russia)
I.G. Martyuchenko Doc. Eng., Prof. (Russia)
A.A. Mitusov Doc. Eng., Prof. (Kazakhstan)
V.V. Nordin Can. Eng. (Russia)
O. Prentkovskis Doc. Eng., Prof. (Lithuania)
P. Pribyl Doc. Eng., Prof. (Czech Republic)
A.E. Pushkarev Doc. Eng., Prof. (Russia)
A.N. Rementsov Doc. Edc., Prof. (Russia)
V.I. Sarbaev Doc. Eng., Prof. (Russia)
L.A. Sivachenko Doc. Eng., Prof. (Belarus)
D.A. Yungmeyster Doc. Eng., Prof. (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
<http://oreluniver.ru/>
E-mail: srmstu@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 и www.akc.ru

© Registration. Orel State University, 2022

Contents

Operation, Repair, Restoration

<i>M.Yu. Obshivalkin, V.V. Epifanov, K.A. Generalova</i> Interrelation of indicators of technical operation of automobile passenger transport with indicators of transportation quality on regular inter-municipal transportation routes.....	3
<i>E.V. Golov, S.S. Evtyukov</i> Investigation of the regularities of changes in the stiffness coefficients of m1 category cars depending on the year of manufacture and in accordance with the EURO NCAP classification.....	10
<i>D.A. Goncharova, G.V. Pachurin</i> Method for assessing stages of leaf destruction automotive steels.....	21

Technological machines

<i>A.A. Zhosan, M.M. Revyakin, I.S. Kuznetsov</i> Analysis of the condition of the worn track CAMSO AG 3500 of the versatile 570 DT tractor.....	27
--	----

Road safety and road transport

<i>Lee Bingzhang</i> Analysis of trends in freight transport methods and technologies in the people's republic of China.....	35
<i>E.A. Bliznyakova, A.V. Kulikov</i> Investigation of the significance of constructing the vertices of the graph of sowing fields for planning the operation of motor transport at the micro level.....	44
<i>A.N. Novikov, I.A. Novikov, D.A. Lazarev, V.L. Makhonin</i> Investigation of the vehicle complex movement during the road traffic examination	53
<i>A.N. Novikov, I.A. Novikov, D.A. Lazarev, N.A. Zagorodniy</i> An integrated approach to determining the mechanism of a road traffic accident	60
<i>I.M. Mikhnevich, O.V. Popova</i> Determining the criteria for feasibility of introducing bus rapid transit system.....	68
<i>I.E. Ilyina, E.E. Vitvitsky</i> Methodology of stratification of the subjects of the Russian Federation on the state of road safety	76
<i>D.V. Kapski</i> Cad for the evaluation of decisions on the organization of road traffic and the development of transport systems.....	83

Ecological Problems

<i>A.I. Masleev, A.D. Kulyazin, M.P. Karemikova, A.V. Lipenkov</i> Evaluation of the efficiency of the ant colony method for the vrp problem.....	92
<i>A.V. Dombalyan, E.E. Shatalova</i> Development of measures for the organization of traffic in cities, taking into account environmental parameters.....	105

Education and Personnel

<i>V.M. Kurganov, V.N. Mukaev</i> Balance of interests of an industrial enterprise and contractor of motor transport services.....	110
--	-----

Economics and Management

<i>S.A. Lyapin, D.A. Kadasev, N.V. Voronin, N.M. Zherebtsova</i> Aspects of digital transformation of the transport industry in the region.....	117
<i>M.I. Malyshev</i> Principles of introducing rapidly developing innovative technologies into transport logistics processes.....	127
<i>D.Y. Kochegura, L.B. Mirotin, E.A. Lebedev</i> Management and control digitalization for transport and logistics support of the resource-extracting complex	135

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: 05.22.01 - 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.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ, РЕМОНТ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ

Научная статья

УДК 656.072

doi:10.33979/2073-7432-2022-3(78)-3-3-9

М.Ю. ОБШИВАЛКИН, В.В. ЕПИФАНОВ, К.А. ГЕНЕРАЛОВА

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА С ПОКАЗАТЕЛЯМИ КАЧЕСТВА ПЕРЕВОЗОК НА РЕГУЛЯРНЫХ МАРШРУТАХ МЕЖМУНИЦИПАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК

Аннотация. Установлена взаимосвязь факторов, влияющих на эффективность технической эксплуатации автомобиля, которая в свою очередь влияет на показатели качества межмуниципальных пассажирских перевозок. Показатели качества сформированы так, чтобы при помощи них можно было судить о деятельности перевозчиков в области повышения качества перевозочного процесса, и таким образом разделять показатели качества, которые зависят и не зависят от их деятельности. Проведенный анализ позволил установить современные особенности функционирования перевозок пассажиров на межмуниципальных маршрутах и наметить пути для повышения качества перевозок и эффективности эксплуатации пассажирского автомобильного транспорта.

Ключевые слова: транспорт, пассажир, качество, мероприятие, перевозки, транспортные услуги, техническая эксплуатация

Введение

Целый комплекс связанных между собой мероприятий нацелен на повышение качества перевозок пассажиров межмуниципальным автомобильным транспортом. Для разработки таких мероприятий необходимо, на основании накопленного опыта и удовлетворенности пассажиров, изучить и проанализировать информацию о качестве транспортных услуг [1, 2].

Несмотря на темпы роста парка личных автомобилей спрос пассажиров на перевозки межмуниципальным транспортом практически не снижается, данный вид транспорта остается востребованным, а также является социально значимой отраслью [3-5].

Чтобы повысить качество и востребованность пассажирских перевозок межмуниципальным общественным транспортом необходимо повысить эффективность общественного транспорта.

Целью исследования является повышение качества перевозок пассажиров межмуниципальным автомобильным транспортом на основе оценки эффективности технической эксплуатации пассажирского автомобильного транспорта.

Главная задача - увеличить востребованность и привлекательность общественного транспорта для обслуживания населения в регионе путем повышения эффективности общественного транспорта, на основе разработанной методики, учитывающей мнение потребителей. Решить поставленную задачу на межмуниципальных маршрутах можно будет с помощью целостной системы управления, которая ориентирована на население, на качественное удовлетворение их потребностей, и понижение общественно-необходимых затрат на транспортные перевозки.

Материал и методы

Для осуществления взаимодействия с пассажирами предложена методика оценки их удовлетворенности качеством перевозок на МПАТ, представленная в виде алгоритма, основанного на использовании комплекса показателей качества, определении значений показателя ТЭА, определении их количественных значений, оценке итогового показателя качества и разработке на основе этой оценки программы внедрения мероприятий по повышению качества перевозок [6-8].

Показатель качества, при перемещении пассажиров на межмуниципальном транспорте, является количественной характеристикой одной из особенностей, составляющих каче-

ство пассажирских перевозок, рассматриваемой применительно к определенным условиям их организации и осуществления [9-11]. Большинство авторов приравнивают качество пассажирских перевозок к безопасности [12-15]. На самом деле, требования безопасности перевозок отражены во всех стандартах, связанных с пассажирскими транспортными услугами. К показателям, которые помогают оценить качество перевозок, можно отнести безопасность поездки, время передвижения, комфортабельность поездки и ожидания, и др.

Согласно методике оценки удовлетворенности пассажиров, важным этапом является анкетирование пассажиров. При этом необходимо разработать анкету. Математически данный процесс формализован путем отображения множества показателей качества во множество возможных вопросов анкеты. На практике данное отображение реализовано группой экспертов [16-17].

Теория

Для оценки удовлетворенности пассажиров перевозками необходимо рассчитать итоговый показатель удовлетворенности пассажиров перевозками. Предложен итоговый показатель удовлетворенности пассажиров A_u , который может количественно оценить эффективность транспорта общего пользования:

$$A_u = K_{T_{a}cp_i} \cdot \sum_{i=1}^M A_i \cdot q_{i3n} \rightarrow 1; \quad 0 \leq A_u \leq 1,$$

где $K_{T_{a}cp_i}$ – средний относительный коэффициент изменения показателя эффективности ТЭА;

A_i – значимый показатель, используемый для удовлетворенности пассажиров качеством перевозок;

q_{i3n} – коэффициент, характеризующий весомость значимых показателей качества;

M – количество значимых показателей качества.

Средний относительный коэффициент изменения показателя эффективности ТЭА определим по формуле (1):

$$K_{T_{a}cp_i} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{T_{ai}}}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{T_{ai\phi}}{T_{aih}}}{n} = \frac{\frac{T_{a\alpha_T\phi}}{T_{a\alpha_{Tn}}} + \frac{T_{aC_{T3}\phi}}{T_{aC_{T3n}}} + \frac{T_{af_i\phi}}{T_{af_{in}}} + \frac{T_{aL_{KP}\phi}}{T_{aL_{KPn}}} + \frac{T_{at_{TOP}\phi}}{T_{at_{TOPn}}} + \frac{T_{a\chi_i\phi}}{T_{a\chi_{in}}}}{n}, \quad (1)$$

где $K_{T_{ai}}$ – относительный коэффициент изменения показателя эффективности ТЭА, который определяется как отношение фактического показателя ТЭА $T_{ai\phi}$ к базовому T_{aih} ;

$T_{a\alpha_T}$ – показатель коэффициента технической готовности;

$T_{aC_{T3}}$ – показатель стоимости эксплуатации;

T_{af_i} – показатель вероятности безотказной работы;

$T_{aL_{KP}}$ – показатель ресурса до капитального ремонта;

$T_{at_{TOP}}$ – показатель простоев в ТО и Р;

$T_{a\chi_i}$ – показатель наработки на отказ.

Относительный коэффициент изменения показателя эффективности ТЭА, который определяется как отношение фактического показателя ТЭА к базовому (2) [18]:

$$K_{T_{ai}} = \frac{T_{ai\phi}}{T_{aih}}, \quad (2)$$

Зависимость итогового показателя удовлетворенности пассажиров A_u от среднего относительного коэффициента изменения показателя эффективности ТЭА $K_{T_{a}cp_i}$ можно представить в виде регрессионной модели (3) [19]:

$$A_{ui} = a_0 + a_1 \cdot K_{T_{a}cp_i}, \quad (3)$$

Тогда итоговый показатель удовлетворенности пассажиров определим по формуле (4):

$$\begin{aligned}
 A_u &= (a_0 + a_1 \cdot K_{T_{aCp}}) \cdot \sum_{i=1}^M A_i \cdot q_{i3n} = (a_0 + a_1 \cdot \\
 &\cdot \frac{\frac{T_{a\alpha_T}\phi}{T_{a\alpha_{Tn}}} + \frac{T_{aC_{T3}}\phi}{T_{aC_{T3n}}} + \frac{T_{af_i}\phi}{T_{af_{in}}} + \frac{T_{aL_{KP}}\phi}{T_{aL_{KPn}}} + \frac{T_{at_{TOP}}\phi}{T_{at_{TOPn}}} + \frac{T_{a\chi_i}\phi}{T_{a\chi_{in}}}}{n}) \cdot \sum_{i=1}^M A_i \cdot q_{i3n} = \\
 &= (a_0 + a_1 \cdot \frac{K_{T_{a\alpha_T}} + K_{T_{aC_{T3}}} + K_{T_{af_i}} + K_{T_{aL_{KP}}} + K_{T_{at_{TOP}}} + K_{T_{a\chi_i}}}{n}) \cdot \sum_{i=1}^M A_i \cdot q_{i3n},
 \end{aligned} \quad (4)$$

где $K_{T_{a\alpha_T}}$ – относительный коэффициент изменения показателя эффективности КТГ;

$K_{T_{aC_{T3}}}$ – относительный коэффициент изменения показателя эффективности стоимости эксплуатации;

$K_{T_{af_i}}$ – относительный коэффициент изменения показателя эффективности вероятности безотказной работы;

$K_{T_{aL_{KP}}}$ – относительный коэффициент изменения показателя эффективности ресурса до капитального ремонта;

$K_{T_{at_{TOP}}}$ – относительный коэффициент изменения показателя эффективности простоев в ТО и Р;

$K_{T_{a\chi_i}}$ – относительный коэффициент изменения показателя эффективности наработки на отказ.

При помощи данных относительных коэффициентов изменения можно оценить влияние показателей эффективности ТЭА на показатели качества пассажирских перевозок и удовлетворенность пассажиров [20].

Расчет

Экспертная оценка более весомых показателей качества пассажирских перевозок показала такое распределение: безопасность услуг по перевозкам пассажиров (13,2 %); надежность транспортного обслуживания (12,7 %); своевременность перевозки пассажира (10,9 %); комфортность перевозки пассажиров (11,8 %); экономичность услуги (9,4 %); информативность (8,7 %); комфортность пассажиров на автовокзалах и автостанциях (9 %). Из 14 показателей было выделено 7 наиболее значимых. Они составили 80 % от общего числа показателей.

В соответствии с обоснованной выборкой были опрошены 384 человека разного возраста, социального статуса, пользующиеся услугами муниципального пассажирского автотранспорта в Ульяновской области. По результатам анкетирования был получен мониторинг удовлетворенности пассажиров качеством перевозок на МПАТ по показателям качества обслуживание пассажиров на автовокзалах и автостанциях, надежность, комфортность, своевременность, экономичность, информативность и безопасность (табл. 1).

Таблица 1 - Численные значения параметров качества транспортных услуг.

Показатели качества транспортных услуг	Среднее значение показателя качества в долях
1. Безопасность услуг по перевозкам пассажиров	0,68
2. Надежность обслуживания на транспорте	0,71
3. Комфортность перевозки пассажиров	0,53
4 Своевременность перевозки пассажира	0,76
5. Экономичность услуги	0,49
6. Информативность	0,59
7. Комфортность пассажиров на автовокзалах и автостанциях	0,77

Установлено влияние факторов, таких как состояние ПТБ, обеспеченность персоналом, структура парка и др. и показателей ТЭА, включая КТГ, наработку на отказ, ресурс до КР и др. на показатели качества перевозок на МПАТ.

По результатам обследования действующего автотранспортного предприятия и мониторинга удовлетворенности пассажиров качеством услуг на МПАТ, получены фактические показатели ТЭА и показатели качества (табл. 2).

Таблица 2 - Оценка эффективности мероприятий по повышению качества ТЭА и перевозок МПАТ

	Показатели ТЭА T_a	Средний относительный коэффициент изменения показателя эффективности ТЭА $K_{T_a CPi}$	Показатели качества A_i		Итоговый показатель качества A_{ui}	
			2	3		
Фактические показатели	<ul style="list-style-type: none"> -Коэффициент технической готовности; -Наработка на отказ; -Вероятность безотказной работы; -Ресурс до КР и списания; - Простой на ТО и Р; - Стоимость эксплуатации 	<ul style="list-style-type: none"> 0,85 590 км 0,84 250 тыс. км 0,8 дней/1000 км 36 руб/км 	0,81	<ul style="list-style-type: none"> A_1 A_2 A_4 A_3 A_5 A_6 A_{14} 	<ul style="list-style-type: none"> 0,68 0,71 0,53 0,76 0,49 0,59 0,77 	0,51

Зависимость итогового показателя удовлетворенности пассажиров A_{ui} от среднего относительного коэффициента изменения показателя эффективности ТЭА $K_{T_a CPi}$ можно представить в виде линейной регрессионной модели (3), (рис. 1).

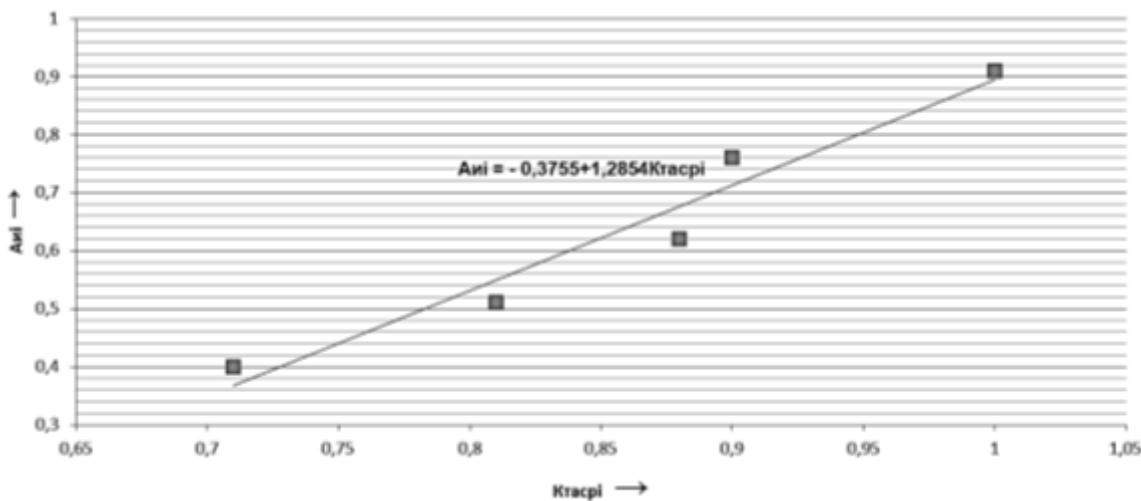


Рисунок 1 - Зависимость итогового показателя удовлетворенности пассажиров A_{ui} от среднего относительного коэффициента изменения показателя эффективности ТЭА $K_{T_a CPi}$

Результаты и обсуждение

Средний относительный коэффициент изменения показателя эффективности ТЭА определим по формуле 1.

Адекватность проверена по критерию Фишера, коэффициент корреляции $R^2=0,88$. Это свидетельствует о правомерности принятой линейной модели. Таким образом, ТЭА влияет на изменение показателей качества перевозок, совершенствуя методы и средства обеспечения работоспособности, квалификацию персонала, регулируя возрастной состав парка.

Исходя из того, что предельное значение итогового показателя удовлетворенности пассажиров стремится $A_u \rightarrow 1$, коэффициенты весомости значимых показателей качества рассчитываются по формуле (5):

$$q_{i_{3H}} = \frac{Q_i}{\sum_{i=1}^M Q_i} , \quad (5)$$

где $\sum_{i=1}^M Q_i$ - сумма обобщенных экспертных оценок, в которой используются только значимые

показатели качества (M -количество значимых показателей качества), $\sum_{i=1}^M Q_i = 54,1$;

Q_i - обобщенные экспертные оценки значимых показателей качества. Определены значения всех коэффициентов $q_{1_{3H}}, \dots, q_{14_{3H}}$.

Итоговый показатель удовлетворенности пассажиров A_u по перевозкам определили по формуле (4).

$$\begin{aligned} A_u &= 0,81 \cdot (0,68 \cdot 0,18 + 0,71 \cdot 0,17 + 0,53 \cdot 0,16 + \\ &+ 0,76 \cdot 0,15 + 0,49 \cdot 0,12 + 0,59 \cdot 0,11 + 0,77 \cdot 0,11) = \\ &= 0,81(0,12 + 0,12 + 0,08 + 0,11 + 0,06 + 0,06 + 0,08) = 0,51. \end{aligned}$$

Исходя из того, что $A_u=0,51$, что существенно меньше предельного значения итогового показателя удовлетворенности пассажиров, которое стремится $A_u \rightarrow 1$, то можно сделать вывод, что уровень качества межмуниципальных перевозок пассажиров в Ульяновской области находится на недостаточном уровне, поэтому необходима разработка комплекса мероприятий для его повышения.

Выводы

Разработана математическая модель для расчета итогового показателя удовлетворенности пассажиров, с учетом показателей качества и частных коэффициентов изменения показателей ТЭА, позволяющая оценить удовлетворенность пассажиров качеством межмуниципальных перевозок на транспорте общего пользования. Разработана методика оценки удовлетворенности пассажиров качеством перевозок на межмуниципальном пассажирском автомобильном транспорте. Рассчитан итоговый показатель удовлетворенности пассажиров транспортных услуг по перевозке $A_u = 0,51$, который свидетельствует о недостаточном уровне качества перевозок. Определена взаимосвязь факторов, влияющих на эффективность ТЭА и показатели ТЭА с показателями качества перевозок. Определены пути для повышения качества перевозок и эффективности эксплуатации пассажирского автомобильного транспорта, из которых можно выделить.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гудков, В.А. Пассажирские автомобильные перевозки: учебник для вузов - М.: Горячая линия - Телеком, 2004. - 448 с.
2. Загорский, И.О. Эффективность организации регулярных перевозок пассажирским автомобильным транспортом: Монография - Хабаровск: Тихоокеан. гос. ун-та, 2012. - 154 с.
3. Реестр межмуниципальных маршрутов регулярных перевозок по состоянию на 25 февраля 2020 г. Реестр межмуниципальных маршрутов регулярных перевозок на территории Ульяновской области [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.mintrans.ru/activities/214/169/170/documents>
4. ТРАНСПОРТ РОССИИ. Информационно-статистический бюллетень [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.mintrans.ru/ministry/results/180/documents>
5. Численность населения Ульяновской области [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://uln.old.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/uln/ru/statistics/population/
6. Луконькина К.А., Епифанов В.В., Тюрин А.С. Обоснование и оценка показателей качества перевозок в системе пассажирского автомобильного транспорта // Грузовое и пассажирское автохозяйство. - 2016. - №9. - С. 3439.

7. Epifanov V.B., Obshivalkin M.Yu., Generalova K.A. Management of quality and security level of transportation in the system of regular passenger motor transport // Paper presented at the Transportation Research Procedia, 36 141-148.
8. Епифанов В.В., Генералова К.А., Тюрин А.С. Обоснование и оценка показателей качества перевозок в системе пассажирского автомобильного транспорта // Грузовое и пассажирское автохозяйство. - 2016. - №9. - С. 34-39.
9. ГОСТ Р 51825-2001. Услуги пассажирского автомобильного транспорта. Общие требования. - М.: Госстандарт России, 2001. - 8 с.
10. ГОСТ Р 51004-96. Услуги транспортные. Пассажирские перевозки. Номенклатура показателей качества. - М.: Госстандарт России, 1996. - 15 с.
11. ГОСТ Р 51006-96 Услуги транспортные. Термины и определения. - М.: Госстандарт России, 1996. - 12 с.
12. Sullivan, L.P. Quality progress: «Quality Funktion Deployment», 1986. - Р. 39-50.
13. Гудков, В.А. Пассажирские автомобильные перевозки: Программа курса, методические указания и задания по выполнению курсового проекта. - Волгоград, 2012. - 25 с.
14. Kieu L.M., Bhaskar A., Chung E. Public transport travel-time variability definitions and monitoring // Jurnal of transportation engineering. - 2014. - №7. - S. 122-130.
15. Брагинский М.И. Транспортная логистика. Кн. 4. - М.: Инфра-М, 2008. - 260 с.
16. Об утверждении социального стандарта транспортного обслуживания населения при осуществлении перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом [Электронный ресурс]: Распоряжение Министерства транспорта Российской Федерации от 31 января 2017 г. № НА-19-р. - Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71508414/>
17. Гудков, В.А. Качество пассажирских перевозок: возможность исследования методами социологии: Учебное пособие. - Волгоград: ВолгГТУ, 2008. - 163 с.
18. Кузнецов, Е.С. Учебник для вузов - М.: Наука. - 4-е изд., перераб. и дополн. -2001. - 535 с.
19. Зыков, А.А. Основы теории графов. - М.: Наука, 1987. - 384 с.
20. Епифанов В.В., Луконыкина К.А., Тюрин А.С. Обоснование и оценка показателей качества перевозок в системе пассажирского автомобильного транспорта // Автотранспорт: эксплуатация, обслуживание, ремонт. - 2017. - №1. - С. 18-23.

Обшивалкин Михаил Юрьевич

Ульяновский государственный технический университет

Адрес: Россия, 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32

К.т.н., зав. кафедрой «Автомобили»

E-mail: muo@ulstu.ru

Епифанов Вячеслав Викторович

Ульяновский государственный технический университет

Адрес: Россия, 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32

Д.т.н., доцент, профессор кафедры «Автомобили»

E-mail: v.epifanov73@mail.ru

Генералова Кристина Александровна

Ульяновский государственный технический университет

Адрес: Россия, 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32

Старший преподаватель кафедры «Автомобили»

E-mail: tinetta.ledi@mail.ru

M.YU. OBSHIVALKIN, V.V. EPIFANOV, K.A. GENERALOVA

INTERRELATION OF INDICATORS OF TECHNICAL OPERATION OF AUTOMOBILE PASSENGER TRANSPORT WITH INDICATORS OF TRANSPORTATION QUALITY ON REGULAR INTER-MUNICIPAL TRANSPORTATION ROUTES

Abstract. The article establishes the relationship of factors affecting the efficiency of technical operation of the car, which in turn affects the quality indicators of intermunicipal passenger transportation. Quality indicators are formed in such a way that they can be used to judge the activities of carriers in the field of improving the quality of the transportation process, and thus separate quality indicators that depend and do not depend on their activities. The analysis made it possible to establish modern features of the functioning of passenger transportation on intermunicipal routes and to outline ways to improve the quality of transportation and the efficiency of operation of passenger motor transport, of which, first of all.

Keywords: *transport, passenger, quality, events, transportation, transportation services, technical operation*

BIBLIOGRAPHY

1. Gudkov, V.A. Passazhirskie avtomobil'nye perevozki: uchebnik dlya vuzov - M.: Goryachaya liniya - Telekom, 2004. - 448 s.
2. Zagorskiy, I.O. Effektivnost` organizatsii reguliarnykh perevozok passazhirskim avtomobil'nym transportom: Monografiya - Habarovsk: Tikhookean. gos. un-ta, 2012. - 154 s.
3. Reestr mezhmunitsipal`nykh marshrutov reguliarnykh perevozok po sostoyaniyu na 25 fevralya 2020 g. Reestr mezhmunitsipal`nykh marshrutov reguliarnykh perevozok na territorii Ul`yanovskoy oblasti [Elektron-nyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://www.mintrans.ru/activities/214/169/170/documents>
4. TRANSPORT ROSSII. Informatsionno-statisticheskiy byulleten` [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://www.mintrans.ru/ministry/results/180/documents>
5. Chislennost` naseleniya Ul`yanovskoy oblasti [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: http://uln.old.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/uln/ru/statistics/population/
6. Lukon`kina K.A., Epifanov V.V., Tyurin A.S. Obosnovanie i otsenka pokazateley kachestva perevozok v sisteme passazhirskogo avtomobil'nogo transporta // Gruzovoe i passazhirskoe avtokhozyaystvo. - 2016. - №9. - S. 3439.
7. Epifanov V.B., Obshivalkin M.Yu., Generalova K.A. Management of quality and security level of transportation in the system of regular passenger motor transport // Paper presented at the Transportation Research Procedia, 36 141-148.
8. Epifanov V.V., Generalova K.A., Tyurin A.S. Obosnovanie i otsenka pokazateley kachestva perevozok v sisteme passazhirskogo avtomobil'nogo transporta // Gruzovoe i passazhirskoe avtokhozyaystvo. - 2016. - №9. - S. 34-39.
9. GOST R 51825-2001. Uslugi passazhirskogo avtomobil'nogo transporta. Obshchie trebovaniya. - M.: Gosstandart Rossii, 2001. - 8 s.
10. GOST R 51004-96. Uslugi transportnye. Passazhirskie perevozki. Nomenklatura pokazateley kachestva. - M.: Gosstandart Rosii, 1996. - 15 s.
11. GOST R 51006-96 Uslugi transportnye. Terminy i opredeleniya. - M.: Gosstandart Rossii, 1996. - 12 s.
12. Sullivan, L.P. Quality progress: «Quality Funktion Deployment», 1986. - P. 39-50.
13. Gudkov, V.A. Passazhirskie avtomobil'nye perevozki: Programma kursa, metodicheskie ukazaniya i zadaniya po vypolneniyu kursovogo proekta. - Volgograd, 2012. - 25 s.
14. Kieu L.M., Bhaskar A., Chung E. Public transport travel-time variability definitions and monitoring // Journal of transportation engineering. - 2014.- №7. - S. 122-130.
15. Braginskiy M.I. Transportnaya logistika. Kn. 4. - M.: Infra-M, 2008. - 260 s.
16. Ob utverzhdenii sotsial'nogo standarta transportnogo obsluzhivaniya naseleniya pri osushchestvlenii perevozok passazhirov i bagazha avtomobil'nym transportom i gorodskim nuzemnym elektricheskim transportom [Elektronnyy resurs]: Rasporyazhenie Ministerstva transporta rossiyskoy Federatsii ot 31 yanvarya 2017 g. № NA-19-r. - Rezhim dostupa: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71508414/>
17. Gudkov, V.A. Kachestvo passazhirskikh perevozok: vozmozhnost` issledovaniya metodami sotsiologii: Uchebnoe posobie. - Volgograd: VolgGTU, 2008. - 163 s.
18. Kuznetsov, E.S. Uchebnik dlya vuzov - M.: Nauka. - 4-e izd., pererab. i dopoln. -2001. - 535 s.
19. Zykov, A.A. Osnovy teorii grafov. - M.: Nauka, 1987. - 384 s.
20. Epifanov V.V., Lukon`kina K.A., Tyurin A.S. Obosnovanie i otsenka pokazateley kachestva perevozok v sisteme passazhirskogo avtomobil'nogo transporta // Avtotransport: ekspluatatsiya, obsluzhivanie, re-mont. - 2017. - №1. - S. 18-23.

Obshivalkin Mikhail Yurievich

Ulyanovsk State Technical University

Address: Russia, 432027, Ulyanovsk, Severny Venets str., 32

Candidate of technical sciences

E-mail: muo@ulstu.ru

Generalova Kristina Alexandrovna

Ulyanovsk State Technical University

Address: Russia, 432027, Ulyanovsk, Severny Venets str., 32

Senior lecturer

E-mail: tinetta.ledi@mail.ru

Epifanov Vyacheslav Viktorovich

Ulyanovsk State Technical University

Address: Russia, 432027, Ulyanovsk, Severny Venets str., 32

Doctor of technical sciences

E-mail: v.epifanov73@mail.ru

Научная статья

УДК 656.131

doi:10.33979/2073-7432-2022-3(78)-3-10-20

Е.В. ГОЛОВ, С.С. ЕВТЮКОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЖЕСТКОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ КАТЕГОРИИ M_1 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГОДА ВЫПУСКА И В СООТВЕТСТВИИ С КЛАССИФИКАЦИЕЙ EURO NCAP

Аннотация. На основании анализа результатов испытаний автомобилей на фронтальный и боковой удары с деформируемым и недеформируемым препятствием определены закономерности изменения коэффициентов Гука и модуля упругости I рода в зависимости от класса автомобиля и его года выпуска и сформирована база данных жесткостных характеристик автомобилей категории M_1 . Усовершенствована математическая модель расчета скорости движения автомобилей на стадии кульминации контактно-следовых взаимодействий на основании оценки объемных деформаций. Апробацией и экспериментальными исследованиями подтверждена высокая точность разработанных алгоритмов.

Ключевые слова: дорожно-транспортное происшествие, экспертиза ДТП, автотехническая экспертиза, безопасность дорожного движения, коэффициенты жесткости автомобилей

Введение

Для исследования механизма моделирования ДТП, а именно определения скорости ТС в момент столкновения по результатам анализа объема деформации используется алгоритм «Crash 3», разработанный в 70-х годах 20 века. Настоящая методика предназначена для определения доли затрат кинетической энергии (E_k) на развитие деформаций и эквивалентную данным затратам скорость при технической реконструкции КСВ, используя расчет затраченной на развитие деформаций энергии по характерным точкам зоны локализации деформаций.

Мировое экспертное сообщество [1, 13, 15, 24] активно использует алгоритм «Crash 3» для расчета скорости автомобилей в момент столкновения по полученным деформациям: для расчета величины затрат энергии на деформацию автомобиля при КСВ необходимо учитывать жесткость деформированной части кузова исследуемого автомобиля, а именно: коэффициент Гука (механическая жесткость - измеряется в Н/м и представляет собой удельную силу, которую часть кузова автомобиля может выдержать до начала пластической деформации), модуль упругости I рода (измеряется в Н/м² и представляет собой удельную силу, необходимую для производства пластической деформации конструкции части кузова автомобиля) и аргумент поглощения (производный коэффициент жесткости).

В справочной литературе представлены сведения о жесткости «оболочки» конструкции автомобиля с разделением по его колесной базе и массе. Данная классификация безвозвратно устарела ввиду развития автомобилестроения [20] и появления разительно новых, ранее не производимых автомобилей различного назначения, конструкции, класса, но, в то же время, с такими схожими показателями, как масса и колесная база. На сегодняшний день в мировом автомобильном сообществе существуют различные системы классификации автомобилей. В целом, разделение связано с нормативными документами, действующими на территории того или иного государства. Наиболее часто встречается классификация, используемая в США, Великобритании, РФ и Евросоюзе. Автомобили разных классов и подклассов имеют отличающиеся технические и эксплуатационные параметры, которые и определяют их принадлежность к соответствующему сегменту. Очевидно, что автомобили, относящиеся к одному и тому же классу, имеют схожие, если не одинаковые, характеристики.

В связи с чем, для современного экспертного мирового сообщества [8, 11, 12, 19, 21, 28] необходимо предусмотреть разделение автомобилей не по массе и базе, а уже по существующей классификации. Euro NCAP (The European New Car Assessment Programme) [3].

Если дословно, то Euro NCAP переводится на русский язык как Европейская программа оценки новых автомобилей, но на самом деле это европейский комитет по проведению независимых краш-тестов автомобилей с оценкой их активной и пассивной безопасности.

Таким образом, исследуя поведение автомобилей и их конструкций в рамках испытаний на столкновение, проводимых Euro NCAP и NHTSA [2, 26], возможно регламентировать жесткостные характеристики для каждого класса и использовать эти значения с целью проведения реконструкции ДТП с получением объективного ответа экспертом, не имеющим возможности по различным причинам провести дорогостоящие следственные действия и конечно-элементное моделирование дорожно-транспортной ситуации. В связи с чем, для повышения качества проведения экспертизы [22, 23, 25, 29] и реконструкции ДТП были подробно исследованы жесткостные характеристики автомобилей категории M_1 .

Как отмечено выше, Euro NCAP подразумевает разделение автомобилей на следующие классы: Supermini, Small family car, Large family car, Executive car, Roadster sports, Small MPV, Large MPV, Small Off-Road 4×4, Large Off-Road 4×4, Pick-up. Но необходимо уточнить [7, 9, 16], что жесткость автомобилей внутри класса также может отличаться, в первую очередь это связано с совершенствованием металлургического производства и использованием новейших металлических сплавов в процессе развития автомобилестроения таким образом, что одна и та же модель автомобиля, выпущенная в 1998 и 2015 годах, будет иметь значительную разницу жесткостных характеристик.

Для установления коэффициента Гука и модуля упругости I рода автомобилей категории M_1 согласно классификации Euro NCAP было проанализировано и изучено порядка 8 000 краш-тестов автомобилей 1990-2020 годов выпуска.

В результате системного анализа данной работы были построены графики, представленные на рисунках 1-4. Каждый график характеризует изменение коэффициента Гука и модуля упругости I рода для фронтальной и боковой частей кузова автомобилей класса Small MPV в зависимости от года выпуска, аналогичные графики были построены для каждого класса.

Анализ и аппроксимация (на графиках обозначена «R») множества точек, полученных по данным краш-тестов, позволили построить линии тренда для каждого графика с высокой степенью точности. Таким образом, возможно охарактеризовать жесткость различных классов автомобилей, определив для каждого уравнение, описывающее распределение изменения коэффициентов Гука и модуля упругости I рода в зависимости от года выпуска автомобиля.

В результате были определены закономерности изменения коэффициентов жесткости в зависимости от класса автомобиля категории M_1 и года его выпуска, а также разработаны уравнения, характеризующие изменение распределения коэффициентов Гука и модуля упругости I рода (Юнга) в соответствии с классификацией Euro NCAP и с учетом развития свойств конструкционных материалов, используемых в автомобилях - результаты данного исследования представлены в таблицах 1 и 2.

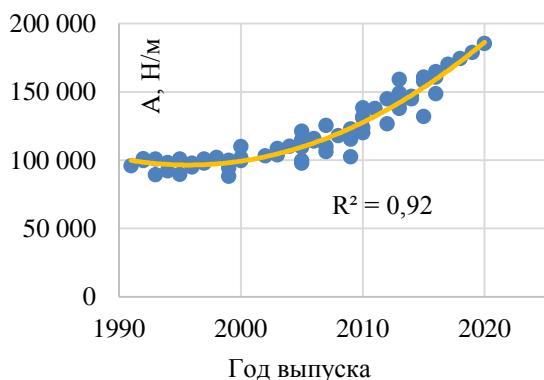


Рисунок 1 - Изменение значений коэффициента Гука фронтальной части кузова автомобиля класса Small MPV в зависимости от года выпуска

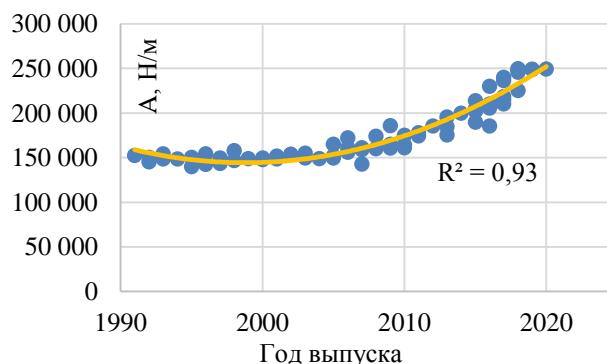


Рисунок 2 - Изменение значений коэффициента Гука боковой части кузова автомобиля класса Small MPV в зависимости от года выпуска

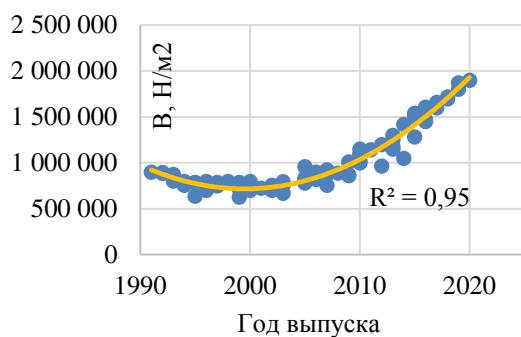


Рисунок 3 - Изменение значений модуля упругости I рода фронтальной части кузова автомобиля класса Small MPV в зависимости от года выпуска

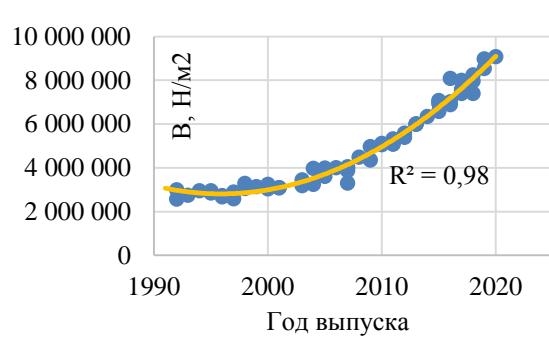


Рисунок 4 - Изменение значений модуля упругости I рода боковой части кузова автомобиля класса Small MPV в зависимости от года выпуска

Таким образом, при необходимости установления коэффициентов А и В, характеризующих жесткость фронтальной или боковой части автомобиля и учитываемых при расчете затрат кинетической энергии на развитие объемных деформаций согласно алгоритму «Crash 3», использование предложенных зависимостей позволит учесть год выпуска и класс поврежденного автомобиля.

Таблица 1 - Уравнения определения коэффициента жесткости фронтальной части кузова автомобилей категории М₁ в соответствии с классификацией Euro NCAP

Класс ТС	Уравнения определения коэффициента Гука	Уравнения модуля упругости I рода (Юнга)
Supermini	$A = -123,74x^2 + 497\ 850,60x - 500\ 628\ 893,06$	$B = -1\ 168,66x^2 + 4\ 705\ 293,11x - 4\ 735\ 230\ 868,61$
Small family car	$A = -25,73x^2 + 105\ 367,11x - 107\ 729\ 446,73$	$B = -196,58x^2 + 799\ 917,32x - 812\ 817\ 044,84$
Large family car	$A = 21,38x^2 - 84\ 419,99x + 83\ 404\ 825,14$	$B = 954,21x^2 - 3\ 810\ 101,37x + 3\ 804\ 076\ 677,34$
Executive car	$A = 6,40x^2 - 24\ 718,30x + 23\ 932\ 245,72$	$B = 1\ 015,68x^2 - 4\ 054\ 733,55x + 4\ 047\ 420\ 768,29$
Roadster sports	$A = 21,71x^2 - 85\ 161,54x + 83\ 563\ 993,59$	$B = -789,79x^2 + 3\ 170\ 535,53x - 3\ 181\ 213\ 554,52$
Small MPV	$A = 152,18x^2 - 607\ 426,72x + 606\ 214\ 097,84$	$B = 2\ 881,55x^2 - 11\ 523\ 211,15x + 11\ 520\ 953\ 997,00$
Large MPV	$A = 171,07x^2 - 682\ 354,81x + 680\ 519\ 468,52$	$B = 2\ 434,54x^2 - 9\ 717\ 498,59x + 9\ 697\ 556\ 312,75$
Small Off-Road 4×4	$A = 29,10x^2 - 114\ 690,41x + 113\ 096\ 496,51$	$B = 1\ 515,69x^2 - 6\ 067\ 409,01x + 6\ 073\ 007\ 364,79$
Large Off-Road 4×4	$A = -62,21x^2 + 251\ 869,39x - 254\ 767\ 887,10$	$B = -793,41x^2 + 3\ 195\ 211,16x - 3\ 216\ 009\ 344,17$
Pick-up	$A = 261,02x^2 - 1\ 040\ 012,49x + 1\ 036\ 054\ 627,55$	$B = 3\ 726,69x^2 - 14\ 861\ 656,44x + 14\ 817\ 170\ 394,53$

х - год выпуска автомобиля

Для подтверждения достоверности результатов исследования был произведен сравнительный анализ значений скорости [4-6,14,17,18], рассчитанной с учетом разработанных алгоритмов определения коэффициентов жесткости, со скоростью, зафиксированной лабораторным оборудованием, установленным на испытуемых автомобилях в рамках краш-тестов, проводимых NHTSA.

Процесс апробации представлен на примере изучения результатов краш-теста, в котором автомобиль Toyota RAV4 подвергался испытанию на фронтальное столкновение. Изображение автомобиля до и после испытания представлено на рисунках 2 и 3. Задачей исследования являлось определение сил, затраченных на деформацию, и эквивалентной данным затратам скорости движения автомобиля с использованием полученных в диссертационном исследовании зависимостей, и сравнение результата расчета с фактической скоростью в м-

мент столкновения, определённой при помощи акселерометров, установленных на испытуемом автомобиле, равной 56,3 км/ч.

Таблица 2 - Уравнения определения коэффициента жесткости боковой части кузова автомобилей категории M₁ в соответствии с классификацией Euro NCAP

Класс ТС	Уравнения определения коэффициента Гука	Уравнения модуля упругости I рода (Юнга)
Supermini	$A = 69,65x^2 - 274\ 003,84x + 269\ 492\ 604,57$	$B = 7\ 845,15x^2 - 31\ 296\ 898,69x + 31\ 214\ 866\ 190,63$
Small family car	$A = -21,31x^2 + 90\ 341,27x - 95\ 322\ 754,80$	$B = 4\ 380,84x^2 - 17\ 436\ 058,77x + 17\ 351\ 598\ 589,77$
Large family car	$A = -28,17x^2 + 119\ 911,94x - 126\ 959\ 964,18$	$B = -1\ 525,46x^2 + 6\ 334\ 909,79x - 6\ 565\ 029\ 378,50$
Executive car	$A = -150,40x^2 + 612\ 619,58x - 623\ 503\ 268,47$	$B = 639,38x^2 - 2\ 277\ 983,60x + 2\ 000\ 697\ 652,34$
Roadster sports	$A = 375,73x^2 - 1\ 496\ 244,97x + 1\ 489\ 760\ 059,23$	$B = 10\ 974,47x^2 - 43\ 638\ 850,78x + 43\ 384\ 174\ 650,28$
Small MPV	$A = 239,23x^2 - 956\ 330,16x + 955\ 887\ 387,48$	$B = 10\ 807,01x^2 - 43\ 139\ 200,84x + 43\ 053\ 345\ 132,82$
Large MPV	$A = -357,96x^2 + 1\ 435\ 428,41x - 1\ 438\ 873\ 549,35$	$B = -4\ 546,69x^2 + 18\ 247\ 176,29x - 18\ 304\ 628\ 751,62$
Small Off-Road 4×4	$A = 436,08x^2 - 1\ 740\ 959,88x + 1\ 737\ 733\ 197,73$	$B = 20\ 475,24x^2 - 81\ 778\ 120,71x + 81\ 657\ 390\ 094,59$
Large Off-Road 4×4	$A = -121,58x^2 + 494\ 436,77x - 502\ 325\ 374,44$	$B = 8\ 912,00x^2 - 35\ 597\ 655,69x + 35\ 551\ 869\ 141,85$
Pick-up	$A = 118,42x^2 - 473\ 594,90x + 473\ 661\ 704,52$	$B = 12\ 615,56x^2 - 50\ 731\ 213,45x + 51\ 004\ 538\ 677,04$

х - год выпуска автомобиля



Рисунок 5 - Автомобиль Toyota RAV4 до проведения испытания на фронтальное столкновение



Рисунок 6 - Автомобиль Toyota RAV4 после проведения испытания на фронтальное столкновение

Используя зависимости, установленные в работе, коэффициент Гука для автомобиля класса Small Off-Road 4×4, к которому согласно классификации Euro NCAP относится Toyota RAV4, выпущенный в 2019 году, составляет:

$$A = 29,1 \times 2019^2 - 114\ 690,41 \times 2019 + 113\ 096\ 496,51 = 158\ 663,8 \text{ Н/м}$$

В свою очередь, модуль упругости I рода равен:

$$B = 1\ 515,69 \times 2019^2 - 6\ 067\ 409,01 \times 2019 + 6\ 073\ 007\ 364,79 = 1\ 408\ 177,7 \text{ Н/м}^2$$

Затраты кинетической энергии на развитие объемной деформации автомобиля Toyota RAV4, установленные согласно действующему расчетному методу с использованием разработанных коэффициентов жесткости и с учетом полученных деформаций составили (согласно отчету о проведении испытания):

$$\begin{aligned}
 E_d = 285,4 \times & \left[\frac{1408177,7}{6} \times \left(\frac{352^3 - 307^3}{352 - 307} \right) + \frac{158663,8}{2} \times (352 + 307) + 8936,6 \right] + \\
 & + (1 + \tan 0) + 285,4 \times \left[\frac{1408177,7}{6} \times \left(\frac{350^3 - 352^3}{350 - 352} \right) + \frac{158663,8}{2} \times (350 + 352) + 8938,6 \right] \times \\
 & \times (1 + \tan 0) + 285,4 \times \left[\frac{1408177,7}{6} \times \left(\frac{348^3 - 350^3}{348 - 350} \right) + \frac{158663,8}{2} \times (348 + 350) + 8938,6 \right] \times \\
 & \times (1 + \tan 0) + 285,4 \times \left[\frac{1408177,7}{6} \times \left(\frac{338^3 - 348^3}{338 - 348} \right) + \frac{158663,8}{2} \times (338 + 348) + 8938,6 \right] \times \\
 & \times (1 + \tan 0) + 285,4 \times \left[\frac{1408177,7}{6} \times \left(\frac{250^3 - 338^3}{250 - 338} \right) + \frac{158663,8}{2} \times (250 + 338) + 8938,6 \right] \times \\
 & \times (1 + \tan 0) = 200\,443,8 \text{ Дж.}
 \end{aligned}$$

Соответственно, эквивалентная установленным затратам кинетической энергии скорость равна:

$$V_A = 3,6 \times \sqrt{\frac{2 \times 200\,443,8}{1\,790}} = 53,9 \text{ км/ч.}$$

Таким образом разница скорости движения, рассчитанной по предлагаемому алгоритму и зафиксированной акселерометрами автомобиля, составила $56,3 \text{ км/ч} - 53,9 \text{ км/ч} = 2,4 \text{ км/ч}$ (соответствует погрешности в 4,2 %), что свидетельствует о точности произведенных расчетов с использованием значений коэффициента Гука и модуля упругости I рода, установленных согласно зависимостям, разработанным в диссертационном исследовании.

Данный результат подтверждается апробацией на значительном количестве краш-тестов, выступающих в качестве доказательства высокой эффективности предлагаемых зависимостей характеристик жесткости в соответствии с годом выпуска автомобиля и классификации Euro NCAP: погрешность в установлении скорости по результатам апробации не превышает 5 % относительно скорости, зафиксированной лабораторным оборудованием, установленным на испытуемом автомобиле. В следствие чего, можно заключить, что предлагаемая в рамках исследования математическая модель является эффективной и высокоточной.

Целью экспериментальных исследований также являлось подтверждение точности разработанных зависимостей, характеризующих жесткость кузова автомобилей.

Применение аппарата проведения экспертизы по видеозаписи рассмотрено на примере ДТП с участием автомобилей AUDI Q5 и Opel Astra.

С использованием ПО Kinovea v.0.8.27 к линиям краев проезжих частей улиц, на пересечении которых произошло изучаемое ДТП, 11 м и 14 м - показаны оранжевым цветом на рисунках 7-9, была сопряжена сетка перспективы ячейкой 1 x 1 м общей размерностью 14 x 14 м (представлена белым цветом на рисунках 7-9). При этом далее первая по ходу движения а/м марки Ауди Q5 до ДТП пересекаемая им граница проезжей части улицы названа Граница 2, а дальняя по ходу движения автомобиля AUDI Q5 до ДТП пересекаемая им граница проезжей части улицы далее названа Граница 3. С учетом калибровки сетки было измерено расстояние от дальнего края по ходу движения автомобиля AUDI Q5 границы разметки пешеходного перехода, которое составило $8,49 \text{ м} \approx 8,5 \text{ м}$, по краю дальней по ходу движения автомобиля AUDI Q5 границы разметки пешеходного перехода была проведена желтая линия (Граница 1). На центр группы пикселей, отображающих правую блок-фару автомобиля AUDI Q5, был закреплен маркер. А также на кадр, где маркер совпадает с Границей 1, был внесен цифровой секундомер (рис. 7). После чего покадрово было зафиксировано положение маркера на Границе 2 - см. рисунок 8 и на Границе 3 - см. рисунок 9. Откуда было установлено, что

время движения на участке от Границы 1 до Границы 2 составило $t_1 = 0,36$ с (с 0.00:04:00 по 0.00:04:36 в общей продолжительности видеограммы), на участке от Границы 2 до Границы 3 составило $t_2 = 1,12-0,36 = 0,76$ с (с 0.00:04:36 по 0.00:05:12 в общей продолжительности видеограммы).



Рисунок 7 - Начало трекинга маркера (положение маркера на Границе 1) и замера времени перемещения



Рисунок 8 - Положение маркера на Границе 2



Рисунок 9 - Окончание трекинга маркера (положение маркера на Границе 3) и замера времени перемещения

Откуда скорость движения автомобиля AUDI Q5 на участке от Границы 1 до Границы 2 ($\approx 8,5$ м) составляла:

$$V_A = (3,6 \cdot S_1) / t_1 = (3,6 \cdot 8,5) / 0,36 = 85 \pm 5 \text{ км/ч}$$

и скорость движения автомобиля AUDI Q5 на участке от Границы 2 до Границы 3 (14 м - ширина проезжей части) составляла:

$$V_{A2} = (3,6 \cdot S_2) / t_2 = (3,6 \cdot 14) / 0,76 = 66,3 \pm 5 \text{ км/ч.}$$

Соответственно, данный расчет аналогичен методу расчета по кадрам, согласно: для подтверждения достоверности полученного результата был выполнен расчет по кадрам (на участке в 0,36 секунд размещается $t_{12} = 9$ кадров и на участке в 0,76 секунд размещается $t_{23} = 19$ кадров, при частоте кадров $t = 25$ кадров/с), что позволяет получить следующие значения:

а) скорость от Границы 1 до Границы 2 составляла:

$$V_A = \frac{S_1 \times t \times 3,6}{t_{12}} = \frac{8,5 \times 25,0 \times 3,6}{9} = 85 \text{ км/ч;}$$

б) скорость от Границы 2 до Границы 3 составляла:

$$V_{A2} = \frac{S_2 \times t \times 3,6}{t_{23}} = \frac{14 \times 25,0 \times 3,6}{19} = 66,3 \text{ км/ч.}$$

Таким образом, с технической точки зрения, скорость движения автомобиля AUDI Q5 в данной ДТС изначально (до ДТП) была $V_A = 85 \pm 5$ км/ч, а в момент наезда на объекты дорожной инфраструктуры была не более $V_{A2} = 66,3 \pm 5$ км/ч. Разница между данными скоростями составила $85-66,3 = 18,7$ км/ч. Аналогично, применив полученные результаты исследования и общепринятые алгоритмы оценки скорости движения по деформациям [30] и полученные зависимости (табл. 1 и 2), характеризующие изменение распределения коэффициентов жесткости в зависимости от года выпуска и класса ТС, был произведен расчет скорости движения автомобиля AUDI Q5 в момент наезда на опору дорожного знака после КСВ с автомобилем Opel Astra по остаточным деформациям кузова автомобиля AUDI Q5 2017 года.

Таким образом, коэффициент Гука исследуемого автомобиля AUDI Q5 составляет:

$$A = -62,21 \times 2017^2 + 251\,869,39 \times 2017 - 254\,767\,887,1 = 164\,413,8 \text{ Н/м.}$$

В свою очередь, модуль Упругости I рода исследуемого автомобиля равен:

$$B = -793,41 \times 2017^2 + 3\,195\,211,16 \times 2017 - 3\,216\,009\,344,17 = 910\,390,1 \text{ Н/м}^2.$$

Затраты кинетической энергии на развитие объемной деформации:

$$\begin{aligned}
 E_d = & 300 \times \left(\frac{910390,1}{6} \times \left(\frac{367^3 - 298^3}{367 - 298} \right) + \frac{164413,8}{2} \times (367 + 298) + 14846,3 \right) + \\
 & + (1 + \tan 0) + 300 \times \left(\frac{910390,1}{6} \times \left(\frac{384^3 - 367^3}{384 - 367} \right) + \frac{164413,8}{2} \times (384 + 367) + 14846,3 \right) \times \\
 & \times (1 + \tan 0) + 300 \times \left(\frac{910390,1}{6} \times \left(\frac{372^3 - 384^3}{372 - 384} \right) + \frac{164413,8}{2} \times (372 + 384) + 14846,3 \right) \times \\
 & \times (1 + \tan 0) + 300 \times \left(\frac{910390,1}{6} \times \left(\frac{340^3 - 372^3}{340 - 372} \right) + \frac{164413,8}{2} \times (340 + 372) + 14846,3 \right) \times \\
 & \times (1 + \tan 0) + 300 \times \left(\frac{910390,1}{6} \times \left(\frac{311^3 - 340^3}{311 - 340} \right) + \frac{164413,8}{2} \times (311 + 340) + 14846,3 \right) \times \\
 & \times (1 + \tan 0) = 195169,8 \text{ Дж.}
 \end{aligned}$$

Также была определена работа сил на перемещение, разворот, преодоление препятствия по действующей методике расчета работы сил в рамках закона сохранения количества движения, равная 136 150 Дж.

Таким образом, с учетом полученных результатов расчетов скорость движения автомобиля AUDI Q5 составляет:

$$V_A = 3,6 \times \sqrt{\frac{2 \times E_D}{m}} = 3,6 \times \sqrt{\frac{2 \times (195169,8 + 136150) \text{ Дж}}{2070 \text{ кг}}} = 64,4 \text{ км/ч.}$$

Следовательно, разница результатов расчетов скорости движения по методике, использующей оценку деформаций и коэффициенты жесткости, алгоритм установления которых предложен в работе, и при проведении видеоэкспертизы составляет: 66,3 км/ч - 64,4 км/ч = 1,9 км/ч, что не превышает 3 %.

Результаты расчетов, скорости движения автомобилей с использованием разработанных зависимостей и скорости, установленной в рамках проведения ДТЭ по административным, гражданским и уголовным делам Институтом безопасности дорожного движения ФГБОУ ВО СПбГАСУ, демонстрируют незначительную разницу в установлении скорости движения автомобилей по различным методикам, что свидетельствует о возможности применения в экспертной практике предлагаемого математического аппарата. Анализируя полученные расчетные данные, а именно эквивалентные скорости автомобилей, можно утверждать, что расчет по предлагаемой методике является точным и эффективным и может быть использован для реконструкции механизма ДТП, в особенности при отсутствии возможности проведения комплексной трасолого-автотехнической и видеоэкспертизы.

На основании произведенных исследований и определении зависимостей изменения значений коэффициента Гука (механическая жесткость), модуля упругости I рода (Юнга) и аргумента поглощения (производный коэффициент жесткости) была разработана БД «База данных жесткостных характеристик автомобилей категории М₁ для проведения ДТЭ», которая содержит сведения о жесткости кузовов 5 863 серийных легковых автомобилей, отличающихся между собой маркой, моделью, классом, поколением и годом выпуска [27].

Для каждого рассматриваемого автомобиля в БД предусмотрено хранение следующей информации:

- идентификационный код;
- принадлежность к марке автомобиля;
- принадлежность к модели автомобиля;
- принадлежность к поколению автомобиля;
- принадлежность к классу автомобиля;
- год автомобиля.

Таким образом каждому автомобилю в БД соответствует одна запись, содержащая 6 полей.

Для предотвращения возможных ошибок, связанных с неточными указаниями отдельно вводимых данных и дублированием информации, для отдельных параметров предусмотрено хранение в БД перечней возможных значений. Такими параметрами являются:

- наименование марки;
- наименование модели;
- наименование поколения;
- класс автомобиля.

Таким образом, разработанная БД состоит из 5 связанных между собой таблиц:

- таблица «Main» содержит всю информацию об автомобиле для дальнейшей работы;
- таблица «Brand» содержит возможные наименования марок автомобиля, к одной из которых может принадлежать автомобиль;
- таблица «Model» содержит возможные наименования моделей выбранной марки, к одному из которых может принадлежать автомобиль;
- таблица «Generation» содержит возможные наименования поколений выбранной модели, к одному из которых может принадлежать автомобиль, а также его годы выпуска;
- таблица «Class» содержит возможные наименования классов, к которым может относиться автомобиль, а также год, к которому относятся значения коэффициентов жесткости.

Схема связей между указанными таблицами (схема данных) представлена на рисунке 10.

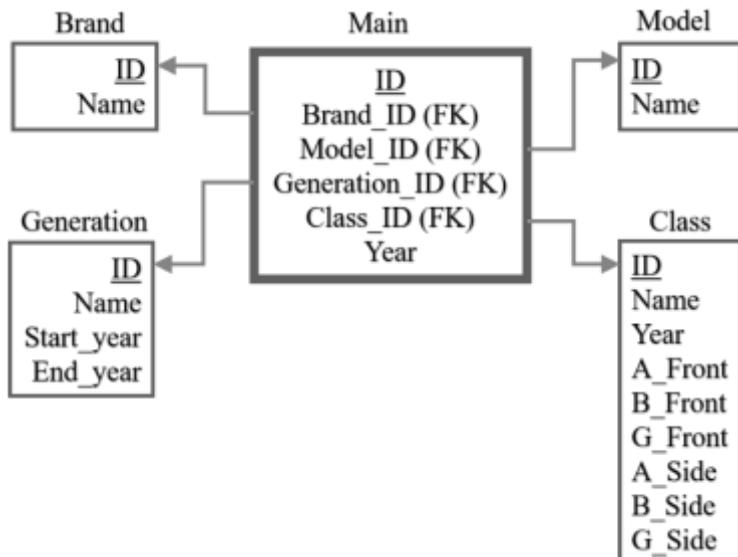


Рисунок 10 - Схема связей между таблицами БД (схема данных)

В результате была решена актуальная научная задача совершенствования методов оценки параметров скорости при проведении дорожно-транспортных экспертиз: определены закономерности изменения коэффициентов жесткости в зависимости от класса автомобиля категории М₁ и года выпуска и усовершенствована математическая модель расчета скорости движения автомобилей категории М₁ на стадии кульминации КСВ в зависимости от объемных деформаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. CRASH 3 Technical Manual. US Department of Transportation, Cambridge: NHTSA, 1986 - 458 с.
2. Databases and Software [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.nhtsa.gov/research-data/databases-and-software>
3. Euro NCAP [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Euro_NCAP
4. Evtukov S., Golov E., Sazonova T. Prospects of scientific research in the field of active and passive safety of vehicles // MATEC Web of Conferences. - Novosibirsk: EDP Sciences, 2018. - P. 04018.

№3-3(78) 2022 Эксплуатация, ремонт, восстановление

5. Evtukov S.S., Golov E.V., Ivanov N.A. Innovative safety systems for modern vehicles // T-Comm. - 2019. - Vol. 13. - №6. - P. 71-76.
6. Kvitchuk A., Kvitchuk M., Evtukov S., Golov E. Indicators of road safety as a phenomenon of national security of the state // Lecture notes in networks and systems. - 2022. - Vol. 247. - P. 159-168.
7. Белехов А.А., Евтюков С.А. Оценка влияния изменений, вносимых в конструкцию транспортных средств, находящихся в эксплуатации, на безопасность дорожного движения // Вестник гражданских инженеров. - 2021. - №6(89). - С. 151-157.
8. Васильева Н.В. К вопросу обеспечения равномерности и безопасности движения автомобильного транспорта в городской среде // Вестник гражданских инженеров. - 2015. - №4(51). - С. 128-132.
9. Голов Е.В. Повышение точности расчета скорости движения в момент ДТП при столкновениях с неполным перекрытием части кузова автомобиля // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. - 2021. - Т. 18. - №3(79). - С. 306-316.
10. Голов Е.В. Фактор скорости в системе безопасности дорожного движения // Вестник гражданских инженеров. - 2021. - №3(86). - С. 139-148.
11. Добромиров В.Н., Евтюков С.С., Голов Е.В. Организация безопасного дорожного движения на пешеходных переходах // Вестник гражданских инженеров. - 2017. - №6(65). - С. 265-270.
12. Дорохин С.В., Терентьев В.В., Андреев К.П. Безопасность на дорогах: проблемы и решения // Мир транспорта и технологических машин. - 2019. - №2 (57). - С. 67.
13. Евтюков, С.А. Справочник по экспертизе ДТП - Санкт-Петербург, 2015. - 512 с.
14. Евтюков С.А., Лукашов Б.В. Исследование подсистемы выявления инцидентов интеллектуальной транспортной системы // Вестник гражданских инженеров. - 2022. - №1(90). - С. 136-142.
15. Евтюков С.А., Брылев И.С., Блиндер М.М. Реконструкция аварии и оценка травм велосипедиста, полученных при столкновении автомобиля с велосипедом // Вестник гражданских инженеров. - 2021. - №2(85). - С. 208-214.
16. Евтюков С.С., Голов Е.В. Выбор коэффициентов при определении затрат кинетической энергии на деформацию автомобиля // Вестник гражданских инженеров. - 2019. - №1(72). - С. 152-157.
17. Евтюков С.С., Голов Е.В., Коломеец А.А. Роль человеческого фактора при возникновении дорожно-транспортного происшествия // Транспортное дело России. - 2019. - №2. - С. 196-199.
18. Коломеец А.А., Куракина Е.В. Возможности совершенствования обеспечения автоматизированного управления при подготовке водителей транспортных средств // Вестник гражданских инженеров. - 2021. - №2(85). - С. 215-221.
19. Кравченко П.А., Жанказиев С.В, Олещенко Е.М. Концепция обеспечения нулевой смертности на дорогах России как механизм борьбы с причинами дорожно-транспортных происшествий // Транспорт Российской Федерации. - 2019. - №4(83). - С. 3-7.
20. Куракина, Е.В. Оценка взаимодействия объектов дорожно-транспортного комплекса в целях обеспечения «нулевой смертности» // Мир транспорта и технологических машин. - 2021. - №3(74). - С. 57-64.
21. Куракина Е.В., Склярова А.А. Повышение уровня безопасности дорожного движения в системе «Участник дорожного движения - Транспортное средство - Дорога - Внешняя среда» // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. - 2020. - Т. 17. - №4(74). - С. 488-499.
22. Лазарев Д.А., Новиков И.А. Повышение эффективности проведения дорожно-транспортной экспертизы на основе теоретического подхода при изучении процесса торможения // Альтернативные транспортные технологии. - 2018. - Т. 5. - №1(8). - С. 286-292.
23. Новиков И.А., Кравченко А.А., Шевцова А.Г., Васильева В.В. Научно-методологический подход к снижению аварийности на дорогах Российской Федерации // Мир транспорта и технологических машин. - 2019. - №3(66). - С. 58-64.
24. Никонов В.Н. Реконструкция обстоятельств ДТП: Введение в современные методы экспертизы исследований. Использование краш-тестов // Издательские решения. - 2016. - 126 с.
25. Новиков А.Н., Кулев М.В., Кулев А.В. Разработка мероприятий по снижению дорожно-транспортной аварийности по вине водителей в состоянии алкогольного опьянения // Мир транспорта и технологических машин. - 2016. - №4(55). - С. 97-104.
26. Официальный веб-сайт европейской программы оценки новых автомобилей [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.euroncap.com/ru>
27. База данных жесткостных характеристик автомобилей категории М1 для проведения дорожно-транспортных экспертиз: Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021622677 Российской Федерации. № 2021622611: заявл. 18.11.2021: опубл. 29.11.2021 / Е.В. Голов, Я.В. Васильев, С.С. Евтюков; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».
28. Сильянов В.В. Приоритеты научных и практических работ в области безопасности дорожного движения // Наука и техника в дорожной отрасли. - 2011. - №2(57). - С. 1-2.

29. Трофименко Ю.В. Методические подходы к обеспечению транспортной безопасности в России и странах Европейского союза // Транспорт Российской Федерации. - 2011. - №6(37). - С. 24-29.

30. Голов Е.В., Евтуков С.А., Андреев А.П., Сорокина Е.В. Формирование трехмерной пространственно-следовой базы исходных данных с использованием сканирующих беспилотных летательных аппаратов и ее интеграция в модельно-ориентированную реконструкцию дорожно-транспортных происшествий // Транспорт Урала. - 2022. - №1(72). - С. 74-79.

Голов Егор Викторович

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес: 190005, Россия, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4

Старший преподаватель кафедры транспортных систем

E-mail: egorgoloff@yandex.ru

Евтуков Станислав Сергеевич

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес: 190005, Россия, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4

Д.т.н., доцент, заведующий кафедрой транспортных систем

E-mail: transis@spbgasu.ru

E.V. GOLOV, S.S. EVTYUKOV

INVESTIGATION OF THE REGULARITIES OF CHANGES IN THE STIFFNESS COEFFICIENTS OF M1 CATEGORY CARS DEPENDING ON THE YEAR OF MANUFACTURE AND IN ACCORDANCE WITH THE EURO NCAP CLASSIFICATION

Abstract. Based on the analysis of the results of testing cars for frontal and lateral impacts with deformable and non-deformable obstacles, the regularities of changes in the coefficients of Hooke and modulus of elasticity of the first kind depending on the class of the car and its year of manufacture were determined and a database of stiffness characteristics of M1 category cars was formed. The mathematical model of calculating the speed of cars at the stage of the culmination of contact-trace interactions based on the assessment of volumetric deformations has been improved. The high accuracy of the developed algorithms has been confirmed by approbation and experimental studies.

Keywords: traffic accident, accident expert review, auto technical expert review, road safety, stiffness coefficients of cars

BIBLIOGRAPHY

1. CRASH 3 Technical Manual. US Department of Transportation, Cambridge: NHTSA, 1986 - 458 s.
2. Databases and Software [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://www.nhtsa.gov/research-data/databases-and-software>
3. Euro NCAP [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: https://ru.wikipedia.org/wiki/Euro_NCAP
4. Evtukov S., Golov E., Sazonova T. Prospects of scientific research in the field of active and passive safety of vehicles // MATEC Web of Conferences. - Novosibirsk: EDP Sciences, 2018. - P. 04018.
5. Evtukov S.S., Golov E.V., Ivanov N.A. Innovative safety systems for modern vehicles // T-Comm. - 2019. - Vol. 13. - №6. - P. 71-76.
6. Kvitchuk A., Kvitchuk M., Evtyukov S., Golov E. Indicators of road safety as a phenomenon of national security of the state // Lecture notes in networks and systems. - 2022. - Vol. 247. - P. 159-168.
7. Belekhov A.A., Evtyukov S.A. Otsenka vliyaniya izmeneniy, vnosimykh v konstruktsiyu transportnykh sredstv, nakhodyashchikhsya v ekspluatatsii, na bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2021. - №6(89). - S. 151-157.
8. Vasil'eva N.V. K voprosu obespecheniya ravnomernosti i bezopasnosti dvizheniya avtomobil'nogo transporta v gorodskoy srede // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2015. - №4(51). - S. 128-132.
9. Golov E.V. Povyshenie tochnosti rascheta skorosti dvizheniya v moment DTP pri stolknoveniyakh s nepolnym perekrytiem chasti kuzova avtomobiliya // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. - 2021. - T. 18. - №3(79). - S. 306-316.
10. Golov E.V. Faktor skorosti v sisteme bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2021. - №3(86). - S. 139-148.
11. Dobromirov V.N., Evtyukov S.S., Golov E.V. Organizatsiya bezopasnogo dorozhnogo dvizheniya na pешеходных пешеходах // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2017. - №6(65). - S. 265-270.

№3-3(78) 2022 Эксплуатация, ремонт, восстановление

12. Dorokhin S.V., Terent'ev V.V., Andreev K.P. Bezopasnost' na dorogakh: problemy i resheniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2019. - №2 (57). - S. 67.
13. Evtyukov, S.A. Spravochnik po ekspertize DTP - Sankt-Peterburg, 2015. - 512 s.
14. Evtyukov S.A., Lukashov B.V. Issledovanie podsistemy vyyavleniya intsidentov intellektual'noy transportnoy sistemy // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2022. - №1(90). - S. 136-142.
15. Evtyukov S.A., Brylev I.S., Blinder M.M. Rekonstruktsiya avari i otsenka travm velosipedista, poluchennykh pri stolknovenii avtomobilya s velosipedom // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2021. - №2(85). - S. 208-214.
16. Evtyukov S.S., Golov E.V. Vybor koeffitsientov pri opredelenii zatrat kineticheskoy energii na deformatsiyu avtomobilya // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2019. - №1(72). - S. 152-157.
17. Evtyukov S.S., Golov E.V., Kolomeets A.A. Rol' chelovecheskogo faktora pri vozniknovenii dorozhno-transportnogo proisshestviya // Transportnoe delo Rossii. - 2019. - №2. - S. 196-199.
18. Kolomeets A.A., Kurakina E.V. Vozmozhnosti sovershenstvovaniya obespecheniya avtomatizirovannogo upravleniya pri podgotovke voditeley transportnykh sredstv // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2021. - №2(85). - S. 215-221.
19. Kravchenko P.A., Zhankaziev S.V., Oleshchenko E.M. Kontseptsiya obespecheniya nulevoy smertnosti na dorogakh Rossii kak mekhanizm bor'by s prichinami dorozhno-transportnykh proisshestviy // Transport Rossiyskoy Federatsii. - 2019. - №4(83). - S. 3-7.
20. Kurakina, E.V. Otsenka vzaimodeystviya ob'ektorov dorozhno-transportnogo kompleksa v tselyakh obespecheniya «nulevoy smertnosti» // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2021. - №3(74). - S. 57-64.
21. Kurakina E.V., Sklyarova A.A. Povyshenie urovnya bezopasnosti dorozhno dvizheniya v sisteme «Uchastnik dorozhno dvizheniya - Transportnoe sredstvo - Doroga - Vneshnyaya sreda» // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. - 2020. - T. 17. - №4(74). - S. 488-499.
22. Lazarev D.A., Novikov I.A. Povyshenie effektivnosti provedeniya dorozhno-transportnoy ekspertizы na osnove teoretycheskogo podkhoda pri izuchenii protsessa tormozheniya // Al'ternativnye transportnye tekhnologii. - 2018. - T. 5. - №1(8). - S. 286-292.
23. Novikov I.A., Kravchenko A.A., Shevtsova A.G., Vasil'eva V.V. Nauchno-metodologicheskiy podkhod k snizheniyu avariynosti na dorogakh Rossiyskoy Federatsii // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2019. - №3(66). - S. 58-64.
24. Nikonorov V.N. Rekonstruktsiya obstoyatel'stv DTP: Vvedenie v sovremennye metody ekspertnykh issledovaniy. Ispol'zovanie krashtestov // Izdatel'skie resheniya. - 2016. - 126 s.
25. Novikov A.N., Kulev M.V., Kulev A.V. Razrabotka meropriyatiy po snizheniyu dorozhno-transportnoy avariynosti po vne voditeley v sostoyanii alkogol'nogo op'yaneniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2016. - №4(55). - S. 97-104.
26. Ofitsial'nyy veb-sayt evropeyskoy programmy otsenki novykh avtomobiley [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://www.euroncap.com/ru>
27. Baza dannykh zhestkostnykh kharakteristik avtomobiley kategorii M1 dlya provedeniya dorozhno-transportnykh ekspertiz: Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii bazy dannykh № 2021622677 Rossiyskaya Federatsiya. № 2021622611: zayavl. 18.11.2021: opubl. 29.11.2021 / E.V. Golov, Ya.V. Vasil'ev, S.S. Evtyukov; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet».
28. Sil'yanov V.V. Prioritetnye nauchnykh i prakticheskikh rabot v oblasti bezopasnosti dorozhno dvizheniya // Nauka i tekhnika v dorozhno otrasi. - 2011. - №2(57). - S. 1-2.
29. Trofimenko YU.V. Metodicheskie podkhody k obespecheniyu transportnoy bezopasnosti v Rossii i stranakh Evropeyskogo soyuza // Transport Rossiyskoy Federatsii. - 2011. - №6(37). - S. 24-29.
30. Golov E.V., Evtyukov S.A., Andreev A.P., Sorokina E.V. Formirovaniye trekhmernoy prostranstveno-sledovoy bazy iskhodnykh dannykh s ispol'zovaniem skaniruyushchikh bespilotnykh letatel'nykh apparatov i ee integratsiya v model'no-orientirovannyyu rekonstruktsiyu dorozhno-transportnykh proisshestviy // Transport Urala. - 2022. - №1(72). - S. 74-79.

Golov Egor Viktorovich

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

Address: Russia, 190005, Saint-Petersburg, 2 Krasnoarmeiskaya str. 4

Senior Lecturer

E-mail: egorgoloff@yandex.ru

Evtyukov Stanislav Sergeevich

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

Address: Russia, 190005, Saint-Petersburg, 2 Krasnoarmeiskaya str. 4

Doctor of technical sciences

E-mail: transis@spbgasu.ru

Научная статья

УДК 620.169.1

doi:10.33979/2073-7432-2022-3(78)-3-21-26

Д.А. ГОНЧАРОВА, Г.В. ПАЧУРИН

СПОСОБ ОЦЕНКИ ЭТАПОВ ДЕСТРУКЦИИ ЛИСТОВЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

Аннотация. Предложен способ оценки этапов усталостной повреждаемости листовых конструкционных материалов по кривым прогиба плоских образцов в процессе усталости, позволяющий изучать сопротивление усталостному разрушению листовых металлических материалов по схеме чистого изгиба в одной плоскости. Эта схема максимально приближена к условиям реального нагружения корпусных элементов конструкции автомобиля. Результаты исследования дают возможность изучать кинетику процесса разрушения, фиксировать начало макроразрушения, скорость роста трещины и, как следствие, ремонтопригодность конструкции, а также обоснованно выбрать материал на этапе конструирования корпусных листовых элементов автомобиля с целью повышения ремонтопригодности и повышения его безопасности при эксплуатации.

Ключевые слова: листовые стали, детали автомобиля, кривые прогиба, усталостная повреждаемость

Введение

Обеспечение работоспособности деталей и узлов автомобилей является одной из актуальных задач современного автомобилестроения [1, 2]. Большинство деталей автомобилей испытывают знакопеременные нагрузки, приводящие к деструкции материалов вплоть до полного разрушения [3-5], приводящего к материальным потерям и к человеческим жертвам. Отсюда возникает приоритетная задача повышения безопасной работы и эксплуатационной надежности металлоизделий машиностроения, испытывающих процесс работы знакопеременные нагрузки [6, 7]. Важным фактором, влияющим на работоспособность машиностроительных изделий, является сопротивление усталости конструкционных материалов [8, 9]. Для оценки работоспособности металлоизделий кроме параметров статического разрушения необходимо знать характеристики сопротивления усталости [10, 11], существенно зависящего от технологии их обработки [12-14].

Основой любого автомобиля, являющейся, к тому же, самой дорогой его частью (60-70 % от всей стоимости) является кузов и другие корпусные элементы. Трудоемкость изготовление только кузова составляет около 60 % трудоемкости изготовления автомобиля в целом. В настоящее время для изготовления штампованных корпусных деталей отечественного автотранспорта широко используется листовые низкоуглеродистые стали 08kp и 20kp, подвергаемые различным видам и режимам технологической обработки [15-17].

С точки зрения ремонтопригодности автомобиля при выборе конструкционных материалов на стадии его проектирования предпочтение следует отдавать тем материалам, у которых большую часть «жизни» будет составлять этап подрастания усталостной трещины [18]. Это увеличивает вероятность ее выявления при техническом обслуживании и, следовательно, снизить вероятность аварийных ситуаций в процессе эксплуатации автомобиля [19].

Ранее в работах Сегал Я.С., Кручинина В.В., Софронова Ю.Д., Степанова М.Н., Школьника Л.М., Терентьева В.Ф., Пачурина Г.В. на круглых образцах было показано, что кривые изменения их прогиба при усталости отражают особенности кинетики усталостного поведения материала. Они позволяют выявить по увеличению интенсивности прогиба появление на поверхности образца трещины и посчитать скорость ее последующего роста. Однако в настоящее время отсутствуют мобильные относительно не крупные и недорогостоящие усталостные машины, с фиксацией прогиба плоских образцов при нагружении по схеме, максимально соответствующей реальным условиям эксплуатации листовых деталей автомобиля, позволяющих при этом отслеживать сам процесс разрушения.

Увеличение спектра используемых металлических конструкционных материалов, отвечающих необходимым эксплуатационным параметрам, а также высокому уровню конструктивной безопасности, возникает необходимость кроме проектирования новых машин,

модернизации существующих, и на их основе разработки методов усталостных испытаний, которые помогли бы сократить объем натурных испытаний.

Отсюда задача выявления основных этапов кинетики эксплуатационной деструкции листовых автомобильных материалов, является актуальной научно-технической задачей.

Авторами предложен способ оценки этапов повреждаемости при усталостном нагружении листовых материалов по изменению кривых прогиба плоских образцов, позволяющий на этапе конструирования корпусных листовых элементов автомобиля обоснованно выбрать их материал для повышения ремонтопригодности и, как следствие, повышения его безопасности при эксплуатации.

Материал и методы

В работе изучались плоские образцы автомобильных конструкционных сталей 20кп и 08кп на базе рам автомобилей ГАЗ-3302. Статистический анализ результатов, построение кривых усталости и вероятностных кривых распределения циклической долговечности осуществлялись с использованием методов математической статистики. Предел выносливости определялся по методу Локати.

Для изучения усталостных свойств образцов из конструкционных материалов применяются различные виды испытательных машин [20]. Основные схемы и принципы создания и расчета усталостных машин подробно описаны в специальной литературе [21, 22]. Однако существующие машины для усталостных испытаний не всегда могут обеспечить требования исследователя. Кроме того, они часто являются крупногабаритными, сложными в обслуживании и достаточно дорогостоящими. Поэтому с учетом конкретных научных и прикладных задач продолжаются работы по разработке и применению опытных машин, установок и стендов для испытаний образцов в различных условиях циклического нагружения.

На основании литературного обзора обоснован выбор для испытания листовых материалов настольной усталостной установки ЭМУ-5-ПК (рис. 1), с малыми массой и габаритами, бесшумной, без вращающихся деталей, простой в обслуживании, с низким энергопотреблением и стоимостью.

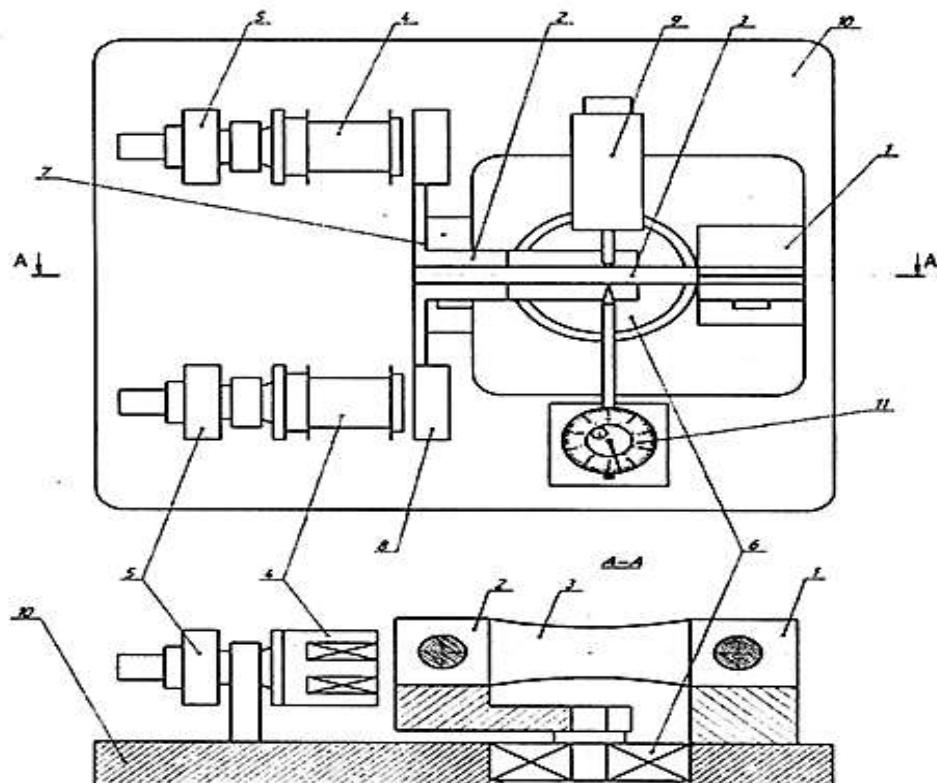


Рисунок 1 - Модернизированная усталостная установка ЭМУ-5: 1 - неподвижный захват, 2 - подвижный захват, 3 - образец, 4 - электромагниты, 5 - винтовые механизмы, 6 - подшипниковый узел, 7 - реверса, 8 - якорь, 9 - индукционный датчик, 10 - основание, 11 - индикатор часового типа

Усталостные испытания осуществлялись по «мягкой» схеме чистого изгиба в одной плоскости. Для обеспечения возможности отслеживания изменений текущего прогиба плоского образца при усталостном нагружении для корректного определения изменения его амплитуды кроме индукционного датчика (поз. 9) в установке ЭМУ-5 предусмотрен датчик часового типа (поз.10).

Теория

В таблице 1 приведен химический состав исследуемых сталей.

Таблица 1 - Химический состав сталей 08кп и 20кп

Марка стали	Массовая доля элементов, %							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
				не более				
08кп	0,05-0,12	Не более 0,03	0,25-0,50	0,030	0,035	0,10	0,30	0,30
20кп	0,17-0,24	Не более 0,07	0,25-0,50	0,030	0,035	0,25	0,30	0,30

Установлено, что сталь 08кп обладает более высокими пластическими свойствами (табл. 2).

Таблица 2 - Механические свойства сталей 08кп и 20кп

Марка стали	Механические свойства, не менее				
	σ_t , Н/мм ²	σ_b , МПа	δ_5 , %	ψ , %	$E \cdot 10^5$, МПа
08	196	320	33	60	2,12
20	245	410	25	55	2,03

На рисунке 2 представлены кривые усталости этих сталей.

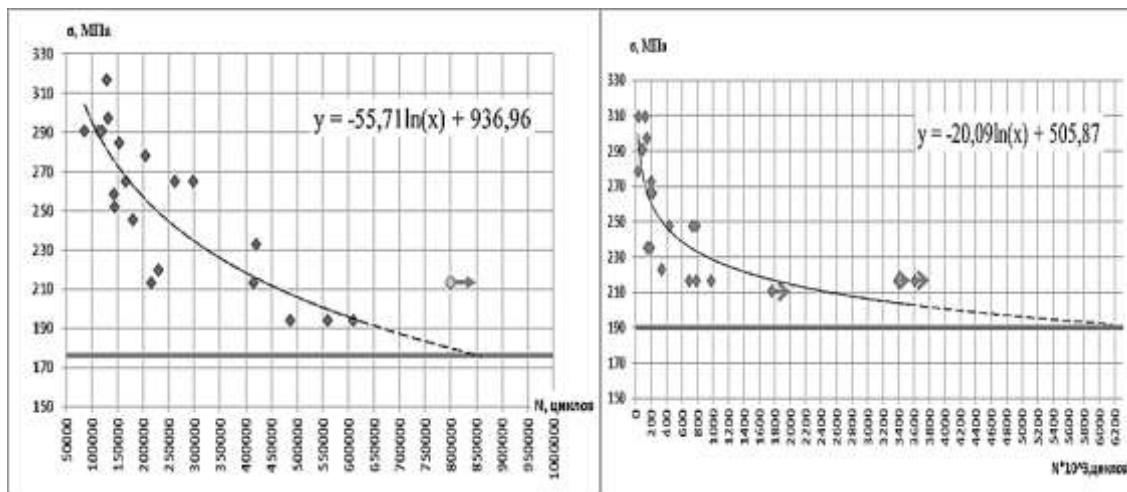


Рисунок 2 - Кривые усталости сталей 08кп (а) и 20кп (б) в координатах σ -N, коэффициент корреляции $r=-0,829$ и $0,781$, соответственно

Из них следует, что сталь 08кп обладает более стабильными усталостными свойствами, хотя предел выносливости у нее, определенный по методу Локати, несколько ниже, чем у стали 20кп. Так у стали 08кп предел выносливости составляет 176 МПа, а у стали 20кп - 190 МПа.

Кривые изменения текущего прогиба образцов из стали 08кп (рис. 3 а) и 20кп (рис. 3 б) в процессе циклического нагружения в координатах Δf - N, являющиеся отражением процесса усталости материала от зарождения усталостной трещины до полного разрушения образца. В качестве примера приведены кривые изменения прогиба при усталости образцов.

В таблице 3 представлены результаты математической обработки соотношения параметров кривых текущего прогиба образца в процессе циклического нагружения с наблюдением момента зарождения усталостной трещины и фиксацией ее последующего развития.

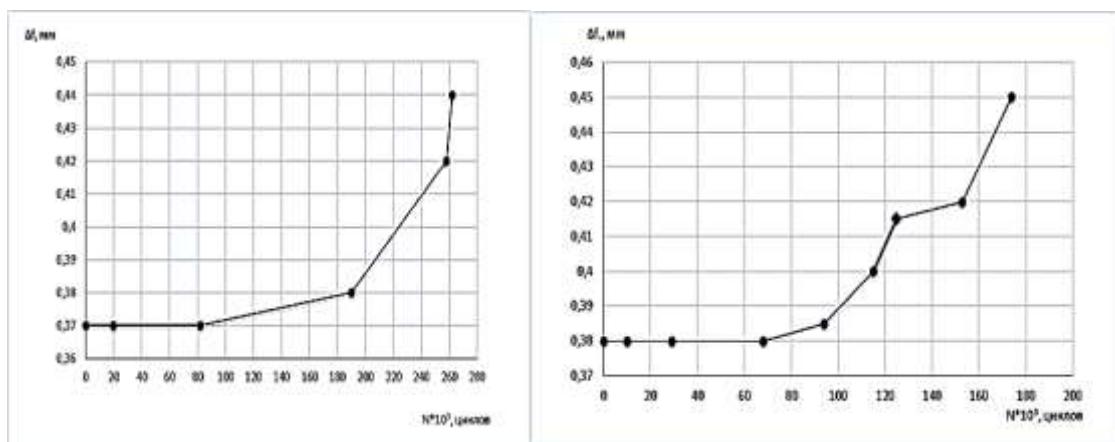


Рисунок 3 - Кривые изменения текущего прогиба образцов из сталей 08kp (а) и 20kp (б) в процессе циклического нагружения плоским изгибом частотой 27 Гц при $\sigma = 265$ МПа ($N_p = 262000$ циклов) и $235,2$ МПа ($N_p = 174000$ циклов), соответственно

Таблица 3 - Параметры этапов усталостного разрушения х сталей 08kp и 20kp

Материал	N_p , цикл.	$n_{3,тр.}$, цикл.	$n_{роста\ тр.}$, цикл.	$l_{тр.}$, мм	$V_{ср. тр.}$, мм/цикл	$n_{3,тр.}$, % от N_p	$n_{роста\ тр.}$, % от N_p	σ_{-1} , МПа
Сталь 08kp	262000	82000	180000	9,8	$5,38 \cdot 10^{-5}$	31,3	68,7	176
Сталь 20kp	174000	68000	106000	9,4	$8,86 \cdot 10^{-5}$	39,8	60,2	190

N_p - полное число циклов до разрушения образца;
 $n_{3,тр.}$ - число циклов до зарождения усталостной трещины;
 $n_{роста\ тр.}$ - число циклов роста усталостной трещины;
 $l_{тр.}$ - полная длина усталостной трещины;
 $V_{ср. тр.}$ - усредненная скорость роста усталостной трещины;
 $n_{3,тр.}$ - доля долговечности до зарождения усталостной трещины от долговечности до полного разрушения образца;
 $n_{роста\ тр.}$ - доля долговечности роста усталостной трещины от долговечности до полного разрушения образца;
 σ_{-1} - предел выносливости по методу Локати.

Результаты и обсуждение

Анализ полученных результатов показал, что, несмотря на то, что предел выносливости, полученный по методу Локати, у стали 20kp несколько выше, чем у стали 08kp, у стали 08kp макротрещина усталости появляется на более раннем этапе и продвигается по телу образца с меньшей скоростью, что дает возможность своевременного ее обнаружения и замены дефектной детали. Так, например, у стали 08kp долговечность до окончательного разрушения ($2,62 \cdot 10^5$ циклов) и период до зарождения усталостной трещины ($8,2 \cdot 10^4$ циклов) больше, а скорость ее дальнейшего продвижения ($5,38 \cdot 10^{-5}$ мм/цикл) меньше, чем у стали 20kp ($1,74 \cdot 10^5$, $6,8 \cdot 10^4$ циклов и $8,86 \cdot 10^{-5}$ мм/цикл, соответственно). Хотя эти параметры получены при большем (265 МПа) напряжении для стали 08kp против лишь 235 МПа для стали 20kp. Кроме того, по химическому составу и механическим свойствам сталь 08kp обладает большей пластичностью по сравнению со сталью 20kp, имеющей большее содержание углерода, обеспечивая ее лучшую штампуемость при формообразовании крыльев, капота и других фасонных деталей.

Это обуславливает в процессе конструирования автомобиля эксплуатационное преимущество выбора стали 08kp против стали 20kp, из-за большей возможности своевременно выявления усталостных трещин при ТО автомобиля, что позволяет своевременно заменить дефектные детали, а значит снизить вероятность аварийных ситуаций.

На основании полученных результатов предложен метод оценки этапов усталостной деструкции при усталостных испытаниях листовых автомобильных материалов по характеру изменения текущего прогиба образцов.

Выводы

Анализ экспериментально полученных кривых изменения прогиба плоских образцов из сталей 08kp и 20kp показал, что они представляют собой интегральную характеристику деструкции металлических образцов, протекающей при знакопеременном нагружении, так как позволяют отслеживать стадии повреждаемости при усталости - повреждение структуры

на начальном этапе, момент появления макроскопической трещины, ее последующее продвижение вплоть до полного разделения конструкционного материала.

Предложен способ [23] обоснованного выбора материала на этапе конструирования корпусных листовых элементов автомобиля по параметрам кривых изменения текущего прогиба плоских образцов в процессе циклического нагружения, повышающий его ремонтопригодность и безопасность при эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пачурин Г.В., Гончарова Д.А., Филиппов А.А., Нуждина Т.В., Деев В.Б. Исследование процесса усталости автомобильных материалов // Известия вузов. Черная металлургия. - 2019. - №9. - С. 732-738.
2. Goncharova D.A., Pachurin G.V., Filippov A.A., Kuzmin N.A. Fatigue destruction of automobile construction materials // Journal of Physics: Conference Series. - 2019. - C. 012025.
3. Gamal El Sherbini, Chatterjee U.K., Sircar S.C. On the separation of initiation and propagation stages in transgranular stress corrosion cracking of alphabrass // Trans. Indian Inst. Metals. - 1976. - №6. - Р. 447-448.
4. Терентьев, В.Ф. Усталость металлических материалов / Отв. ред. Н.П. Лякишев - М.: Наука, 2003. - 254 с.
5. Терентьев, В.Ф. Усталость высокопрочных металлических материалов - М.: ИМЕТ РАН - ЦИАМ, 2013. - 515 с.
6. Пачурин Г.В., Гончарова Д.А., Кузьмин Н.А., Филиппов А.А., Нуждина Т.В. Процесс усталостной повреждаемости листовых автомобильных сталей // Технология металлов. - 2019. - №8. - С. 16-22.
7. Пачурин, Г.В. Технология исследования разрушения конструкционных материалов в разных условиях нагружения: Учебное пособие - Москва: ИНФРА-М. - 2-е изд., испр. и доп., 2021. - 204 с.
8. Похмурский, В.И. Коррозионная усталость металлов - М.: Металлургия, 1985. - 207 с.
9. Агеев, Н.П. Механические испытания металлов при высоких температурах и кратковременных нагрузлениях - М.: Металлургия, 1968. - 230 с.
10. Pachurin1 G.V., Shevchenko S.M., Filippov1 A.A., Mukhina M.V., Kuzmin1 N.A. Defining rolled metal performance for cold bolt upsetting (bolt head) // IOP Conference Series: Materials science and engineering. - 327 . - 2018. - 032040.
11. Акимов, Л.М. Выносливость жаропрочных сплавов - М.: Металлургия, 1977. - 152 с.
12. Сулима, А.М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин - М: Машиностроение, 1988. - 240 с.
13. Новиков, И.И. Металловедение в 2-х томах - М.: Издательский Дом МИСиС, 2009. - 496 с.
14. Сулима, А.М. Качество поверхностного слоя и усталостная прочность деталей из жаропрочных и титановых сплавов. - М.: Машиностроение, 1974. - 256 с.
15. Галкин В.В. Структурно-деформационная оценка упрочнения металла в многооперационных процессах холодного деформирования // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2014. - №8. - С. 8-12.
16. Галкин В.В. К вопросу микроструктурной оценки распределения пластических деформаций металла холодно-высаженных крепежных изделий // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. - 2014. - №8. - С.11-14.
17. Гуров В.Д., Владимиров А.Г. Улучшение качества крепежных изделий и снижение расхода металла при производстве // Сталь. - 2005. - №12. - С. 52-54.
18. Гончарова Д.А., Пачурин Г.В. Исследование процесса усталостного разрушения листовых материалов // Научные чтения им. чл.-корр. РАН И.А. Одинга «Механические свойства современных конструкционных материалов». - М: ИМЕТ РАН. - 2020. - С. 171.
19. Пачурин Г.В., Гончарова Д.А., Филиппов А.А., Нуждина Т.В. К оценке процесса усталостного разрушения листовых автомобильных материалов // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. - 2019. - №3(66). - С. 48-53.
20. Серенсен, С.В. Динамика машин для испытаний на усталость - М., «Машиностроение», 1967. - 460 с.
21. Терентьев, В.Ф. Усталость металлических материалов - М.: Наука, 2002. - 248 с.
22. Терентьев, В.Ф. Усталость металлических материалов: учеб. пособие - Воронеж: Воронеж. техн. ун-т, 2000. - 60 с.
23. Пат. RU 2 739 154 C1 Способ прогнозирования параметров усталостного разрушения листовых металлических материалов.

Пачурин Герман Васильевич

Нижегородский государственный технический университет

Адрес: Россия, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24

Д.т.н., профессор кафедры кафедры «Производственная безопасность, экология и химия»
E-mail: obchim@nntu.ru

Гончарова Дарья Алексеевна

Томский государственный университет

Адрес: Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

К.х.н., инженер-исследователь

E-mail: obchim@nntu.ru

METHOD FOR ASSESSING STAGES OF LEAF DESTRUCTION AUTOMOTIVE STEELS

Abstract. A method is proposed for estimating the stages of fatigue damage of sheet structural materials from the deflection curves of flat specimens in the process of fatigue, which makes it possible to study the resistance to fatigue failure of sheet metal materials using the scheme of pure bending in one plane. This scheme is as close as possible to the conditions of real loading of car body structural elements. The results of the study make it possible to study the kinetics of the destruction process, to fix the onset of macro-destruction, the rate of crack growth and, as a result, maintainability, design, and also to reasonably choose the material for the development of body elements of sheet-metal vehicles in order to start maintainability and ensure its safety during operation.

Keywords: sheet steels, car parts, deflection curves, fatigue injury

BIBLIOGRAPHY

1. Pachurin G.V., Goncharova D.A., Filippov A.A., Nuzhdina T.V., Deev V.B. Issledovanie protsessa ustalosti avtomobil'nykh materialov // Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya. - 2019. - №9. - S. 732-738.
2. Goncharova D.A., Pachurin G.V., Filippov A.A., Kuzmin N.A. Fatigue destruction of automobile construction materials // Journal of Physics: Conference Series. - 2019. - S. 012025.
3. Gamal El Sherbini, Chatterjee U.K., Sigsag S.C. On the separation of initiation and propagation stages in transgranular stress corrosion cracking of alphabrass // Trans. Indian Inst. Metals. - 1976. - №6. - R. 447-448.
4. Terent'ev, V.F. Ustalost' metallicheskikh materialov / Otv. red. N.P. Lyakishev - M.: Nauka, 2003. - 254 s.
5. Terent'ev, V.F. Ustalost' vysokoprochnykh metallicheskikh materialov - M.: IMET RAN - TSIAM, 2013. - 515 s.
6. Pachurin G.V., Goncharova D.A., Kuz'min N.A., Filippov A.A., Nuzhdina T.V. Protsess ustalostnoy povrezhdaemosti listovykh avtomobil'nykh stalei // Tekhnologiya metallov. - 2019. - №8. - S. 16-22.
7. Pachurin, G.V. Tekhnologiya issledovaniya razrusheniya konstruktionsnykh materialov v raznykh usloviyakh nagruzheniya: Uchebnoe posobie - Moskva: INFRA-M. - 2-e izd., ispr. i dop., 2021. - 204 s.
8. Pokhmurskiy, V.I. Korrozionnaya ustalost' metallov - M.: Metallurgiya, 1985. - 207 s.
9. Ageev, N.P. Mekhanicheskie ispytaniya metallov pri vysokikh temperaturakh i kratkovremennykh nagruzheniyakh - M.: Metallurgiya, 1968. - 230 s.
10. Pachurin G.V., Shevchenko S.M., Filippov A.A., Mukhina M.V., Kuzmin N.A. Defining rolled metal performance for cold bolt upsetting (bolt head) // IOP Conference Series: Materials science and engineering. - 327. - 2018. - 032040.
11. Akimov, L.M. Vynoslivost' zharoprochnykh splavov - M.: Metallurgiya, 1977. - 152 s.
12. Sulima, A.M. Poverkhnostnyy sloy i ekspluatatsionnye svoystva detaley mashin - M: Mashinostroenie, 1988. - 240 s.
13. Novikov, I.I. Metallovedenie v 2-kh tomakh - M.: Izdatel'skiy Dom MISiS, 2009. - 496 s.
14. Sulima, A.M. Kachestvo poverkhnostnogo sloya i ustalostnaya prochnost' detaley iz zharoprochnykh i titanovykh splavov. - M.: Mashinostroenie, 1974. - 256 s.
15. Galkin V.V. Strukturno-deformatsionnaya otsenka uprochneniya metalla v mnogooperatsionnykh protsessakh kholodnogo deformirovaniya // Uprochnyyayushchie tekhnologii i pokrytiya. - 2014. - №8. - S. 8-12.
16. Galkin V.V. K voprosu mikrostruktury otsenki raspredeleniya plasticheskikh deformatsiy metalla kholodno-vysazhennykh krepezhnykh izdeliy // Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem. - 2014. - №8. - S.11-14.
17. Gurov V.D., Vladimirov A.G. Uluchshenie kachestva krepezhnykh izdeliy i snizhenie raskhoda metalla pri proizvodstve // Stal'. - 2005. - №12. - S. 52-54.
18. Goncharova D.A., Pachurin G.V. Issledovanie protsessa ustalostnogo razrusheniya listovykh materialov // Nauchnye chteniya im. chl.-korr. RAN I.A. Odinga «Mekhanicheskie svoystva sovremennykh konstruktionsnykh materialov». - M: IMET RAN. - 2020. - S. 171.
19. Pachurin G.V., Goncharova D.A., Filippov A.A., Nuzhdina T.V. K otsenke protsessa ustalostnogo razrusheniya listovykh avtomobil'nykh materialov // Progressivnye tekhnologii i sistemy mashinostroeniya. - 2019. - №3(66). - S. 48-53.
20. Serensen, S.V. Dinamika mashin dlya ispytaniy na ustalost' - M., «Mashinostroenie», 1967. - 460 s.
21. Terent'ev, V.F. Ustalost' metallicheskikh materialov - M.: Nauka, 2002. - 248 s.
22. Terent'ev, V.F. Ustalost' metallicheskikh materialov: ucheb. posobie - Voronezh: Voronezh, tekhn. un-t, 2000. - 60 s.
23. Pat. RU 2 739 154 C1 Sposob prognozirovaniya parametrov ustalostnogo razrusheniya listovykh metallicheskikh materialov.

Pachurin German Vasilievich

Nizhny Novgorod State Technical University
Address: Russia, 603950, Nizhny Novgorod, Minina str., 24
Doctor of technical sciences
E-mail: obchim@nntu.ru

Goncharova Daria Alekseevna

Tomsk State University
Address: Russia, 634050, Tomsk, Lenin Ave., 36
Candidate of technical sciences
E-mail: obchim@nntu.ru

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Научная статья

УДК 678.019.391

doi:10.33979/2073-7432-2022-3(78)-3-27-34

А.А. ЖОСАН, М.М. РЕВЯКИН, И.С. КУЗНЕЦОВ

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ИЗНОШЕННОЙ ГУСЕНИЦЫ CAMSO AG 3500 ТРАКТОРА VERSATILE 570 DT

Аннотация. Проведен анализ условий эксплуатации и дефектов возникающих на резиноармированной гусенице *Camso AG 3500*. Резиноармированная гусеница *CAMSO AG 3500* эксплуатировалась на тракторе *Versatile 570 DT*. Этот трактор предназначен в первую очередь для средних и крупных хозяйств. Наработка исследуемых резиноармированных гусениц составила 493 моточаса. Сохранившаяся высота грунтозацепов в неповрежденной части составила 49 мм. Резиноармированные гусеницы оказывают меньшее воздействие на опорную поверхность при этом их применение улучшает технико-экономические показатели машинно-тракторного агрегата, однако их эксплуатация имеет ряд специфических особенностей.

Ключевые слова: двигатель, резиноармированная гусеница, износ, ресурс, усталостное разрушение.

Введение

В последнее время все чаще ведущие мировые машиностроительные корпорации выпускают машины и комплексы с резиноармированными гусеничными двигателями. Подобные гусеницы имеют ряд преимуществ в сравнении с колесными двигателями и сборными металлическими гусеницами. Спецтехника с резиноармированной гусеницей универсальна и в отличии от металлических гусениц не вызывает видимых повреждений поверхности дорожного полотна. Резиновые гусеницы обладают меньшим сопротивлением движению, соответственно меньшим расходом топлива, износом механизма двигателя и большей скоростью движения, имеют высокую износостойкость при работе во влажных и абразивных средах. Это связано с конструктивными и технологическими особенностями их производства [1-6]. Они применяются как в маломощных машинах массой 1...2 тонны, так и в энергонасыщенных тракторах и комбайнах. Благодаря резиноармированной гусенице улучшаются технико-экономические показатели машинно-тракторного агрегата, возникает возможность проведения работ в большой влажности почвы, уменьшаются расходы на перегоны техники.

Большинство иностранных компаний пытаются расширить свои рынки сбыта за счет оснащения тракторов, комбайнов, ходовыми системами с резиноармированными гусеницами. К таким мировым брендам можно отнести CLASS, CASE, John Deer, Caterpillar и многие другие. Из отечественных производителей резиноармированными гусеницами свою технику оснащает Ростсельмаш. Это связано с тем, что машины на колесных двигателях как правило имеют большое удельное давление на почву, что приводит к снижению плодородия на 25...35 % и как следствие снижению урожайности [2]. Несмотря на большое количество положительных сторон при эксплуатации техники на резиноармированных гусеницах существует ряд проблем, которые могут существенно повлиять на ресурс и в первую очередь они связаны с правилами эксплуатации. Связано это с материалом, из которого изготовлены гусеницы и их конструктивными особенностями.

Правила эксплуатации заключаются в следующем. Во время работы надо стремиться, чтобы на обе гусеницы приходилась равная нагрузка, не следует разворачиваться путем противовращения гусениц или притормаживая одну из гусениц. Рекомендуется выполнять повороты попеременно через обе стороны, чтобы уравнять износ компонентов ходового механизма. Если постоянно выполнять повороты машины только через одну сторону, увеличится износ зубьев ведущего и направляющего колес, катков и поверхностей траков со стороны, испытывающей наибольшую нагрузку. Чтобы уменьшить износ ходового механизма и разрушение опорной поверхности (например, асфальта), рекомендуется выполнять повороты и

развороты в три приема.

При работе на склоне рекомендуется управлять машиной медленно и избегать резкого изменения направления движения. По возможности надо двигаться вверх или вниз по склону, а не в поперечном направлении. При движении и работе на гребне насыпей и во впадинах возрастает износ боковых частей гусениц, которые контактируют с опорной поверхностью.

Въезжая на резиновых гусеницах по аппарели или пандусу на прицеп, необходимо убедится, что ширина пандуса соответствует ширине гусениц и они не будут повреждены (замяты) бортами пандуса. При въезде или съезде с неправильно подобранных пандусов гусеницы могут изнашиваться больше, чем в процессе работы. Если натяжение гусениц недостаточное, при преодолении бордюров, труб, лежащих на земле, и т. п. препятствий металлические детали резиновой гусеницы могут коснуться ходовой рамы и повредить ее. Рекомендуется следить за натяжением гусениц и по возможности стараться не переезжать через бордюры и подобные препятствия.

Одно из главных требований эксплуатации, как можно меньше подвергать гусеницы воздействию экстремальных температур и солнечных лучей, это увеличивает скорость старения резины. Нормальный температурный режим работы от -25 до +55 °C. Если работа ведется при экстремальных температурах, необходимо уменьшить скорость машины.

В данной работе проведем анализ гусеницы канадской фирмы CAMSO AG 3500.

Цель работы - произвести анализ износа и выявить причины возникновения повреждений резиноармированной гусеницы CAMSO AG 3500.

Материал и методы

Исследование гусеницы, проводилось с применением следующего оборудования: дюрометр Шора шкала А, линейка металлическая OTMTCEINOX, CERTIFIEXELAGRI, цифровой микроскоп. Визуальный осмотр осуществлялся в дневное время суток при естественном освещении. Для фотофиксации использовалась фотокамера Nikon D5000. Резиноармированная гусеница CAMSO AG 3500 эксплуатировалась на тракторе Versatile 570 DT (рис. 1). Этот трактор предназначен в первую очередь для средних и крупных хозяйств. Наработка исследуемых резиноармированных гусениц составила 493 моточаса. Сохранившаяся высота грунтозацепов в неповрежденной части составила 49 мм.



a



б

Рисунок 1 - Трактор Versatile 570 DT: *a* - вид справа; *б* - вид слева

Геометрические параметры резиноармированной гусеницы CAMSO AG 3500 представлен в таблице 1.

При изготовлении резиновых гусениц могут иметь различные производственные дефекты, которые снижают качество изделия.

Таблица 1 - Параметры гусеницы CAMSO AG 3500

Протектор				Направляющие зацепы		Каркас		
Кол-во	Высота (мм)	Ширина наконечника (мм)	Шаг (мм)	Кол-во	Длина (мм)	Слой	Размер несущего троса (мм)	Толщина (мм)
84	51	43	153	42	107	3	5,4	3,5

Основными производственными дефектами являются:

- недовулканизация (высокая мягкость и пластиность резины) вследствие недостаточного введения вулканизующих агентов, пониженной температуры или сокращения времени вулканизации;

- перевулканизация (высокая твердость и ломкость резины) вследствие избытка в смеси вулканизующей группы, длительного пребывания смеси в прессе или слишком высокой температуры вулканизации;

- недопрессовка, которая возникает при падении давления в вулканизационном прессе, применении частично подвулканизированной смеси, загрузке заготовок в несоответствующие по размерам формы;

- шероховатая и бугристая поверхность, полученная из-за подвулканизации смеси при ее изготовлении, наличия в формах раковин и бугорков;

- повреждения поверхности при вулканизации, появляющиеся при загрузке смеси в холодную форму, плохом смешении с вулканизующими агентами, попадании воды в форму.

- пузыристость на поверхности резины и внутри, получаемая при наличии влаги в смеси, отсутствии или недостатке давления в прессе, недостаточной загрузке формы смесью;

- раковины, появляющиеся при попадании воздуха в форму, неправильно подобранным составе ускорителей, выделении газов из смеси;

- проколы и разрывы, происходящие при выгрузке изделия из формы острым инструментом;

- несоответствие размеров деталей (подошв, каблуков) чертежам или шаблонам из-за избыточной усадки после вулканизации, а также перекос от штамповки;

- неравномерная толщина - результат неправильной закладки заготовок в прессформы, а также применения неисправных прессформ, перекоса плит пресса и низкой пластиичности смеси из-за ее подвулканизации при обработке;

- выцветание серы в результате недовулканизации, вследствие пониженной температуры и малого времени вулканизации или при одновременном введении большого количества серы и недостаточного количества ускорителей;

- грязная поверхность, получаемая при загрузке в невычищенные формы;

- остатки заусенцев (выхваты), появляющиеся при небрежной обрезке выпрессовке.

Основными эксплуатационными дефектами являются: боковые задиры и сколы; износ первого торца; раздавливание; повторяющиеся повреждения в верхней части гребня; обрыв корда основы / разрыв беговой дорожки; повреждение между грунтозацепами (наружная сторона); сколы, трещины или порезы (внутренняя или наружная сторона); отслаивание резинового слоя (внутренняя сторона); механические повреждения торца.

Теория

В результате исследований выявлено, что наружные грунтозацепы имеют вздутия, в максимальной части по ширине вздутие составляет около 70 мм (рис. 2 б). Расстояние от торца гусеницы до места начала вздутия на грунтозацепе составляет 53 мм длина вздутия грунтозацепа около 80 мм (рис. 2 а), ширина грунтозацепа в не поврежденной части составляет около 45 мм. Ширина грунтозацепа в не поврежденной части около 45 мм. Расстояние от торца гусеницы до начала повреждения около 53 мм. Расстояние от торца беговой дорожки натяжного колеса до торца гусеницы около 48 мм. Расстояние от торца беговой дорожки катка до торца гусеницы около 50 мм. Расстояние от торца беговой дорожки

обводного колеса до торца гусеницы около 49 мм. В результате исследования износа грунтозацепов определено, что высота внешних грунтозацепов от наружного торца составила 43 мм, в средней части 43 мм, внутренней части 47 мм (рис. 2 г). Высота внутренних грунтозацепов внутренней части составила 46 мм, в средней части 45 мм и от торца 44 мм. Максимальный износ грунтозацепов составляет 25,4 %. В результате исследования твердости грунтозацепов по Шору определено, что она составила 89...93 А (рис. 3).



Рисунок 2 - Исследования геометрических параметров грунтозацепов: а - ширина воздушной части грунтозацепа; б - толщина воздушной части грунтозацепа; в - измерение высоты грунтозацепов; г - изменение высоты по длине грунтозацепа



Рисунок 3 - Измерения твердости: а - грунтозацеп правой гусеницы; б - грунтозацеп левой гусеницы

В результате исследования грунтозацепа установлено:

В месте соединения грунтозацепа с лентой отсутствуют полости и не провары. В самом грунтозацепе (воздутом) имеется внутренняя полость размером 10x40x50 мм, по краям полости находится шероховатая поверхность с изменением свойств резины характерным при усталостном разрушении резин (рис. 4). От образовавшейся полости в грунтозацепе расхо-

дятся радиально три трещины (рис. 4 б). По краям полости резина имеет структуру с образованием пор (рис. 5 в, г).



Рисунок 4 - Внутренняя полость во вздутой части грунтозацепа: а - нижняя часть полости; б - поперечный разрез полости; в, г - размеры полости

б

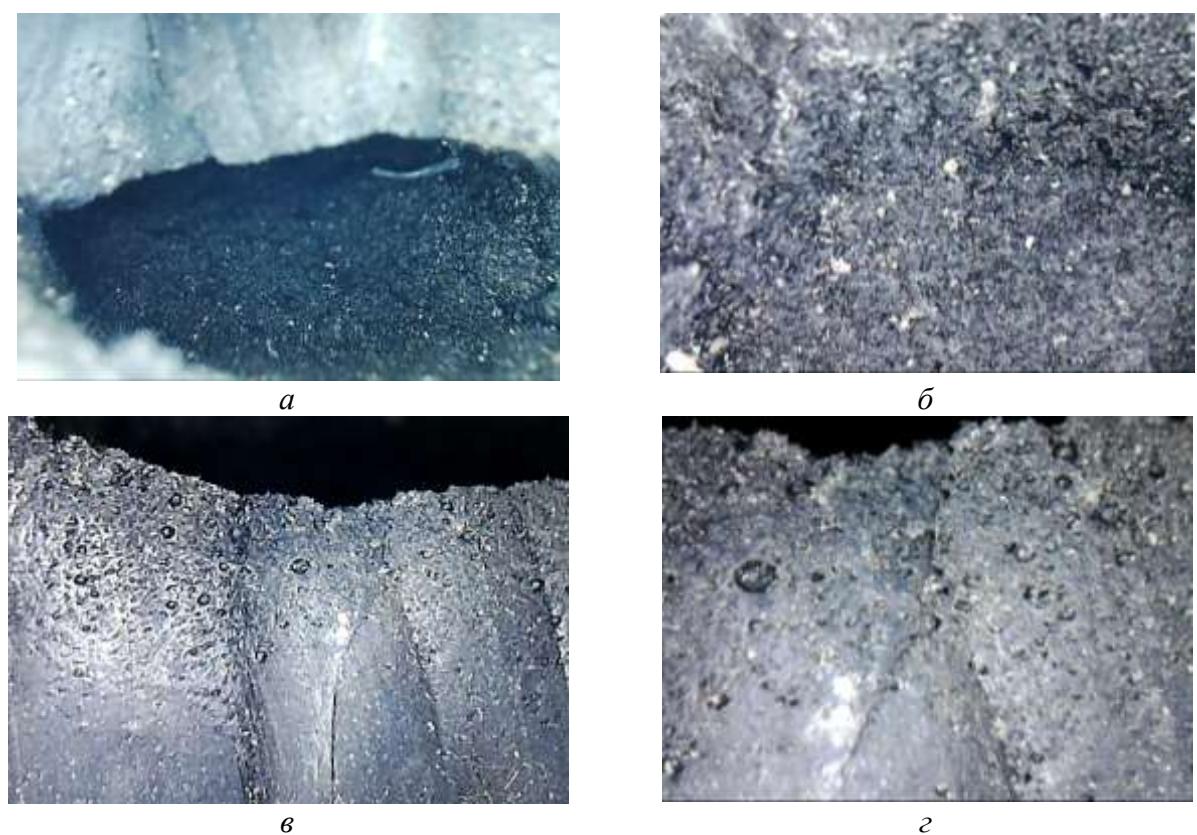


Рисунок 5 - Микроскопическое исследование внутренней полости:
а - снимок поверхности 15 кратное увеличение; б - снимок поверхности 30 кратное увеличение;
в - поперечный срез 30 кратное увеличение; г - поперечный срез 50 кратное увеличение

Результаты и обсуждение

Из материалов исследования видно, что место наибольшего вздутия гусениц находится в среднем на расстоянии 60 мм от торца гусеницы, при этом расстояние от торца гусеницы до беговой дорожки катков, натяжного и обводного колеса 50 мм.

Таким образом, наблюдается взаимосвязь локализации вздутия и конструкции ходового аппарата трактора и в частности каретки, т.е это место деформации гусеницы и как её составляющей грунтозацепа при движении по опорной поверхности. Характер выявленного дефекта, выраженный в образовании полости внутри внешнего грунтозацепа, характерен при деградации резины. На рисунке 5 четко просматриваются зоны процесса деградации. Такая деградация характерна при воздействии на резину высоких температур. Как следует из литературных источников [7-17] с повышением температуры, старение усиливается, причем от нагревания на каждые 10 °С скорость старения возрастает в два раза. Замечено также, что окисление резины интенсивнее на тех участках, которые испытывают большее напряжение. Следовательно, необходимо содержать резиновые изделия по возможности в недеформированном состоянии.

При механической нагрузке происходят не только обратимые перестройки структуры резины. Часть возникших изменений структуры носит необратимый характер, что приводит к размягчению резины и так называемым гистерезисным потерям. Прочность резин зависит от скорости приложения нагрузки и от температуры. С повышением температуры до 110...120°C относительное удлинение резины увеличивается, а при дальнейшем нагревании, начинает уменьшаться. Переход от роста относительного удлинения к его спаду объясняется наступающим при этих температурах частичным разрывом серных мостиков между макромолекулами каучука, сопровождающимся одновременным резким снижением его эластичности и повышением пластичности.

Выводы

Причиной возникновения дефекта гусениц CAMSO AG 3500 выраженным в возникновении вздутий и полости в внешних грунтозацепах является утомление в режимах мягкого механического воздействия в следствии нарушений правил эксплуатации. При утомлении в условиях, препятствующих молекулярной ориентации резин (малые амплитуды деформации, повышенные температуры и ограниченный теплоотвод), усталостное разрушение резин в основном определяется закономерностями усталостного перерождения материала в результате механической активации химических реакций и воздействием немеханических факторов (оzone, термоокислительные реакции). Кроме того, в результате конкуренции между гистерезисным теплообразованием и теплоотводом, температура резины повышается, что понижает усталостную выносливость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Парфенов, А.П. Сельскохозяйственные тракторы на рынке России (по материалам Международной выставки «Агросалон 2018») // Известия МГТУ МАМИ. - 2019. - №1(39). - С. 36-45.
2. Бейненсон В.Д., Федоткин Р.С., Крючков В.А. и др. Пути повышения срока службы резиноармированных гусениц // Каучук и резина. - 2015. - №6. - С. 28-31.
3. Толстов А.М., Юрцев Л.Н., Веселов И.В. Расчет температурно-временной зависимости вулканизации в производстве резиноармированных гусениц // Вестник МИТХТ им. М.В. Ломоносова. - 2012. - Т. 7. - №6. - С. 83-87.
4. Лапик В.П., Дьяченко В.П. Определение радиуса кривизны слоя резиноармированной гусеницы и распределения нагрузки между опорными катками гусеничного движителя // Техника и оборудование для села. - 2015. - №6. - С. 22-24.
5. Федоткин Р.С., Бейненсон В.Д., Крючков В.А. и др. Резиноармированные гусеницы сельскохозяйственных тракторов. Жесткость при растяжении и изгибе // Известия МГТУ МАМИ. - 2016. - №2(28). - С. 32-38.
6. Машков Ю.К., Байбарацкая М.Ю., Кургузова О.А. Влияние условий эксплуатации на износостойкость нанокомпозитов на основе политетрафторэтилена // Наука и военная безопасность. - 2021. - №2(25). - С. 78-83.
7. Вакулов Н.В., Мишлявцев А.В., Малютин В.И., Митряева Н.С. Исследование изменения свойств резины при хранении и эксплуатации резинотехнических изделий с использованием метода динамического механического анализа как экспресс-метода // Вопросы материаловедения. - 2018. - №1(93). - С. 137-142.

8. Хорова Е.А., Еремин Е.Н., Вакулов Н.В. Прогнозирование изменения свойств резин на основе гидрированных бутадиен-нитрильных каучуков при термическом старении в агрессивных средах // Вопросы материаловедения. - 2020. - №2(102). - С. 149-155.
9. Хорова Е.А., Еремин Е.Н., Стрижак Е.А. Исследование функциональных свойств резин на основе гидрированных бутадиен-нитрильных каучуков // Вопросы материаловедения. - 2021. - №3(107). - С. 128-135.
10. Хорова Е.А., Третьякова Н.А., Вакулов Н.В. Исследование стойкости резин к воздействию плесневых грибов // Авиационные материалы и технологии. - 2021. - №3(64). - С. 128-132.
11. Третьякова Н.А., Ильичева Т.М., Стрижак Е.А. Влияние различных марок технического углерода на теплообразование в резинометаллических амортизаторах // Резиновая промышленность. Сырье. Материалы. Технологии: Доклады XXVI научно-практической конференции. - Москва: ООО «Научно-исследовательский центр «Научно-исследовательский институт шинной промышленности», 2021. - С. 80-82.
12. Пучков А.Ф., Спиридонова М.П., Куцов Д.А., Куцов А.Н. Микрокапсулированная сера для улучшения эксплуатационных свойств РТИ // Известия Волгоградского государственного технического университета. - 2020. - №12(247). - С. 122-125.
13. Пучков А.Ф., Спиридонова М.П., Апевалина Е.П. и др. Микрокапсулированный вулканизующий агент // Известия Волгоградского государственного технического университета. - 2020. - №12(247). - С. 125-129.
14. Пучков А.Ф., Спиридонова М.П., Апевалина Е.П. и др. Некоторые технологические особенности получения серных паст в лактамсодержащем расплаве // Известия Волгоградского государственного технического университета. - 2020. - №5(240). - С. 49-54.
15. Жансакова К.С., Русских Г.С., Еремин Е.Н. Влияние ускорителя вулканизации на свойства пористых резин // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. - 2021. - Т. 14. - №2. - С. 215-221.
16. Хорова, Е.А. Свойства резин на основе гидрированных бутадиен-нитрильных каучуков при воздействии агрессивных сред и высоких температур : специальность 05.16.09 «Материаловедение (по отраслям)»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Хорова Елена Андреевна. - Омск, 2020. - 24 с.
17. Хорова, Е.А. Свойства резин на основе гидрированных бутадиен-нитрильных каучуков при воздействии агрессивных сред и высоких температур: Дис. ... канд. тех. наук / Омск, 2020. - 177 с.

Жосан Артур Александрович

Орловский Государственный Аграрный университет имени Н.В. Парахина

Адрес: Россия, 302019, г. Орёл, Генерала Родина ул., 69

К.т.н., доцент, доцент кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка и тракторы

Email: a-josan@yandex.ru

Ревякин Максим Михайлович

Орловский Государственный Аграрный университет имени Н.В. Парахина»

Адрес: 302019, г. Орёл, Генерала Родина ул., 69

К.т.н., доцент, доцент кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка и тракторы

Email: revyakinmm@inbox.ru

Кузнецов Иван Сергеевич

Орловский Государственный Аграрный университет имени Н.В. Парахина

Адрес: 302019, г. Орёл, Генерала Родина ул., 69

К.т.н., доцент, доцент кафедры «Надежность и ремонт машин»

Email: ivan-654@yandex.ru

A.A. ZHOSAN, M.M. REVYAKIN, I.S. KUZNETSOV

ANALYSIS OF THE CONDITION OF THE WORN TRACK CAMSO AG 3500 OF THE VERSATILE 570 DT TRACTOR

Abstract. The article analyzes the operating conditions and defects that occur on the rubber-reinforced caterpillar Camso AG 3500. The rubber-reinforced caterpillar CAMSO AG 3500 was operated on a Versatile 570 DT tractor. This tractor is designed primarily for medium and large farms. The operating time of the studied rubber-reinforced tracks was 493 hours. The remaining height of the lugs in the undamaged part was 49 mm. Rubber-reinforced caterpillars have less impact on the supporting surface, while their use improves the technical and economic performance of the machine-tractor unit, however, their operation has a number of specific features.

Key words: mover, rubber-reinforced caterpillar, wear, resource, fatigue failure

BIBLIOGRAPHY

1. Parfenov, A.P. Sel'skokhozyaystvennye traktory na rynke Rossii (po materialam Mezhdunarodnoy vystavki «Agrosalon 2018») // Izvestiya MGTU MAMI. - 2019. - №1(39). - S. 36-45.
2. Beynenson V.D., Fedotkin R.S., Kryuchkov V.A. i dr. Puti povysheniya sroka sluzhby rezinoarmirovannykh gusenits // Kauchuk i rezina. - 2015. - №6. - S. 28-31.
3. Tolstov A.M., Yurtsev L.N., Veselov I.V. Raschet temperaturno-vremennoy zavisimosti vulkanizatsii v proizvodstve rezinoarmirovannykh gusenits // Vestnik MITHT im. M.V. Lomonosova. - 2012. - T. 7. - №6. - S. 83-87.
4. Lapik V.P., D'yachenko V.P. Opredelenie radiusa krivizny sloya rezinoarmirovannoy gusenitsy i raspredeleniya nagruzki mezhdu opornymi katkami gusenichnogo dvizhitelya // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. - 2015. - №6. - S. 22-24.
5. Fedotkin R.S., Beynenson V.D., Kryuchkov V.A. i dr. Rezinoarmirovannye gusenitsy sel'skokhozyaystvennykh traktorov. Zhestkost' pri rastyazhenii i izgibe // Izvestiya MGTU MAMI. - 2016. - №2(28). - S. 32-38.
6. Mashkov Yu.K., Baybaratskaya M.Yu., Kurguzova O.A. Vliyanie usloviy ekspluatatsii na iznosostoykost' nanokompozitov na osnove politetraftoretilena // Nauka i voennaya bezopasnost'. - 2021. - №2(25). - S. 78-83.
7. Vakulov N.V., Myshlyavtsev A.V., Malyutin V.I., Mitryaeva N.S. Issledovanie izmeneniya svoystv reziny pri khranenii i ekspluatatsii rezinotekhnicheskikh izdeliy s ispol'zovaniem metoda dinamicheskogo mekhanicheskogo analiza kak ekspress-metoda // Voprosy materialovedeniya. - 2018. - №1(93). - S. 137-142.
8. Horova E.A., Eremin E.N., Vakulov N.V. Prognozirovaniye izmeneniya svoystv rezin na osnove gidrirovannykh butadien-nitril'nykh kauchukov pri termicheskem starenii v agressivnykh sredakh // Voprosy materialovedeniya. - 2020. - №2(102). - S. 149-155.
9. Horova E.A., Eremin E.N., Strizhak E.A. Issledovaniye funktsional'nykh svoystv rezin na osnove gidrirovannykh butadien-nitril'nykh kauchukov // Voprosy materialovedeniya. - 2021. - №3(107). - S. 128-135.
10. Horova E.A., Tret'yakova N.A., Vakulov N.V. Issledovaniye stoykosti rezin k vozdeystviyu plesnevykh gribov // Aviatsionnye materialy i tekhnologii. - 2021. - №3(64). - S. 128-132.
11. Tret'yakova N.A., Il'icheva T.M., Strizhak E.A. Vliyanie razlichnykh marok tekhnicheskogo ugleroda na teploobrazovaniye v rezinometallicheskikh amortizatorakh // Rezinovaya promyshlennost'. Syr'e. Materialy. Tekhnologii: Doklady XXVI nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Moskva: OOO «Nauchno-issledovatel'skiy tsentr «Nauchno-issledovatel'skiy institut shinnoy promyshlennosti», 2021. - S. 80-82.
12. Puchkov A.F., Spiridonova M.P., Kutsov D.A., Kutsov A.N. Mikrokapsulirovannaya sera dlya uluchsheniya ekspluatatsionnykh svoystv RTI // Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. - 2020. - №12(247). - S. 122-125.
13. Puchkov A.F., Spiridonova M.P., Apevalina E.P. i dr. Mikrokapsulirovannyy vulkanizuyushchiy agent // Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. - 2020. - №12(247). - S. 125-129.
14. Puchkov A.F., Spiridonova M.P., Apevalina E.P. i dr. Nekotorye tekhnologicheskie osobennosti polucheniya sernykh past v laktamsoderzhashchem rasplave // Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. - 2020. - №5(240). - S. 49-54.
15. Zhansakova K.S., Russkikh G.S., Eremin E.N. Vliyanie uskoritelya vulkanizatsii na svoystva poristykh rezin // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii. - 2021. - T. 14. - №2. - S. 215-221.
16. Horova, E.A. Svoystva rezin na osnove gidrirovannykh butadien-nitril'nykh kauchukov pri vozdeystviu agressivnykh sred i vysokikh temperatur: spetsial'nost' 05.16.09 «Materialovedenie (po otrazlyam)»: avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Horova Elena Andreev-na. - Omsk, 2020. - 24 s.
17. Horova, E.A. Svoystva rezin na osnove gidrirovannykh butadien-nitril'nykh kauchukov pri vozdeystviu agressivnykh sred i vysokikh temperatur: Dis. ... kand. tekh. nauk / Omsk, 2020. - 177 s.

Zhosan Artur Alexandrovich

Oryol State Agrarian University

Address: Russia, 302019, Orel, Generala Rodina str., 69

Candidate of technical sciences

Email: a-josan@yandex.ru

Revyakin Maxim Mikhailovich

Oryol State Agrarian University

Address: Russia, 302019, Orel, Generala Rodina str., 69

Candidate of technical sciences

Email: revyakinmm@inbox.ru

Kuznetsov Ivan Sergeevich

Oryol State Agrarian University

Address: Russia, 302019, Orel, Generala Rodina str., 69

Candidate of technical sciences

Email: ivan-654@yandex.ru

БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ И АВТОМОБИЛЬНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ

Научная статья

УДК 625.72.003.1

doi:10.33979/2073-7432-2022-3(78)-3-35-43

ЛИ БИНЧЖАН

АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК В КИТАЙСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Аннотация. Блокчейн переживает бурное развитие и обладает революционным потенциалом применения в приложениях Интеллектуальных Транспортных Системах (ИТС). Блокчейн можно использовать для создания защищенной, надежной и децентрализованной автономной системы, создавая наилучшее использование унаследованной инфраструктуры и ресурсов. Одним из важнейших вопросов являются вопросы безопасности, вызванные эволюцией ИТС в сторону централизации. Быстро растущие технологии, включая Интернет вещей (IoT) и облачные вычисления, позволяют обрабатывать большую часть данных, проводить анализ и принимать решения централизованными системами.

Ключевые слова: грузовые перевозки, блокчейн, интеллектуальные транспортные системы, Интернет вещей, смарт-контракт

В настоящее время быстро растущие темпы мировой торговли требует экономически эффективных, быстрых и высоконадежных портовых операций и систем управления грузовыми перевозками. Использование цифровых приложений информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в транспортной отрасли потенциально может привести к высокой автоматизации процессов и более экономичным решениям. Грузовые перевозки требуют использования обмена данными в режиме реального времени между различными участвующими в процессе заинтересованными сторонами. Это важно, особенно во время перевозок в транспортных узлах, для более эффективного использования ресурсов и инфраструктуры. Традиционные портовые логистические системы на базе ИКТ используют централизованную архитектуру для размещения и обработки данных и услуг. Однако централизованные логистические системы не могут обеспечить безопасный доступ к данным в режиме реального времени, оперативную видимость и доверие между участвующими организациями [1].

Тесная координация заинтересованных сторон участвующих в логистической цепи транспортного узла способствует рационализации процессов планирования грузовых перевозок. Следовательно, она может обеспечить эффективность за счет сокращения общего времени оборота транспортного средства в транспортном узле. Эффективное планирование грузовых перевозок и принятие решений также требует безопасного и прозрачного информационного потока между различными заинтересованными сторонами [2, 3]. Кроме того, автоматизация различных функций транспортного узла с помощью Интернета вещей (IoT) и облачных вычислений может адекватно повысить производительность операций транспортного узла. Эти операции включают автоматизацию интерфейса транспортных средств, контейнерных площадок, внутрипортовой логистики и ворот терминала.

С ростом международной торговли и развитием экономики, объем контейнерных перевозок в портах Китая стремительно растет. Тем не менее, бизнес-процессы в сфере перевозок с меньшей загрузкой контейнеров (LCL) в большинстве портов Китая по-прежнему остаются сложными и неэффективными [4]. В данной работе нами рассмотрены многочисленные возможности для улучшения процесса путем интеграции информационного обмена между различными участниками с использованием сквозных технологий в транспортных узлах, в частности концепции блокчейн, для оптимизации операций LCL в международной торговли путем интеграции и обмена информацией между участниками процесса перевозки.

Блокчейн - это новая революционная технология, которая облегчает одноранговую (P2P) передачу ценностей без необходимости в централизованном посреднике. В ней используются криптографические функции хеширования, протоколы консенсуса, децентрализован-

ное хранение данных для обеспечения безопасности, децентрализованного доверия, неизменности и прозрачности деловых операций. Технология блокчейн в паре со смарт-контрактами - это надежный метод автоматизации бизнес-правил в эффективном и доверительном механизме. Смарт-контракт - это самоисполняющийся фрагмент кода, который работает на платформе блокчейн. Предопределенные правила между участвующими организациями переводятся в функции смарт-контракта для установления доверия [5].

Условием возникновения и гармонизированного функционирования нового механизма регулирования смешенными перевозками может стать естественный симбиоз логистики и транспорта в современно оснащенных транспортных узлах [6]. Их взаимодействие позволит исключить непроизводительные затраты и обеспечить высокую доходность и привлекательность грузовых перевозок в транспортных узлах. Сама по себе тема развития грузовых перевозок в транспортных узлах с использованием технологии блокчейн сегодня очень актуальна. Достаточно сослаться на то, что величина непроизводительных затрат по причине невысокой скорости перемещения грузов, плохой организации погрузочно-разгрузочных работ, избыточных запасов предприятий на случай сбоев поставок, а также несовершенства технологии грузопереработки в общем по России составляют более 50 миллионов долларов в сутки. Из них две трети происходят по причине несовершенной технологией термиально-складского обслуживания в транспортных узлах. Степень развития грузовых перевозок в транспортных узлах существенно влияет на уровень цен, на обеспеченность населения промышленными и продовольственными товарами, на экологическую обстановку и другие процессы.

Внедрение блокчейн подхода к построению и функционированию транспортных узлов ускорит продвижение материальных потоков, развитие контейнерных перевозок грузов в интермодальном сообщении, обеспечение транспортно-логистического сервиса на уровне международных стандартов в морских портах, позволит значительно сократить запасы в производстве, снабжении и сбыте, уменьшить стоимость оборотных средств и массы грузов, находящихся в пути, снизить себестоимость производства и затраты в дистрибуции, связанные с перемещением товароматериальных, транспортных и сопутствующих потоков от мест производства до потребления, обеспечить наиболее полное удовлетворение потребителей в качестве товаров и услуг.

Транспортно-логистический сектор Китая чрезвычайно сложен. Десятки тысяч компаний борются за долю этого быстро растущего рынка, общая стоимость которого с середины 2000-х годов увеличилась более чем в два раза.

Физическая инфраструктура Китая развивалась быстрыми темпами, но руководители компаний признают, что нормативные и операционные процедуры часто могут препятствовать эффективности. Правительство признало необходимость перемен и в 2011 году предложило восемь областей, в которых оно намерено улучшить логистический сектор.

Переход Китая к экономике, в большей степени ориентированной на потребление, в сочетании с улучшением доступности внутренних регионов, направил внимание отрасли от внешней ориентации к удовлетворению потребностей новых внутренних рынков [7].

На таком большом и разнообразном рынке многие компании добились успеха, экспериментируя и находя свою нишу. Сложность рынка приводит к тому, что крупнейшие операторы с оптимизированными процессами и более адаптируемыми и масштабируемыми бизнес-моделями оказываются в еще более выгодном положении.

По мере роста внутренних потребительских рынков и расширения инвестиций в новые внутренние регионы, транспортная и логистическая инфраструктура Китая сталкивается с новыми проблемами и новым вниманием со стороны бизнеса и государственных органов планирования.

Снижение спроса на китайский экспорт в 2020 году после мирового экономического спада, вызванного COVID-19, выяснило риски зависимости от экспортных рынков и необходимость дальнейшего стимулирования внутреннего спроса, что было сформулировано в последнем пятилетнем плане правительства.

Однако в контексте транспорта и логистики глобальный экономический спад 2019-2020 годов лишь ускорил ряд уже наметившихся тенденций. Самой насущной проблемой больше не является максимально быстрое перемещение товаров из страны. В конце концов, Китай инвестировал и создал инфраструктуру вокруг многих портов и пригородов вдоль своего восточно-го побережья. Скорее, задача заключается в том, чтобы логистика успевала за перемещением промышленных предприятий внутри Китая, а также за ростом внутреннего спроса [8].

Управление логистикой остается не только сложной, но и относительно дорогостоящей частью деятельности всех компаний [9]. Перемещение товаров по территории Китая остается особенно сложной задачей. Например, дорожные сборы, почти все из которых вводятся провинциальными или городскими властями, стремящимися вернуть средства, вложенные в сети автомагистралей, могут составлять 30-40 процентов транспортных расходов для автотранспортных компаний. Высокие тарифы могут побуждать транспортные компании перегружать свои грузовики и нарушать меры безопасности.

Эффективность работы также может быть затруднена наличием опытного персонала, особенно на управленческом уровне. Поскольку экономика Китая продолжает активно развиваться, заработка плата и земля становятся все дороже, особенно в крупных городах.

Правительство также признало, что эффективный транспорт и логистика являются ключом к долгосрочному развитию, и выделяет огромные средства на строительство аэропортов, развертывание национальной сети скоростных дорог, расширение и модернизацию железнодорожной системы страны.

Географически, благодаря значительным инвестициям в транспортную инфраструктуру, почти каждая часть страны доступна по шоссе, а большая часть - по железной дороге. Аэропорты есть в каждой провинции, а пропускная способность важнейших рек страны за последние несколько лет удвоилась. Например, объем контейнерных перевозок по Янцзы вырос с 4 миллионов 20-футовых эквивалентов (TEUs) в 2007 году до 13 миллионов в 2019 году. В целом, в прошлом году по ней было перевезено более 1,5 миллиарда тонн грузов, что в два раза превышает вес грузов, перевозимых по всем водным путям США [10].

Результатом этих инвестиций стало то, что менее развитые центральные и западные регионы наконец-то начинают связываться надежными транспортными маршрутами с восточным побережьем.

Такие города, как Чэнду и Сиань, уже сделали огромный скачок в использовании воздушного сообщения для развития высокотехнологичных отраслей промышленности, производящих дорогостоящие товары, которые затем доставляются по воздуху в конечные пункты назначения. В целом, компании, особенно отечественные, теперь находят возможность выйти за пределы региональных или провинциальных границ, которые сдерживали многие из них, и проникают в города третьего и четвертого уровня по всей стране.

Помимо огромного объема инвестиций, широко разрекламированным решением многих проблем отрасли является консолидация, ведущая к созданию меньшего числа более крупных и эффективных компаний. Слияния и поглощения происходят, но не видно признаков их ускорения. Этому есть несколько причин. Многие сотни городов нижнего уровня в Китае по-прежнему лучше всего обслуживаются небольшими местными операторами, которые хорошо знают свою местность и могут предложить услуги по низким ценам. Финансирование для приобретений часто трудно найти по разумной цене, как и менеджеров с необходимыми навыками и опытом для интеграции приобретений. Поэтому многие компании предпочитают органический рост. Учитывая фрагментацию сектора, многие отечественные компании - и некоторые транснациональные корпорации - предпочитают держать свои транспортные и логистические услуги внутри компаний. Решение DHL о выходе из совместного предприятия по экспресс-доставке внутри страны, по-видимому, свидетельствует о том, что рынок доставки внутри страны останется в основном уделом местных компаний.

В Китае происходит переход к внутреннему частному потреблению, но на это потребуется время. Логистика и транспортный сектор будут играть ключевую роль в том, чтобы это произошло. Действительно, возможности, которые может предложить современный ло-

гистический сектор, были продемонстрированы за последние два года с внезапным появлением интернет-магазинов в качестве нового крупного бизнеса. Если в 2008 году электронная коммерция с участием частных лиц практически ничего не значила, то в настоящее время она выросла до такой степени, что крупнейший китайский онлайн-провайдер Alibaba Group, расположенный в Ханчжоу, планирует инвестировать 4,5 миллиарда долларов США в создание собственной специализированной логистической компании.

В настоящее время правительство активно поддерживает такие меры. В феврале 2018 года, правительство запустило План по корректировке и оптимизации логистической отрасли. Его целью было рационализировать отрасль путем поощрения таких практических мер, как установление технологических и других стандартов, ускорение темпов слияний и поглощений, поддержка схем обучения и повышение использования информационных технологий за счет инвестиций в исследования и разработки и применения новых технологий, актуальных для отрасли [11].

Основные положения этого плана были дополнены более конкретными мерами, последним из которых стал комплекс из восьми мер, объявленный Госсоветом в июне 2019 года. В совокупности изменение формы внутреннего рынка Китая, акцент чиновников на улучшении работы логистического сектора и амбиции различных корпоративных игроков приведут к преобразованию отрасли в течение ближайшего десятилетия, хотя, скорее всего, постепенно, а не одним смелым рывком вперед.

С 2000 сотрудников и доходом в 2,2 млрд юаней в 2010 году компания NTS Logistics Management превратилась в одну из пяти ведущих китайских компаний по авиаперевозкам, достаточно привлекательную, чтобы глобальное логистическое подразделение Maersk, Damco, купила контрольный пакет акций компании в августе 2011 года.

Основанная в 1992 году в Пекине, компания NTS быстро стала крупнейшим предприятием по воздушным перевозкам в Северном Китае. После корпоративной реструктуризации в 2006 году основные операции, включая штаб-квартиру, были перенесены в Шанхай. Это дало возможность через три года приобрести Tong Cheng Logistics, одну из крупнейших автотранспортных компаний Китая, что позволило ей предложить полный портфель услуг по внутренним перевозкам и международному экспедированию.

Глобальное экспедиторское подразделение компании работает через семь международных портов - Шанхай, Пекин, Гонконг, Тяньцзинь, Циндао, Нинбо и Нанкин - и связано с 40 странами мира. В настоящее время внутренняя сеть компании насчитывает 235 сервисных центров, а к 2012 году их число довели до 800.

Консолидация станет основной чертой транспортно-логистического сектора в ближайшие годы. Тенденция слияний и поглощений будет набирать обороты и национальные компании захотят приобрести больше региональных, а мелким компаниям будет трудно выжить [12].

Большим стимулом к увеличению числа слияний и поглощений, является рост затрат, особенно на рабочую силу, топливо и аренду помещений. Китай построил себя на низкозатратном производстве, поэтому предприятиям трудно позволить себе более высокие транспортные расходы. Нельзя просто переложить повышение затрат на конечного потребителя [16]. Вместо этого компаниям приходится искать способы контролировать свои расходы внутри компаний, что для многих требует увеличения масштабов деятельности.

Для того чтобы был стабильный рост частного потребления, Китаю понадобятся логистические компании, которые смогут построить общенациональные сети, через которые они смогут доставлять товары в каждый город. Для тех компаний, которые смогут расширить и развить такие общенациональные сети, возможности будут фантастическими.

Реализация таких сетей, однако, не может быть осуществлена только силами самих компаний. Не менее важной будет поддержка со стороны государства, особенно в плане последовательного применения национальных правил на всей территории страны, снижения многочисленных сборов и налогов, которыми облагаются логистические компании, а также путем поддержки тщательной консолидации отрасли.

Товары, перевозимые китайскими логистическими компаниями, перевозятся по быстро расширяющейся транспортной сети. Главным бенефициаром стали скоростные автомагистрали, общий пробег которых вырос с 16 300 километров в 2000 году до примерно 70 000 километров в 2010 году, а доля общего объема грузов, перевозимых автомобильным транспортом, выросла с 11 до 30 процентов за тот же период. Расходы на железные дороги резко возросли, как и инвестиции во внутренние водные пути, особенно с 2008 года, когда правительство запустило программу стимулирования экономики в размере 4 триллионов юаней для борьбы с последствиями мирового финансового кризиса. Аэропорты активно модернизировались и будут продолжать модернизироваться, хотя большинство улучшений направлено скорее на пассажиров, чем на грузовые перевозки.

Одной из причин высоких затрат на логистику в Китае является фрагментированный характер сектора. В перевозке товаров по стране могут участвовать иностранные, государственные и отечественные частные компании. Точное сочетание варьируется от сектора к сектору, в зависимости от степени либерализации. Например, автомобильные перевозки являются чрезвычайно конкурентоспособными, поскольку с середины 2000-х годов они были полностью открыты для всех типов компаний; воздушные перевозки, напротив, остаются жестко ограниченными. В целом, однако, типы действующих компаний делятся на три категории [17].

Во-первых, это государственные гиганты, включая Sinotrans Group, China Post и различные ответвления государственных органов, такие как EMS, China Air Express и China Rail Express. Эти компании, как правило, имеют сильные позиции в секторах, ограниченных для других типов компаний, таких как грузовые авиаперевозки и доставка писем внутри страны.

Во-вторых, это сотни тысяч частных компаний, работающих в более либерализованных секторах, таких как грузоперевозки, общая логистика и экспресс-доставка. Некоторые из них, такие как фирма экспресс-доставки Shentong Express и экспедитор NTS, уже работают по всей стране. Но большинство - это малые и средние предприятия, работающие на местном или региональном уровне. Небольшие компании могут конкурировать с крупными, специализируясь на местных рынках и предлагая конкурентоспособные цены и лучший сервис для местных перевозок. Например, за курьерскую доставку в пределах города такие компании часто берут не более одной четверти от стоимости услуг своих национальных конкурентов.

Третьими являются международные операторы, включая компании, базирующиеся в Гонконге. Имея десятилетний опыт, доступ к финансам и глобальным сетям, эти компании в основном сосредоточены на международном бизнесе. Многие из них также экспериментируют с внутренним бизнесом. Однако их более высокая структура затрат не позволяет многим из них конкурировать, как показывает опыт DHL в секторе экспресс-доставки.

Оценки общего числа транспортных и логистических компаний, работающих в Китае, варьируются от десятков тысяч до сотен тысяч - в зависимости от того, что именно определяется как логистический бизнес. Многие из них не имеют средств, чтобы инвестировать в оборудование, помещения и обучение персонала.

Транспортные и логистические компании облагаются целым рядом налогов и нормативных актов. Например, в настоящее время транспортные предприятия платят налог на бизнес по ставке 3 %; складское хранение и экспедирование грузов облагаются налогом на бизнес в размере 5 % [18].

Компании, охватывающие различные звенья цепочки поставок, вынуждены платить несколько налогов в разные органы по разным ставкам. Однако, вероятно, грядут изменения, так как Государственный совет обещал унифицировать различные налоги, применяемые к сектору товаров и сектору услуг, путем постепенной отмены налога на бизнес и замены его системой, в которой все компании платят НДС.

Существуют также дорожные сборы, взимаемые провинциальными и городскими властями. Для автотранспортных компаний они могут составлять одну треть от общих затрат. Местные ограничения на то, каким компаниям разрешено забирать грузы, также затрудняют поиск грузов для обратных рейсов для любой иногородней транспортной компа-

нии, что приводит к тому, что на долю грузовиков, работающих без нагрузки, приходится чрезвычайно много - 37 % рейсов.

Все это еще больше усугубляет проблемы, с которыми сталкиваются мелкие операторы, поскольку затрудняет создание стандартизованных процессов и эффективного управленческого контроля. В свою очередь, это делает более распространенной такую практику, как перегрузка.

Высокие темпы экономического роста Китая, стимулируя спрос на логистические услуги, также создают проблемы для операторов. Затраты на заработную плату резко возрастают. На нижнем уровне правительство обязалось повышать минимальную заработную плату не менее чем на 16 % ежегодно. На более высоком уровне, по словам нескольких руководителей, после повышения зарплат на 20-30 % за последние два года, зарплаты менеджеров в Китае стали такими же высокими, как и на других развитых рынках.

Отчасти причиной столь высокой доли логистических расходов в ВВП является ориентация Китая на производство: если судить по стоимости, на перемещение промышленной продукции приходится около 90% всех перемещаемых товаров; в развитых странах с их гораздо большей зависимостью от услуг логистические расходы, несомненно, составляют гораздо меньшую долю ВВП.

Другая часть причины заключается в том, что нормативные акты, регулирующие этот сектор, остаются разрозненными. Во время переговоров о вступлении во Всемирную торговую организацию Китай не взял на себя всеобъемлющих обязательств по открытию своего транспортно-логистического сектора. Вместо этого были достигнуты отдельные договоренности по различным секторам, таким как автомобильный транспорт, складирование и дистрибуция.

Ограничения на большинство предприятий, связанных с транспортом и логистикой, были сняты к 2005 году. Иностранные и частные китайские компании могут осуществлять 100-процентную деятельность в сфере грузоперевозок и экспедирования, хранения и складирования, а также внутренней и международной экспресс-доставки. Одна сфера, которая остается недоступной для всех компаний, - это почта. В октябре 2009 года новый почтовый закон страны предоставил China Post эксклюзивные права на доставку посылок весом менее 50 граммов внутри городов и посылок весом менее 150 граммов между городами. Поэтому многие новые предприятия являются экспериментальными - они создаются для того, чтобы проверить, что возможно.

Для розничных продавцов и других компаний, желающих продавать товары по всей стране, поиск логистических предприятий с действительно единым общенациональным охватом может оказаться сложной задачей. Компании добиваются успеха, используя нишевые возможности и инвестируя в собственные системы и процессы.

Крупные логистические компании, как правило, преодолевают проблемы фрагментированной логистической отрасли Китая путем создания собственных логистических подразделений. Для компаний, которые не имеют возможности заниматься логистикой собственными силами, перемещение товаров по стране может быть медленным процессом, обычно требующим многократных пересылок между множеством операторов, затрудняющим отслеживание грузов и предоставляющим множество возможностей для потерь в результате кражи, поломки или небрежности. Ведущие операторы выделяют себя, решая эти проблемы и уделяя особое внимание последовательности и надежности своих услуг.

Это то, что требует значительных инвестиций в системы, процессы и человеческие ресурсы. Информационные системы управления для отслеживания грузовиков, грузов и складских помещений все еще находятся в зачаточном состоянии. Своевременный вылет самолетов остается проблемой, поскольку воздушные маршруты ограничены. Еще больше увеличивают затраты непоследовательные стандарты провинциального уровня для всего - от поддонов до страхования.

Очень важно установить и внедрить процессы, которые эффективно связывают людей с системами и инфраструктурой. Многие крупные организации развиваются общие службы или прибегают к аутсорсингу для достижения этой согласованности экономически эффективной.

тивным способом. Если компании смогут полностью реализовать отдачу от своих инвестиций в системы, у них появится возможность создать конкурентное преимущество; отечественные игроки могут оказаться в выигрыше, если они смогут разработать процессы, с которыми сотрудники будут чувствовать себя комфортно в местных условиях.

Китайская база специалистов постоянно расширяется, но привлечение обученного и опытного персонала в логистический сектор является проблемой. По данным Гонконгской логистической ассоциации, университеты Китая выпускают менее 15 000 студентов в год по специальности «логистика»; по ее оценкам, ежегодный спрос на специалистов по логистике составляет более 30 000 человек. В свою очередь, такая нехватка способствует высокой текучести кадров - до 15-20 %, что открывает возможности для экспресс-доставки и электронной коммерции.

Многие руководители признались, что их удивила скорость, с которой китайские потребители переходят к электронной коммерции и покупкам по почте. При всех проблемах с дистрибуцией, компании успешно доставляют им эти товары. Одним из самых важных событий последних лет стало появление электронной коммерции между потребителями (C2C) среди пользователей Интернета в Китае, число которых сегодня составляет более 300 миллионов человек [19].

В течение многих лет электронная коммерция в Китае сдерживалась отсутствием надежных платежных систем. В 2008 году компании экспресс-доставки начали взимать оплату при доставке товаров, что в одноточечье создало новую отрасль.

Одна компания доминирует в этом секторе - Alibaba Group из Ханчжоу - на ее долю приходится 64% всей электронной коммерции Китая, благодаря владению Alibaba.com, ведущим китайским сайтом для бизнеса (B2B), и Taobao, крупнейшим сайтом для потребителей (C2C). Теперь компания хочет добавить логистику к своему бизнесу. В начале 2011 года компания объявила о планах потратить 4,5 миллиарда долларов США на развитие собственного логистического бизнеса, включая сеть складов по всему Китаю. Два других предприятия электронной коммерции, 360buy.com и Dangdang.com, также создают свои собственные логистические подразделения. Компания Menlo, которая представлена в данном отчете в качестве примера, тесно сотрудничает с предприятиями, обеспечивающими дистрибуцию дорогостоящих потребительских товаров [20].

Электронная коммерция между бизнесом и потребителем (B2C) требует более высоких стандартов обслуживания и большего количества дополнительных услуг, чем услуги B2B, которые Alibaba в основном предоставляла до сих пор. Однако в секторе, где низкобюджетные операторы испытывают давление высоких цен на топливо и обременительных правил, именно услуги с более высокой стоимостью могут оказаться наиболее подходящими для процветания. Ежегодно это приводит к высоким затратам на найм и обучение персонала.

Возможно, за последние 10 лет ситуация сильно изменилась, но знание местных условий и опыт работы с грузами в сложных условиях по-прежнему являются важным отличительным признаком для опытных логистических компаний.

После модернизации транспортной инфраструктуры Китая чиновники теперь работают над укреплением операционной среды. В плане правительства был предусмотрен ряд инициатив по созданию транспортных и логистических рынков в поддержку развития сферы услуг, а также роста экономики в целом. Теперь, акцент смещается в сторону более широкого поощрения развития более устойчивой экономики за счет более высоких технологических стандартов и инноваций [21].

Поощрение роста частного потребления и продвижение китайской промышленности вверх по цепочке создания стоимости поможет в этом отношении. По мере того как в стране будет развиваться сфера услуг и высокотехнологичные отрасли, компаниям потребуется более мощная логистическая поддержка для повышения эффективности их работы. В свою очередь, это потребует более совершенных методов управления, более широкого использования информационных технологий и систем, способных интегрировать и контролировать перемещение товаров и материалов как по стране, так и внутри страны и за ее пределами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зырянов В.В., Еремина Л.В. Оценка эффективности функционирования контрагентов в логистической системе транспортного предприятия [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона». - 2012. - №1. - Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2012/728>
2. Миротин Л.Б. Актуальные проблемы транспортной логистики на современном этапе формирования и функционирования транспортных систем России // Бизнес и логистика - 2002: Сб. материалов Московского Международного Логистического форума (ММЛФ - 2002). - М.: МАДИ. - 2002.
3. Миротин, Л.Б. Транспортная логистика: Учебник / Под общ. ред. Л.Б. Миротина. - М.: Экзамен. - 2-е изд., стереотип, 2005.
4. Еремина, Л.В. Организация международных автомобильных перевозок: учеб. пособие - Ростов н/Д.: ДГТУ, 2017. - 240 с.
5. Ellis, D. Blockchain - The basis of a new paradigm for the supply chain. In supply chain thought leadership; gattorna alignment: Sydney, Australia, 2017.
6. Paré, G.; Trudel, M. - C.; Jaana, M.; Kitsiou, S. Synthesizing information systems knowledge: A typology of literature reviews. Inf. Manag. - 2015. - 52. - 183-199.
7. Rogers, E.M. Diffusion of Innovations; Simon and Schuster: New York, NY, USA, 1962.
8. Badzar, A. Blockchain for securing sustainable transport contracts and supply chain transparency. Master's Thesis, Lund University, Helsingborg, Sweden, 2016.
9. Новиков А.Н., Катунин А.А., Семкин А.Н. Управление перевозками грузов автомобильным транспортом в современных условиях // Информационные технологии и инновации на транспорте. - Орел. - 2015. - С. 247-252.
10. Q.-J. Kong, L.-F. Li, B. Yan, S. Lin, F.-H. Zhu, G. Xiong, Developing parallel control and management for urban traffic systems, IEEE Intelligent Systems, 28 (2013) 66-69.
11. F.-Y. Wang, Parallel system methods for management and control of complex systems, Control and Decision, 19(5). - 2004. - 485-489.
12. F.-Y. Wang, R. Dai, S. Zhang, G. Chen, S. Tang, D. Yang, X. Yang, and P. Li, A complex system approach for studying sustainable and integrated development of metropolitan transportation, logistics and ecosystems // Complex Systems and Complexity Science, 1(2). -2004. - 60-69.
13. Zyryanov V., Kocherga V. Simulation for development of urban traffic: the Rostov-on-don approach of traffic management // 13th World congress on intelligent transport systems and services: 13, ITS: Delivering transport excellence. - London. - 2015.
14. Hackius, N.; Petersen, M. Blockchain in Logistics and Supply Chain: Trick or Treat? In Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL), Hamburg, Germany. - 2017. - P. 3-18.
15. Dickson, B. Blockchain has the potential to revolutionize the supply chain. Tech Crunch. Available online [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://techcrunch.com/2016/11/24/blockchain-has-the-potential-to-revolutionize-the-supply-chain>.
16. Casey, M.; Wong, P. Global supply chains are about to get better, thanks to blockchain. Harvard Business Review. 13 March 2017. Available online [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://hbr.org/2017/03/global-supply-chains-are-about-to-get-better-thanks-to-blockchain> (accessed on 17 June 2018).
17. Beck, R., Avital, M., Rossi, M., Thatcher, J.B. Blockchain technology in business and information systems research. Bus. Inf. Syst. Eng. - 2017. - 59. - 381-384.
18. Risi, M., Spohrer, K. A blockchain research framework. Bus. Inf. Syst. Eng. - 2017. - 59. - 385-409.
19. Glaser, F. Pervasive decentralisation of digital infrastructures: a framework for blockchain enabled system and use case analysis // In Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences, Waikoloa Village. - 2017.
20. Kersten, W., Seiter, M., von See, B., Hackius, N., Maurer, T. Trends and strategies in logistics and supply chain management-digital transformation opportunities; BVL: Bremen, Germany, 2017.
21. Rogers, E.M. Diffusion of Innovations, 5th ed.; Simon and Schuster: New York, NY, USA, 2003.
22. Iansiti, M., Lakhani, K.R. The truth about blockchain. Harvard Business Review. 2017. Available online: https://enterprisersproject.com/sites/default/files/the_truth_about_blockchain.pdf.
23. Korppela, K., Hallikas, J., Dahlberg, T. Digital Supply chain transformation toward blockchain integration // In proceedings of the 50th hawaii international conference on system sciences, Waikoloa Village, HI, USA, 4-7 January 2017.

Ли Бинчжан

Донской государственный технический университет

Адрес: Россия, 344022, Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

Аспирант

E-mail: A runa666.6@mail.ru

LEE BINGZHANG

ANALYSIS OF TRENDS IN FREIGHT TRANSPORT METHODS AND TECHNOLOGIES IN THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

Abstract. Blockchain is undergoing rapid development and has revolutionary potential for application in Intelligent Transportation Systems (ITS) applications. Blockchain can be used to create a se-

cure, reliable and decentralised autonomous system, creating the best use of legacy infrastructure and resources. One of the most important issues is the security issues caused by the evolution of ITS towards centralisation. Fast-growing technologies, including the Internet of Things (IoT) and cloud computing, enable most data processing, analysis and decision-making by centralised systems.

Keywords: freight transport, blockchain, intelligent transport systems, Internet of Things, smart contracting

BIBLIOGRAPHY

1. Zyryanov V.V., Eremina L.V. Otsenka effektivnosti funktsionirovaniya kontragentov v logisticheskoy sisteme transportnogo predpriyatiya [Elektronnyy resurs] // «Inzhenernyy vestnik Dona». - 2012. - №1. - Rezhim dostupa: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2012/728>
2. Mirotin L.B. Aktual`nye problemy transportnoy logistiki na sovremennom etape formirovaniya i funktsionirovaniya transportnykh sistem Rossii // Biznes i logistika - 2002: Sb. materialov Moskovskogo Mezhdunarodnogo Logisticheskogo foruma (MMLF - 2002). - M.:MADI. - 2002.
3. Mirotin, L.B. Transportnaya logistika: Uchebnik / Pod obshch. red. L.B. Mirotina. - M.: Ekzamen. - 2-e izd., stereotip, 2005.
4. Eremina, L.V. Organizatsiya mezhdunarodnykh avtomobil`nykh perevozok: ucheb. posobie - Rostov n/D.: DGTU, 2017. - 240 s.
5. Ellis, D. Blockchain - The basis of a new paradigm for the supply chain. In supply chain thought leadership; gattorna alignment: Sydney, Australia, 2017.
6. Par, G.; Trudel, M. - C.; Jaana, M.; Kitsiou, S. Synthesizing information systems knowledge: A typology of literature reviews. Inf. Manag. - 2015. - 52. - 183-199.
7. Rogers, E.M. Diffusion of Innovations; Simon and Schuster: New York, NY, USA, 1962.
8. Badzar, A. Blockchain for securing sustainable transport contracts and supply chain transparency. Master's Thesis, Lund University, Helsingborg, Sweden, 2016.
9. Novikov A.N., Katunin A.A., Semkin A.N. Upravlenie perevozkami gruzov avtomobil`nym transportom v sovremennykh usloviyakh // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte. - Orel. - 2015. - S. 247-252.
- 10.Q.-J. Kong, L.-F. Li, B. Yan, S. Lin, F.-H. Zhu, G. Xiong, Developing parallel control and management for urban traffic systems, IEEE Intelligent Systems, 28 (2013) 66-69.
- 11.F.-Y. Wang, Parallel system methods for management and control of complex systems, Control and Decision, 19(5). - 2004. - 485-489.
- 12.F.-Y. Wang, R. Dai, S. Zhang, G. Chen, S. Tang, D. Yang, X. Yang, and P. Li, A complex system approach for studying sustainable and integrated development of metropolitan transportation, logistics and ecosystems // Complex Systems and Complexity Science, 1(2). -2004. - 60-69.
- 13.Zyryanov V., Kocherga V. Simulation for development of urban traffic: the Rostov-on-don approach of traffic management // 13th World congress on intelligent transport systems and services: 13, ITS: Delivering transport excellence. - London. - 2015.
- 14.Hackius, N.; Petersen, M. Blockchain in Logistics and Supply Chain: Trick or treat in proceedings of the hamburg international conference of logistics (HICL), Hamburg, Germany. - 2017. - P. 3-18.
- 15.Dickson, B. Blockchain has the potential to revolutionize the supply chain. Tech crunch. Available online [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://techcrunch.com/2016/11/24/blockchain-has-the-potential-to-revolutionize-the-supply-chain>.
16. Casey, M., Wong, P. Global supply chains are about to get better, thanks to blockchain. Harvard Business Review. 13 March 2017. Available online [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://hbr.org/2017/03/global-supply-chains-are-about-to-get-better-thanks-to-blockchain> (accessed on 17 June 2018).
17. Beck, R., Avital, M., Rossi, M., Thatcher, J.B. Blockchain technology in business and information systems research. Bus. Inf. Syst. Eng. - 2017. - 59. - 381-384.
18. Risi, M., Spohrer, K. A blockchain research framework. Bus. Inf. Syst. Eng. - 2017. - 59. - 385-409.
19. Glaser, F. Pervasive decentralisation of digital infrastructures: a framework for blockchain enabled system and use case analysis // In Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences, Waikoloa Village. - 2017.
20. Kersten, W., Seiter, M., von See, B., Hackius, N., Maurer, T. Trends and strategies in logistics and supply chain management-digital transformation opportunities; BVL: Bremen, Germany, 2017.
21. Rogers, E.M. Diffusion of Innovations, 5th ed.; Simon and Schuster: New York, NY, USA, 2003.
22. Iansiti, M., Lakhani, K.R. The truth about blockchain. Harvard Business Review. 2017. Available online: https://enterprisersproject.com/sites/default/files/the_truth_about_blockchain.pdf.
23. Korpela, K., Hallikas, J., Dahlberg, T. Digital Supply chain transformation toward blockchain integration // In proceedings of the 50th hawaii international conference on system sciences, Waikoloa Village, HI, USA, 4-7 January 2017.

Li Bingzhang

Don State Technical University

Address: Russia, 344022, Rostov-on-Don, Socialist str., 162

Graduate student

E-mail: A runa666.6@mail.ru

Научная статья

УДК 656.02

doi:10.33979/2073-7432-2022-3(78)-3-44-52

Е.А. БЛИЗНЯКОВА, А.В. КУЛИКОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗНАЧИМОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ВЕРШИН ГРАФА ПОСЕВНЫХ ПОЛЕЙ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА НА МИКРОУРОВНЕ

Аннотация. Проведен анализ положения Волгоградской области среди аграрных регионов Российской Федерации по исследованию посевных площадей. Проанализированы разные категории агропромышленного комплекса Волгоградской области, обеспечивающие устойчивое производство зерновых. Исследована технологическая схема возделывания озимой пшеницы с выделением пограничных сроков выполнения операций и определением объемов работы транспорта. Установлено, что наибольшие затраты при выращивании озимой пшеницы приходятся на период уборки и транспортировки урожая. Предлагается планирование работы автомобильного транспорта и комбайна при возделывании озимой пшеницы выполнять с помощью теории графов. Авторами впервые вводится понятие «транспортная емкость графа посевных полей». Исследован вопрос построения структуры и влияния различных факторов на формирование вершин графа посевных полей озимой пшеницы. Разработаны основные требования к включаемым в вершину полям возделываемой культуры. Установлено, что видоизменение графа по годам связано с изменением севооборота и спроса на экспортное зерно.

Ключевые слова: озимая пшеница, технологическая схема, транспортировка урожая, планирование работы транспорта, теория графов, транспортная емкость графа, вершина графа, севооборот, экспортное зерно, микроуровень

Введение

Растениеводство является основой агропромышленного комплекса Волгоградской области. Благоприятные климатические условия и социально-экономическое положение позволяют области устойчиво занимать ведущие позиции среди аграрных регионов Российской Федерации. Важное значение при реализации выращенной продукции сельскохозяйственными предприятиями имеет ее рыночная стоимость. В калькуляции конечной цены большая доля приходится на транспорт. Автомобильный транспорт применяется во всем цикле возделывания любой продукции растениеводства. Наибольшие объемы перевозок приходятся на период уборки урожая, причем уборка производится в сжатые сроки и требует больших производственных мощностей как уборочной техники, так и автомобилей. Вопрос планирования работы транспорта во время уборки является актуальным.

Целью работы является исследование набора факторов при построении вершин графа посевных полей для планирования работы автомобильного транспорта на микроуровне. Для достижения поставленной цели необходимо разработать и решить задачи: исследовать посевные площади сельскохозяйственных культур Волгоградской области и выделить культуру с наибольшей долей; определить в технологической схеме возделывания для данной культуры объемы и сроки работы автомобильного транспорта; разработать принцип формирования графа посевных полей с учетом севооборота и спроса на зерновые культуры; определить значимость построения вершин графа для планирования работы автомобильного транспорта на микроуровне.

Материал и методы

В исследовании использованы системный подход и методы системного анализа при обобщении статистических данных изданий Федеральной службы государственной статистики и научных трудов, опубликованных в периодических изданиях в Интернете, а также методы графической и табличной визуализации данных.

Теория / расчет

На территории Волгоградской области выращивают зерновые и зернобобовые, технические, кормовые сельскохозяйственные культуры, имеются овощные и бахчевые плантации

© Близнякова Е.А., Куликов А.В., 2022

[1, 2]. На рисунке 1 приведено процентное соотношение сельскохозяйственных культур в общей структуре посевных площадей [3].

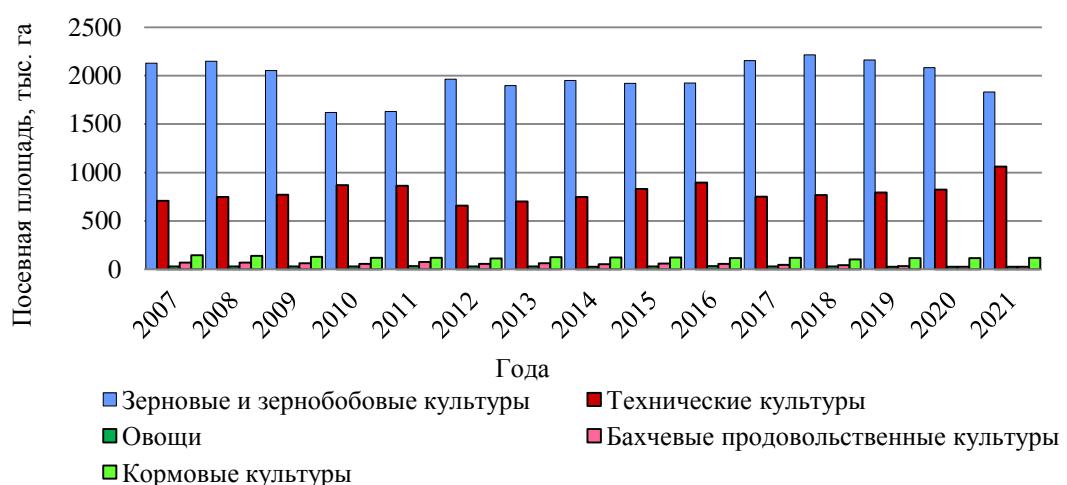


Рисунок 1 - Посевная площадь сельскохозяйственных культур в Волгоградской обл. в 2007-2021 гг., тыс. га

Анализируя данные рисунка 2 видно, что зерновое хозяйство является основой растениеводства области, занимая 64,3 % от посевных площадей. Ведущей зерновой культурой является озимая пшеница, на которую приходится 45,9 %, яровой ячмень занимает 21,2 %, доля яровой пшеницы - 9,9 %, проса - 4,4 %, другие зерновые культуры занимают 18,6 % [3].

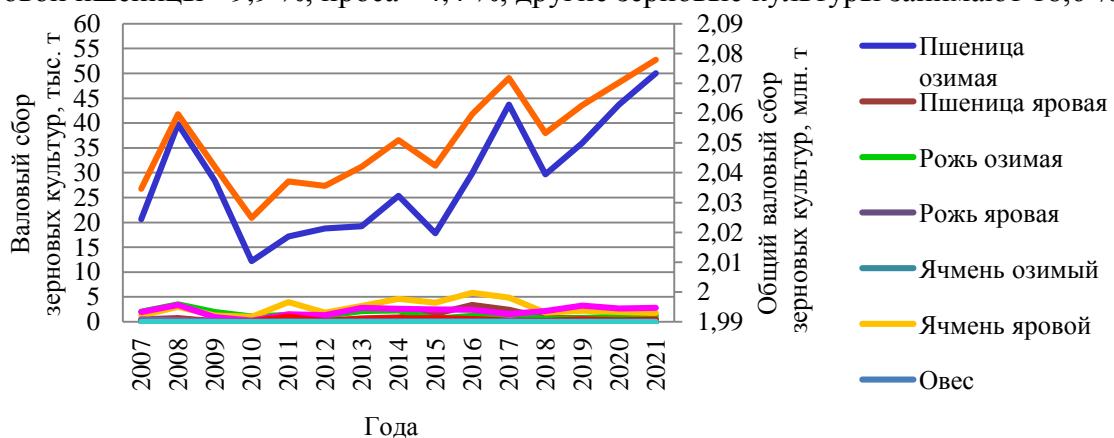


Рисунок 2 - Валовый сбор зерновых культур в Волгоградской обл. в 2007-2021 гг., тыс. т

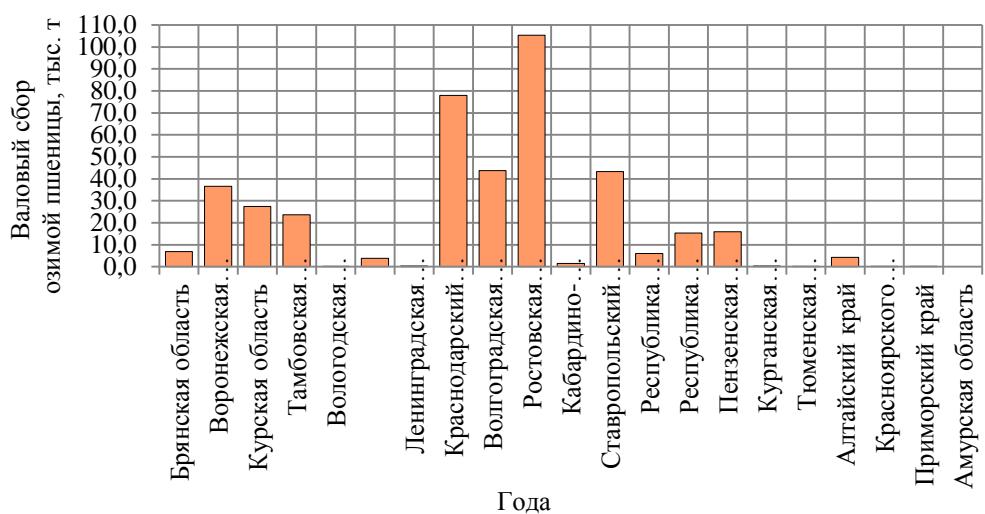


Рисунок 3 - Валовый сбор озимой пшеницы в регионах РФ в 2021 г., тыс. т.

Озимая пшеница является одной из важнейших продовольственных культур как Волгоградской области, так и всей страны в целом. Это объясняется тем, что данная культура характеризуется высокой урожайностью и низкой себестоимостью выращивания [4]. По производству озимой пшеницы Волгоградская область занимает третье место по России (рис. 3) [3].

Возделывание сельскохозяйственных культур, в частности, озимой пшеницы является рисковой деятельностью, связанной с технологическими условиями возделывания, климатом и состоянием спроса на зерно. В Волгоградской области в структуре агропромышленного комплекса (АПК) представлены сельскохозяйственные организации, фермерские и личные подсобные хозяйства (рис. 4) [3].



Рисунок 4 - Производство продуктов сельского хозяйства разными категориями АПК Волгоградской обл. в 2007-2021 гг., тыс. ц.

Как видно из графика, удовлетворение в спросе зерна осуществляется по большей части средними и крупными сельскохозяйственными предприятиями, имеющими устойчивую материально-техническую базу и финансовое положение.

Стабильность экономического положения агропредприятий напрямую зависит от темпов прироста урожайности озимой пшеницы, и как следствие, увеличения объемов сбора зерна. Получение урожая высокого качества невозможно без грамотно составленной технологической карты (схемы) возделывания озимой пшеницы. Агротехническая часть карты определяет основной перечень операций, совершаемых над возделываемыми культурами, и используемые технологические машины. Кроме того, в карте обязательно указываются пограничные сроки выполнения операций. В таблице 1 представлен примерный вариант технологической схемы возделывания озимой пшеницы [5].

Таблица 1 - Технологическая схема возделывания озимой пшеницы

Наименование выполняемой работы	Сроки выполнения	Число дней	Наименование выполняемой работы	Сроки выполнения	Число дней
Лущение почвы	3 декада июля-1 декада августа	3	Прикатывание посевов	1 декада сентября	2
Погрузка минеральных удобрений в ТС одновременно со смешиванием	1-3 декада августа	3	Снегозадержание	3 декада декабря - 1 декада января	5
Транспортировка минеральных удобрений с загрузкой разбрасывателей	1-3 декада августа	3	Растаривание, измельчение и погрузка минеральных удобрений	1-3 декада марта	6
Внесение минеральных удобрений	1-3 декада августа	3	Транспортировка минеральных удобрений	1-3 декада марта	6
Погрузка жидких органических и полужидких удобрений в ТС	1-3 декада августа	5	Подкормка аммиачной селитрой	1-2 декада апреля	6
Транспортирование органических удобрений с	1-3 декада августа	5	Боронование посевов	1 декада апреля - 1 декада мая	2

загрузкой разбрасывателей					
Внесение органических удобрений	1- 3 декада августа	5	Первый вегетационный полив	3 декада апреля - 1 декада мая	9
Запашка органоминеральных удобрений	1- 3 декада 9августа	8	Приготовление и транспортировка раствора гербицидов	3 декада апреля - 1 декада мая	4
Культивация почвы	2 - 3 декада августа	8	Опрыскивание посевов гербицидами	3 декада апреля - 1 декада мая	5
Боронование	2 - 3 декада августа	8	Второй вегетационный полив	2 декада мая	9
Влагозарядный полив	3 декада августа - 1 декада сентября	14	Третий вегетационный полив	1 декада июня	9
Протравливание семян	3 декада августа - 1 декада сентября	3	Уборка урожая	3 декада июля	5
Погрузка и транспортировка семян	1 декада сентября	10	Вывоз зерна с поля	3 декада июля	5
Погрузка минеральных удобрений	1 декада сентября	10	Стягивание соломы	1-2 декада августа	20
Транспортировка минеральных удобрений	1 декада сентября	10	Вывоз соломы с поля	1-2 декада августа	20
Внесение семян и минеральных удобрений	1 декада сентября	3			

Нормальное функционирование любых сельскохозяйственных предприятий связано с перевозкой грузов, необходимых для производства зерна или уже готовой продукции. Среди слагаемых, определяющих качество перевозок, стоит отметить своевременность их выполнения, сохранность грузов, удобство пользования системой перевозок и ее экономичностью. Наибольшим весом среди показателей обладает понятие своевременности перевозки. От своевременности перевозки удобрений зависит соблюдение агротехнических сроков внесения их в почву и подкормка растений [6-9]; от доставки сельскохозяйственной техники, запасных частей и нефтепродуктов - своевременность и качество выполнения сельскохозяйственных производственных процессов; от перевозок зерна с полей на тока - конечные результаты труда работников, а также степень удовлетворения населения страны в хлебе.

Проанализировав время, затрачиваемое на возделывание озимой пшеницы (табл. 1), стоит отметить, что доля участия автомобильного транспорта во всей цепочке производства составляет 26,2 % (71 день).

Наиболее затратной по трудовым и материально-техническим ресурсам является уборка и транспортировка урожая, так как она требует самой минимальной суммарной продолжительности среди всех операций технологической схемы. Оптимальная продолжительность уборки зерна озимой пшеницы находится в пределах 8-12 суток. Превышение оптимальных сроков уборки на 9 сутки приводит к потере 6 % урожая, на 10 сутки - 12 %.

Как правило, при уборке озимой пшеницы эксплуатируются комбайны с накопительными бункерами, что обуславливает необходимость ритмичного прибытия к ним автомобильного транспорта для разгрузки зерна. Для того, чтобы обеспечить своевременное прибытие подвижного состава к комбайну при достижении наполнения бункера, необходимо заранее планировать маршруты движения автомобиля с поля на ток и обратно. Авторами статьи предлагается планирование работы автомобильного транспорта в технологической схеме возделывания озимой пшеницы с помощью теории графов. Суть метода состоит в том, что вершины графа образуются группами полей, объединенных по определенным критериям, а дуги формируются из существующих дорог [10, 11].

Основой для построения графа выступает карта посевых полей рассматриваемой территории - области, района, земель агроорганизаций. На формирование карты посевых

полей влияют не только климатические условия, почвенные ресурсы, но и севооборот и даже спрос на экспортируемое зерно. Пшеница предъявляет высокие требования к севообороту по некоторым причинам. Во-первых, потому что ее корневая система слишком слабая и чувствительная к подготовке почвы. Во-вторых, эту культуру нежелательно выращивать после зерновых из-за накопления в почве вредителей. Поэтому лучшим предшественником для озимой пшеницы является пар. Паровые поля позволяют накопить и сохранить влагу в почве, накопить питательные элементы и снизить засоренность будущих посевов. В настоящее время наиболее типичны севообороты с удельным весом зерновых более 60 % (табл. 2).

Таблица 2 - Схема чередования культур в пятипольном севообороте при выращивании озимой пшеницы

№	Год посева			
	1-й год	2-й год	3-й год	4-й год
1	Пар	Озимая пшеница	Яровая пшеница	Пропашные
2	Озимая пшеница	Яровая пшеница	Пропашные	Ячмень
3	Яровая пшеница	Пропашные	Ячмень	Пар
4	Пропашные	Ячмень	Пар	Озимая пшеница
5	Ячмень	Пар	Озимая пшеница	Яровая пшеница

Спрос на экспортное зерно напрямую влияет на структуру и объем посева зерновых культур: чем выше спрос, тем больше доля зерна в общей массе посева (рис. 5). Самым крупным потребителем озимой пшеницы Волгоградской области является Иран - объем годовых поставок составляет более 34 тыс. т [3, 12].

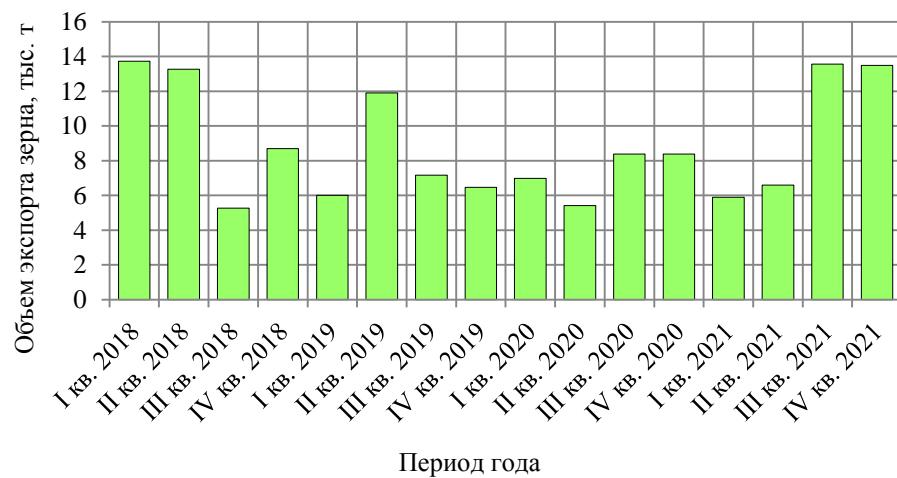


Рисунок 5 - Объем экспорта зерна из Волгоградской обл. в Иран в 2018-2021 гг., тыс.т.

Анализ расположения полей и дорог на карте конкретного хозяйства позволил сформулировать основные требования к включаемым в вершину графа полям:

- поля должны быть засеяны одинаковой сельскохозяйственной культурой;
- величины площади полей, включаемых в одну и ту же вершину, не должны различаться более, чем на 10 га;
- поля обязательно должны располагаться рядом друг с другом;
- между полями, включаемыми в одну и ту же вершину, обязательно наличие дорог;
- между полями, включаемыми в одну и ту же вершину, не должно быть преград в виде природных объектов (болот, рек, ручьев и т.п.).

Произведем построение графа. В качестве исходных материалов принимается карта посевых полей сельскохозяйственных культур Чернышковского района Волгоградской области (рис. 6).

Проведем группировку полей согласно вышеперечисленным требованиям (рис. 7). Для удобства восприятия каждая вершина обозначена буквой A_i , где i - номер вершины.

Вершины на рисунке 7 выделены цветом. На схеме обозначены хлебоприемные пункты - точки буквой B_j , где j - номер тока.

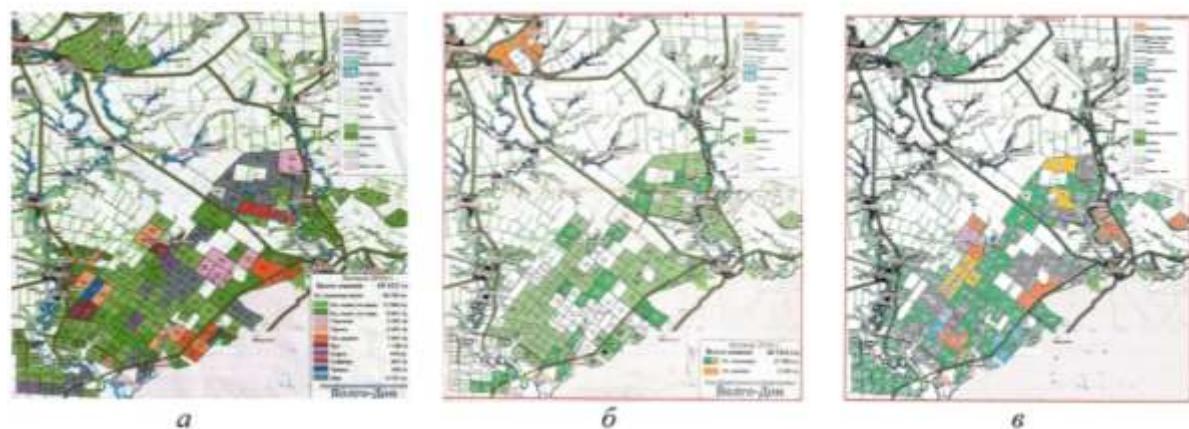


Рисунок 6 - Карта посевных полей сельскохозяйственных культур
Чернышковского района Волгоградской области: а - за 2016 г.; б - за 2018 г.; в - за 2020 г.

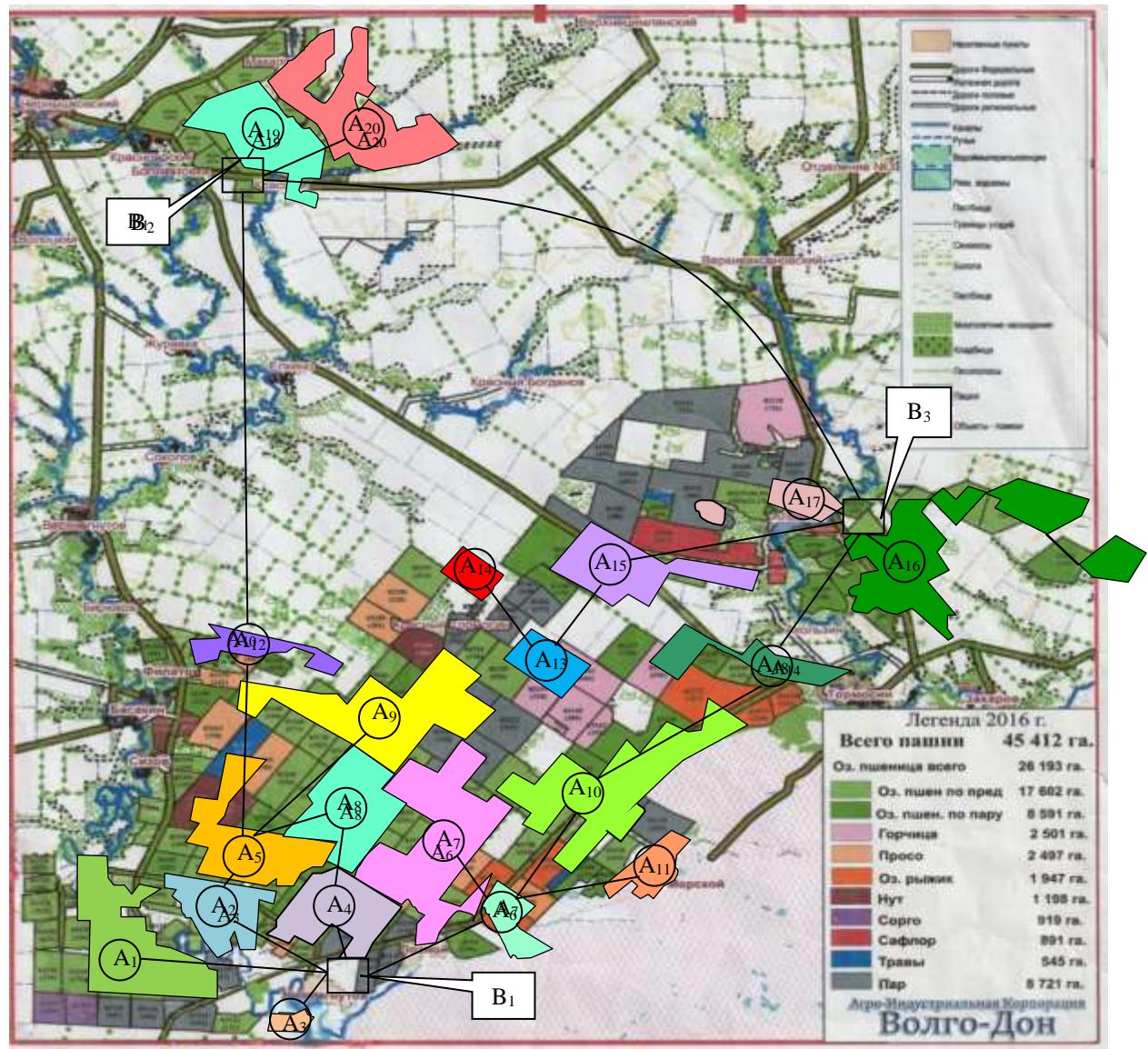


Рисунок 7 - Сформированный график посевных полей озимой пшеницы конкретного хозяйства

Результаты и обсуждение

В работе проведен анализ положения Волгоградской области среди аграрных регионов Российской Федерации по исследованию посевных площадей. Волгоградская область занимает третье место по России по производству озимой пшеницы. Ее возделывание занимает 45,9 % от общего объема зерновых. Из разных категорий агропромышленного комплекса Волгоградской области, обеспечивающие устойчивое производство зерновых, за период 2007-2021 гг. наиболее производительными являются сельскохозяйственные организации. Исследована технологическая схема возделывания озимой пшеницы с выделением пограничных сроков выполнения операций и определением объемов работы транспорта. Доля участия автомобильного транспорта во всей цепочке производства составляет 26,2 %. Установлено, что наибольшие затраты при выращивании озимой пшеницы приходятся на период уборки и транспортировки урожая. Оптимальная продолжительность уборки зерна озимой пшеницы находится в пределах 8-12 суток. Предлагается планирование работы автомобильного транспорта и комбайна при возделывании озимой пшеницы выполнять с помощью метода на основе теории графов. Авторами впервые вводится понятие «транспортная емкость графа посевных полей». Основой для построения графа выступает карта посевных полей

рассматриваемой территории - области, района, земель агроорганизаций. На формирование карты посевных полей влияют не только климатические условия, почвенные ресурсы, но и севооборот и даже спрос на экспортируемое зерно. На рисунке 8 представлены совмещенные графы посевных полей за 2016, 2018 и 2020 гг.

Анализ рисунка 8 показывает, что вершины и ребра графов могут изменять свое местоположение. Но содержание вершины остается неизменным и представляет собой бесструктурный элемент организации работы автомобильного транспорта на микроуровне.

Авторы установили, что граф должен строиться по отдельно возделываемой сельскохозяйственной культуре (зерновые, бобовые, бахчевые и др. культуры). Сформированный граф посевных полей по предлагаемым требованиям дает возможность разработать план работ и определить режимы функционирования автомобильного транспорта и комбайнов во время

уборки урожая. Вводится понятие «транспортная емкость графа посевных полей». Назначаются свойства вершины, которые характеризуются информацией:

- о выращиваемой культуре: урожайность в центнер с одного гектара поля; суммарный объем зерна по вершине;

- об уборочной технике: марка и модель комбайна; производительность при разной ширине жатки; количество бункеров расчетного комбайна с данной вершиной; значение пробега комбайна по отдельно взятому полю и по всей вершине в целом; ожидаемые координаты нахождения комбайна с наполненным бункером;

- об автомобильном подвижном составе: марка и модель автомобиля; грузоподъемность; объем кузова подвижного состава; количество загружаемых бункеров расчетного комбайна в кузов автомобиля; количество кузовов по отдельно взятому полю и по всей вершине в целом.

Данная информация дает три варианта работы подвижного состава:

1) прибывающий автомобиль прикрепляется к определенному комбайну и забирает бункеры и работает напрямую, пока не наполнится кузов автомобиля;

- 2) автомобиль прибывает только к комбайнам, у которых полные бункеры, и забирает их;
- 3) автомобиль прибывает на поле, забирает полные бункеры и далее загружается компенсатором.

В зависимости от того, какой будет принят вариант, будет зависеть оптимальное количество автомобилей, которое должно работать с комбайнами во время уборки урожая в каждой вершине. Автомобильный транспорт должен обеспечивать бесперебойную работу уборочной техники таким образом, чтобы комбайны не простоявали в ожидании разгрузки. Все это должно позволить повысить производительность автомобилей и сократить транспортную составляющую при уборке урожая озимой пшеницы.

Выводы

Посевные площади Волгоградской области занимают третье место по России с наибольшей долей по производству озимой пшеницы. Проанализирована технологическая схема возделывания озимой пшеницы с выделением сроков и объемов работы транспорта. Разработан принцип формирования графа посевных полей озимой пшеницы с учетом севооборота и спроса. Авторами впервые вводится понятие «транспортная емкость графа посевных полей». Значимость построения вершин графа для планирования работы автомобильного транспорта на микроуровне заключается в том, что каждая вершина содержит информацию: о выращиваемой культуре (урожайность, суммарный объем зерна по вершине); об уборочной технике (марка и модель комбайна; производительность; количество бункеров; пробег комбайна по полю и вершине графа; координаты полного бункера); об автомобильном подвижном составе (марка и модель автомобиля; грузоподъемность; объем кузова и количество вмещаемых бункеров в автомобиль; количество кузовов и пробег автомобиля по полю и по вершине графа). Граф полей конкретного хозяйства предоставляет возможность планировать работу автомобильного транспорта на микроуровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баздырев, Г.И. Земледелие: учебник для вузов / под ред. В. А. Маланичева. - Москва: Колос, 2000. - 550 с.
2. Практическое руководство по проведению осеннего сева на территории волгоградской области с учетом складывающихся условий 2021 года / под. ред. А. В. Цепляева. - Волгоград: ФГБУ «Россельхозцентр», 2021. - 41 с.
3. Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство : официальный сайт статистики по Волгоградской области [Электронный ресурс]. - Режим доступа : <https://volgastat.gks.ru/agriculture>
4. Агибалов А.В. 80 ц/га зерна озимой пшеницы - реальность: Учебное пособие / под ред. А. В. Агибалова. - Москва, 2019. - 73 с.
5. Нормативно-справочные материалы по планированию механизированных работ в сельскохозяйственном производстве: сборник / сост. В. Н. Кузьмин. - Москва: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. - 316 с.
6. Дудкина Т.А. Действие севооборота и минеральных удобрений на урожайность озимой пшеницы и структуру почвы // Приоритеты агропромышленного комплекса: научная дискуссия: Материалы международной научно-практической конференции посвященной 30-летию Независимости Республики Казахстан. - 2021. - С. 89-92.
7. Близнякова, Е.А. Совершенствование организации транспортно-логистического обслуживания сельскохозяйственных предприятий Волгоградской области при перевозке удобрений // Конкурс научно-исследовательских работ студентов Волгоградского государственного технического университета: тез. докл.. - Волгоград: ВолгГТУ. - 2021. - С. 133-134.
8. Близнякова Е.А., Бондаренко С.А. Использование современных методов определения кратчайших расстояний в мультимодальных логистических поставках удобрений из России // XXVI Региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области: Сб. материалов конф. - Волгоград: ВолгГТУ. - 2022. - С. 74-75.
9. Куликов А.В., Близнякова Е.А. Исследование эффективных транспортно-логистических связей в организации международных мультимодальных перевозок минеральных удобрений // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. - 2021. - Т. 9. - №2(53). - С. 117-130.
10. Близнякова Е.А., Куликов А.А., Куликов А.В. Сравнительный анализ методов поиска кратчайшего пути в графе // Архитектура, строительство, транспорт. - 2022. - №1. - С. 80-87.
11. Составление графа транспортной сети объектов города: Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2022616507 от 12 апреля 2022 г. Российской Федерации / А.В. Куликов, Р.В. Егоров, В.В. Шорин. - ВолгГТУ. - 2022.
12. Куликов А.В., Фирсова С.Ю., Советбеков Б. Совершенствование организации перевозок экспортных зерновых культур // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. - 2019. - Т.19. - №4. - С. 46-52.

Близнякова Елена Александровна

Волгоградский государственный технический университет
Адрес: Россия, 400005, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, 28

Студент
E-mail:el.44@bk.ru

Куликов Алексей Викторович
Волгоградский государственный технический университет
Адрес: 400005, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, 28
К.т.н., доцент, доцент кафедры «Автомобильные перевозки

E-mail: v2xoda@ya.ru

E. A. BLIZNYAKOVA, A.V. KULIKOV

INVESTIGATION OF THE SIGNIFICANCE OF CONSTRUCTING THE VERTICES OF THE GRAPH OF SOWING FIELDS FOR PLANNING THE OPERATION OF MOTOR TRANSPORT AT THE MICRO LEVEL

Abstract. Analyzes the position of the Volgograd region among the agrarian regions of the Russian Federation on the study of acreage. In the Volgograd region, the largest share is occupied by the production of high-quality winter wheat. The different categories of the agro-industrial complex of the Volgograd region that ensure sustainable grain production are analyzed. The technological scheme of winter wheat cultivation with the allocation of boundary deadlines for operations and the determination of the volume of transport work is investigated. It is established that the greatest costs in the cultivation of winter wheat fall on the period of harvesting and transportation of the crop. It is proposed to plan the operation of motor transport and combine harvesters in the cultivation of winter wheat using graph theory. The authors for the first time introduce the concept of «transport capacity of the graph of sowing fields». The question of constructing the structure and the influence of various factors on the formation of the vertices of the graph of winter wheat sowing fields is investigated. The basic requirements for the fields of cultivated crops included in the top have been developed. It is established that the modification of the graph by years is associated with changes in crop rotation and demand for export grain.

Keywords: winter wheat, technological scheme, crop transportation, transport planning, graph theory, graph transport capacity, graph vertex, crop rotation, export grain, microlevel.

BIBLIOGRAPHY

1. Bazdyrev, G.I. Zemledelie: uchebnik dlya vuzov / pod red. V. A. Malanicheva. - Moskva: Kolos, 2000. - 550 s.
2. Prakticheskoe rukovodstvo po provedeniyu osennego seva na territorii volgogradskoy oblasti s uchetom skladovayushchikhsya usloviy 2021 goda / pod. red. A. V. Tseplyaeva. - Volgograd: FGBU «Rossel'khoztsentr», 2021. - 41 s.
3. Sel'skoe khozyaystvo, okhota i lesnoe khozyaystvo : ofitsial'nyy sayt statistiki po Volgogradskoy oblasti [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa : <https://volgastat.gks.ru/agriculture>
4. Agibalov A.V. 80 ts/ga zerna ozimoy pshenitsy - real'nost': Uchebnoe posobie / pod red. A. V. Agibalova. - Moskva, 2019. - 73 s.
5. Normativno-spravochnye materialy po planirovaniyu mekhanizirovannykh rabot v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve: sbornik / sost. V. N. Kuz'min. - Moskva: FGNU «Rosinformagrotekh», 2008. - 316 s.
6. Dudkina T.A. Deystvie sevooborota i mineral'nykh udobreniy na urozhaynost' ozimoy pshenitsy i strukturu pochvy // Prioritetnye agropromyshlennogo kompleksa: nauchnaya diskussiya: Materiały mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii posvyashchennoy 30-letiyu Nezavisimosti Respubliki Kazakhstan. - 2021. - S. 89-92.
7. Bliznyakova, E.A. Sovershenstvovanie organizatsii transportno-logisticheskogo obsluzhivaniya sel'skokhozyaystvennykh predpriyatiy Volgogradskoy oblasti pri perevozke udobreniy // Konkurs nauchno-issledovatel'skikh rabot studentov Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta: tez. dokl.. - Volgograd: VolgGTU. - 2021. - C. 133-134.
8. Bliznyakova E.A., Bondarenko S.A. Ispol'zovanie sovremennykh metodov opredeleniya kratchayshikh rastoyaniy v mul'timodal'nykh logisticheskikh postavkakh udobreniy iz Rossii // XXVI Regional'naya konferentsiya mol'odykh uchenykh i issledovateley Volgogradskoy oblasti: Sb. materialov konf. - Volgograd: VolgGTU. - 2022. - C. 74-75.
9. Kulikov A.V., Bliznyakova E.A. Issledovanie effektivnykh transportno-logisticheskikh svyazey v organizatsii mezhdunarodnykh mul'timodal'nykh perevozok mineral'nykh udobreniy // Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovanii XXI veka: teoriya i praktika. - 2021. - T. 9. - №2(53). - S. 117-130.
10. Bliznyakova E.A., Kulikov A.A., Kulikov A.V. Sravnitel'nyy analiz metodov poiska kratchayshego puti v grafe // Arkhitektura, stroitel'stvo, transport. - 2022. - №1. - S. 80-87.
11. Sostavlenie grafa transportnoy seti ob'ektov goroda: Svid. o gos. registratsii programmy dlya EVM №2022616507 ot 12 aprelya 2022 g. Rossiyskaya Federatsiya / A.V. Kulikov, R.V. Egorov, V.V. Shorin. - VolgGTU. - 2022.
12. Kulikov A.V., Firsova S.Yu., Sovetbekov B. Sovershenstvovanie organizatsii perevozok eksportnykh zernovykh kul'tur // Vestnik Kyrgyzsko-Rossiyskogo slavyanskogo universiteta. - 2019. - T.19. - №4. - S. 46-52.

Bliznyakova Elena Aleksandrovna
Volgograd State Technical University
Address: Russia, 400005, Volgograd, V.I. Lenin Ave., 28
Student
E-mail:el.44@bk.ru

Kulikov Alexey Viktorovich
Volgograd State Technical University
Address: Russia, 400005, Volgograd, V.I. Lenin Ave., 28
Candidate of technical sciences
E-mail: v2xoda@ya.ru

Научная статья

УДК 531.17

doi:10.33979/2073-7432-2022-3(78)-3-53-59

И.А. НОВИКОВ, А.Н. ДЕГТЯРЬ, Д.А. ЛАЗАРЕВ, В.Л. МАХОНИН

ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЖНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

Аннотация. Проведен анализ проблемных вопросов, возникающих при производстве дорожно-транспортной экспертизы. Возникает необходимость расчета перемещения транспортных средств (далее ТС) в не стандартных условиях в рамках исследований механизма дорожно-транспортного происшествия (далее ДТП), поскольку стандартные инструменты расчета не позволяют сейчас решать некоторые стоящие перед экспертом задачи. Определены основные уравнения и системы уравнений, позволяющие решать данную задачу на различных уровнях сложности. Предложено решение для получения необходимых исходных данных для данной задачи.

Ключевые слова: Дорожно-транспортное происшествие, транспортное средство, дорожное движение, расследование, экспертиза, сложное движение, автотранспортная техника

Введение

Одним из ключевых вопросов, ставящихся на разрешение эксперту-автотехнику при расследовании дорожно-транспортных происшествий, является вопрос определения механизма происшествия. Механизм ДТП характеризуется тремя стадиями, две из которых связаны с перемещением транспортных средств, которое не всегда является стандартным и простым [1-4]. Однако, на настоящее время отсутствуют модели, предназначенные для расчета в этих нестандартных случаях, предлагая эксперту самостоятельно решать данный вопрос либо отказом от проведения исследования, либо усложнением проведения самостоятельного научного исследования, что в условиях ограниченных законом сроков проведения экспертного исследования маловероятно. Поэтому построение функциональной универсальной расчетной модели сложного перемещения транспортного средства, основанной на основных физических принципах, в рамках проведения дорожно-транспортной экспертизы является актуальной задачей.

Материал и методы

Решение задачи по расчету параметров перемещения автомобиля по сложной траектории рассмотрено авторами в статье [5]. Там были определены основные параметры перемещения транспортного средства по криволинейной траектории, что отразилось в уравнениях движения и их системах. Основные используемые параметры перемещения ТС после контакта со сложной траекторией отражены на рисунке 1.

Теория / Расчет

Исходя из данной схемы определяются системы уравнений

$$\begin{cases} h_1 = x_1 \cdot \sin \alpha - y_1 \cdot \cos \alpha \\ h_2 = -x_2 \cdot \sin(\alpha + \beta) - y_2 \cdot \cos(\alpha + \beta) \end{cases}; \quad (1)$$

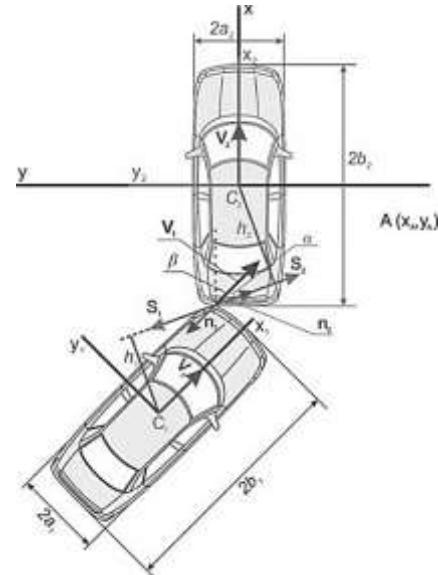


Рисунок 1 - Расчетная схема столкновения двух транспортных средств

$$\begin{cases} J_1 = \frac{m_1}{3} \cdot (a_1^2 + b_1^2) \\ J_2 = \frac{m_2}{3} \cdot (a_2^2 + b_2^2) \end{cases},$$

где x_1, x_2 и y_1, y_2 - координаты точки удара относительно систем координат центров масс транспортных средств;

a_1, b_1 и a_2, b_2 - соответствующие размеры транспортных средств; и ударный импульс, необходимый для определения угловых скоростей

$$\bar{S} = -\frac{1+\varepsilon}{G} \cdot (\bar{U}_1 \cdot \bar{n}_1 + \bar{U}_2 \cdot \bar{n}_2), \quad (2)$$

где ε - коэффициент восстановления;

$\bar{U}_1 \cdot \bar{n}_1$; $\bar{U}_2 \cdot \bar{n}_2$ - проекции скоростей транспортных средств на соответствующие нормали;

G - параметр точки массы, имеющий формулу расчета

$$G = \frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2} + \frac{h_1^2}{J_1} + \frac{h_2^2}{J_2} \quad (3)$$

где m_1 и m_2 - массы транспортных средств;

h_1 и h_2 - плечи импульсов;

J_1 и J_2 - моменты инерции тел относительно центральных осей, перпендикулярных плоскости движения и проходящих через центры масс.

С учетом систем уравнений и простейших преобразований параметр G определяется как

$$G = \frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2} + \frac{3 \cdot (x_1 \cdot \sin \alpha - y_1 \cdot \cos \alpha)^2}{m_1 \cdot (a_1^2 + b_1^2)} + \frac{3 \cdot [-x_2 \cdot \sin(\alpha + \beta) - y_2 \cdot \cos(\alpha + \beta)]^2}{m_2 \cdot (a_2^2 + b_2^2)}. \quad (4)$$

В результате мы имеем возможность определить все необходимые параметры для расчета угловых скоростей транспортных средств после удара

$$\Omega_{1z} = \frac{S \cdot h_1}{J_1}; \quad \Omega_{2z} = \frac{S \cdot h_2}{J_2}. \quad (5)$$

А также систем уравнений движения, позволяющих описать поступательно-вращательное перемещение ТС в общем виде

$$\begin{cases} m \cdot \frac{dx_{1c}}{dt^2} = \sum F_{kx}^e \\ m \cdot \frac{dy_{1c}}{dt^2} = \sum F_{ky}^e \\ J_c \cdot \frac{d\phi}{dt^2} = 2 M_c (\bar{F}_k^e) \end{cases} \quad (6)$$

Решение задачи по расчету параметров опрокидывания транспортного средства с увеличением спектра параметров так же предложены авторами. Были определены основные параметры опрокидывания транспортного средства в начальной стадии с экстраполяцией полученных результатов на многоступенчатое сложное опрокидывание транспортного средства, что отразилось в уравнениях и их системах [6-9, 13]. Основные используемые параметры опрокидывания ТС отражены на рисунке 2 по стадиям опрокидывания.

Были определены условие опрокидывания

$$\Phi \geq \frac{m \cdot g \cdot b}{2 \cdot h}. \quad (7)$$

Критическая скорость опрокидывания

$$V_1 \geq \sqrt{\frac{g \cdot b \cdot R^3}{2 \cdot h^3}}, \quad (8)$$

где h - высота центра масс.; R - радиус (плечо) опрокидывающей силы.

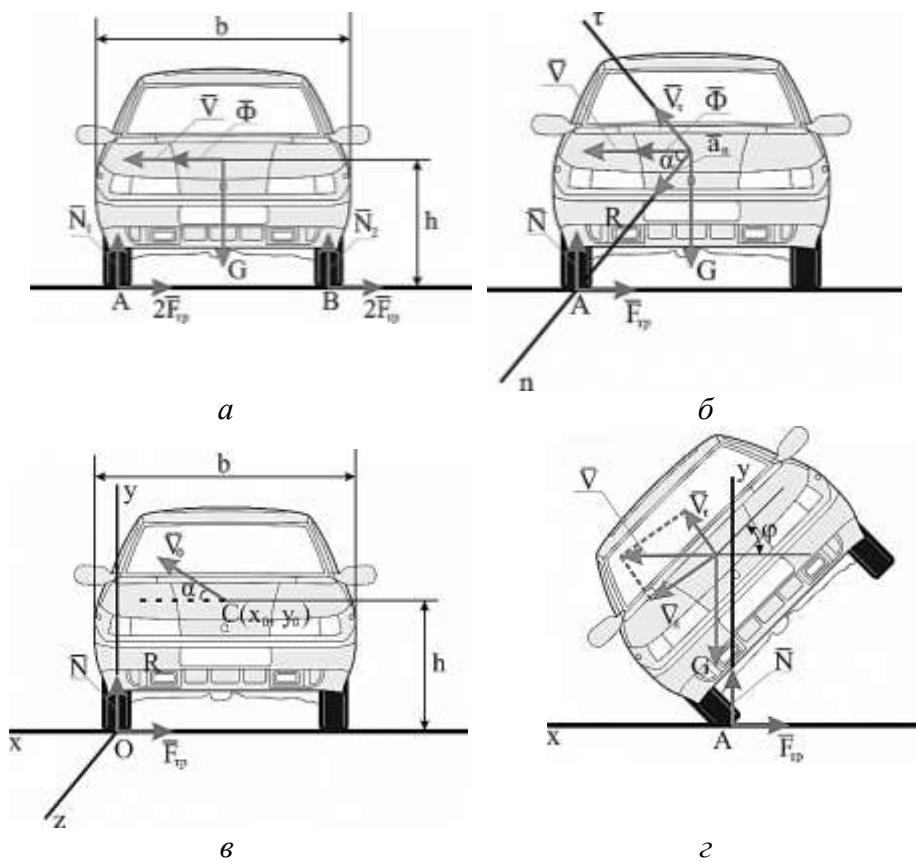


Рисунок 2 - Расчетная схема опрокидывания транспортного средства.

Дифференциальные уравнения движения тела

$$\left\{ \begin{array}{l} m \cdot \frac{dV}{dt} = \sum F_{k\tau} \\ m \cdot \frac{V^2}{\rho} = \sum F_{kn} \\ J_z \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2} = \sum M_z(F_k) \end{array} \right. , \quad (9)$$

где ρ - радиус кривизны траектории.

Из которых получена угловая скорость при одном перевороте объекта

$$\omega_r = \sqrt{2 \cdot \frac{G}{J_z} \cdot \frac{1}{\sqrt{4 \cdot h^2 + b^2}} \cdot (2 \cdot h - b) + \omega_0^2} , \quad (10)$$

где ω - угловая скорость;

J - момент инерции.

А при перевороте объекта более одного раза

$$V_{0r} = V \cdot k ; \quad V = \omega \cdot R , \quad (11)$$

где k - коэффициент восстановления.

Результаты и обсуждение

Как показывают вышеприведенные уравнения и их системы для эффективного расчета параметров сложного движения ТС необходимы соответствующие исходные данные, получить которые возможно исключительно путем проведения инструментальных замеров. Одним из таких параметров является коэффициент бокового скольжения ТС по опорной поверхности. С целью определения данного параметра была предложена полезная модель, которая относится к измерительной технике, в частности, к устройствам оперативного измерения коэффициента сцепления заблокированного автомобильного колеса при его скольжении по твердому дорожному покрытию [14].

Задачей полезной модели является расширение функциональных возможностей устройства за счет обеспечения измерения коэффициента сцепления колеса с дорожным покрытием в состоянии бокового скольжения.

Это достигается тем, что на горизонтально расположенную подвижную круглую раму, на которой закреплены четыре стойки, расположенные диагонально от центральных осей рамы, либо на одинаковом расстоянии от нее и друг от друга, устанавливается горизонтально расположенная несущая рама с автомобильным колесом, к передней стенке которой присоединено прицепное устройство, выполненная также круглого сечения с отверстиями под стойки, через которые осуществляется ее крепление с подвижной рамой.

Конструктивный универсализм установки позволяет в равной степени измерять коэффициент сцепления заблокированного автомобильного колеса, привязанного к конкретному ДТП, с дорожным покрытием непосредственно на месте ДТП, как при прямом торможении, так и при боковом скольжении под различными углами колеса относительно вектора волочения.

Сущность установки для измерения коэффициента сцепления заблокированного автомобильного колеса с дорожным покрытием поясняется графическим изображением, на котором изображен ее общий вид (рис. 3-6).

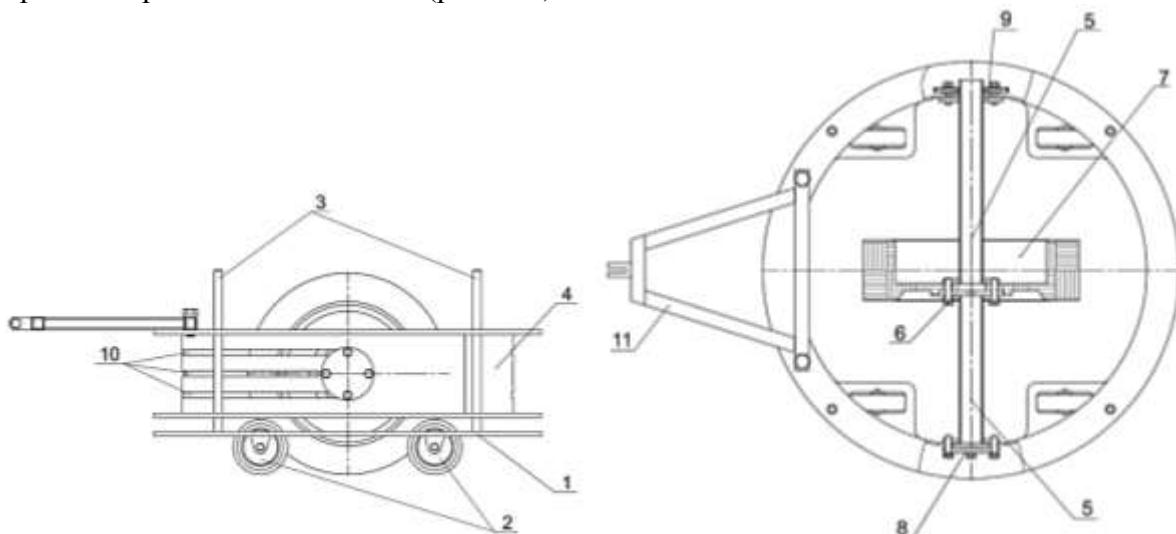


Рисунок 3, 4 - Чертеж измерительной установки

Установка для измерения коэффициента сцепления заблокированного автомобильного колеса с дорожным покрытием содержит горизонтально расположенную круглую подвижную раму 1, на которой диагонально установлены по два колеса 2 свободного вращения подшипникового типа с каждой стороны от продольной оси установки. К верхней части подвижной рамы жестко закреплены, например, сваркой, вертикальные направляющие стойки 3, не менее двух с каждой стороны от продольной оси установки. Вертикальные направляющие стойки предназначены для установки на ней несущей рамы 4 через соответствующие сквозные отверстия, изготовленные в стенках несущей рамы. К боковой стенке несущей рамы крепятся две штанги 5, на которые, например, через фланец 6 крепится автомобильное колесо 7. Штанги через фланцы 8 и 9 закрепленные болтовыми соединениями с гнутой боковой стенкой несущей рамы через конструктивные сквозные каналы 10, вырезанные в этой стенке. В передней части установки на верхней поверхности несущей рамы закреплено прицепное устройство 11. Для снятия показаний и имитации нагрузки используется соответственно измерительное устройство, например - динамометр, и дополнительные грузы, в общей сложности до 120 кг. (на фиг. не показаны).

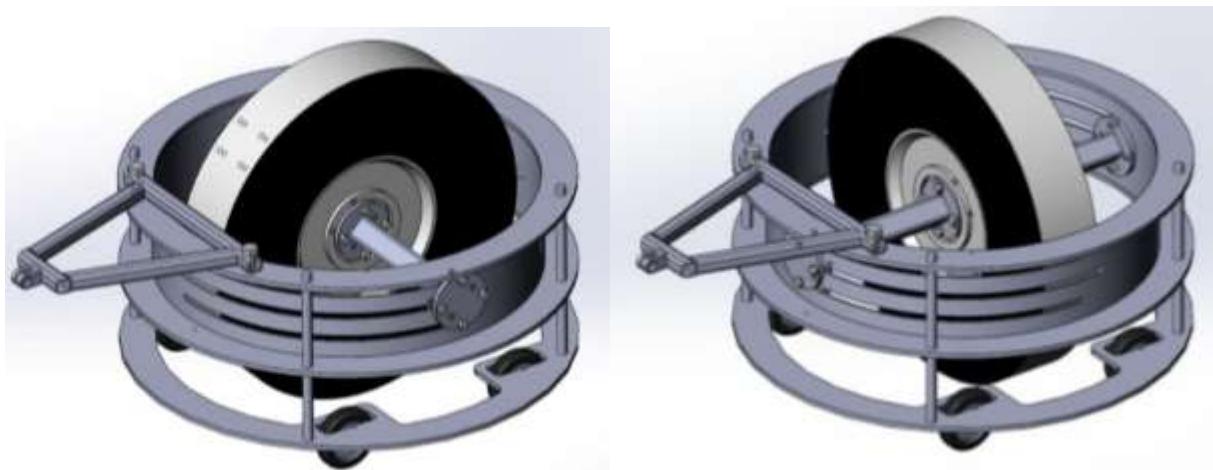


Рисунок 5, 6 - Вид измерительной установки.

Для измерения коэффициента сцепления при прямом торможении съемную несущую раму 4 через отверстия, с помощью вертикальных направляющих стоек 3, устанавливают на подвижную раму 1. Через фланец 6 к двум штангам 5 крепят автомобильное колесо 7, демонтированное с автомобиля, участвовавшего в ДТП. Через фланцы 8 и 9 и конструктивные каналы 10 штанги 5 крепят к раме 4. С помощью такого соединения несущая рама свободно перемещается вверх и вниз относительно вертикальных направляющих стоек (перемещение ограничено конструктивными размерами колеса) и имеет возможность демонтажа с подвижной рамы для транспортировки, а конструктивные каналы позволяют радиально перемещать штанги с закрепленным на нем колесом внутри несущей рамы, что позволяет измерять коэффициент бокового скольжения колеса в различных угловых положениях. Для имитации фактической нагрузки, приходящейся на колесо автомобиля, несущую раму нагружают дополнительными грузами (например, в общей сложности до 120 кг.). Распределение нагрузки дополнительными грузами происходит равномерно или из расчета перераспределения нагрузки при торможении на автомобильное колесо, при давлении в колесе 0,2 МПа (или иное, если оно отличалось на момент ДТП). Прицепное устройство 11 сцепляют жестко через измерительное устройство, например, динамометр (на фиг. не показан), с автомобилем, который осуществляет транспортировку установки, с помощью установленных на подвижной раме колес 2, по участку дороги с постоянной заданной скоростью с целью измерения коэффициента сцепления. Для измерения коэффициента сцепления при боковом скольжении, штанги 5 перемещают радиально внутри несущей рамы по конструктивным каналам, выставляя необходимый угол разворота колеса для измерения. Дальнейшая работа по измерению коэффициента сцепления при прямом или боковом торможении сводится к перемещению устройства в ведомом режиме по поверхности дороги. Динамометром измеряется сила тяги, исходя из которой вычисляется искомый коэффициент по формуле:

$$\varphi = \frac{P}{q \cdot A} = \frac{m v^2}{2 \cdot S \cdot q \cdot A}, \quad (12)$$

где m - нагрузка на колесо, кг;

V - скорость перемещения установки, м/с;

S - перемещение установки, м;

q - удельное давление в колесе, МПа;

A - площадь пятна контакта шины с опорной поверхностью, м²;

P - буксирующая сила, Н.

Данная измерительная техника была запатентована в соответствии с Российским законодательством [14].

Выводы

В результате исследований выявлены уязвимости в существующих методах расчета перемещений транспортных средств, которые в первую очередь связаны с отсутствием ком-

плексной и универсальной модели расчета. Использование предложенного способа позволяет дифференцированно подходить к расчетам различных ситуаций, связанных со сложным перемещением транспортных средств, вызванных дорожно-транспортным происшествием, а также решать частные случаи, для которых в настоящий момент отсутствуют готовые модели расчета. В том числе это справедливо как к потери курсовой устойчивости автомобилей, так и к потери устойчивости в вертикальном исчислении, т.е. опрокидывании, в т.ч. и сложного. Данные способы приводят к более полному пониманию механизма происшествия в целом.

Также был предложен способ получения критически важных исходных данных для указанных решений, а именно измерительная техника в виде установки измерения коэффициента сцепления заблокированного автомобильного колеса при его скольжении по твердому дорожному покрытию, которая позволяет определять коэффициенты сцепления колеса с дорогой при различных исходных условиях расчета, что позволяет этот расчет дифференцировать.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евтюков, С.А. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий - СПб.: ООО «Издательство ДНК». - 2-е издание, 2005. - 288 с.
2. McHenry R.R. Development of a computer program to aid the investigation of highway accidents. Tech.Rep.DOT/HS 800 621, Contact Number FH-11-7526, Cornel Aeronautical Laboratory, Inc.
3. R.R. McHenry, Mathematical Reconstruction of highway accidents. Washington, D.C.: DOT HS 801-405, Calspan Report No. ZQ-5341-V-2, 1975.
4. Суворов, Ю.Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза: Учеб. пособие - М.: Экзамен, Право и закон, 2003. - 208.
5. Novikov I., Degtyar A., Lazarev D., Makhonin V. Analysis of vehicles complex displacement in the process of investigation of vehicle crash // MATEC Web of Conferences 341, 00070 (2021).
6. Тарг, С.М. Краткий курс теоретической механики: Учеб. для вузов - М.: Высш.шк. - 15-е изд.,стерео. - 2007. - 415 с.
7. Руц, Э. Динамика системы твердых тел / Под ред. Ю.А. Архангельского и В.Г. Демина. - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. - Пер. с англ. В 2-х томах. - Т. 1, 1983. - 467 с.
8. Eichenwald A.A. Theoretical Physics: General Mechanics // PH Librokom, Moscow. - 2016. - P. 328.
9. A.A. Eichenwald, Theoretical Physics: Solid State Mechanics // PH Librokom, Moscow. - 2011. - P. 224.
10. Novikov I.A., Lazarev D.A. Experimental installation for calculation of road adhesion coefficient of locked car wheel // Transportation Research Procedia. - V. 20. - 2017)- P. 463-467.
11. Novikov I.A., Lazarev D.A., Kudinov D.V. The estimation of friction coefficient of vehicle's blocked wheel given with contact patch of the tread with the road surface // International journal of applied engineering research. - V. 21. - 2015. - P. 42721-42724.
12. Valishchev M.G., Povzner A.A. General physics course // PH Lan. - Moscow. - 2010. - P. 576.
13. Яблонский, А.А. Курс теоретической механики: Учеб. пособие для вузов - М.: Интеграл-Пресс. - 13-е изд., исправ., 2009. - 603 с.
14. Пат. 210446 Российская Федерация, СПК G 01 M 17/00 (2022.02). Установка для измерения коэффициента сцепления при сложном движении заблокированного автомобильного колеса с дорожным покрытием.

Новиков Александр Николаевич

Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева
Адрес: Россия, 302026, г. Орёл, улица Комсомольская, 95
Д.т.н., заведующий кафедрой «Сервиса и ремонта машин»
E-mail: novikovan@ostu.ru

Новиков Иван Алексеевич

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, улица Костюкова, 46
Д.т.н., профессор кафедры «Эксплуатации и организации движения автотранспорта»
E-mail: ooows@mail.ru

Лазарев Дмитрий Александрович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород
Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, улица Костюкова, 46
К.т.н., доцент кафедры «Эксплуатации и организации движения автотранспорта»
E-mail: avtotech31@mail.ru

Махонин Виталий Леонидович

Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева

Адрес: Россия, 302026, г. Орёл, улица Комсомольская, 95

Аспирант

E-mail: triumf.expert@bk.ru

A.N. NOVIKOV, I.A. NOVIKOV, D.A. LAZAREV, V.L. MAKHONIN

INVESTIGATION OF THE VEHICLE COMPLEX MOVEMENT DURING THE ROAD TRAFFIC EXAMINATION

Abstract. Investigation of road traffic accidents (hereinafter referred to as accidents) in the Russian Federation currently uses outdated and averaged models and techniques. Despite the recent years' developments in the methodological literature, their implementation is local and is not applied to every particular case. The study of the final stage of the accident mechanism is not the exception, when the vehicle continued its movement after interacting with an obstacle in a state of complex movement. Therefore, the construction of a functional universal computational model of complex vehicle movement based on basic physical principles within the framework of road transport expertise is an urgent task.

Keywords: traffic accident, vehicle, traffic, investigation, examination, complex traffic, motor vehicles

BIBLIOGRAPHY

1. Evtyukov, S.A. Rassledovanie i ekspertiza dorozhno-transportnykh proisshestviy - SPb.: OOO «Iz-datel'stvo DNK». - 2-e izdanie, 2005. - 288 s.
2. McHenry R.R. Development of a computer program to aid the investigation of highway accidents. Tech.Rep.DOT/HS 800 621, Contact Number FH-11-7526, Cornel Aeronautical Laboratory, Inc.
3. R.R. McHenry, Mathematical Reconstruction of highway accidents. Washington, D.C.: DOT HS 801-405, Calspan Report. - №ZQ-5341-V-2, 1975.
4. Suvorov, Yu.B. Sudebnaya dorozhno-transportnaya ekspertiza: Ucheb. posobie - M.: Ekzamen, Pravo i zakon, 2003. - 208.
5. Novikov I., Degtyar A., Lazarev D., Makhonin V. Analysis of vehicles complex displacement in the process of investigation of vehicle crash // MATEC Web of Conferences 341, 00070 (2021).
6. Targ, S.M. Kratkiy kurs teoreticheskoy mekhaniki: Ucheb. dlya vtuzov - M.: Vyssh.shk. - 15-e izd., ster.-2007. - 415 s.
7. Raus, E. Dinamika sistemy tverdykh tel / Pod red. Yu.A. Arkhangelskogo i V.G. Demina. - M.: Nauka. Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoy literatury. - Per. s angl. V 2-kh tomakh. - T. 1, 1983. - 467 s.
8. Eichenwald A.A. Theoretical Physics: General Mechanics // PH Librokom, Moscow. - 2016. - P. 328.
9. A.A. Eichenwald, Theoretical Physics: Solid State Mechanics // PH Librokom, Moscow. - 2011. - P. 224.
10. Novikov I.A., Lazarev D.A. Experimental installation for calculation of road adhesion coefficient of locked car wheel // Transportation Research Procedia. - V. 20. - 2017)- R. 463-467.
11. Novikov I.A., Lazarev D.A., Kudinov D.V. The estimation of friction coefficient of vehicle's blocked wheel given with contact patch of the tread with the road surface // International journal of applied engineering research. - V. 21. - 2015. - P. 42721-42724.
12. Valishchev M.G., Povzner A.A. General physics course // PH Lan. - Moscow. - 2010. - P. 576.
13. YAbolonskiy, A.A. Kurs teoreticheskoy mekhaniki: Ucheb. posobie dlya vuzov - M.: Integral-Press. - 13-e izd., isprav, 2009. - 603 s.
14. Pat. 210446 Rossiyskaya Federatsiya, SPK G 01 M 17/00 (2022.02). Ustanovka dlya izmereniya koeffitsienta stsepleniya pri slozhnom dvizhenii zablokirovannogo avtomobil'nogo kolesa s dorozhnym pokrytiem.

Novikov Alexander Nikolaevich

Orel State university

Address: Russia, 302026, Orel, Komsomolskaya str., 95

Doctor of technical sciences

E-mail: novikovan@ostu.ru

Lazarev Dmitry Alexandrovich

Belgorod state technological university

Address: Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova street, 46

Candidate of technical sciences

E-mail: avtotech31@mail.ru

Novikov Ivan Alekseevich

Belgorod state technological university

Address: Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova street, 46

Doctor of technical sciences

E-mail: ooows@mail.ru

Makhonin Vitaly Leonidovich

Orel State university

Address: Russia, 302026, Orel, Komsomolskaya str., 95

Graduate student

E-mail: triumf.expert@bk.ru

Научная статья

УДК 531.17

doi:10.33979/2073-7432-2022-3(78)-3-60-67

А.Н. НОВИКОВ, И.А. НОВИКОВ, Д.А. ЛАЗАРЕВ, Н.А. ЗАГОРОДНИЙ

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МЕХАНИЗМА ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОГО ПРОИСШЕСТВИЯ

Аннотация. Проведен анализ проблемных вопросов, возникающих при производстве дорожно-транспортной экспертизы. Приведены современные методы для решения частных задач (в том числе предложенные авторами), которые позволяют рассмотреть механизм ДТП в целом. Предложены инструменты для решения данных задач.

Ключевые слова: дорожно-транспортное происшествие, транспортное средство, дорожное движение, расследование, экспертиза, сложное движение, автотранспортная техника

Введение

Одним из ключевых вопросов, ставящихся на разрешение эксперту-автотехнику при расследовании дорожно-транспортных происшествий, является вопрос определения механизма происшествия. Механизм ДТП характеризуется тремя стадиями, которые в первую очередь определяются исходя из той следовой информации, которая образовалась на момент ДТП [1-4]. Однако, зачастую данная информация не в полной мере отображается на фиксирующих ее документах (протоколах осмотра мест происшествий, схемах мест ДТП, иных документах), что в свою очередь влечет неполное раскрытие стадий механизма ДТП вследствие отсутствия следовой информации, характеризующей данные стадии, а зачастую и вообще не позволяет дать эксперту какой-либо ответ на поставленный перед ним вопрос. На настоящий момент регламентированный инструментарий определения механизма ДТП имеет свои ограничения, поскольку сами рекомендации получили свои основные положения в 80-х годах прошлого века. И хотя в целом основные принципы определения стадий механизма ДТП имеют свою актуальность и по сей дей (поскольку отражают общий подход к решению вопроса), ряд частных вопросов и ситуаций при решении локальной задачи в рамках общего решения вопроса по механизму ДТП требует локальных инструментов решения. Использование всех ниже приведенных методов, способов и программных решений позволяет дополнить общий подход решения вопроса о механизме ДТП недостающими частными звенями для его более полного комплексного решения.

Материал и методы

Следует понимать, что под механизмом столкновения понимается совокупность процессов сближения, взаимодействия и последующего перемещения автомобилей до мест, зафиксированных при осмотре места происшествия. Его определение проводится на основании анализа данных, содержащихся в материалах дела (протоколе осмотра места происшествия и на схеме к нему, сведений о повреждениях автомобилей, отраженных в протоколах осмотра транспорта, самих повреждений, просматриваемых на фотоснимках (при их наличии), либо наблюдаемых экспертом при непосредственном осмотре транспортных средств) [5].

Теория

Такими данными, позволяющими эксперту определить механизм столкновения, могут быть:

- сведения о следах, оставленных транспортными средствами в зоне столкновения (следы качения, продольного и поперечного скольжения шин), царапинах, оставленных на дороге деталями транспортных средств, по разбросу груза и т.д.;
- данные о расположении разлившихся жидкостей, скопление осколков стекол и пластмасс, частиц пыли, грязи, осыпавшихся с нижних частей транспортных средств при столкновении;
- характеристика повреждений, полученных транспортными средствами в процессе столкновения;

- расположение транспортных средств на проезжей части дороги после столкновения.

Из перечисленных данных наиболее достоверную информацию для эксперта дают следы шин на дороге. Они характеризуют действительное положение транспортных средств на проезжей части и их перемещение в процессе дорожно-транспортного происшествия.

Однако не всегда работа сотрудников, фиксирующих следовую обстановку на месте дорожно-транспортного происшествия, отвечает высокому стандарту качества, что в свою очередь приводит к потере важной информации (например, о пространственном положении следов перемещения автомобилей), вследствие чего эксперт вынужден отказаться от решения вопроса, либо описывать механизм происшествия в общем виде без конкретных выводов, что в свою очередь приводит к неверному толкованию причинно-следственных связей между действиями водителей и фактом ДТП на стадии предварительного расследования.

В этом случае, экспертами могут использоваться современные графические программы, а также инженерные познания, которые выходят за рамки методических рекомендаций, вследствие чего большинство экспертов избегают их использования, считая их не рекомендованными и несоответствующими методикам. Однако, следует отметить, что на настоящий момент в системе МВД России по направлениям автотехнических экспертиз, связанных с ДТП, существует одна рекомендованная методика [6], которая не воспрещает использование научных методов. Остальные методы расчета и исследования механизма ДТП относятся к категории методических рекомендаций, что не делает их априори догмой, а всего лишь рекомендует их постулаты для исполнения. Но даже при этом, данные рекомендации не воспрещают использование других методов, которые имели бы под собой научное обоснование.

При этом нужно отметить, что в материале сотрудника ЭКЦ МВД России Звягина Д.В. [7] указывается возможность использование графического редактора Corel Draw для определения ряда параметров, которые недоступны при изготовлении графических схем. Например, возможность воспроизведения асимметричности участка дороги, на котором совершено ДТП, для более точного воспроизведения расположения следовой информации относительно границ дороги (рис. 1).



Рисунок 1 - Пример наложения границ дороги с использованием фотоснимков аэрофотосъемки

Использование фотоснимков участка местности, выполненных в масштабе, расширяет возможности эксперта по восстановлению механизма ДТП. В этом же материале указана возможность использования средств математических пропорций с целью получения неизвестных размеров интересующих экспертов объектов используя те объекты, размеры которых известны. Однако, даже в этом материале, изданном ЭКЦ МВД России не указывается, как возможно восстановить следы транспортных средств, относительно границ дороги, в случаях, когда нет возможности использовать графические методы по причине пространственного перспективного искажения изображения на фотоснимке.

Результаты и обсуждения

В таком случае, в совокупности с возможностями графического редактора Corel Draw возможно применение программы Kinovea. Это свободное программное обеспечение под лицензией GPL v2, используемое для любых целей, включая личные, академические или коммерческие. Программа Kinovea выполняет видеоанализ движений, она предназначена для спортсменов, тренеров и медицинских работников. Также программное обеспечение может

№3-3(78) 2022 Безопасность движения и автомобильные перевозки

быть полезно специалистам в области эргономики или анимации [8]. Однако, наибольший интерес для экспертов может вызывать функция данной программы к построению перспективной сетки. Данная функция позволяет строить сетки с размерной перспективной различных по количеству матричных секторов, ориентируясь на размер одного из маркерных объектов (например, линий дорожной разметки или секторов бордюрного ограждения). Пример подобного построения представлен на рисунках 2-4.



Рисунок 2 - Общий вид исходного фотоизображения с места ДТП



Рисунок 3 - Фотоизображения с места ДТП с наложением перспективной сетки в видеоредакторе Kinovea

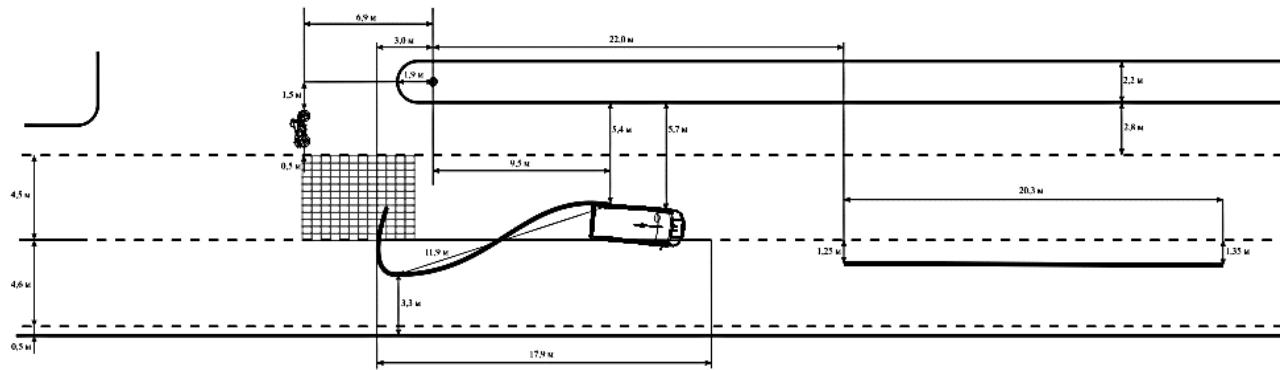


Рисунок 4 - Восстановленная в масштабе схема места ДТП

Также, для расчета в нестандартных случаях движения транспортных на стадиях сближения либо отбrosa транспортных средств (первая и третья стадии механизма) необходимо построение функциональной универсальной расчетной модели сложного перемещения транспортного средства, основанной на основных физических принципах, а также частных случаев перемещения (например, аквапланирования).

Так, например, авторами были предложены ряд расчетов как на стадиях сближения или отбrosa транспортных средств, так и на специфических стадиях взаимодействия двух объектов (например, пешехода и транспортного средства) [9-14, 16-23]. Результаты исследования сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Расчетные формулы, используемые для определения частных случаев стадий механизма ДТП

№	Физический смысл	Расчетные формулы	Обозначения
1.	Расчет параметров перемещения автомобиля по сложной траектории [9]	$\begin{cases} h_1 = x_1 \cdot \sin \alpha - y_1 \cdot \cos \alpha \\ h_2 = -x_2 \cdot \sin(\alpha + \beta) - y_2 \cdot \cos(\alpha + \beta) \end{cases};$ $\begin{cases} J_1 = \frac{m_1}{3} \cdot (a_1^2 + b_1^2) \\ J_2 = \frac{m_2}{3} \cdot (a_2^2 + b_2^2) \end{cases};$ $\bar{S} = -\frac{1 + \varepsilon}{G} \cdot (\bar{U}_1 \cdot \bar{n}_1 + \bar{U}_2 \cdot \bar{n}_2);$ $G = \frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2} + \frac{3 \cdot (x_1 \cdot \sin \alpha - y_1 \cdot \cos \alpha)^2}{m_1 \cdot (a_1^2 + b_1^2)} + \dots$ $\dots + \frac{3 \cdot [-x_2 \cdot \sin(\alpha + \beta) - y_2 \cdot \cos(\alpha + \beta)]^2}{m_2 \cdot (a_2^2 + b_2^2)};$ $\Omega_{1z} = \frac{S \cdot h_1}{J_1}; \quad \Omega_{2z} = \frac{S \cdot h_2}{J_2};$ $\begin{cases} m \cdot \frac{dx_{1c}}{dt^2} = \sum F_{kx}^e \\ m \cdot \frac{dy_{1c}}{dt^2} = \sum F_{ky}^e \end{cases}.$ $J_c \cdot \frac{d\phi}{dt^2} = 2 M_c (\bar{F}_k^e)$	x_1, x_2 и y_1, y_2 - координаты точки удара относительно систем координат центров масс транспортных средств; a_1, b_1 и a_2, b_2 - соответствующие размеры транспортных средств; ε - коэффициент восстановления; $\bar{U}_1 \cdot \bar{n}_1$; $\bar{U}_2 \cdot \bar{n}_2$ - проекции скоростей транспортных средств на соответствующие нормали; G - параметр точки массы, имеющий формулу расчета; m_1 и m_2 - массы транспортных средств; h_1 и h_2 - плечи импульсов; J_1 и J_2 - моменты инерции тел относительно центральных осей, перпендикулярных плоскости движения и проходящих через центры масс.
2.	Расчет параметров опрокидывания транспортного средства с увеличением спектра параметров расчета [10-14].	$\Phi \geq \frac{m \cdot g \cdot b}{2 \cdot h};$ $V_1 \geq \sqrt{\frac{g \cdot b \cdot R^3}{2 \cdot h^3}};$	h - высота центра масс.; R - радиус (плечо) опрокидывающей силы; где ρ - радиус кривизны траектории; ω - угловая скорость; J - момент инерции; k - коэффициент восстановления.

	$\left\{ \begin{array}{l} m \cdot \frac{dV}{dt} = \sum F_{k\tau} \\ m \cdot \frac{V^2}{\rho} = \sum F_{kn} \quad ; \\ J_z \cdot \frac{d^2\phi}{dt^2} = \sum M_z (\bar{F}_k) \end{array} \right.$ $\omega_T = \sqrt{2 \cdot \frac{G}{J_z} \cdot \frac{1}{\sqrt{4 \cdot h^2 + b^2}} \cdot (2 \cdot h - b) + \omega_0^2} ;$ $V_{0\tau} = V \cdot k ; \quad V = \omega \cdot R .$	
3.	<p>Расчет скорости движения транспортного средства по полученным им деформациям при контакте его с объектом малой массы [16-23]. Предложение доработано авторами для актуальности расчета с помощью принципа относительности Галилея или равноправия выбора системы отсчета.</p> $\omega_j = \sigma_T \cdot \left[\frac{\varepsilon_{iT}}{2} + \frac{\left(\frac{\varepsilon_{iT} + \varepsilon_{iB}}{2} \right)^{m+1} - \varepsilon_{iT}^{m+1}}{\varepsilon_{iT}^m \cdot (m+1)} \right] ;$ $w_{defj} = \omega_j \cdot V_{defj} ;$ $W_{defi} = \sum_{j=1}^n w_{defj} ;$ $V_a = 3,6 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (W_{def} + W_k)}{m_a}} .$	<p>σ_T - предел текучести деформированного материала;</p> <p>σ_B - предел прочности деформированного материала;</p> <p>ε_{iT} - интенсивность деформации, соответствующая пределу текучести деформированного материала;</p> <p>ε_{iB} - интенсивность деформации, соответствующая пределу прочности деформированного материала;</p> <p>m - показатель упрочнения деформированного материала;</p> <p>ω_j - удельная работа деформаций для каждой j-той поврежденной детали;</p> <p>V_{defj} - объем деформированных и разрушенных частей каждой j-той поврежденной детали;</p> <p>n - количество поврежденных деталей в каждом из транспортных средств;</p> <p>m_a - масса деформируемого транспортного средства;</p> <p>W_k - работа на перемещение деформируемого транспортного средства после контакта;</p> <p>w_{def} - работа на деформирование транспортного средства в процессе контакта.</p>

Данные предложения, наряду с частными предложениями других авторов [24-27], позволяют более полно и комплексно оценивать механизм ДТП, опираясь на принципы научного метода.

Выводы

В результате проведенных исследований предложены решения частных задач в рамках определения механизма дорожно-транспортного происшествия. Так, например, были описаны методы использования современных графических программных решений при исследования механизма ДТП, таких как Corel Draw и Kinovea, которые позволяют расширить возможности эксперта по восполнению недостающей (незафиксированной в материалах дела) следовой информации.

Также предложены способы расчетов параметров перемещения автомобиля по сложной траектории; параметров опрокидывания транспортного средства с увеличением спектра параметров расчета; скорости движения транспортного средства по полученным им деформациям при контакте его с объектом малой массы. Предложенные способы позволяют более полно и комплексно оценивать механизм ДТП, опираясь на принципы научного метода.

Данные способы позволяют более точно исследовать механизм дорожно-транспортных происшествий на всех его стадиях, что в свою очередь может привести к более полному пониманию механизма происшествия в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евтюков, С.А. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий - СПб.: ООО «Издательство ДНК». - 2-е издание, 2005. - 288 с.
2. R.R. McHenry, Development of a computer program to aid the investigation of highway accidents. Tech.Rep.DOT/HS 800 621, Contact Number FH-11-7526, Cornel Aeronautical Laboratory, Inc. (CALSPAN Corp.), December 1971.
3. R.R. McHenry, Mathematical Reconstruction of highway accidents. Washington, D.C.: DOT HS 801-405, Calspan Report №ZQ-5341-V-2, 1975.
4. Суворов, Ю.Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза. Судебно-экспертная оценка действий водителей и других лиц, ответственных за обеспечение безопасности дорожного движения, на участках ДТП: Учеб. пособие для вузов - М.: Экзамен, Право и закон, 2004. - 208 с.
5. Иларионов, В.А. Автотехническая экспертиза - М.: Транспорт, 1989. - 240 с.
6. Типовые экспертные методики исследования вещественных доказательств: Ч.1 / Под ред. Канд. техн. наук Ю.М. Дильдина. Общая редакция канд. техн. наук В.В. Мартынова - М.: ИНТЕРКРИМ-ПРЕСС, 2010. - 568 с.
7. Звягин, Д.В. Экспертная практика. Выпуск №72: Методические рекомендации. Применение графических редакторов при проведении транспортно-трасологических исследований (на примере программы «CorelDRAW») / под ред. Е.А. Китайгородского - М.: ЭКЦ МВД России, 2012. - 120 с.
8. Электронный ресурс. - Режим доступа: <https://www.kinovea.org/features.html>
9. Novikov I., Degtyar A., Lazarev D., Makhonin V. Analysis of vehicles complex displacement in the process of investigation of vehicle crash // MATEC Web of Conferences 341, 00070 (2021).
10. Тарг, С.М. Краткий курс теоретической механики: Учеб. для втузов - М.: Высш.шк. - 15-е изд.,стер., 2007. - 415 с.
11. Паус, Э. Динамика системы твердых тел. Пер. с англ. В 2-х томах. Т. 1 / Под ред. Ю.А. Архангельского и В.Г. Демина - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. - 467 с.
12. Eichenwald A.A. Theoretical Physics: General Mechanics // PH Librokom. - Moscow. -2016. - P. 328
13. Eichenwald A.A. Theoretical Physics: Solid State Mechanics // PH Librokom. - Moscow. - 2011. - P. 224.
14. Novikov I.A., Lazarev D.A., Experimental Installation for calculation of road adhesion coefficient of locked car wheel // Transportation research procedia. - 2017. - V. 20. - P. 463-467.
15. Novikov I.A., Lazarev D.A., Kudinov D.V. The estimation of friction coefficient of vehicle's blocked wheel given with contact patch of the tread with the road surface // International journal of applied engineering research. - 2015. - V. 21. - P. 42721-42724.
16. Пат. №2275612 РФ Способ определения скоростей движения транспортных средств при столкновении.
17. Огородников, В.А. Энергия. Деформации. Разрушение (задачи автотехнической экспертизы): Моно-графия - Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. - 204 с.
18. Сивухин, Д.В. Общий курс физики. Т.1. Механика - М.: Физматлит, 2005. - 560 с.
19. Грабовский, Р.И. Курс физики - М.: Высшая школа, 1980. - 607 с.
20. Трафимова, Т.И. Курс физики - М.: Высшая школа, 1977. - 542 с.
21. Киселев, А.П. Геометрия / Под. ред. Н.А. Глаголева - М.: Физматлит, 2004. - 328 с.

№3-3(78) 2022 Безопасность движения и автомобильные перевозки

22. Фридман, Я.Б. Механические свойства металлов. «Часть первая. Деформация и разрушение» - М.: Машиностроение, 1974. - 472 с.
23. Селиванов, В.В. Механика разрушения деформируемого тела: Учебник для втузов «Прикладная механика» - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. - 420 с.
24. Евтюков, С.С. Оценка скорости движения транспортных средств при проведении дорожно-транспортных экспертиз: Дис. ... канд. техн. наук - СПб, 2014. - 174.
25. Брылев, И.С. Реконструкция дорожно-транспортных происшествий по параметрам процесса торможения двухколесных механических транспортных средств: Дис. ... канд. техн. наук. - Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2015. - 159.
26. Никонов, В.Н. Метод конечных элементов и судебная инженерно-техническая прочностная экспертиза // Реконструкция обстоятельств дорожно-транспортного происшествия при проведении судебных экспертиз. Правовые и методические вопросы судебной экспертизы: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. - Уфа. - 2008.
27. Ковалев В.А., Фадеев А.И., Воеводин Е.С., Фомин Е.В., Горячев В.П. Определение скорости возможного аквапланирования // Вестник Иркутского государственного технического университета. - Иркутск: ИРНИТУ. - 2014. - №5(88).

Новиков Александр Николаевич

Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева

Адрес: Россия, 302026, г. Орёл, улица Комсомольская, 95

Д.т.н., заведующий кафедрой «Сервиса и ремонта машин»

E-mail: novikovan@ostu.ru

Новиков Иван Алексеевич

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

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

E-mail: ooows@mail.ru

Лазарев Дмитрий Александрович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

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

E-mail: avtotech31@mail.ru

Загородний Николай Александрович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

К.т.н., заведующий кафедрой «Эксплуатации и организации движения автотранспорта»

E-mail: n.zagorodnj@yandex.ru

A.N. NOVIKOV, I.A. NOVIKOV, D.A. LAZAREV, N.A. ZAGORODNIY

AN INTEGRATED APPROACH TO DETERMINING THE MECHANISM OF A ROAD TRAFFIC ACCIDENT

Abstract. The analysis of problem issues which occurs in the production of the road traffic expert determination is carried out in this paper. There is a need to solve particular problems within the framework of determining the mechanism of a road traffic accident (hereinafter referred to as an accident), since the lack of methods for determining a number of complex situational mechanisms does not allow the expert to solve these particular problems now. Modern methods for solving particular problems (including those which proposed by the authors) are presented. They allow us to consider the mechanism of an accident as a whole. Means for solving these are proposed.

Keywords: traffic accident, vehicle, traffic, investigation, examination, complex traffic, motor vehicles

BIBLIOGRAPHY

1. Evtyukov, S.A. Rassledovanie i ekspertiza dorozhno-transportnykh proisshestviy - SPb.: OOO «Izdatel`stvo DNK». - 2-e izdanie, 2005. - 288 s.

2. R.R. McHenry, Development of a computer program to aid the investigation of highway accidents. Tech.Rep.DOT/HS 800 621, Contact Number FH-11-7526, Cornel Aeronautical Laboratory, Inc. (CALSPAN Corp.), December 1971.
3. R.R. McHenry, Mathematical Reconstruction of highway accidents. Washington, D.C.: DOT HS 801-405, Calspan Report №ZQ-5341-V-2, 1975.
4. Suvorov, YU.B. Sudebnaya dorozhno-transportnaya ekspertiza. Sudebno-ekspertnaya otsenka deystviy voditeley i drugikh lits, otvetstvennykh za obespechenie bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya, na uchastkakh DTP: Ucheb. posobie dlya vuzov - M.: Ekzamen, Pravo i zakon, 2004. - 208 s.
5. Ilarionov, V.A. Avtotehnicheskaya ekspertiza - M.: Transport, 1989. - 240 s.
6. Tipovye ekspertnye metodiki issledovaniya veshchestvennykh dokazatel'stv: CH.1 / Pod red. Kand. tekhn. nauk Yu.M. Dil'dina. Obshchaya redaktsiya kand. tekhn. nauk V.V. Martynova - M.: INTERKRIM-PRESS, 2010. - 568 s.
7. Zvyagin, D.V. Ekspertnaya praktika. Vypusk №72: Metodicheskie rekomendatsii. Primenenie graficheskikh redaktorov pri provedenii transportno-trasologicheskikh issledovaniy (na primere programmy «CorelDRAW») / pod red. E.A. Kitaygorodskogo - M.: EKTS MVD Rossii, 2012. - 120 s.
8. Elektronnyy resurs. - Rezhim dostupa: <https://www.kinovea.org/features.html>
9. Novikov I., Degtyar A., Lazarev D., Makhonin V. Analysis of vehicles complex displacement in the process of investigation of vehicle crash // MATEC Web of Conferences 341, 00070 (2021).
10. Targ, S.M. Kratkiy kurs teoreticheskoy mekhaniki: Ucheb. dlya vtuzov - M.: Vyssh.shk. - 15-e izd., ster., 2007. - 415 s.
11. Raus, E. Dinamika sistemy tverdykh tel. Per. s angl. V 2-kh tomakh. T. 1 / Pod red. Yu.A. Arkhangelskogo i V.G. Demina - M.: Nauka. Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoy literatury, 1983. - 467 s.
12. Eichenwald A.A. Theoretical Physics: General Mechanics // PH Librokom. - Moscow. -2016. - P. 328
13. Eichenwald A.A. Theoretical Physics: Solid State Mechanics // PH Librokom. - Moscow. - 2011. - P. 224.
14. Novikov I.A., Lazarev D.A., Experimental Installation for calculation of road adhesion coefficient of locked car wheel // Transportation research procedia. - 2017. - V. 20. - P. 463-467.
15. Novikov I.A., Lazarev D.A., Kudinov D.V. The estimation of friction coefficient of vehicle's blocked wheel given with contact patch of the tread with the road surface // International journal of applied engineering research. - 2015. - V. 21. - R. 42721-42724.
16. Pat. №2275612 RF Sposob opredeleniya skorostey dvizheniya transportnykh sredstv pri stolknovenii.
17. Ogorodnikov, V.A. Energiya. Deformatsii. Razrushenie (zadachi avtotehnicheskoy ekspertizy): Mono-grafiya - Vinnitsa: UNIVERSUM-Vinnitsa, 2005. - 204 s.
18. Sivukhin, D.V. Obshchiy kurs fiziki. T.1. Mekhanika - M.: Fizmatlit, 2005. - 560 s.
19. Grabovskiy, R.I. Kurs fiziki - M.: Vysshaya shkola, 1980. - 607 s.
20. Trafimova, T.I. Kurs fiziki - M.: Vysshaya shkola, 1977. - 542 s.
21. Kiselev, A.P. Geometriya / Pod. red. N.A. Glagoleva - M.: Fizmatlit, 2004. - 328 s.
22. Fridman, YA.B. Mekhanicheskie svoystva metallov. «Chast` pervaya. Deformatsiya i razrushenie» - M.: Mashinostroenie, 1974. - 472 s.
23. Selivanov, V.V. Mekhanika razrusheniya deformiruemogo tela: Uchebnik dlya vtuzov «Prikladnaya mekhanika» - M.: MGTU im. N.E. Baumana, 1999. - 420 s.
24. Evtyukov, S.S. Otsenka skorosti dvizheniya transportnykh sredstv pri provedenii dorozhno-transportnykh ekspertiz: Dis. ... kand. tekhn. nauk - SPb, 2014. - 174.
25. Brylev, I.S. Rekonstruktsiya dorozhno-transportnykh proisshestviy po parametram protsessa tormozheniya dvukhkholesnykh mekhanicheskikh transportnykh sredstv: Dis. ... kand. tekhn. nauk. - Sankt-Peterburg: SPbGASU, 2015. - 159.
26. Nikonorov, V.N. Metod konechnykh elementov i sudebnaya inzhenerno-tehnicheskaya prochnostnaya ekspertiza // Rekonstruktsiya obstoyatel'stv dorozhno-transportnogo proisshestviya pri provedenii sudebnykh ekspertiz. Pravovye i metodicheskie voprosy sudebnoy ekspertizy: Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Ufa. - 2008.
27. Kovalev V.A., Fadeev A.I., Voevodin E.S., Fomin E.V., Goryachev V.P. Opredelenie skorosti vozmozhnogo akvaplanirovaniya // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. - Irkutsk: IRNITU. - 2014. - №5(88).

Novikov Alexander Nikolaevich

Orel State university

Address: Russia, 302026, Orel, Komsomolskaya str., 95

Doctor of technical sciences

E-mail: novikovan@ostu.ru

Novikov Ivan Alekseevich

Belgorod state technological university

Address: Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova street, 46

Doctor of technical sciences

E-mail: ooows@mail.ru

Lazarev Dmitry Alexandrovich

Belgorod state technological university

Address: Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova street, 46

Candidate of technical sciences

E-mail: avtotech31@mail.ru

Zagorodniy Nikolai Alexandrovich

Belgorod state technological university

Address: Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova street, 46

Candidate of technical sciences

e-mail: n.zagorodnj@yandex.ru

Научная статья

УДК 656.1

doi:10.33979/2073-7432-2022-3(78)-3-68-75

И.М. МИХНЕВИЧ, О.В. ПОПОВА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЕВ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ BRT (BUS RAPID TRANSIT)

Аннотация. Транспорт общего пользования во многих странах мира сегодня не вызывает большого доверия у пассажиров. Автобусные перевозки слишком часто ненадёжны, неудобны и опасны. В ответ на это специалисты в области транспортного планирования и государственные чиновники иногда обращались к чрезвычайно дорогостоящим альтернативам пассажирского транспорта, таким как метрополитен. Однако существует альтернатива между низким уровнем обслуживания и высокими затратами. Bus Rapid Transit (BRT) может предоставить высококачественные услуги общественного транспорта, подобные метро, за гораздо меньшую стоимость в сравнении с другими вариантами.

Ключевые слова: скоростной автобусный транспорт, пассажирский транспорт, маршрутная сеть, транспортная инфраструктура, транспортный комплекс, транспортное обслуживание

Введение

Многие развивающиеся и развитые страны вновь проявляют интерес к поиску способов обеспечения эффективного и единственного пассажирского транспорта общего пользования, не требующего высоких затрат [1]. Все большее число стран задаётся вопросом - какой тип системы общественного транспорта может обеспечить соотношение цены и качества? Несмотря на то, что легкорельсовый транспорт часто предлагался как популярный вариант решения проблемы, постепенно начала появляться привлекательная альтернатива в виде скоростного автобусного сообщения. BRT представляет собой систему, работающую на собственной выделенной полосе для общественного транспорта или как полноценная BRT с высококачественными пересадками, интегрированной оплатой проезда с помощью смарт-карт и эффективной пропускной способностью пассажиров, совершающих посадку и высадку на автобусных станциях и остановочных пунктах [2]. Представление о том, что автобусы, по сути, работают в условиях ограниченного обслуживания при смешанном режиме движения и имеют привилегированную выделенную полосу проезда, больше не является единственным устойчивым и обоснованным предложением.

В работе [3] оценивается состояние 44 систем BRT, действующих во всём мире, как способ определения возможности перемещения значительного количества пассажиров с использованием инфраструктуры, стоимость которой в целом и на километр чрезвычайно привлекательна. Если принять во внимание текущие затраты жизненного цикла (операции и техническое обслуживание), затраты на предоставление интегрированных систем BRT с высокой пропускной способностью являются привлекательным вариантом во многих контекстах [4]. Данные по 44 системам BRT по всему миру представляют собой единственный «исчерпывающий» источник информации, имеющий достаточно сопоставимые данные. Авторы использовали 70 элементов данных для каждой системы BRT, некоторые из которых более полны в деталях, чем другие, и выбрали индикаторы данных, которые являются относительно полными и которые являются правдоподобными индикаторами для проверяемых гипотез о том, что может быть ключевыми источниками систематических изменений в стоимости инфраструктуры в целом и на километр.

Анализируя данную статью, есть основания полагать, что двумя основными транспортными показателями, привлекающими внимание правительства и, в частности, средств массовой информации, являются затраты на инфраструктуру (рис. 1) и уровни пикового пассажиропотока (рис. 2).

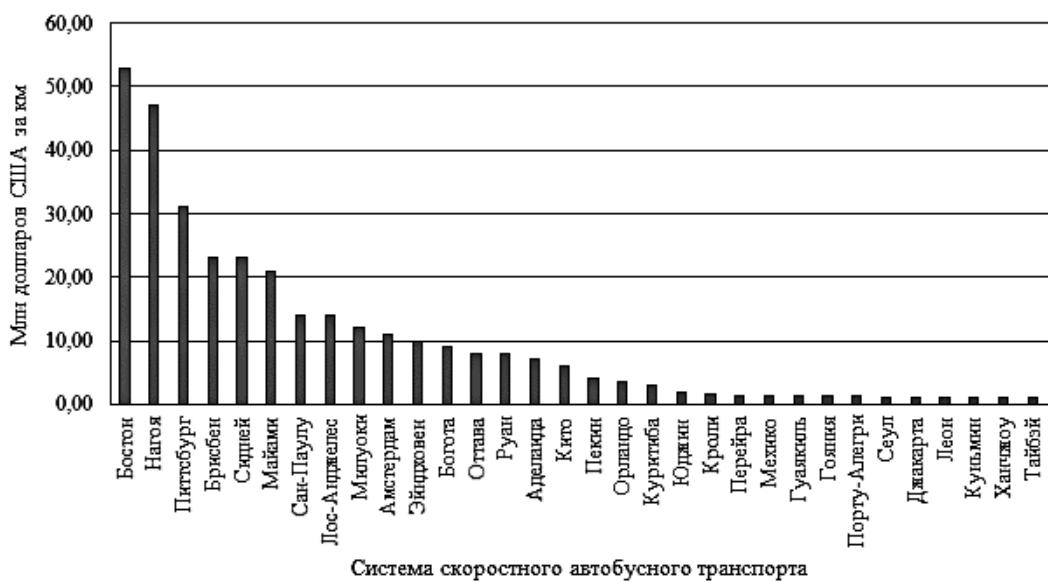
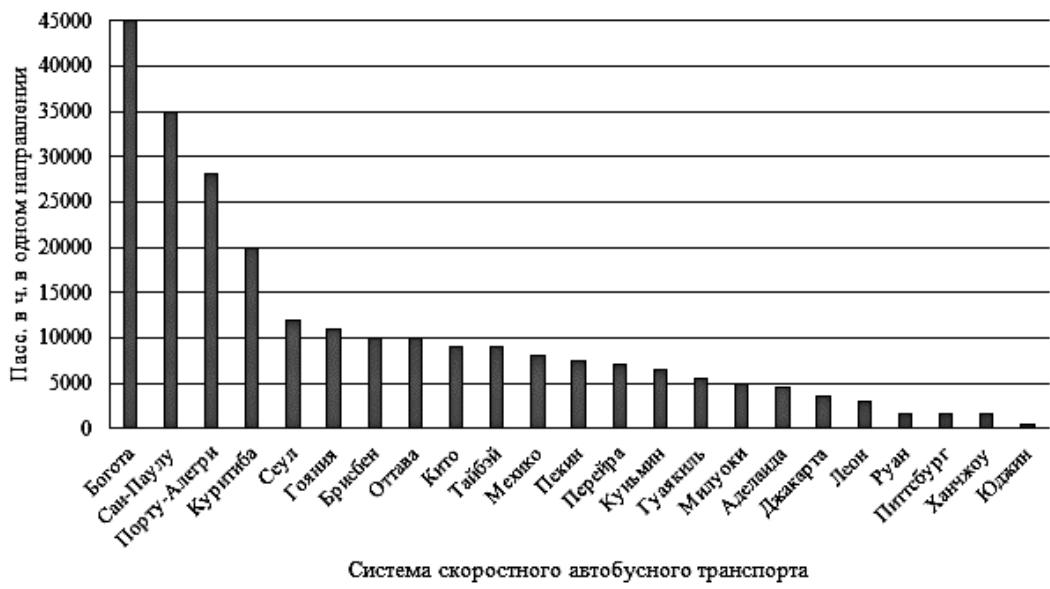


Рисунок 1 - Общие затраты на инфраструктуру за километр (в млн долларов США)



Система скоростного автобусного транспорта

Рисунок 2 - Пиковый пассажиропоток

Опыт указывает на важность систем общественного транспорта для конкуренции с автомобилями на пути к более устойчивой схеме мобильности в городах [5]. Среди вариантов общественного транспорта всё больший интерес вызывает скоростной автобусный транспорт, который имеет признанное значение для лиц, определяющих городскую политику. За последние два десятилетия системы BRT появились во многих городах на шести континентах, особенно в Северной и Южной Америке, Азии и многих других странах Европы, Австралии и Африки [6-8, 10, 12].

Тем не менее, планирование, внедрение и использование системы BRT непросто и требует политического лидерства и последовательности, общественного признания, а также технических и управлеченческих навыков. Существует множество различных схем проектирования и технологий BRT, а также различных финансовых и операционных программ, которые необходимо учитывать в сложной паутине городского планирования и городской экономики, чтобы объединить необходимые городские стратегии, такие как землепользование и интермодальная интеграция [9]. Очевидно, что существует больший потенциал для развития BRT, которое эффективно сформирует форму общественного транспорта во многих городах. Следовательно, будет представлять значительный интерес критическая оценка различных

приложений систем BRT и мониторинг их результатов, каждое из которых внесёт важный вклад в литературу и распространение опыта.

Целями работы являются анализ зарубежного опыта создания и развития систем BRT и определение критериев целесообразности внедрения систем скоростного автобусного транспорта в крупных городах России.

Материал и методы

Научное исследование было проведено на основе принципов системного подхода, методов статистического прогнозирования, элементов структурного анализа литературы о развитии скоростного автобусного транспорта в городах мира, а также методов сравнительного анализа и синтеза, с целью сопоставления характеристик и свойств, существующих BRT и объединение их в одно целое для предложения модели BRT в городах России.

Теория

Преимущества BRT - низкие инвестиционные и эксплуатационные расходы, которые обеспечивают быстрое решение растущих потребностей в мобильности. Такая способность работать без субсидий и достаточная гибкость для реагирования на социальные нужды значительно повысили его политическое признание. Полученный на сегодняшний день опыт подтверждает важность предоставления высококачественных услуг транспорта общего пользования, чтобы оправдать ожидания общества в отношении более широкого использования пассажирского транспорта. Это одна из мотиваций для улучшения качества обслуживания обычных автобусов, работающих в смешанном потоке, и, в большинстве случаев, для предоставления систем BRT в качестве альтернативы железнодорожным системам, требующим более высоких бюджетов. Однако текущие дискуссии о том, следует ли развивать скоростной автобусный транспорт или легкорельсовый транспорт, или рассматривать BRT в основном как систему подъездных маршрутов, всё же кажутся парадоксальными для градостроителей [9-11].

К основным характеристикам систем BRT относятся [3]:

- 1) отделённые от магистралей автобусные полосы;
- 2) быстрая посадка и высадка;
- 3) чистые, безопасные и удобные станции и терминалы;
- 4) эффективный сбор платы за проезд до посадки;
- 5) эффективные режимы лицензирования и регулирования для операторов автобусных перевозок;
- 6) чёткие и заметные вывески и информационные дисплеи в режиме реального времени;
- 7) приоритет транспорта общего пользования на перекрёстках;
- 8) модальная интеграция на станциях и терминалах;
- 9) современные и экологичные технологии в области строительства и эксплуатации автобусного транспорта;
- 10) продуманная рекламная кампания;
- 11) безуказиценное обслуживание пассажиров.

Среди городов, которые приняли системы BRT, Стамбул является одним из недавних крупных городов (с населением 13 млн чел. [12]), которые внедрили систему BRT [6]. Стамбульская система BRT (известная в Турции как *Metrobüs*) уникальна по своей природе, поскольку она проходит через Стамбульский пролив, который является одним из основных водных барьеров, разделяющих город на две основные суши в Азии и Европе.

В то время как споры о сравнении технологий пассажирских автобусных линий с железнодорожными системами продолжаются, сравнительные преимущества по стоимости и способность реагировать на быстро меняющиеся потребности в мобильности, предлагаемые системами BRT, хорошо известны [13]. Стамбул недавно расширил свою 42-километровую сеть BRT, и в настоящее время ведется строительство дополнительных расширений. Стамбульская система BRT *Metrobüs* состоит из трёх основных участков. Первая секция 2007 года была первоначально построена на европейской стороне города через магистраль с высоким спросом, её расширение (вторая секция) было завершено в 2008 г., при этом она подверглась

критике за то, что её предпочли железнодорожным альтернативам. Третий участок 2009 года проходит через один из двух мостов через Стамбульский пролив (пролив Босфор), соединяющих Азию и Европу, благодаря которым *Metrobüs* уникальным образом приобрёл особенность пересечения крупного водного барьера и соединения двух континентов [7]. Стамбульский пролив является основным транспортным узким местом и источником заторов, а *Metrobüs* - единственная транспортная система для пересечений. Вскоре после открытия секции моста вся система зафиксировала пропускную способность 24 000 пассажиров в час и ежедневную пропускную способность 620 000 человек.

Скоростной автобусный транспорт, характеризующийся современными транспортными средствами, выделенными автобусными путями и применением технологий интеллектуальных транспортных систем (ИТС), всё чаще рассматривается как рентабельный подход к предоставлению высококачественных транспортных услуг [14]. Многие города мира в последнее время с переменным успехом запустили амбициозные программы по внедрению системы BRT.

Результаты и обсуждение

Обобщая знания об основных элементах системы BRT, можно сделать вывод о том, что основными характеристиками скоростного автобусного сообщения являются:

- 1) выделенные подъездные пути;
- 2) привлекательные остановочные пункты;
- 3) отличительные транспортные средства, удобные для посадки;
- 4) сбор платы за проезд вне транспортного средства;
- 5) использование ИТС;
- 6) частое обслуживание в течение всего дня.

Большинство систем (более 80 %) имеют какой-либо тип выделенной полосы - либо дорога с интенсивным движением, либо полоса для автобусов; более 75 % предоставляют частные услуги в течение всего дня; и около 2/3 имеют «станции», а не остановки [13,14]. Напротив, только около 40 % имеют отличительные транспортные средства или применяют ИТС; и только 17 % (5 систем) имеют или будут иметь взимание платы за проезд вне транспортных средств. Три существующие системы - *TransMilenio* в Боготе, *Rede Integrada de Transporte* в Куритибе и *Trolebus* в Кито - имеют все шесть основных функций. Несколько разрабатываемых систем (например, Бостон, Кливленд и Юджин) будут иметь большинство элементов BRT.

Во всём мире растет число систем скоростного автобусного сообщения. Обзор данных систем показывает, что BRT может сэкономить время, привлечь новых пассажиров и стимулировать развитие, ориентированное на перемещение пассажиров. Такая система может быть более рентабельной и обеспечивать большую эксплуатационную гибкость, чем железнодорожный транспорт. BRT также может быть дополнительным расширением затрат на железнодорожные пассажирские линии. И, как правило, система может обеспечить достаточную пропускную способность для удовлетворения потребностей в поездках в часы пик [15].

Однако существует потребность в улучшении конструкции транспортного средства и идентичности системы. Во многих системах BRT по-прежнему отсутствуют элементы, часто в результате мер по сокращению затрат, принятых в процессе разработки. Другие соображения включают поддержание высокой средней скорости поездки. Высокие скорости лучше всего достигаются, когда большая часть системы работает на выделенных полосах для пассажирского транспорта. Кроме того, крупные инвестиции в BRT должны быть подкреплены политикой благоустройства территории и парковок, поддерживающей пассажирский транспорт.

Можно ожидать, что в будущем все больше городов будут внедрять системы BRT. Будет расти число полностью интегрированных систем и ещё больше применений отдельных элементов. Эти усилия приведут к существенному улучшению транспортной доступности и мобильности.

В стандарте BRT [16] представлен обзор последних разработок BRT по всему миру, а также обсуждаются текущие вопросы и дискуссии, касающиеся стандартизации всех систем

BRT, в котором делается вывод о том, что правильно спроектированные и эксплуатируемые системы BRT предлагают инновационный подход к предоставлению высококачественных транспортных услуг, сопоставимых с железнодорожными услугами, но при относительно низких затратах и коротких сроках внедрения.

Согласно стандарту [16], для того, чтобы адекватно оценивать любую систему BRT, необходимо унифицировать все составные параметры, присущие таким системам, и составить критериальную оценку по каждому из параметров. Исходя из полученных знаний о составляющих BRT, можно разделить критерии оценки существующих систем BRT по категориям следующим образом:

1) Базовые составные части BRT:

- а) выделенная полоса движения;
- б) правильная трассировка коридора движения пассажирского транспорта;
- в) система оплаты проезда до посадки в транспортное средство;
- г) предоставление пассажирскому транспорту приоритета при движении на перекрёстке;
- д) доступ маломобильных групп населения в салон транспортного средства;
- е) высокая эксплуатационная скорость на всём протяжении маршрута линии BRT;

2) Планирование перевозок:

- а) общее количество маршрутов;
- б) количество экспресс-маршрутов;
- в) наличие центра управления транспортом;
- г) среднесуточное количество перевезённых пассажиров;
- д) потребность линии brt в конкретном районе города;
- е) часы работы пассажирского транспорта;
- ж) связь с другими маршрутами городского пассажирского транспорта;

3) Наличие инфраструктуры:

- а) полосы обгоны возле остановочных пунктов системы brt;
- б) уровень экологичности автобусного транспорта;
- в) расстояние от остановочного пункта системы brt до ближайшего перекрёстка;
- г) осевое размещение остановочных пунктов;
- д) качество дорожного покрытия;

4) Остановочные пункты:

- а) расстояние между остановочными пунктами;
- б) уровень комфорта и безопасности во время пребывания на остановочном пункте;
- в) количество входов и выходов в транспортном средстве;
- г) наличие подъездных остановочных карманов и секций для остановки;
- д) наличие автоматических дверей на остановочных пунктах;

5) Средства коммуникации:

- а) использование собственного бренда системы brt;
- б) оперативное информирование пассажиров;

6) Социальная доступность и интеграция;

7) Социальная доступность:

- а) интеграция с другими видами пассажирского транспорта;
- б) доступность и безопасность пешеходов;
- в) безопасность велосипедистов;
- г) наличие велосипедной дорожки и сопутствующей инфраструктуры;
- д) интеграция с услугами аренды и проката велосипедов.

Несмотря на большое число критериев оценки, существуют т. н. «антикритерии», по которым можно оценить системы BRT за исключением того, что наличие того или иного антикритерия снижает общее количество баллов при оценке [17-19]. Такие антикритерии можно обозначить следующим образом:

- 1) Небольшой пиковый спрос в каждом направлении;
- 2) Переполненность транспортных средств;

- 3) Недостаточный контроль соблюдения требований раздельного пользования проездной частью;
- 4) Значительное расстояние между посадочной платформой и входом в автобус;
- 5) Неудовлетворительное техническое состояние объектов инфраструктуры;
- 6) Низкая частота движения в пиковое и внепиковое время;
- 7) Допущение небезопасного движения велосипедистов;
- 8) Отсутствие данных о безопасности движения;
- 9) Образование скопления автобусов;
- 10) Наличие дублирования системы BRT другими маршрутами транспорта общего пользования.

Изучив критерии оценки функционирующих систем BRT, можно определить подходящие для оценки целесообразности внедрения системы BRT показатели, а именно:

- 1) Затраты на проектирование и строительство дорожной инфраструктуры:
 - а) Строительство обособленных автобусных полос;
 - б) Строительство остановочных пунктов, отвечающих требованиям комфорта и безопасности пассажиров;
 - в) Строительство пунктов оплаты проезда вблизи остановочных пунктов линии BRT;
 - г) Реорганизация светофорного регулирования по всей трассе маршрута линии BRT;
- 2) Изучение пассажиропотока и спроса на автобусные перевозки:
 - а) Определение основных мест тяготения населения и способы подвоза пассажиров к таким местам;
 - б) Оценка пикового и внепикового пассажиропотоков;
 - в) Возможность реорганизации маршрутной сети с введением основных маршрутов BRT, автобусов-экспрессов и подвозящего к линии BRT транспорта;
 - г) График работы наземного пассажирского транспорта;
- 3) Подвижной состав:
 - а) Вместимость подвижного состава;
 - б) Уровень безопасности и комфорта транспортного средства;
 - в) Наличие необходимого оборудования для перевозки различных групп населения;
 - г) Уровень экологичности транспортных средств;
- 4) Затраты на оперативное информирование населения:
 - а) Создание единого центра управления транспортом;
 - б) Размещение электронных стендов с актуальной информацией о маршрутах на остановочных пунктах;
 - в) Создание мобильного приложения для отслеживания передвижения транспортных средств на маршруте;
- 5) Затраты на создание сопутствующих услуг:
 - а) Создание велосипедной и самокатной инфраструктуры;
 - б) Возможность аренды велосипеда или самоката вблизи остановочных пунктов;

Выходы

1) Система BRT способна сочетать в себе уровень обслуживания железнодорожных систем с гибкостью автобусных систем при относительно более низких инвестиционных затратах, при этом скоростной автобусный транспорт, который характеризуется современными транспортными средствами и применением технологий ИТС, всё чаще рассматривается как перспективный подход к предоставлению высококачественных пассажирских перевозок на основе современных транспортных средств.

2) Проект BRT влечет за собой управление разрозненной группой действий для получения скоординированного конечного продукта, сроки и порядок каждой части которого (административные структуры, смета, планы маркетинга и обслуживания клиентов, проектирование маршрута, проектирование автобусных путей и т. д.) должны быть тщательно запланированы и доставлены.

3) Целесообразность внедрения систем BRT зависит от множества критериев и факторов, которые следует рассматривать комплексно, а не по отдельности.

4) При учёте каждого из приведённых критериев оценки целесообразности внедрения системы BRT городские или региональные власти получат необходимую информацию для дальнейшего строительства линии BRT или отказе от данной инициативы в пользу строительства иных линий транспортного перемещения населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горев, А.Э. Городской транспортный комплекс: учебник - М.: КНОРУС, 2022. - 274 с.
2. Спирин, И.В. Научные основы комплексной реструктуризации городского автобусного транспорта: Автореф. дис. д-ра техн. наук. - Москва, 2007. - 39 с.
3. Wright, L. Bus Rapid Transit - GTZ Transport and Mobility Group, 2003. - 48 р.
4. Нарышкин К.А., Попова О.В. Пути повышения эксплуатационной скорости наземного городского пассажирского транспорта общего пользования // Вестник науки. - 2019. - №5(14). - Т. 2. - С. 134-139.
5. Попова, О.В. Разработка методики планирования приоритетного движения наземного общественного транспорта: Автореф. дис. канд. техн. наук. - СПб: С.-Петербург. гос. архитектур.-строит. ун-т., 2003. - 27 с.
6. Babalik-Sutcliffe E., Cengiz E.C. Bus rapid transit system in istanbul: a success story or flawed planning decision? // Transport Reviews. - 2015. - №6. - Vol. 35 - P. 1-23.
7. Alpkokin P., Ergun M. Istanbul Metrobüs: first intercontinental bus rapid transit // Journal of transport geography. - 2012. - №24. - P. 58-66.
8. Sevim İ., Takice-Moğulkoç H., Güray M. scheduling the vehicles of bus rapid transit systems: a case study // Intl. Trans. in Op. Res. - 2022. - №29. - P. 347-371.
9. Levinson H.S. Bus rapid transit: synthesis of case studies // Transportation Research Board, 2003. - 31 р.
10. Xiaoning Z., Zichang L., Hua W. Lessons of bus rapid transit from nine cities in china // Transportation Research Record. - 2013. - №1. - Vol. 2394. - P. 45-54.
11. В Белгороде открыли новый участок с выделенной полосой [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://rg.ru/2020/11/13/reg-cfo/vbelgorode-otkryli-novyj-uchastok-s-vydelennoj-polosoj.html>.
12. Global BRT Data [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://brtdata.org/>.
13. Cervero, R. Bus rapid transit (BRT): An efficient and competitive mode of public transport - Econstor, 2013. - 48 р.
14. Tann, H.M. Characteristics of Bus Rapid Transit for Decision-Making - Federal Transit Administration, 2009. - 410 р.
15. Hensher D.A., Golob T.F. Bus rapid transit systems: a comparative assessment // Transportation. - 2008. - №35. - P. 501-518.
16. Breithaupt, M. BRT Standard - Institute for Transportation and Development Policy, 2016. - 40 р.
17. Flyvbjerg B., Holm M.K.S., Buhl S.L. How common and how large are cost overruns in transport infrastructure projects? // Transport Reviews. - 2003. - №1. - Vol. 23. - P. 71-88.
18. Flyvbjerg B., Holm M.K.S., Buhl S.L. What causes cost overrun in transport infrastructure projects? // Transport Reviews. - 2004. - №1. - Vol. 24. - P. 3-18.
19. Flyvbjerg B., Holm M.K.S., Buhl S.L. Inaccuracy in traffic forecasts // Transport Reviews. - 2006. - №1. - Vol. 26. - P. 1-24.
20. Deng T., Nelson J.D. Recent developments in a bus rapid transit: A review of a literature // Transport Reviews. - 2013. - №1. - Vol. 31. - P. 69-96.

Михневич Игорь Михайлович

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес: 196247, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кубинская, д. 60, кв. 35

Студент

E-mail: igormihnevich@mail.ru

Попова Ольга Валентиновна

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес: 195276, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Демьяна Бедного, д. 22, корп. 1, кв. 155

К.т.н., доцент кафедры транспортных систем

E-mail: o-popova@mail.ru

I.M. MIKHNEVICH, O.V. POPOVA

DETERMINING THE CRITERIA FOR FEASIBILITY OF INTRODUCING BUS RAPID TRANSIT SYSTEM

Abstract. Public transport in many countries of the world today does not inspire much confidence among passengers. Bus transportation is too often unreliable, uncomfortable, and dangerous. In response, transport planners and government officials have sometimes turned to extremely costly passenger transport alternatives such as the subway. However, there is a trade-off between low service levels and high costs. Bus Rapid Transit (BRT) can provide high quality subway-like public transport services at a much lower cost than other options.

Keywords: bus rapid transit, passenger transport, route network, transportation infrastructure, transportation system, transportation service

BIBLIOGRAPHY

1. Gorev, A.E. Gorodskoy transportnyy kompleks: uchebnik - M.: KNORUS, 2022. - 274 s.
2. Spirin, I.V. Nauchnye osnovy kompleksnoy restrukturizatsii gorodskogo avtobusnogo transporta: Avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk. - Moskva, 2007. - 39 s.
3. Wright, L. Bus Rapid Transit - GTZ Transport and Mobility Group, 2003. - 48 p.
4. Naryshkin K.A., Popova O.V. Puti povysheniya ekspluatatsionnoy skorosti nazemnogo gorodskogo passazhirskogo transporta obshchego pol`zovaniya // Vestnik nauki. - 2019. - №5(14). - T. 2. - S. 134-139.
5. Popova, O.V. Razrabotka metodiki planirovaniya prioritetnogo dvizheniya nazemnogo obshchestvennogo transporta: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. - SPb: S.-Peterb. gos. arkhitektur.-stroit. un-t., 2003. - 27 s.
6. Babalik-Sutcliffe E., Cengiz E.C. Bus rapid transit system in istanbul: a success story or flawed planning decision? // Transport Reviews. - 2015. - №6. - Vol. 35 - P. 1-23.
7. Alpkokin P., Ergun M. Istanbul Metrobus: first intercontinental bus rapid transit // Journal of transport geography. - 2012. - №24. - P. 58-66.
8. Sevim ?, Takice-Mo?ulko? H., G?ray M. scheduling the vehicles of bus rapid transit systems: a case study // Intl. Trans. in Op. Res. - 2022. - №29. - P. 347-371.
9. Levinson H.S. Bus rapid transit: synthesis of case studies // Transportation Research Board, 2003. - 31 p.
10. Xiaoning Z., Zichang L., Hua W. Lessons of bus rapid transit from nine cities in china // Transportation Research Record. - 2013. - №1. - Vol. 2394. - P. 45-54.
11. V Belgorode otkryli novyy uchastok s vydelennoy polosoy [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://rg.ru/2020/11/13/reg-cfo/vbelgorode-otkryli-novyj-uchastok-s-vydelennoj-polosoj.html>.
12. Global BRT Data [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://brtdata.org/>.
13. Cervero, R. Bus rapid transit (BRT): An efficient and competitive mode of public transport - Econstor, 2013. - 48 p.
14. Tann, H.M. Characteristics of Bus Rapid Transit for Decision-Making - Federal Transit Administration, 2009. - 410 p.
15. Hensher D.A., Golob T.F. Bus rapid transit systems: a comparative assessment // Transportation. - 2008. - №35. - P. 501-518.
16. Breithaupt, M. BRT Standard - Institute for Transportation and Development Policy, 2016. - 40 p.
17. Flyvbjerg B., Holm M.K.S., Buhl S.L. How common and how large are cost overruns in transport infrastructure projects? // Transport Reviews. - 2003. - №1. - Vol. 23. - P. 71-88.
18. Flyvbjerg B., Holm M.K.S., Buhl S.L. What causes cost overrun in transport infrastructure projects? // Transport Reviews. - 2004. - №1. - Vol. 24. - P. 3-18.
19. Flyvbjerg B., Holm M.K.S., Buhl S.L. Inaccuracy in traffic forecasts // Transport Reviews. - 2006. - №1. - Vol. 26. - P. 1-24.
20. Deng T., Nelson J.D. Recent developments in a bus rapid transit: A review of a literature // Transport Reviews. - 2013. - №1. - Vol. 31. - P. 69-96.

Mikhnevich Igor Mikhailovich
Saint Petersburg State University
Address: Russia, 196247, Saint Petersburg
Student
E-mail: igormihnevich@mail.ru

Popova Olga Valentinovna
Saint Petersburg State University
Address: Russia, 195276, Saint Petersburg
Candidate of technical sciences
E-mail: o-popova@mail.ru

Научная статья

УДК656.13

doi:10.33979/2073-7432-2022-3(78)-3-76-82

И.Е. ИЛЬИНА, Е.Е. ВИТВИЦКИЙ

МЕТОДОЛОГИЯ СТРАТИФИКАЦИИ СУБЪЕКТОВ РФ ПО СОСТОЯНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Аннотация. Предметом исследования является состояние безопасности дорожного движения субъектов Российской Федерации. Проведено исследование показателей аварийности, формирующих уровень состояния дорожного движения регионов РФ и их межрегиональное сопоставление. Выявлена диспропорция в уровне состояния аварийности на автомобильном транспорте. Проведена классификация регионов по признакам, определяющим влияние человеческого фактора на безопасность дорожного движения. При проведении исследований использовались методы статистического и кластерного анализа. Проведенные исследования необходимы для выработки конкретных подходов и рекомендаций в области обеспечения безопасности дорожного движения субъектов РФ.

Ключевые слова: состояние безопасности дорожного движения, ранжирование, классификация, стратификация, субъекты РФ

Введение

Одной из основных задач исследований в рамках обеспечения безопасности дорожного движения является теоретическое, методологическое и эмпирическое обоснование основных принципов и инструментов по отношению к каждому региону РФ. Осуществление гибкой политики регионального обеспечения состояния БДД, основанной на ранжировании регионов России, с учетом их особенностей и ключевых факторов состояния аварийности на автомобильном транспорте является актуальной и инновационной.

В Постановлении Правительства РФ [1] «отнесения городов и регионов Российской Федерации к определенным типам» определяется одним из условий эффективной региональной политики. К основным принципам такой политики отнесен «дифференцированный подход к реализации мер государственной поддержки регионов и муниципальных образований в зависимости от их социально-экономических и географических особенностей» [2].

Исследования типизации и ранжирования регионов по демографической ситуации, уровню инновационного развития, по потенциалу и темпам социально-экономического развития, по уровню жизни населения представлены многочисленными работами ученых [3-8].

Для повышения состояния БДД необходимо обоснованное ранжирование субъектов РФ на основе объективных оценок, что в итоге будет способствовать реализации соответствующего набора мероприятий применительно к каждому региону.

Как показал обзор состояния вопроса [9-13], решение данной задачи требует разработки новых теоретико-методологических подходов, основанных на определении наиболее значимых проблем БДД для различных субъектов Федерации.

Стратегия безопасности дорожного движения в Российской Федерации [14] является основой для формирования и реализации государственной политики в области безопасности дорожного движения на федеральном, региональном, муниципальном и межотраслевом уровнях.

Результаты анализа тенденций изменения показателей состояния безопасности дорожного движения демонстрируют их тесную взаимосвязь с показателями социально-экономического развития региона. Изменение экономической ситуации повлечет за собой соответствующее изменение покупательского спроса на продукцию автомобильной промышленности, уровня мобильности населения, миграционной активности, объема перевозок, что в случае ослабления целенаправленной работы по профилактике аварийности может отрицательно повлиять на состояние безопасности дорожного движения.

Таким образом, требуется усиление системной работы по реализации соответствующих мероприятий, выработка и осуществление новых подходов по направлениям деятельности, с учетом складывающейся ситуации в конкретном регионе РФ.

Цель исследования - упорядочение конечного множества объектов, каждый из которых описывается одинаковым набором признаков при наличии фиксированной совокупности наблюдений, позволяющих измерять значения признаков из заданного набора для каждого объекта.

Материал и методы

В качестве объектов рассматриваются российские регионы; в качестве совокупности наблюдений - временной интервал 2019 г.; в качестве признаков - показатели официальной статистики и вычисляемые на их основе ранги состояния безопасности дорожного движения субъектов Российской Федерации.

При формировании массива данных были отобраны основные показатели состояния безопасности дорожного движения регионов, наблюдаемые системно и представляемые органами внутренних дел Российской Федерации за рассматриваемый период.

Преследуя достижение цели настоящего исследования вся совокупность исходных показателей была разбита на два основных блока, характеризующие соответствующее состояние аварийности с учетом «водителя», как категории участника дорожного движения. Информационную базу исследования составили панельные данные объемом $85 \times 13 \times 1$ (85 субъектов, 13 показателей аварийности, 1 год временного периода наблюдений). Для статистического изучения связи между признаками применялся непараметрический метод - коэффициент ранговой корреляции Спирмена.

Считается, что состояние безопасности дорожного движения во многом определяется дисциплиной и уровнем профессионального мастерства водителей. Водитель является причиной дорожно-транспортных происшествий в 90 % случаев. [15] Следует учесть, что стаж управления автомобилем и возраст водителя непосредственно влияет на вероятность совершения ДТП [15]. Показатели имеют одинаковую размерность. Поэтому достижение сопоставимости данных для всех показателей не вызовет сложности.

Следует учитывать, что административно-территориальные образования Российской Федерации характеризуются различными климатическими условиями и географическим положением, плотностью автомобильных дорог и населения, социально-экономическими показателями. В выборку включены все субъекты РФ.

В настоящем исследовании применяется эмпирический подход. Его основой является совокупность показателей, составляющих базу данных состояния безопасности дорожного движения, обеспечивающих возможность применения методов многомерного статистического анализа с целью выявления и измерения факторов по возрасту водителя, стажу управления автомобилем.

Актуальность формирования системы мониторинга в области обеспечения безопасности дорожного движения и неразрывная связь с общими тенденциями развития страны отмечена многими учеными [16].

Необходимость мониторинга в области безопасности дорожного движения обусловлена важностью определения тенденции аварийности не по общему состоянию, а по отдельным показателям.

Является целесообразным определить рейтинг регионов РФ по отдельным показателям состояния БДД с целью формирования и реализации мероприятий, направленных на повышение БДД. Для этого автором статьи был разработан метод ранжирования регионов РФ по отдельным признакам.

Теория / расчет

На начальном этапе метода в качестве индикаторов приняты два признака:

- количество дорожно-транспортных происшествий с участием водителей со стажем управления до 2-х лет, от 2 до 5 лет, от 5 до 10 лет, от 10 до 15 лет, более 15 лет (по области, Республике, краю, округу Российской Федерации);

- количество дорожно-транспортных происшествий с участием водителей с возрастом 18 - 21 год, 21 - 25 лет, 25 - 30 лет, 30 - 40 лет, 40 - 50 лет, 50 - 60 лет, 60 - 70 лет, старше 70 лет (по области, Республике, краю, округу Российской Федерации);

№3-3(78) 2022 Безопасность движения и автомобильные перевозки

Распределение количества ДТП и тяжести последствий в регионах неоднородно даже внутри одного признака. На втором этапе метода, на основании ранее проведенных расчетов веса показателей признаков (таблица 1) целесообразно в первую очередь провести ранжирование регионов по признакам «возраст водителя 30-40 лет» и «стаж управления выше 15 лет».

Таблица 1 - Показатели, характеризующие состояние БДД по признакам

№ п/п	Показатели	Вес показателя
возраст водителя		
1	от 18 до 21 лет, ед.	0,003
2	от 21 до 25 лет, ед.	0,045
3	от 25 до 30 лет, ед.	0,238
4	от 30 до 40 лет, ед.	0,419
5	от 40 до 50 лет, ед.	0,148
6	от 50 до 60 лет, ед.	0,198
7	от 60 до 70 лет, ед.	0,103
8	старше 70 лет, ед.	0,063
стаж управления автомобилем		
1	до 2-х лет, ед.	0,112
2	от 2 до 5 лет, ед.	0,022
3	от 5 до 10 лет, ед.	0,293
4	от 10 до 15 лет, ед.	0,254
5	свыше 15 лет, ед.	0,332

На третьем этапе метода определялась фактическая степень параллелизма между двумя количественными рядами изучаемых признаков. В зависимости от местонахождения в группе по соответствующему признаку каждому региону присвоен номер. Определена взаимосвязь данных признаков на основе ранговой корреляции Спирмена по Федеральным округам РФ. Установлено что коэффициент корреляции имеет значение $r_s = 0,976$, что обозначает сильную прямопропорциональную связь между признаками «стаж управления» - «возраст водителя». Проверка на значимость подтверждает значимую достоверную связь, так как критическое значение коэффициента корреляции рангов Спирмена, для уровня значимости 0,05, составляет 0,643.

На четвертом этапе разработанного метода предложено оценивать состояние БДД по индикаторам, соответствующим высокому, среднему и низкому уровню аварийности. Расчеты проводились в программе SPSS-статистика. Регионы, попадающие в интервал значения индикаторов 20 % - 100 % будут находиться в «красной» зоне и соответствовать кризисному уровню состояния БДД. Регионы, попадающие в интервал значения индикаторов 5 % - 20 % будут находиться в «желтой» зоне и соответствовать предкризисному уровню состояния БДД. Регионы, попавшие в интервал значения индикаторов до 5% (средняя погрешность измерений) будут находиться в «зеленой» зоне, соответствующей умеренному уровню состояния БДД (табл. 2).

Таблица 2 - Классификация состояния БДД по индикативным показателям

Состояние БДД	Интервалы соотношения пороговых уровней, %		Изображение индикатора
Умеренный уровень	0	5	зеленый
Предкризисный уровень	более 5	20	желтый
Кризисный уровень	более 20	100	красный

Результаты

Результаты расчетов показали, что по признаку «стаж управления автомобилем более 15 лет» кризисный уровень («красная» зона) соответствует 46 регионам РФ. Предкризисный уровень наблюдается у 24 регионов. Умеренный уровень («зеленая» зона) у 15 регионов.

По признаку «возраст водителя - участника ДТП 30-40 лет» кризисный уровень («красная» зона) соответствует 34 регионам РФ. Предкризисный уровень наблюдается у 34 регионов. Умеренный уровень («зеленая» зона) у 17 регионов.

На рисунке 1 представлен алгоритм методики комплексной оценки и межрегиональных сопоставлений показателей состояния БДД.



Рисунок 1 - Алгоритм методики комплексной оценки и межрегиональных сопоставлений показателей состояния БДД

Обсуждение

В общем виде, система мониторинга как постоянного наблюдения рассматривает один из видов управленческой деятельности. Представляет собой сбор информации об управляемых объектах с целью проведения оценки их состояния и прогнозирования дальнейшего развития [17, 18].

Данный вид деятельности необходим для выявления субъектов РФ, требующих первоочередных мер по обеспечению БДД, а также субъектов РФ, где наблюдается положительная динамика в области обеспечения безопасности дорожного движения.

Разработка аналитической базы, представляющей интерес для органов исполнительной власти различных уровней, помогает оценить ситуацию и принять обоснованное решение. Рейтинг является базой для создания региональных стратегий повышения состояния БДД, а также основой создания региональных программ.

Выводы

Проведенное исследование показало наличие существенной неоднородности субъектов РФ по состоянию безопасности дорожного движения, что доказывает необходимость применения дифференцированного подхода при разработке и реализации мероприятий,

направленных на повышение БДД. Классификация регионов по выбранным показателям аварийности на автомобильном транспорте позволила выделить однородные группы территорий, для которых могут быть выработаны общие подходы и рекомендации в области транспортной стратегии и для повышения уровня БДД.

Результаты исследования могут быть использованы при изучении региональных особенностей состояния БДД, а также выработке научно-обоснованных решений для снижения уровня аварийности в регионе. [19]

Полученная классификация дает представление о состоянии БДД в каждом регионе, а также определяет признаки, влияющие на ее формирование с учетом человеческого фактора.

В рамках решения задачи по изучению состояния БДД получены свидетельства о регистрации баз данных, характеризующих уровень состояния БДД в 85 субъектах РФ по показателям «стаж управления автомобилем» и «возраст водителя - участника ДТП».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О содержании, составе, порядке разработки и утверждения стратегии пространственного развития Российской Федерации, а также о порядке осуществления мониторинга и контроля ее реализации: Постановление Правительства РФ от 20 августа 2015 г. №870 (с изменениями и дополнениями) // Собрание законодательства РФ. - 2015. - №35. - Ст. 4989.
2. Об утверждении Основ государственной политики регионального развития Российской Федерации на период до 2025 года: Указ Президента Российской Федерации от 16.01.2017 г. №13 // Собрание законодательства РФ. - 2017. - №4. - Ст. 637.
3. Бахтизин А.Р., Бухвальд Е.М., Кольчугина А.В. Ранжирование субъектов Российской Федерации по потенциалу и темпам социально-экономического развития // Регион: экономика и социология. - 2016. - №2(90). - С. 3-22.
4. Фаттахов Р.В., Низамутдинов М.М., Орешников В.В. Ранжирование регионов России по демографической ситуации с учетом уровня развития социальной инфраструктуры // Мир новой экономики. - 2020. - №14(4). - С. 96-109.
5. Рейтинг инновационного развития субъектов Российской Федерации / Под ред. Л. М. Гохберга. Вып. 4. М.: НИУ ВШЭ, 2016. - 248 с.
6. Голованова Л.А. Дифференциация уровня жизни населения в регионах Дальневосточного Федерального округа // Вестник ТОГУ. - 2019. - №4(55).
7. Старикова, Т.В. Развитие типологии регионов в системе стратегического планирования // Экономика в промышленности. - 2017. - Том 10. - №2. - С. 172-178.
8. Щукина Н.А., Сибирская Е.В., Овешникова Л.В., Тенетова Е.П. Стратификация субъектов Российской Федерации по уровню жизни населения // Регион: системы, экономика, управление. - 2020. - №2(49). - С. 44-56.
9. Порхачева, С.М. Применение комплексных программ при обеспечении безопасности движения на автомобильном транспорте // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. - 2016. - №1. - Т. 3. - С. 192-196.
10. Vitvitskii E., Simul M., Porkhacheva S. Innovative technology for evaluation of capacity of thoroughfares // Transportation research procedia. - 2017. - № 20. - P. 671-675.
11. Белякова А.В., Савельев Б.В. Совершенствование подготовки водителей путем формирования и отработки навыка управления служебным торможением / Под редакцией А.Н. Новикова // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы 4-ой Международной научно-практической конференции. - 2019. - С. 189-196.
12. Ильина И.Е. Влияние элементов системы человек - автомобиль - дорога - среда на достижение прогнозного показателя социального риска на примере Пензенского региона / Под редакцией Е.Е. Витвицкого // Исследование проблем обеспечения эффективности и качества работы автомобильного транспорта: Сборник трудов аспирантов кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте» (с международным участием). - Омск. - 2021. - С. 36-42.
13. Ильина, И.Е. Оценка влияния социальных факторов на достижение показателя социального риска в 2020 и последующие годы на примере Пензенского региона Российской Федерации / Под редакцией Е.Е. Витвицкого // Исследование проблем обеспечения эффективности и качества работы автомобильного транспорта. Сборник трудов аспирантов кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте» (с международным участием). - Омск. - 2021. - С. 43-49.
14. Стратегия безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018 - 2024 годы утвержденная Правительством РФ от 8 января 2018 г. №1-р // Собрание законодательства РФ. - 2018. - №5. - Ст. 774.

15. Ильина И.Е., Лянденбурский В.В., Пылайкин С.А., Евстратова С.А. Анализ аварийности и причины нарушения водителями правил дорожного движения по Пензенской области // Интернет-журнал Науковедение. - 2013. - №1 (14). - С. 68.
16. Крепышева Н.В. Мониторинг состояния и обеспечения безопасности дорожного движения на региональном уровне // Стратегия развития региона. - 2008. - №14(71). - С. 30-37.
17. Shevtsova A.G., Novikov I.A., Borovskoy A.E. Research of influence of time of reaction of driver on the calculation of the capacity of the highway // Transport problems. - 2015. - Vol. 10. - Is. 3. - P. 53-59.
18. Ilina, I.E. Modeling of accident rates involving trucks in order to improve road safety in the Russian Federation // E3S Web Conf. Volume 281, 2021 IV International Scientific Conference «Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development» (CATPID-2021 Part 1).
19. Ilina, I.E Conceptual foundations of the theory of road safety / I.E. Ilina // MATEC Web Conf. The VII International Scientific and Practical Conference «Information Technologies and Management of Transport Systems» (ITMTS 2021) Volume 341, 2021 Published online: 21 July 2021.

Ильина Ирина Евгеньевна

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
Адрес: Россия, 440028, г. Пенза, ул. Г. Титова, 28
К.т.н., зав. кафедрой организации и безопасности движения
E-mail: iie.1978@yandex.ru

Витвицкий Евгений Евгеньевич

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет
Адрес: Россия, 644080, г. Омск, пр. Мира, 5, каб. 3.204
Д-р техн. наук, зав. кафедрой организация перевозок и управления на транспорте
E-Mail: vitvitsky_ee@mail.ru

I.E. ILYINA, E.E. VITVITSKY

METHODOLOGY OF STRATIFICATION OF THE SUBJECTS OF THE RUSSIAN FEDERATION ON THE STATE OF ROAD SAFETY

Abstract. The subject of the study is the state of road safety in the subjects of the Russian Federation. The study of accident rates forming the level of traffic conditions of the regions of the Russian Federation and their interregional comparison is carried out. The disproportion in the level of the accident rate in road transport has been revealed. The classification of regions according to the characteristics determining the influence of the human factor on road safety is carried out. Methods of statistical and cluster analysis were used in the research. The conducted research is necessary to develop specific approaches and recommendations in the field of road safety in the subjects of the Russian Federation.

Keywords: state of road safety, ranking, classification, stratification, subjects of the Russian Federation

BIBLIOGRAPHY

1. О содерзhanii, sostave, poryadke razrabotki i utverzhdeniya strategii prostranstvennogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii, a takzhe o poryadke osushchestvleniya monitoringa i kontrolya ee realizatsii: Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 20 avgusta 2015 g. №870 (s izmeneniyami i dopolneniyami) // Sobranie zakonodatel'stva RF. - 2015. - №35. - St. 4989.
2. Ob utverzhdenii Osnov gosudarstvennoy politiki regional'nogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2025 goda: Uzak Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 16.01.2017 g. №13 // Sobranie zakonodatel'stva RF. - 2017. - №4. - St. 637.
3. Bakhtizin A.R., Bukhval'd E.M., Kol'chugina A.V. Ranzhirovaniye sub"ektor Rossiyskoy Federatsii po potentsialu i tempam sotsial'no-ekonomiceskogo razvitiya // Region: ekonomika i sotsiologiya. - 2016. - №2(90). - S. 3-22.
4. Fattakhov R.V., Nizamutdinov M.M., Oreshnikov V.V. Ranzhirovaniye regionov Rossii po demograficheskoy situatsii s uchetom urovnya razvitiya sotsial'noy infrastruktury // Mir novoy ekonomiki. - 2020. - №14(4). - S. 96-109.
5. Reyting innovatsionnogo razvitiya sub"ektor Rossiyskoy Federatsii / Pod red. L. M. Gokhberga. Vyp. 4. M.: NIU VSHE, 2016. - 248 s.

№3-3(78) 2022 Безопасность движения и автомобильные перевозки

6. Golovanova L.A. Differentsiatsiya urovnya zhizni naseleniya v regionakh Dal`nevostochnogo Federal'nogo okruga // Vestnik TOGU. - 2019. - №4(55).
7. Starikova, T.V. Razvitiye tipologii regionov v sisteme strategicheskogo planirovaniya // Ekonomika v promyshlennosti. - 2017. - Tom 10. - №2. - S. 172-178.
8. Shchukina N.A., Sibirskaya E.V., Oveshnikova L.V., Tenetova E.P. Stratifikatsiya sub"ektor Rossiyskoy Federatsii po urovnyu zhizni naseleniya // Region: sistemy, ekonomika, upravlenie. - 2020. - №2(49). - S. 44-56.
9. Porkhacheva, S.M. Primenenie kompleksnykh programm pri obespechenii bezopasnosti dvizheniya na avtomobil`nom transporte // Alternativnye istochniki energii v transportno-tehnologicheskem komplekse: problemy i perspektivy ratsional`nogo ispol`zovaniya. - 2016. - №1. - T. 3. - S. 192-196.
10. Vitvitskii E., Simul M., Porkhacheva S. Innovative technology for evaluation of capacity of thoroughfares // Transportation research procedia. - 2017. - № 20. - P. 671-675.
11. Belyakova A.V., Savel`ev B.V. Sovershenstvovanie podgotovki voditeley putem formirovaniya i otrobotki navyka upravleniya sluzhebnym tormozheniem / Pod redaktsiey A.N. Novikova // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy 4-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - 2019. - S. 189-196.
12. Il`ina I.E. Vliyanie elementov sistemy chelovek - avtomobil` - doroga - sreda na dostizhenie prognognogo pokazatelya sotsial`nogo riska na primere Penzenskogo regiona / Pod redaktsiey E.E. Vitvitskogo // Issledovanie problem obespecheniya effektivnosti i kachestva raboty avtomobil`nogo transporta: Sbornik trudov aspirantov kafedry «Organizatsiya perevozok i upravlenie na transporte» (s mezhdunarodnym uchastiem). - Omsk. - 2021. - S. 36-42.
13. Il`ina, I.E. Otsenka vliyaniya sotsial`nykh faktorov na dostizhenie pokazatelya sotsial`nogo riska v 2020 i posleduyushchie gody na primere Penzenskogo regiona Rossiyskoy Federatsii / Pod redaktsiey E.E. Vitvitskogo // Issledovanie problem obespecheniya effektivnosti i kachestva raboty avtomobil`nogo transporta. Sbornik trudov aspirantov kafedry «Organizatsiya perevozok i upravlenie na transporte» (s mezhdunarodnym uchastiem). - Omsk. - 2021. - S. 43-49.
14. Strategiya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v Rossiyskoy Federatsii na 2018 - 2024 gody utverzhdenaya Pravitel`stvom RF ot 8 yanvarya 2018 g. №1-r // Sobranie zakonodatel`stva RF. - 2018. - №5. - St. 774.
15. Il`ina I.E., Lyandenburskiy V.V., Pylaykin S.A., Evstratova S.A. Analiz avariynosti i prichiny narusheniya voditelyami pravil dorozhnogo dvizheniya po Penzenskoy oblasti // Internet-zhurnal Naukovedenie. - 2013. - №1 (14). - S. 68.
16. Krepysheva N.V. Monitoring sostoyaniya i obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya na regional`nom urovne // Strategiya razvitiya regiona. - 2008. - №14(71). - S. 30-37.
17. Shevtsova A.G., Novikov I.A., Borovskoy A.E. Research of influence of time of reaction of driver on the calculation of the capacity of the highway // Transport problems. - 2015. - Vol. 10. - Is. 3. - P. 53-59.
18. Ilina, I.E. Modeling of accident rates involving trucks in order to improve road safety in the Russian Federation // E3S Web Conf. Volume 281, 2021 IV International Scientific Conference «Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development» (CATPID-2021 Part 1).
19. Ilina, I.E. Conceptual foundations of the theory of road safety / I.E. Ilina // MATEC Web Conf. The VII International Scientific and Practical Conference «Information Technologies and Management of Transport Systems» (ITMTS 2021) Volume 341, 2021 Published online: 21 July 2021.

Ilina Irina Evgenievna

Penza State University of Architecture and Construction
Address: 440028, Russia, Penza, G. Titova str., 28
Candidate of technical sciences
E-mail: iie.1978@yandex.ru

Vitvitsky Evgeny Evgenievich

Siberian State Automobile and Road University
Address: 644080, Russia, Omsk, Mira Ave., 5, office 3.204
Doctor of technical sciences
E-mail: vitvitsky_ee@mail.ru

Научная статья

УДК 656

doi:10.33979/2073-7432-2022-3(78)-3-83-91

Д.В. КАПСКИЙ

САПР ОЦЕНКИ РЕШЕНИЙ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ И РАЗВИТИЮ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Аннотация. Транспортная система и организация движения несут ответственность за повышенный уровень выбросов вредных веществ в атмосферу, заторы на дорогах и аварийность. Она является основным направлением для непрерывного устойчивого экономического роста за счет оптимизации принимаемых решений по организации движения и оценки их эффективности. Это сдерживается отсутствием автоматизированной системы оценки данных мероприятий на основе учета комплексного критерия - аварийных, экономических, экологических и социальных потерь в дорожном движении. Разработка и внедрение такого САПР позволит принимать оптимальные решения на стадии проектирования и принятия решений, сократить трудоемкость оптимизационных расчетов и сделает возможным обоснование любых решений по критерию минимизации совокупных потерь в транспортной системе.

Ключевые слова: транспортная система, потери, эффективность, организация движения, принятие решений, система автоматизированного проектирования

Введение

В Республике Беларусь за последние 20 лет количество автомобилей увеличилось в 4 раза и превысило 3,5 млн единиц [1]. Этот рост вызвал ряд проблем, связанных с увеличением нагрузки на дорожную сеть, особенно в городах [2]. Снизилась скорость сообщения, ухудшились режимы движения, появились перегрузки, возросло количество аварий. Например, в 2020 году было зарегистрировано 3599 аварий с пострадавшими, в которых погибло 575 человек и 3732 получили травмы различной степени тяжести [3]. Именно поэтому качество транспортных систем выходят на первый план, принося не только положительные, но и отрицательные эффекты в городскую жизнь и деятельность всей страны. А динамичное развитие городских территорий из-за быстрой урбанизации создает серьезные проблемы для предоставления транспортных услуг растущему населению. В связи с этим необходима трансформация методов и средств принятия решений по развитию транспортных систем, требующая комплексного понимания транспортных, экономических, экологических и социальных аспектов для выработки устойчивых решений в сфере организации дорожного движения: координации потоков товаров (грузов) и пассажиров, личного, маршрутного пассажирского и коммерческого (грузового) транспорта. Безусловно это влечет за собой необходимость создания автоматизированной системы по оценке эффективности транспортной системы и принятия решений по организации дорожного движения с учетом четких критериев оценки эффективности (вложение в инфраструктуру, экологические потери, экономические потери, социальные издержки, уровень сервиса и качества предоставляемых услуг пассажирам, перепробега транспорта и перепрохода пешеходов, аварийными потерями и др.) [4].

Материал и методы

Проблема оценки качества транспортных систем и дорожного движения и пути решения. Она была и остается одной из самых неразрешенных. Дело в том, что совокупное качество транспортной системы и дорожного движения определяется несколькими свойствами, в первую очередь аварийностью (физической подверженностью), экологичностью, экономичностью и социологичностью, оценивает степень соответствия дорожного движения своему назначению [2].

Качество каждого из этих свойств определяется по своим «частным» критериям, сопоставить которые чрезвычайно трудно. В этом направлении постоянно проводятся исследования, целью которых является совершенствование «частных» оценочных критериев и поиск новых, комплексных критериев, позволяющих оценить качество дорожного движения в целом.

Например, для оценки *аварийности* используются абсолютные, относительные, удельные и сравнительные показатели. При этом сравнительный показатель, выражаемый

через коэффициент аварийности K_{ab} , предложенный В. Ф. Бабковым [5], показывает, во сколько раз исследуемый участок опаснее эталонного и каково относительное число аварий на исследуемом участке.

Теория

Оценка экологичности дорожного движения осуществляется по двум факторам: приведенному (к СО) объему выбросов вредных веществ в атмосферу и уровню эквивалентного транспортного шума. При оценке выбросов используется удельный (кг (СО)/км) объем выбросов, произведенный транспортным потоком, и объем выбросов, приведенный непосредственно к потребителю - водителям, пассажирам, пешеходам и жителям (посетителям) близлежащих зданий [6, 7]. В работе [8] оценку выбросов предлагается осуществлять отдельно по каждому (примерно 30) из веществ, что просто не позволяет ее выполнить из-за бесконечного множества возможных комбинаций. Оценка транспортного шума проводится, как правило, по его уровню, приведенному к потребителям.

Оценка экономичности дорожного движения выполняется по нескольким критериям, важнейшими из которых являются удельная (на один автомобиль) задержка и удельная остановка [9]. Часто используются суммарные (для всего потока) значения этих показателей. В работе [10] уточнена формула для определения удельной задержки в условиях, близких к перегрузке, и предложено удельную задержку подразделять на две составляющие - вызванную регулированием и вызванную условиями движения. В работах [11, 12] кроме удельной задержки и остановки транспорта используются удельная задержка пешеходов, перепроход пешеходов, перепробег транспорта и перерасход топлива.

Ведется постоянный поиск комплексных критериев, которые бы позволили оценить и качество дорожного движения в целом, и качество его отдельных свойств, поскольку с помощью частных критериев этого сделать невозможно. В работе [13] исследовано наличие корреляции между частными критериями оценки качества отдельных свойств дорожного движения и показана возможность в некоторых случаях замены одних критериев другими, что упрощает задачу оценки качества.

Д. Дрю [14] предложил, пожалуй, самый универсальный на сегодняшний день оценочный критерий качества дорожного движения - «уровень обслуживания» (LOS - «Level of Service»). Под уровнем обслуживания понимают качественное состояние транспортного потока, при котором устанавливаются характерные условия движения. С уровнем обслуживания связаны такие факторы, как скорость движения, прерывание потока, свобода маневра, безопасность движения, комфорт и удобство вождения, затраты на поездку и т.д.

Предложена следующая классификация уровней обслуживания: *A* (свободный поток), *B*, *C* и *D* (устойчивый поток), *E* (неустойчивый поток) и *F* (напряженный поток). Разработаны классификации уровней обслуживания для загородных дорог, городских улиц и пешеходного движения. Уровни обслуживания и методики их применения вошли во все издания американского руководства по регулированию -Highway Capacity Manual (HCM 1950, 1965, 1985, 2000 и др.), и постоянно совершенствуются. Критерий используется при планировании и проектировании объектов улично-дорожной сети, а также для оценки условий движения и качества дорожного движения на линейных и конфликтных объектах.

Одним из недостатков рассматриваемого критерия является его в целом качественная оценка и трудность, а иногда и невозможность количественной оценки эффективности отдельных решений.

В работе [15] предложен оценочный критерий - «уровень удобства движения», - зависящий от нескольких факторов и очень напоминающий «уровень обслуживания». Приведена классификация уровней удобства, согласно которой транспортные потоки делятся на свободные, частично связанные, связанные и плотные (насыщенные). К сожалению, приведенная классификация недостаточно проработана, что делает проблематичным ее практическое использование.

Ю. А. Врубель [3, 11] предложил новый универсальный оценочный критерий - «потери в дорожном движении», - под которыми понимается социально-экономическая стоимость *невынужденных* издержек процесса движения. Этот критерий применим для оценки качества как

дорожного движения в целом, так и отдельных его свойств. Поскольку оценка качества производится в денежном выражении, то можно сопоставлять между собой не только качество отдельных свойств дорожного движения, но и затраты на его достижение. Это обстоятельство делает сопоставление очень наглядным и позволяет легко и быстро оптимизировать (по критерию минимизации *потерь*) принимаемые решения по организации дорожного движения.

Предложенный критерий постепенно внедряется в практику организации дорожного движения и оценки качества (эффективности) транспортных систем. Разработаны методики расчета экономических и экологических *потерь* для большинства типовых объектов и базовые (предварительные) методики расчета аварийных *потерь* для отдельных типовых объектов. В Концепции обеспечения безопасности дорожного движения в Республике Беларусь *потери* признаны основным оценочным критерием качества дорожного движения и указано на необходимость совершенствования методик расчета *потерь* [4, п. 6.4].

Однако, поскольку расчетные исследования довольно трудоемки, внедрение критерия сдерживается отсутствием целостной системы автоматизированного проектирования, которая бы в качестве оценочного критерия качества дорожного движения и эффективности транспортных систем использовала *потери*.

Разработка автоматизированной системы принятия решений В качестве базисного интегратора принятий решений разработана и совершенствуется компьютерная программа «OptiMka». Она предназначена для определения экологических, экономических и аварийных потерь в дорожном движении на регулируемых перекрестках в транспортной системе города и с использованием этих результатов оптимизации по критерию минимизации суммарных потерь параметров управления движением для дальнейшего выбора вариантов организации движения на объекте.

Область применения - организация и безопасность движения; оценка проектных, организационных и управлений (в т.ч. регулировочных) решений по критерию минимизации суммарных потерь в дорожном движении на регулируемых перекрестках. Компьютерная программа позволяет определить экономические, экологические и аварийные потери, которые возникают при проезде транспорта через регулируемые перекрестки и оптимизировать по критерию минимизации потерь параметры управления транспортом, а также конструктивные параметры перекрестка и его обустройства.

Расчет

Расчет ведется комплексно с учетом экономических, экологических и аварийных потерь.

Алгоритм оптимизации основан на табулировании результирующей функции суммарных потерь на перекрестке и определения ее глобального минимума при изменении выбранных входных параметров, например, времен горения зеленого сигнала в светофорных циклах, интенсивностей движения транспортных потоков на перекрестке, конструктивных характеристик перекрестка и т.п.

Входная информация, необходимая для работы программы хранится в файловой базе исходных данных, которая может быть получена как из самой программы, так и от внешних программ, в том числе с дистанционной передачей по сети Интернет по оговоренному интерфейсу. Для составления базы исходных данных могут быть использованы любые программные продукты записывающие информацию в файловом виде по оговоренному интерфейсу, в частности, могут быть использованы базы данных по организации дорожного движения ГАИ МВД РБ.

Программа позволяет автоматизировать расчет экономических, экологических и аварийных потерь при движении на регулируемых перекрестках, получить единый критерий оценки эффективности и оптимизировать по критерию минимизации потерь параметры организации движения транспорта на регулируемых перекрестках, в том числе и конструктивные характеристики перекрестков.

Вспользуется для ввода исходных данных 107 имен переменных. С учетом того, что основные переменные индексированные, например, ширина пешеходного перехода $bp_{[i]}$ - одномерный массив, т.к. имеет численное значение, свойственное каждому из i входов на

№3-3(78) 2022 Безопасность движения и автомобильные перевозки

перекрестке, а коэффициент вариации распределения интенсивности движения для каждой полосы в заданном направлении $I_q [I, p, n]$ - массив трехмерный (с количеством индексов 3), т.к. имеет свое численное значение для каждого направления движения p и для каждой из полос движения p , и для каждого входа i , то. типовое количество значений для этой переменной $I_q [I, p, n]$ на четырехстороннем перекрестке $i=4$ с числом полос $p=3$, тремя возможными направлениями движения $n=3$ (налево, прямо, направо), и общим числом потоков автомобилей на каждом входе 5 будет составлять 20 значений (для случая движения с крайних полос прямо и направо или прямо и налево, а со средних - прямо). Общее число исходных данных для всех переменных равно: 506.

Общий вид главного окна программы OptiMka показан ниже на рисунке 1. Для ввода и изменения исходных данных используется режим «Ввод ИД» (рис. 2).

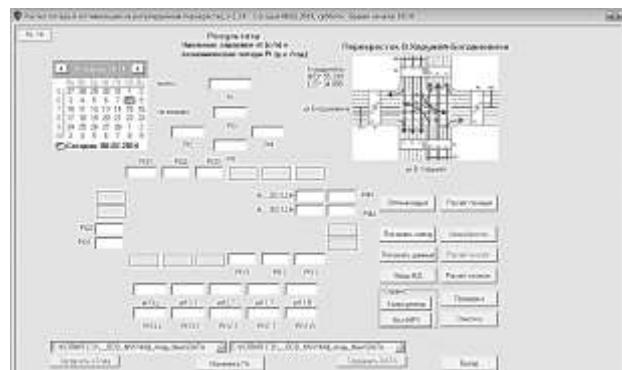


Рисунок 1 - Общий вид главного окна



Рисунок 2 - Вид окна по вводу исходных данных

После окончания ввода или изменения исходных данных можно просмотреть общий список введенных данных или таблицы введенных данных по каждому входу, нажав кнопки с соответствующими названиями. Дополнительный ввод и изменение исходных данных осуществляется в режиме «Показать данные». При этом появляется следующее окно. В левой части находятся исходные данные, а в правой - результаты расчета. На рисунке 3 показан пример окна с исходными данными, которые просматриваются управлением кнопки лифта справа от этого окна. Исходные данные в окне «Исходные данные» можно редактировать вызвав режим «Редактировать». Также имеются подсказки. Ниже для примера показано изменение значения переменной Q_p_{summa} - суммарной интенсивности движения пешеходов (рис. 4).



Рисунок 3 - Окно просмотра исходных данных

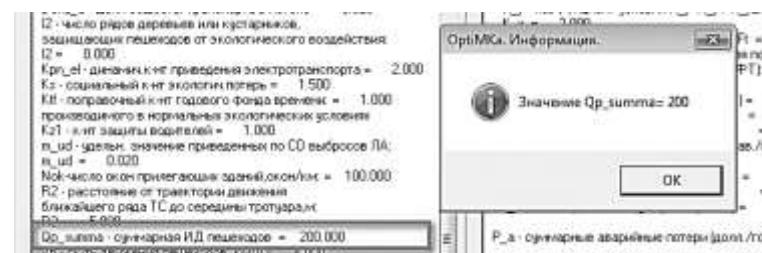


Рисунок 4 - Пример корректировки данных

Подтвердив изменения, нажав «OK» и закрыв просмотр ИД кнопкой «Закрыть» попадаем в главное окно. Для получения результатов расчета нужно завершить ввод всех исходных данных и проверить их значения.

Результаты расчета изменяются после нажатия кнопок «Расчет эконом.», «Расчет эколог.», «Аварийность» или «Расчет полный» на главной панели. В начальный момент доступ-

ны режимы «Расчет эконом.» или «Расчет полный». Об этом говорят неподсвеченные (неактивированные) кнопки режимов «Расчет эколог.» и «Аварийность». Режимы расчета активируются последовательно. Имеются различные режимы расчета потерь на перекрестке: расчет экономических потерь, расчет экологических потерь и потеря от аварийности. Их можно вызывать отдельно (но последовательно для использования результатов расчета предыдущего режима) или выполнять автоматически поочередно в режиме «Расчет полный»

Расчет экономических потерь вызывается нажатием кнопки «Расчет эконом.» (рис. 5). Некоторые из результатов для контроля появляются на главном окне, остальные отображаются после вызова режима «Показать данные». После выполнения режима «Расчет эконом.» в соответствующих окнах с поясняющими надписями появились результаты расчета для контроля. Выделен итоговый результат 531004 для Pt₁ - суммарные экономические потери от задержек у.е./год. Показаны другие контрольные цифры по перекрестку. Более полная информация по результатам расчета появляется при вызове режима «Показать данные». Для сопоставления показаны результаты расчета экономики в окне результаты расчета. Выделен рассчитанный результат для Pt₁ - суммарные экономические потери от задержек у.е./год: = 531004 (рис. 6). Расчет экологических потерь вызывается нажатием кнопки «Расчет эколог.» в главном окне. Расчет потерь от аварийности вызывается нажатием кнопки «Аварийность.». Результаты расчета отображаются после вызова режима «Показать данные».

На рисунке 7 показаны различные участки окна «Результаты расчета», которые появляются при смещении кнопки лифта справа от указанного окна.

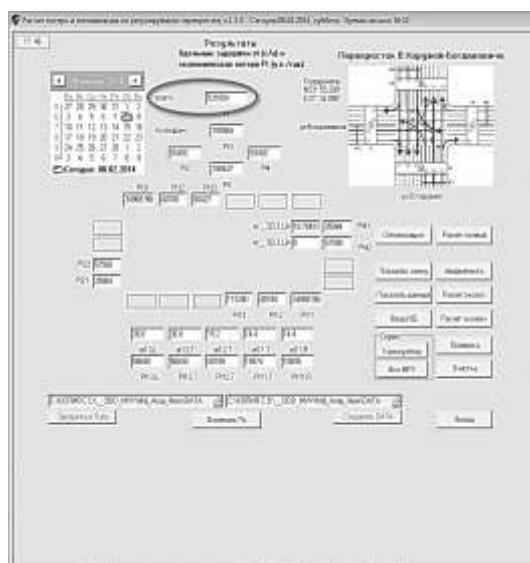


Рисунок 5 - Вид окна по результатам расчета

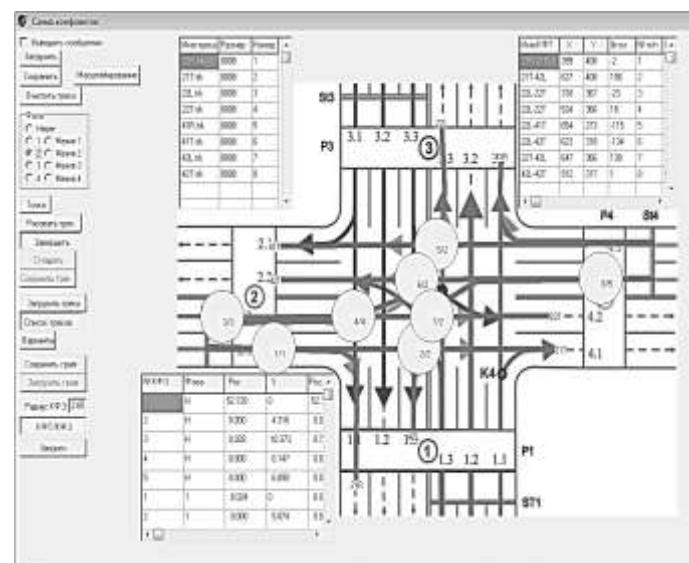


Рисунок 6 - Окно расчета «Аварийность»

При полном расчете в режиме «Расчет полный», а также при расчете потерь от аварийности в режиме «Аварийность» расчет сопровождается появлением графических и числовых иллюстраций выполняемых этапов расчета в соответствие с методикой, изложенной в [2]. Пример появляющегося окна с результатами показан на рис. 7.

Изменяя значения каких-либо параметров перекрестка из списка исходных данных можно анализировать влияние этих изменений на экономические показатели. На рис. 8 и 9 показаны пример результатов исследования зависимостей от различных входных параметров для 4-хстороннего перекрестка. Такие исследования использовались для отладки программной модели расчета и анализа функциональных зависимостей для выбора рациональных диапазонов изменения.

На рисунке 9 показаны зависимости для различных интенсивностей в прямом (q1+3 - суммарная интенсивность по входам 1 и 3) и конфликтующем поперечном (q2+4 - суммарная интенсивность по входам 2 и 4) направлении. Результирующие общие экономические потери P_{res} имеют минимум P_{res}=492415 при времени горения зеленого для прямого направления (которое совпадает по условиям варианта расчета с остальными временами горения зеленого для входов 1 и 3) Tz[1,1,T]= 13,8 с. На рисунке приведена зависимость суммарных годовых

№3-3(78) 2022 Безопасность движения и автомобильные перевозки

экономических потерь от времени горения зеленого Tz1 в прямом направлении, определенная для различных значений времени цикла С на моделируемом перекрестке. Заметно влияние параметров управления светофорным регулированием на критериальную оценку, дающее нелинейное изменение с диапазоном изменения более 10 %. Это делает целесообразным последующую оптимизацию.

Результаты расчетов			
Kig[1,2,T]= 0.00	Kig[1,2,T]= 2.37		
Kig[1,2,T]= 0.00	Kig[1,2,T]= 3.70		
Kig[1,2,T]= 2.72	Kig[1,2,T]= 3.11		
Kig[1,2,T]= 2.99	Kig[2,2,T]= 3.34		
Kig[3,1,T]= 2.64	Kig[3,1,T]= 0.00		
Kig[3,2,T]= 2.37	Kig[2,2,T]= 0.00		
Kig[3,3,T]= 0.00	Kig[3,3,T]= 2.98		
Kig[4,1,T]= 2.72	Kig[4,1,T]= 3.58		
Kig[4,2,T]= 0.00	Kig[4,2,T]= 0.00		
Kig[4,3,T]= 0.00	Kig[4,3,T]= 3.34		
P0_1 - суммарные экономические потери от остановок, у.е./год = 5084			
P0_1 - потери по входам			
P0_1[1] = 204885.47	P0_1[2] = 188399.24	P0_1[3] = 173394.49	P0_1[4] =
P0_1[5] - потери по выходам			
P0_1[6] = 49507.61	P0_1[7] = 49507.64	P0_1[8] = 49506.92	
P0_1[9] = 54587.01	P0_1[10] = 49507.74	P0_1[11] = 49507.74	P0_1[12] = 64179.47
P0_1[13] = 0.00	P0_1[14] = 0.00	P0_1[15] = 0.00	
P0_1[16] - потери по направлениям			
P0_1[17] = 39467.28	P0_1[18] = 21010.52	P0_1[19] = 0.00	
P0_1[20] = 0.00	P0_1[21] = 49507.74	P0_1[22] = 0.00	
P0_1[23] = 0.00	P0_1[24] = 52527.46	P0_1[25] = 49507.74	
P0_1[26] = 39588.79	P0_1[27] = 20293.98	P0_1[28] = 0.00	
P0_1[29] = 0.00	P0_1[30] = 27547.01	P0_1[31] = 27233.47	
P0_1[32] = 0.00	P0_1[33] = 27233.47	P0_1[34] = 0.00	
P0_1[35] = 0.00	P0_1[36] = 49507.74	P0_1[37] = 0.00	
P0_1[38] = 0.00	P0_1[39] = 49507.74	P0_1[40] = 0.00	
P0_1[41] = 0.00	P0_1[42] = 27247.01	P0_1[43] = 27233.47	
P0_1[44] = 0.00	P0_1[45] = 0.00	P0_1[46] = 0.00	
P0_1[47] - суммарные экологические потери от остановок, у.е./год = 5210.			
P0_1 - потери по входам			
P0_1[1] = 188396.64	P0_1[2] = 59452.01	P0_1[3] = 155863.60	P0_1[4] = 9.
P0_1 - потери по выходам			
P0_1[5] = 34963.96	P0_1[6] = 0.00	P0_1[7] = 113279.86	
P0_1[8] = 2.1	P0_1[9] = 35984.13	P0_1[10] = 57907.93	
P0_1[11] = 34963.96	P0_1[12] = 0.00	P0_1[13] = 49507.82	P0_1[14] = 0.00
P0_1[15] = 0.00	P0_1[16] = 49507.82	P0_1[17] = 0.00	
P0_1 - потери по направлениям			
P0_1[18] = 15954.90	P0_1[19] = 15953.50	P0_1[20] = 0.00	
P0_1[21] = 0.00	P0_1[22] = 0.00	P0_1[23] = 0.00	
P0_1[24] = 0.00	P0_1[25] = 56835.93	P0_1[26] = 66339.93	

а

Результаты расчетов	
v_1=4.210	v_1=4.00
v_2=4.210	v_2=4.12
v_3=4.210	v_3=3.31
x[1,1] = 0.51	x[1,2] = 0.56
x[2,1] = 0.51	x[2,2] = 0.52
x[3,1] = 0.51	x[3,2] = 0.51
x[4,1] = 0.52	x[4,2] = 0.52
x_1=4.210	x_1=4.00
x_2=4.210	x_2=4.12
x_3=4.210	x_3=3.31
x_4=4.210	x_4=3.31
x_5=4.210	x_5=3.31
x_6=4.210	x_6=3.31
x_7=4.210	x_7=3.31
x_8=4.210	x_8=3.31
x_9=4.210	x_9=3.31
x_10=4.210	x_10=3.31
x_11=4.210	x_11=3.31
x_12=4.210	x_12=3.31
x_13=4.210	x_13=3.31
x_14=4.210	x_14=3.31
x_15=4.210	x_15=3.31
x_16=4.210	x_16=3.31
x_17=4.210	x_17=3.31
x_18=4.210	x_18=3.31
x_19=4.210	x_19=3.31
x_20=4.210	x_20=3.31
x_21=4.210	x_21=3.31
x_22=4.210	x_22=3.31
x_23=4.210	x_23=3.31
x_24=4.210	x_24=3.31
x_25=4.210	x_25=3.31
x_26=4.210	x_26=3.31
x_27=4.210	x_27=3.31
x_28=4.210	x_28=3.31
x_29=4.210	x_29=3.31
x_30=4.210	x_30=3.31
x_31=4.210	x_31=3.31
x_32=4.210	x_32=3.31
x_33=4.210	x_33=3.31
x_34=4.210	x_34=3.31
x_35=4.210	x_35=3.31
x_36=4.210	x_36=3.31
x_37=4.210	x_37=3.31
x_38=4.210	x_38=3.31
x_39=4.210	x_39=3.31
x_40=4.210	x_40=3.31
x_41=4.210	x_41=3.31
x_42=4.210	x_42=3.31
x_43=4.210	x_43=3.31
x_44=4.210	x_44=3.31
x_45=4.210	x_45=3.31
x_46=4.210	x_46=3.31
x_47=4.210	x_47=3.31
x_48=4.210	x_48=3.31
x_49=4.210	x_49=3.31
x_50=4.210	x_50=3.31
x_51=4.210	x_51=3.31
x_52=4.210	x_52=3.31
x_53=4.210	x_53=3.31
x_54=4.210	x_54=3.31
x_55=4.210	x_55=3.31
x_56=4.210	x_56=3.31
x_57=4.210	x_57=3.31
x_58=4.210	x_58=3.31
x_59=4.210	x_59=3.31
x_60=4.210	x_60=3.31
x_61=4.210	x_61=3.31
x_62=4.210	x_62=3.31
x_63=4.210	x_63=3.31
x_64=4.210	x_64=3.31
x_65=4.210	x_65=3.31
x_66=4.210	x_66=3.31
x_67=4.210	x_67=3.31
x_68=4.210	x_68=3.31
x_69=4.210	x_69=3.31
x_70=4.210	x_70=3.31
x_71=4.210	x_71=3.31
x_72=4.210	x_72=3.31
x_73=4.210	x_73=3.31
x_74=4.210	x_74=3.31
x_75=4.210	x_75=3.31
x_76=4.210	x_76=3.31
x_77=4.210	x_77=3.31
x_78=4.210	x_78=3.31
x_79=4.210	x_79=3.31
x_80=4.210	x_80=3.31
x_81=4.210	x_81=3.31
x_82=4.210	x_82=3.31
x_83=4.210	x_83=3.31
x_84=4.210	x_84=3.31
x_85=4.210	x_85=3.31
x_86=4.210	x_86=3.31
x_87=4.210	x_87=3.31
x_88=4.210	x_88=3.31
x_89=4.210	x_89=3.31
x_90=4.210	x_90=3.31
x_91=4.210	x_91=3.31
x_92=4.210	x_92=3.31
x_93=4.210	x_93=3.31
x_94=4.210	x_94=3.31
x_95=4.210	x_95=3.31
x_96=4.210	x_96=3.31
x_97=4.210	x_97=3.31
x_98=4.210	x_98=3.31
x_99=4.210	x_99=3.31
x_100=4.210	x_100=3.31
x_101=4.210	x_101=3.31
x_102=4.210	x_102=3.31
x_103=4.210	x_103=3.31
x_104=4.210	x_104=3.31
x_105=4.210	x_105=3.31
x_106=4.210	x_106=3.31
x_107=4.210	x_107=3.31
x_108=4.210	x_108=3.31
x_109=4.210	x_109=3.31
x_110=4.210	x_110=3.31
x_111=4.210	x_111=3.31
x_112=4.210	x_112=3.31
x_113=4.210	x_113=3.31
x_114=4.210	x_114=3.31
x_115=4.210	x_115=3.31
x_116=4.210	x_116=3.31
x_117=4.210	x_117=3.31
x_118=4.210	x_118=3.31
x_119=4.210	x_119=3.31
x_120=4.210	x_120=3.31
x_121=4.210	x_121=3.31
x_122=4.210	x_122=3.31
x_123=4.210	x_123=3.31
x_124=4.210	x_124=3.31
x_125=4.210	x_125=3.31
x_126=4.210	x_126=3.31
x_127=4.210	x_127=3.31
x_128=4.210	x_128=3.31
x_129=4.210	x_129=3.31
x_130=4.210	x_130=3.31
x_131=4.210	x_131=3.31
x_132=4.210	x_132=3.31
x_133=4.210	x_133=3.31
x_134=4.210	x_134=3.31
x_135=4.210	x_135=3.31
x_136=4.210	x_136=3.31
x_137=4.210	x_137=3.31
x_138=4.210	x_138=3.31
x_139=4.210	x_139=3.31
x_140=4.210	x_140=3.31
x_141=4.210	x_141=3.31
x_142=4.210	x_142=3.31
x_143=4.210	x_143=3.31
x_144=4.210	x_144=3.31
x_145=4.210	x_145=3.31
x_146=4.210	x_146=3.31
x_147=4.210	x_147=3.31
x_148=4.210	x_148=3.31
x_149=4.210	x_149=3.31
x_150=4.210	x_150=3.31
x_151=4.210	x_151=3.31
x_152=4.210	x_152=3.31
x_153=4.210	x_153=3.31
x_154=4.210	x_154=3.31
x_155=4.210	x_155=3.31
x_156=4.210	x_156=3.31
x_157=4.210	x_157=3.31
x_158=4.210	x_158=3.31
x_159=4.210	x_159=3.31
x_160=4.210	x_160=3.31
x_161=4.210	x_161=3.31
x_162=4.210	x_162=3.31
x_163=4.210	x_163=3.31
x_164=4.210	x_164=3.31
x_165=4.210	x_165=3.31
x_166=4.210	x_166=3.31
x_167=4.210	x_167=3.31
x_168=4.210	x_168=3.31
x_169=4.210	x_169=3.31
x_170=4.210	x_170=3.31
x_171=4.210	x_171=3.31
x_172=4.210	x_172=3.31
x_173=4.210	x_173=3.31
x_174=4.210	x_174=3.31
x_175=4.210	x_175=3.31
x_176=4.210	x_176=3.31
x_177=4.210	x_177=3.31
x_178=4.210	x_178=3.31
x_179=4.210	x_179=3.31
x_180=4.210	x_180=3.31
x_181=4.210	x_181=3.31
x_182=4.210	x_182=3.31
x_183=4.210	x_183=3.31
x_184=4.210	x_184=3.31
x_185=4.210	x_185=3.31
x_186=4.210	x_186=3.31
x_187=4.210	x_187=3.31
x_188=4.210	x_188=3.31
x_189=4.210	x_189=3.31
x_190=4.210	x_190=3.31
x_191=4.210	x_191=3.31
x_192=4.210	x_192=3.31
x_193=4.210	x_193=3.31
x_194=4.210	x_194=3.31
x_195=4.210	x_195=3.31
x_196=4.210	x_196=3.31
x_197=4.210	x_197=3.31
x_198=4.210	x_198=3.31
x_199=4.210	x_199=3.31
x_200=4.210	x_200=3.31
x_201=4.210	x_201=3.31
x_202=4.210	x_202=3.31
x_203=4.210	x_203=3.31
x_204=4.210	x_204=3.31
x_205=4.210	x_205=3.31
x_206=4.210	x_206=3.31
x_207=4.210	x_207=3.31
x_208=4.210	x_208=3.31
x_209=4.210	x_209=3.31
x_210=4.210	x_210=3.31
x_211=4.210	x_211=3.31
x_212=4.210	x_212=3.31
x_213=4.210	x_213=3.31
x_214=4.210	x_214=3.31
x_215=4.210	x_215=3.31
x_216=4.210	x_216=3.31
x_217=4.210	x_217=3.31
x_218=4.210	x_218=3.31
x_219=4.210	x_219=3.31
x_220=4.210	x_220=3.31
x_221=4.210	x_221=3.31
x_222=4.210	x_222=3.31
x_223=4.210	x_223=3.31
x_224=4.210	x_224=3.31
x_225=4.210	x_225=3.31
x_226=4.210	x_226=3.31
x_227=4.210	x_227=3.31
x_228=4.210	x_228=3.31
x_229=4.210	x_229=3.31
x_230=4.210	x_230=3.31
x_231=4.210	x_231=3.31
x_232=4.210	x_232=3.31
x_233=4.210	x_233=3.31
x_234=4.210	x_234=3.31
x_235=4.210	x_235=3.31
x_236=4.210	x_236=3.31
x_237=4.210	x_237=3.31
x_238=4.210	x_238=3.31
x_239=4.210	x_239=3.31
x_240=4.210	x_240=3.31
x_241=4.210	x_241=3.31
x_242=4.210	x_242=3.31
x_243=4.210	x_243=3.31
x_244=4.210	x_244=3.31
x_245=4.210	x_245=3.31
x_246=4.210	x_246=3.31
x_247=4.210	x_247=3.31
x_248=4.210	x_248=3.31
x_249=4.210	x_249=3.31
x_250=	

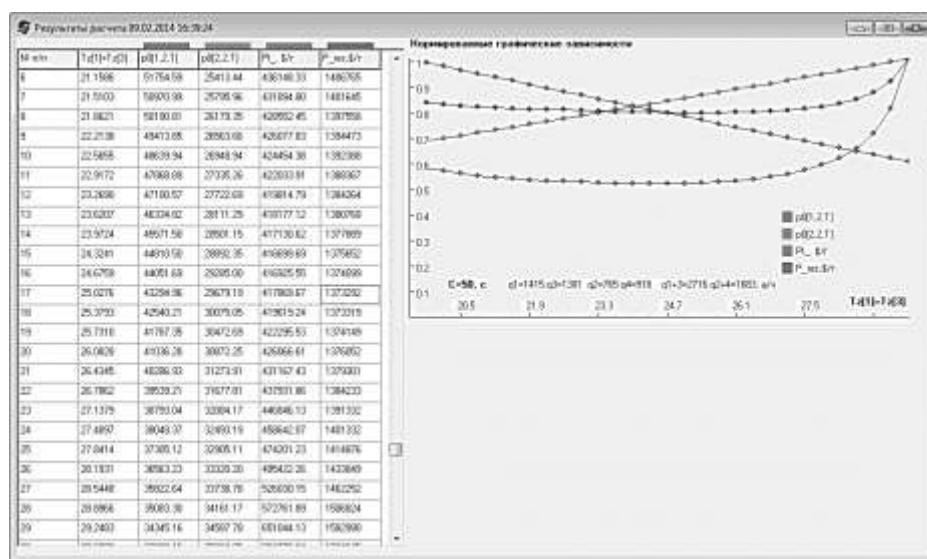


Рисунок 10 - Суммарные потери на транспортном объекте

Существенно при этом, что - суммарные экономические потери от задержек P_t (голубой цвет) и результирующие суммарные потери P_{res} (красный цвет) имеют нелинейный характер изменения с наличием минимума. Уменьшение при этом происходит примерно в диапазоне до 50 % для P_t (примерно на 390000 у.е./год) и 20 % для P_{res} - (примерно на 354000 у.е./год) при изменении времени горения зеленого сигнала в указанном диапазоне. Оптимальное значение времени горения зеленого сигнала - около 25 с.

Результаты и обсуждение

По установленным наиболее значимым факторам построена трехмерная зависимость, показанная на рисунке 11. Для возможности автоматической компьютерной оптимизации в модель введено дополнение по условиям ограничения: при появлении перегрузок ($x > 0.93$) в любом направлении моделирование продолжается, но критерий оценки (результирующие годовые потери P_{res}) принудительно задается равным значению, превышающему максимальные значения при движении без перегрузок. Для данного примера выбрано значение P_{res} , равное 1500 у.е./год (см. таблицу). В 3-мерной зависимости эти значения самые верхние (показаны на цветном графике светло-коричневым цветом) позволяют автоматически находить минимум зависимости при последующей оптимизации. Овражная форма показанных результатов расчета имеет минимум, что подтверждает целесообразность проведения дальнейших оптимизационных расчетов.

Таким образом, программа позволяет также реализовывать режимы управления с помощью оптимизационного расчета параметров светофоров, осуществляемых подобной моделью расчета, причем адаптивно пересчитываемых и изменяемых в зависимости от дорожно-транспортной ситуации.

Выводы

Роль городской транспортной системы повышается с бурно растущими возможностями, связанными с информационно-коммуникационными технологиями, цифровой трансформацией городских пространств и широким применением интеллектуальных транспортных систем. Именно поэтому необходимо разработать соответствующие автоматизированные системы принятия решений, которые бы адекватно показывали тенденции транспортного развития города и транспортного спроса, изменение характеристик дорожного движения, динамическое изменение условий движения, дорожные и геометрические параметры транспортных объектов, позволяя оценивать устойчивость развития транспортной системы и города в целом.

Необходима комплексная оценка качества и оптимизацию принимаемых решений по критерию минимизации суммарных потерь, оценку качества и оптимизацию внедряемых мероприятий по критерию минимизации суммарной стоимости функционирования объекта, что в совокупности позволит повысить качество принимаемых решений по развитию транспортных систем.

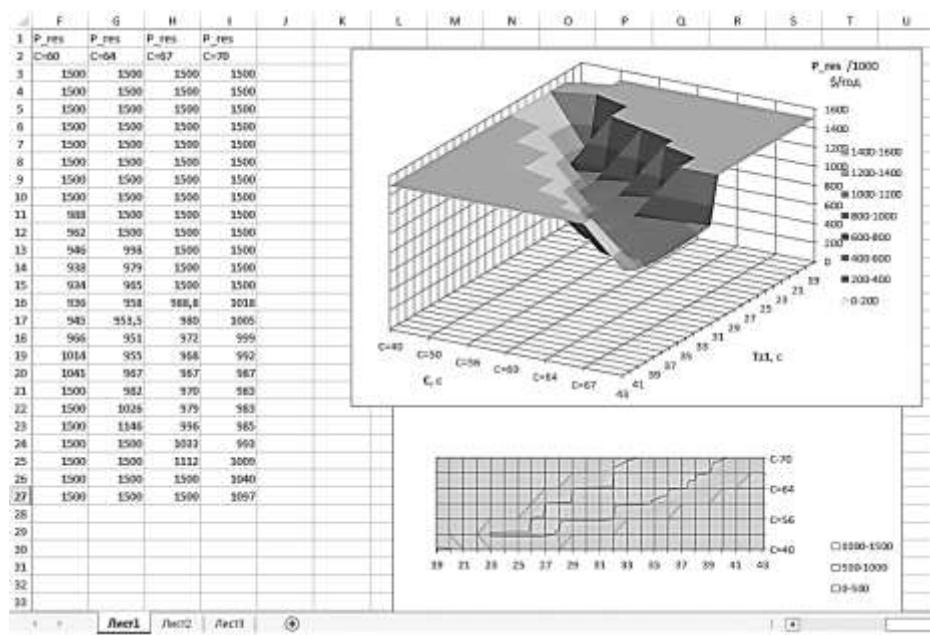


Рисунок 11 - Пример результата оптимизации потерь от времени цикла при нормальном функционировании транспортного объекта

Разработана система автоматизированного проектирования, что позволяет обосновывать принимаемые решения по критерию минимизации суммарных потерь, внедрять оптимальные режимы регулирования, проектные решения транспортных объектов и организаций движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ТРАНСПОРТ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: / Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2020. - Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/e58/e58620b44fc739884f156af60bf23ae1.pdf>
2. Капский, Д.В. Методология повышения качества дорожного движения: Монография - Мин.: БНТУ, 2018. - 372 с.
3. Сведения о состоянии дорожно-транспортной аварийности в Республике Беларусь в 2020 году: аналитический сб. / Сост. М.Ю. Сороговец; под общ. ред. Ю.Г. Назаренко - Минск: МВД Респ. Беларусь, 2021. - 94 с.
4. Капский Д.В., Богданович С.В. Устойчивая логистика умных симбиотических городов // Проблемы безопасности на транспорте: Материалы хі международной научно-практической конференции. В 2 частях - Гомель, 2021. - С. 22-24.
5. Бабков, В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения - М. : Транспорт, 1982. - 288 с.
6. Врублев, Ю.А. Потери в дорожном движении. - Минск: БНТУ, 2003. - 380 с.
7. Сарбаев, В.И. Теоретические основы обеспечения экологической безопасности автомобильного транспорта: монография - М. : МГИУ, 2003. - 144 с.
8. Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферный воздух. Правила расчета выбросов механическими транспортными средствами в населенных пунктах = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Атмасфера. Выкіды забруджувальних рэчываў і цяплічных газаў у атмасфернае паветра. Правілы разліку выкідаў механічнымі транспартнымі сродкамі ў населеных пунктах : ТКП 17.08-03-2006(02120). - Введ. 28.06.06. - Минск: РУП «БелНИЦ «Экология». -18 с.
9. Михайлов, А.Ю. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов - Новосибирск: Наука, 2004. - 267 с.
10. Highway Capacity Manual / TRB. NRC. - Washington, 2000. - 1134 р.
11. Врублев, Ю.А. Опасности в дорожном движении: Монография - Москва: Новое знание, 2013. - 244 с.
12. Boardman, A.E. Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice - 3rd edition. - Upper Saddle River, New Jersey : Prentice Hall, 2005. - 560 р.
13. Зырянов, В.В. Критерии оценки условий движения и модели транспортных потоков. - Кемерово: Кузбас. политех. ин-т, 1993. - 164 с.
14. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими - М.: Транспорт. - пер. с англ., 1972. - 424 с.
15. Сильянов, В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения - М.: Транспорт, 1977. - 303 с.
16. Капский, Д.В. ОптиМКа (OptiMka): свидетельство о регистрации компьютерной программы № 279. - № С20100156; заявл. 29.12.2010; опубл. 18.01.2011 / Наци. центр интеллектуальной собственности).

Капский Денис Васильевич

Белорусский национальный технический университет

Адрес: Республика Беларусь, 220013, г. Минск, проспект Независимости, 65

Д.т.н., доцент, декан автотракторного факультета БНТУ

E-mail: d.kapsky@gmail.com

D.V.KAPSKI

CAD FOR THE EVALUATION OF DECISIONS ON THE ORGANIZATION OF ROAD TRAFFIC AND THE DEVELOPMENT OF TRANSPORT SYSTEMS

Abstract. The transport system and organization of traffic is responsible for the increased level of emissions of harmful substances into the atmosphere, traffic congestion and accidents. It is the main direction for continuous sustainable economic growth by optimizing the decisions made on the organization of traffic and evaluating their effectiveness. Such a system is able to exclude unnecessary trips by private car, increase the attractiveness of route passenger transport, eliminate the generation of unnecessary trips, taking into account the development of individual mobility and non-motorized transport by making optimal decisions on the organization of traffic. This is constrained by the lack of an automated system for evaluating these activities based on a comprehensive criterion - accidental, economic, environmental and social losses in road traffic. The development and implementation of such a CAD system will make it possible to make optimal decisions at the design and decision-making stage, reduce the complexity of optimization calculations and make it possible to justify any decisions based on the criterion of minimizing total losses in the transport system.

Keywords: transport system, traffic organization, stability, mobility, losses, efficiency, traffic, CAD system

BIBLIOGRAPHY

1. TRANSPORT V RESPUBLIKE BELARUS` / Natsional`nyy statisticheskiy komitet Respubliki Belarus` , 2020. - Rezhim dostupa: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/e58/e58620b44fc739884f156af60b f23ae1.pdf>
2. Kapskiy, D.V. Metodologiya povysheniya kachestva dorozhnogo dvizheniya: Monografiya - Mn.: BNTU, 2018. - 372 s.
3. Svedeniya o sostoyanii dorozhno-transportnoy avariynosti v Respublike Belarus` v 2020 godu: analiticheskiy sb. / Sost. M.Yu. Sorogovets; pod obshch. red. Yu.G. Nazarenko - Minsk: MVD Resp. Belarus` , 2021. - 94 s.
4. Kapskiy D.V., Bogdanovich S.V. Ustoychivaya logistika umnykh simbioticheskikh gorodov // Problemy bezopasnosti na transporte: Materialy khi mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. V 2 chastyakh - Gomel` , 2021. - S. 22-24.
5. Babkov, V.F. Dorozhnye usloviya i bezopasnost` dvizheniya - M. : Transport, 1982. - 288 s.
6. Vrubel` , Yu.A. Poteri v dorozhnom dvizhenii. - Minsk: BNTU, 2003. - 380 s.
7. Sarbaev, V.I. Teoreticheskie osnovy obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti avtomobil`nogo transporta: monografiya - M. : MGIU, 2003. - 144 s.
8. Okhrana okruzhayushchey sredy i prirodopol`zovanie. Atmosfera. Vybrosy zagryaznyayushchikh veshchestv i parnikovykh gazov v atmosfernyy vozdukh. Pravila rascheta vybrosov mekhanicheskimi transportnymi sredstvami v naseleennykh punktakh = Akhova navakol`naga asyaroddzya i pryrodakarystanne. Atmasfera. Vykidy zabrudzhval`nykh rechyyva`i tsyaplichnykh gaza`u atmasfernae pavetra. Pravily razliku vykida`y mekhanichnymi transportnymi crodkami y naseleennykh punktakh : TKP 17.08-03-2006(02120). - Vved. 28.06.06. - Minsk: RUP «Bel-NITS «Ekologiya». -18 s.
9. Mikhaylov, A.YU. Sovremennye tendentsii proektirovaniya i rekonstruktsii ulichno-dorozhnykh setey gorodov - Novosibirsk: Nauka, 2004. - 267 s.
10. Highway Capacity Manual / TRB. NRC. - Washington, 2000. - 1134 p.
11. Vrubel` , YU.A. Opasnosti v dorozhnom dvizhenii: Monografiya - Moskva: Novoe znanie, 2013. - 244 s.
12. Boardman, A.E. Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice - 3rd edition. - Upper Saddle River, New Jersey : Prentice Hall, 2005. - 560 r.
13. Zyryanov, V.V. Kriterii otsenki usloviy dvizheniya i modeli transportnykh potokov. - Kemerovo: Kuzbas. politekh. in-t, 1993. - 164 s.
14. Dpyu D. Teoriya transportnykh potokov i upravlenie imi - M.: Tpanspopt. - pep. s angl., 1972. - 424 s.
15. Sil`yanov, V.V. Teoriya transportnykh potokov v proektirovaniy dorog i organizatsii dvizheniya - M.: Transport, 1977. - 303 s.
16. Kapskiy, D.V. OptiMKa (OptiMKa): svidetel`stvo o registratsii komp`yuternoy programmy № 279. - № S20100156; zayavl. 29.12.2010; opubl. 18.01.2011 / Nats. tsentr intellektual`noy sobstvennosti).

Denis Kapski

Belarusian National Technical University (BNTU)

Adress: Republic of Belarus, 220013, Minsk, Nezavisimosti Avenue - 65

Doctor of technical science

E-mail: d.kapsky@gmail.com

Научная статья

УДК 656.025.4

doi:10.33979/2073-7432-2022-3(78)-3-92-104

А.И. МАСЛЕЕВ, А.Д. КУЛЯЗИН, М.П. КАРЕТНИКОВА, А.В. ЛИПЕНКОВ

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА МУРАВЬИНОЙ КОЛОННИИ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТА**

Аннотации. Рассматривается один из мета-эвристических методов решения задачи маршрутизации транспорта - муравьиный алгоритм. Приведены его вариации. Рассмотрен алгоритм метода, его математическая модель и параметры. Рассматриваются этапы алгоритмизации в профессиональной среде моделирования AnyLogic.

Ключевые слова: задача маршрутизации транспорта, муравьиный алгоритм, AnyLogic, 2-opt-heuristic

В настоящее время, при учете сильной экономической конкуренции между компаниями, осуществляющими грузовые перевозки, одним из фактов, снижающих издержки транспортной компании является составление рациональных маршрутов доставки грузов. Задача составления оптимальных маршрутов в науке известна, как задача маршрутизации транспортных средств (*Vehicle Routing Problem, VRP*). Это задача комбинаторной оптимизации и целочисленного программирования, в которой задается вопрос: «Каков оптимальный набор маршрутов для парка транспортных средств одинаковой грузоподъемности, необходимый для полного удовлетворения потребностей заданного набора клиентов?».

История задачи транспортной маршрутизации (*VRP*) начинается со статьи [1], в которой была сформулирована группа задач, впоследствии названная *VRP*. В данной работе рассматривалась задача нахождения оптимальных маршрутов доставки парком бензовозов продукта от конечной станции магистрального трубопровода до большого количества обслуживающих терминалов. Впоследствии, данной задачей, в своих работах, занималось большое количество исследователей [2-5].

VRP может быть представлена в виде взвешенного ориентированного графа $G = (V, A, D)$, где $V = (v_1, v_2, v_3, \dots, v_n)$ - множество вершин, $A = \{(v_i, v_j) : i \neq j\}$ -

множество дуг между вершинами, которые представляют расстояние (время прохождения или стоимость проезда) между вершинами (v_i, v_j) . Вершина v_0 обозначает депо, остальные вершины обозначают города или клиентов. С каждым клиентом v_i ассоциировано некоторое количество неотрицательного спроса q_i , где:

$$\sum_{i=1}^n d_i = D ?$$

где n - размерность множества V .

Цель состоит в нахождении маршрутов с минимальной стоимостью, где:

- каждого клиента посещают ровно один раз на одном автомобиле;
- все маршруты движения транспорта начинаются и заканчиваются в Депо;
- для каждого маршрута транспортного средства общая потребность не превышает грузоподъемность этого транспортного средства Q .

С математической точки зрения, *VRP* относится к классу *NP*-трудных задач, поэтому с ростом размерности задачи, нахождение точного, результата не всегда является возможным (или убрать этот абзац полностью).

С развитием компьютерных технологий, начали набирать популярность мета-эвристические методы решения задачи маршрутизации транспорта. В методах этой группы делается упор на тщательное изучение наиболее перспективных частей пространства решений. Качество (точность) получаемых решений, получается выше, чем полученных классическими эвристиками.

Существует множество мета-эвристических методов решения задачи маршрутизации транспортных средств, наиболее популярными являются следующие:

- генетический алгоритм. Его основоположником принято считать Нильсона Барричелли (*Barricelli Nils*), который в 1954 году, впервые провел работы по симуляции эволюции, и по результатам опытов опубликовал статьи [6, 7]. Данный алгоритм позволяет найти оптимальное (или близкое к оптимальному) решение с помощью последовательного подбора и комбинирования искомых параметров с использованием механизмов, похожих на генетическую эволюцию. Одной из отличительных особенностей генетического алгоритма является использование оператора «кроссовер», который производит операцию рекомбинации решений, роль которой аналогична роли скрещивания в живой природе [8];

- метод имитации отжига. Данный метод представляет собой адаптацию алгоритма Н.Метрополиса (*N.Metropolis*) к решению задачи оптимизации [9]. Он берет за основу процесс охлаждения раскаленного металла, во время которого каждый атом вещества стремится занять наиболее выгодное положение в кристаллической решетке, но при этом может занять и невыгодное с некоторой вероятностью [10];

- поиск с исключениями - данный алгоритм впервые был предложен Ф.Гловером (*Glover F.*) в статьях [11, 12], в них он использует оригинальный подход к исследованию пространства поиска: алгоритм сохраняет информацию о недавно сгенерированных потенциальных решениях (список запретов), возврат к которым на последующих этапах невозможен, пока не кончится временное ограничение. Таким образом, он не останавливается в точке локального оптимума, как это предписано в стандартном алгоритме локального спуска, а путешествует от одного локального оптимума к другому в надежде найти среди них глобальный оптимум [13].

Еще одним ярким представителем мета-эвристическим методом решения задачи маршрутизации транспортных средств является метод муравьиной колонии (*Ant Colony, AC*). Впервые, официально, муравьиный алгоритм был представлен доктором наук *Dorigo* и *Maniezzo* в 1992 году в работах [14, 15], и он был направлен на поиск кратчайшего пути в графе (задачи коммивояжера, *TSP*). И поскольку *TSP* и *VRP* тесно взаимосвязаны, то во втором случае после назначения клиентов автомобилям, задача маршрутизации транспортных средств сводится к нескольким *TS*-задачам.

Принцип данного алгоритма основан на модели поведения муравьиных колоний, ищущих пути от муравейника к пище. Изначально, при поиске источника питания муравьи ходят в случайном направлении и, найдя питание, возвращаются в муравейник. Во время прохода, они помечают пройденные пути феромонами. Этим самым они оставляют информацию для остальной колонии. С течением времени феромоновая тропа испаряется, тем самым уменьшая свою привлекательность для остальных муравьев. Интенсивность испарения прямо пропорциональна времени (длине) прохождения пути от муравейника и обратно. Вследствие этого, феромоновый след на самой быстрой (короткой) дороге будет наиболее плотный. В конечном итоге остается одна кратчайшая тропа.

Рассмотрим эвристику, предложенную *Dorigo* и *Maniezzo* более подробно:

Шаг 0: На начальном этапе идет инициализация входных параметров и переменных, таких как:

- α, β - коэффициенты приоритета;
- Q - грузоподъемность единицы подвижного состава;
- $iter_numb$ - количество внешних итераций;
- p - интенсивность испарения феромонов.

Шаг 1: После инициализации муравьи (агенты) помещаются во все города (клиенты), причем в каждый город может быть помещен только один муравей, нельзя поместить несколько агентов в один город или не поместить вообще.

Шаг 2: Строится изначальное решение (набор маршрутов) задачи маршрутизации. Другими словами, идет распределение клиентов по транспортным средствам.

Происходит это путем случайного добавления клиентов в маршрут до тех пор, пока каждый из них не будет задействован. Всякий раз, когда добавление нового клиента (города) в порядок следования приводит к нарушению максимальной вместимости транспортного средства, ставится «0» (Депо), тем самым имитируется переход к новому маршруту.

После этого шага VRP преобразуется в несколько TSP.

Шаг 3: Для каждого муравья на определенном маршруте ищется путь обхода клиентов (городов) с помощью правила случайной пропорциональности [16], то есть при выборе (еще не посещенного) города учитываются два аспекта:

1) Насколько хорошим будет выбор именно этого города. Это информация, которая хранится в «карте феромонов» τ_{ij} , показывающей концентрацию феромонов на каждой дуге (v_i, v_j) .

2) Видимость - локальная эвристическая функция, обозначаемая η_{ij} . В случае с VRP (или TSP) она определяется, как величина обратная расстоянию (1):

$$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}, \quad (1)$$

где d_{ij} - расстояние между городами i и j .

Вследствие этого вероятность перехода в i -ый город можно представить в виде формулы (2):

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{(\tau_{ij})^\alpha \cdot (\eta_{ij})^\beta}{\sum_{h \in \Omega} (\tau_{ih})^\alpha \cdot (\eta_{ih})^\beta} & \text{if } v_j \in \Omega \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}. \quad (2)$$

На это распределение вероятности влияют параметры α и β , которые определяют относительное влияние следов феромонов и видимости соответственно.

Шаг 4: После того, как в маршруте муравья будут задействованы все вершины, производится обновление «карты» феромонов, которое можно разделить на 2 этапа:

1) **Испарение.** С течением времени, абсолютно все следы феромонов имеют тенденцию к испарению. При обновлении, это учитывается следующим образом:

$$\tau_{ij}^{new} = \tau_{ij}^{old} \cdot (1 - p) \quad (3)$$

2) **Нанесение.** Для каждой дуги, участвующей в маршруте i -ого муравья, в соответствующей ячейке «карты» феромонов, производится нанесение следа согласно формуле (3):

$$\begin{aligned} \tau_{ij}^{new} &= \tau_{ij}^{old} + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k \\ \Delta \tau_{ij}^k &= \frac{1}{L_k} \end{aligned}$$

Шаги 3-4 повторяются в течение заданного количества итерации $iter_numb$. На этом завершается суть базового (основного) метода муравьиной колонии предложенного *Dorigo* и *Maniezzo*.

Результаты первых экспериментов с применением муравьиного алгоритма для решения задачи оптимизации были многообещающими, однако, не лучшими по сравнению с уже существующими методами, оставляя возможности для доработок. Поэтому алгоритмические усовершенствования базового муравьиного алгоритма стали предметом дальнейших исследований *Marko Dorigo* и других специалистов в области комбинаторной оптимизации. В основном, эти усовершенствования связаны с увеличением доли использования историй по-

иска и более тщательным исследованием областей вокруг уже найденных удачных решений. Ниже рассмотрены наиболее примечательные из модификаций.

1. *Elitist Ant System*. Одним из таких усовершенствований является введение в алгоритм так называемых элитных муравьев. Опыт показывает, что проходя ребра, входящие в короткие пути, муравьи с большей вероятностью будут находить еще более короткие пути. Таким образом, эффективной стратегией является искусственное увеличение концентрации феромонов на самых удачных маршрутах. Для этого, на каждой итерации алгоритма, каждый из элитных муравьев проходит путь, являющийся самым коротким из найденных на данный момент.

Эксперименты показывают, что, до определенного уровня, увеличение числа элитных муравьев является достаточно эффективным, позволяя значительно сократить число итераций алгоритма. Однако, если число элитных муравьев слишком велико, то алгоритм достаточно быстро находит субоптимальные решения и застревает в нем [17]. Как и другие изменяемые параметры, оптимальное число элитных муравьев следует определять опытным путем.

Именно эта модификация является объектом исследования, и более подробно будет рассмотрена ниже.

2. *Ant Colony System*. В 1995 году Марко Дориго совместно с М. Гамбарделлой (*M.Gambardella*) опубликовали работу [18], которой они представили муравьиный алгоритм, получивший свое название *Ant Colony System*.

Для повышения эффективности предложенного метода, по сравнению с классическим *AC*, авторами были предложены следующие правила (изменения):

- Правило перехода. В *Ant Colony System*, муравей находящийся в узле r выбирает клиента s для последующего перемещения, согласно формуле (4):

$$s = \begin{cases} \arg \max_{u \in J_k(r)} \{ \tau[r, u] \cdot [\eta(r, u)]^\beta, & \text{если } q \leq q_0 \\ S, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

где q - случайное число, равномерно распределенное в интервале $(0...1)$;

q_0 - параметр задаваемый в интервале $(0 < q_0 < 1)$;

S - случайная величина, выбранная в соответствии с распределением вероятностей;

$\tau[r, u]$ - величина следов феромонов на дуге $r-u$;

$\eta[r, u]$ - видимость, величина аналогичная (1).

Это правило получило название - псевдослучайное пропорциональное распределение.

- Правило глобального обновления феромонов. В конце итерации, концентрация феромонов повышается только на кратчайшем из найденных путей. Это правило вместе с использованием правила псевдослучайной пропорциональности призвано сделать поиск более направленным: муравьи ищут лучший маршрут в окрестностях кратчайшего на данный момент. Нанесение феромонов происходит выполняется после того, как все муравьи завершили свое путешествие в соответствии с формулой (5):

$$\tau(r, s) = (1 - \alpha) \cdot \tau(r, s) + \alpha \cdot \Delta \tau(r, s) \quad (5)$$

$$\Delta \tau(r, s) = \begin{cases} (L_{gb})^{-1}, & \text{если } (r, s) \in \text{лучшему маршруту} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (6)$$

$0 < \alpha < 1$ - параметр испарения феромона, L_{gb} - длина наилучшего маршрута эксперимента.

Уравнение (6) гарантирует то, что только лучшие ребра (дуги) получат усиление феромонов.

- Правило локального обновления феромонов. Обновление феромонов происходит после каждого перехода к клиенту (вершине). При построении решения (обхода) муравьи наносят феромоны на пройденный путь согласно формуле (7)

$$\tau(r, s) = (1 - \rho) \cdot \tau(r, s) + \rho \cdot \Delta \tau(r, s) \quad (7)$$

где $0 < \rho < 1$ - задаваемый параметр.

3. *Max-Min Ant System*. В 1997 году Томас Штюцле (*Tomas Stützle*) и Хольгер Хоос (*Holger Hoos*) опубликовали работы [19, 20]. В данных работах, в алгоритм были внесены следующие изменения:

- В *MMAS* только один муравей используется для обновления следов феромонов. Существуют 2 варианта выбора этого муравья: один, в котором после каждой итерации алгоритма, муравей прошедший лучший (кратчайший) маршрут за данную итерацию наносит феромоны на пройденный путь (8), другой, феромоны наносятся в соответствии с лучшим найденным маршрутом за время эксперимента (9).

$$\tau(r, s) = (1 - \rho) \cdot \tau(r, s) + \rho \cdot \tau(r, s), \quad (8)$$

где $\tau_{kj}^{local} = \frac{1}{L_{best}}$ - величина наносимого феромона, где L_{best} - длина лучшего (кратчайшего) маршрута, найденного на итерации;

$$\tau_{max}^{theo} = \frac{1}{1 - \rho} \cdot \frac{1}{L_{opt}}, \quad (9)$$

где $\tau_{kj}^{global} = \frac{1}{L_{best}}$ - величина наносимого феромона, где L_{best} - длина лучшего (кратчайшего) маршрута, найденного за время итерации.

- В *MMAS* введено ограничение на максимальную (τ_{max}) и минимальную (τ_{min}) концентрацию феромонов на дугах. То есть, для всех значений выполняется следующее условие $\tau_{min} \leq i \leq \tau_{max}$. Теоретическое значение τ_{max} перед первой определяется согласно формуле (10).

$$\tau_{max}^{theo} = \frac{1}{1 - \rho} \cdot \frac{1}{L_{opt}}. \quad (10)$$

Значение τ_{min} определяется исходя из формулы (11):

$$\tau_{min} = \frac{\tau_{max} \cdot (1 - \rho^{des})}{avg \cdot \rho^{des}}, \quad (11)$$

где L_{opt} - лучшее решение найденное за время эксперимента;

$$\rho^{des} = \sqrt[n-1]{\rho_{best}}. \quad (12)$$

Суммарно, все предложенные изменения эффективно защищают алгоритм от преждевременной сходимости и существенно уменьшают время работы алгоритма.

В данной работе, реализован «гибридный» алгоритм метода муравьиной колонии, в частности *Elitist Ant System* и процедуры *2-opt-heuristic*, опубликованный *Bernd Bullnheimer* в работе [21] в 1995 г. Гибридизация является обычной практикой для комбинаторных задач оптимизации, и обладает существенной эффективностью.

Главным отличием *Elitist Ant System* в отличие от классического муравьиного алгоритма является наличие, так называемых элитных муравьев, а также наличие ряда дополнительных параметров и переменных.

Поскольку *VRP*, в отличие от *TSP* имеет некоторые отличительные черты, их необходимо также учесть в решение с целью повышения эффективности алгоритма. В *VRP* важно не только взаимное расположение двух городов, но и также их относительное расположение относительно Депо (v_0). Так называемая «экономия» измеряет и показывает благоприятность объединения двух городов (клиентов) в один маршрут. Математически выигрыш от объединения двух городов в математической формулировке выглядит следующим образом:

$$\mu_{ij} = d_{i0} + d_{0j} - d_{ij}. \quad (13)$$

Высокая экономия показывает, что посещение клиента v_j после клиента v_i - хороший выбор.

Еще одним дополнительным параметром является k_{ij} - показатель общей запасной мощности, численно рассчитываемый по формуле (14):

$$k_{ij} = (Q_i + q_j) / Q \quad (14)$$

где Q_i - общая используемая потребность, включая потребность клиента v_i ;

q_j - потребность клиента v_j .

Высокие значения k_{ij} повышают вероятность выбора вершины v_j после посещения V_i .

С учетом всех вышеизложенных изменений, формула вероятности перехода приобретает следующий вид (15):

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{(\tau_{ij})^\alpha \cdot (\eta_{ij})^\beta \cdot (\mu_{ij})^\gamma \cdot (\kappa_{ij})^\lambda}{\sum_{h \in \Omega} (\tau_{ih})^\alpha \cdot (\eta_{ih})^\beta \cdot (\mu_{ih})^\gamma \cdot (\kappa_{ih})^\lambda} & \text{if } v_j \in \Omega \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (15)$$

Коэффициенты γ и λ устанавливают относительное влияние выигрышей и показателя общей запасной мощности соответственно.

Формула нанесения феромонов в данной модификации муравьиного алгоритма также претерпела изменения, в частности добавляется надбавка за «элитарность»:

$$\tau_{ij}^{new} = \tau_{ij}^{old} + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k + \sigma \cdot \Delta \tau_{ij}^*$$

$\Delta \tau_{ij}^k = \frac{1}{L^*}$ - надбавка, в случае «элитарности» муравья.

В итоге, выбранный для данной работы метод может быть сведен в следующий обобщенный алгоритм, представленный на рис. 2.



Рисунок 2 - Блок-схема метода муравьиной колонии

Второй составляющей «гибридизации» является процедура *2-opt-heuristic*. Данная эвристика формирует, так называемую *2-opt* сеть маршрутов. Сеть маршрутов называется оптимальной, если нет возможности сократить ее протяженность, путем перестановки двух дуг (ребер) местами.

Впервые, данная эвристика появилась в работе [22] под авторством *G. A. Croes*. Хотя свою основу получила в работе [23] *M. M. Flood*, которая заключается в поиске пересечений маршрута, и в последующем их исключении.

В данной работе *2-opt* эвристика используется в конце итерационного процесса по маршрутам. Набор маршрутов, являющийся лучшим (имеющим наименьшую протяженность), проверяется на оптимальность, и улучшается, если это возможно. Только после этого, происходит обновление феромонов.

«Гибридный» алгоритм *Elitist Ants System* может быть описан в следующем схематическом виде (рис. 3):

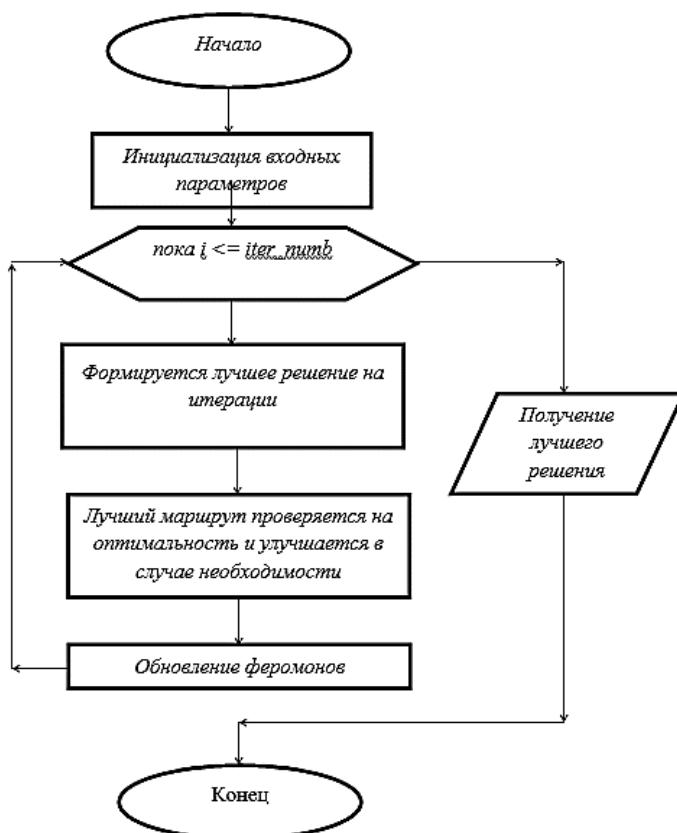


Рисунок 3 - Блок-схема «гибридного» метода муравьиной колонии

Для визуализации полученных результатов, на основе данного алгоритма была построена модель на языке программирования *Java* в профессиональной среде имитационного моделирования *AnyLogic*.

Bernd Bullnheimer в своих исследованиях тестировал «гибридный» алгоритм *Elitist Ants System* на исходных данных для VRP, разработанных *N. Christofides* в 1979 г. [24]. Тестирование построенной нами модели проводилось на базе существующей библиотеки примеров, разработанных *Augerat* специально для VRP в 1995 году [25]. Для каждого примера уже известно оптимальное решение.

Для того чтобы получить результат, близкий к оптимальному, необходимо подобрать коэффициенты влияния различных параметров в формуле вероятностей перехода. В работе [21] были предложены 8 наборов значений (методов расчета) коэффициентов, рассмотрим их подробнее:

1) «*Nearest Neighbor (NN)*» ($\alpha=0, \beta=1, \gamma=0, \lambda=0$). Другими словами, в формуле вероятностей перехода учитывается только видимость, и абсолютно игнорируются следы феромонов.

нов. Вследствие этого, он и получил название «ближайший сосед». Данный метод не совсем правильно относить к муравьиным алгоритмам, однако будем его использовать для сравнительной характеристики.

2) «*Ant System (AS)*» ($\alpha=1, \beta=5, \gamma=0, \lambda=0$). В данном методе расчета учитываются оба параметра базового муравьиного алгоритма, однако больше предпочтения отдается видимости, то есть наибольшее влияние оказывает близкое расположение клиента.

3) «*Hybrid Ant System (HAS)*» ($\alpha=1, \beta=1, \gamma=0, \lambda=0$). Метод аналогичный предыдущему, однако, степень влияния обоих параметров осуществляется в равных долях.

4) «*Hybrid Ant System Savings (HAS-S)*» ($\alpha=1, \beta=5, \gamma=5, \lambda=0$). Данный метод расчета похож на «*Ant System*», за исключением того, что добавляется коэффициент гамма, принимающий максимальное значение. Данный набор обусловлен тем, что в отличие от *TSP*, в *VRP* важное место занимает взаимное расположение клиентов относительно депо, поэтому целесообразно добавление «выигрышей» от объединения двух пунктов в маршрут.

5) «*Hybrid Ant System Capacity (HAS-C)*» ($\alpha=1, \beta=5, \gamma=0, \lambda=5$). Данный метод расчета обусловлен целесообразностью максимального использования грузоподъемности каждой единицы подвижного состава.

6) «*Hybrid Ant System - 1 (HAS-1)*» ($\alpha=1, \beta=5, \gamma=5, \lambda=5$). Вариант расчета усовершенствованным муравьиным алгоритмом, при котором учитываются все параметры в максимальной степени, кроме ориентирования на следы феромонов, степень влияния которого в свою очередь равна единице.

7) «*Hybrid Ant System - 5 (HAS-5)*» ($\alpha=5, \beta=5, \gamma=5, \lambda=5$). В данном методе все параметры участвующие в формуле вероятностей перехода оказывают равное максимальное влияние.

Для наглядного сравнения, все полученные результаты сведены в таблицу 1. Стоит отметить, что в данную таблицу занесены средние результаты из 5 репликаций. Опытная часть проводилась на 25 внешних итерациях и 100000 итерациях процедуры *2-opt heuristic*.

Таблица 1 - Результаты моделирования

Карта	Лучший результат	Полученный результат	▲, ед.	▲, %.	Набор параметров
P-n16-k8	450	450	0	0,0	HAS-S
P-n19-k2	212	213,32	1,32	0,4	HAS-S
P-n20-k2	216	218,41	2,41	0,9	HAS-S
P-n21-k2	211	212,11	1,11	0,4	HAS-S
P-n22-k2	216	218,41	2,41	0,9	HAS-S
P-n23-k8	529	540,19	11,19	2,1	HAS-S
P-n40-k5	458	484,72	42,72	6,9	HAS-S
P-n45-k5	510	534,08	24,08	4,7	HAS-S
P-n50-k7	554	574,43	20,43	3,6	HAS-S
P-n50-k8	631	644,13	13,13	2,1	HAS-S
P-n50-k10	696	711,30	15,30	2,2	HAS-S
P-n51-k10	741	757,09	6,09	2,15	HAS-S
P-n55-k7	568	588,81	20,81	3,5	AS
P-n55-k8	588	598,02	10,02	1,5	AS
P-n55-k10	694	709,52	15,52	2,2	AS
P-n60-k10	744	773,11	29,11	3,9	HAS-5
P-n60-k15	968	988,62	20,62	2,1	HAS-5
P-n70-k10	827	864,30	37,30	4,5	HAS-S
P-n76-k4	593	632,23	39,23	6,6	HAS-S
P-n76-k5	627	647,87	20,87	3,2	HAS-S
P-n101-k4	681	723,91	42,91	6,3	AS

Данные таблицы 1 позволяют сделать вывод о том, что метод муравьиной колонии действительно применим для решения задачи маршрутизации транспорта, и в ряде случаев дает оптимальные решения.

На примерах с малой численностью клиентов (до 23), вариант расчета не играет роли. Каждый из них показал оптимальный результат, за исключением варианта расчета «ближайший сосед», показавшего единственное ненулевое отклонение от оптимального результата. Основополагающими параметрами в таких примерах являются количество внешних итераций, «размерность» процедуры *2-opt* и ненулевое значение коэффициента определяющего степень влияния следов феромонов.

В других примерах, с численностью клиентов от 23 до 51 лучшим вариантом расчета является «*Hybrid Ant System Savings*». Среднее отклонение по данной группе примеров составило 1,6%. Худшим вариантом по-прежнему является «*Nearest Neighbor*». Помимо него наименее точный результат показал «*Hybrid Ant System - 5*» со средним отклонением в 7,7%.

В следующую группу можно отнести примеры с численностью потребителей от 52 до 59 клиентов. Лучшим вариантом расчета для примеров такой размерности является «*Ant System*», показавшим среднее отклонение от оптимального результата 2,2%.

Для группы примеров с 60 клиентами, наиболее оптимальным вариантом расчета показал себя «*Hybrid Ant System - 5*», показавший отклонение 2,9%.

Для примеров, с численностью от 70 до 76 клиентов лучшим вариантом расчета является «*Hybrid Ant System Savings (HAS-S)*». Данный метод показал среднее отклонение от оптимального результата 4,7%.

Для примера с количеством клиентов равным 101 лучшим показал себя «*Ant System*» с отклонением в 6,1 %.

Средние отклонения, полученные в ходе опытной части по всем примерам из библиотеки сведены в таблицу 2.

Таблица 2 - Средние отклонения

NN	AS	HAS	HAS-S	HAS-C	HAS-1	HAS-5
17,24%	5,07%	7,96%	4,08%	8,65%	7,80%	8,02%

Исходя из вышеизложенных данных в таблице 2, можно сделать вывод, что наиболее удачной комбинацией значений коэффициентов является «*Hybrid Ant System Savings*». Как ранее говорилось, это обуславливается тем, что в отличие от *TSP* в задаче маршрутизации транспорта *VRP* огромную роль играет взаимное расположение клиентов относительно депо. Этим объясняется максимальное значение коэффициента β . Следующими по результатам среднего отклонения являются «*Ant System*» и «*Hybrid Ant System - 1*» соответственно. Объединяющим, во всех трех лучших вариантах расчета, является то, что степень влияния следов феромонов принимает минимальное положительное значение. Это обуславливается тем, что данный параметр не всегда правильный «ориентир», в связи с этим риск ухода от оптимального результата или нахождения локального минимума увеличивается.

Наименее точным, помимо «*Nearest Neighbor*», показавшего среднее отклонение 17,24 % является «*Hybrid Ant System Capacity*» с результатом 8,65 %. Это объясняется тем, что не всегда акцент на меньший спрос является правильным путем нахождения глобального оптимума. В некоторых случаях, первоначальный упор необходимо делать на клиентов с максимальным спросом.

Следующим шагом исследования влияния параметров на работу алгоритма, является уточнение лучших полученных значений. Существует несколько стратегий, позволяющих это воспроизвести, однако был использован метод случайного подбора. Для этого в среде AnyLogic был дополнительно создан и настроен эксперимент: для каждой из 100 итераций подбираются значения параметров $(\alpha, \beta, \gamma, \lambda)$ в случайном порядке. Данные, полученные на предыдущем шаге, позволяют сделать вывод о том, что лучшим из предложенных, является набор «*Hybrid Ant System Savings (HAS-S)*» ($\alpha=1, \beta=5, \gamma=5, \lambda=0$). Вследствие этого, есть основания полагать, что именно в пределах этих значений существует набор, дающий наиболее оптимальный вариант. Поэтому для каждого из параметров $(\alpha, \beta, \gamma, \lambda)$, было установлено

максимальное и минимальное значение, которое может принимать параметр. Так, для $\alpha \in \{0,5, 1,5\}$, $\beta \in \{4,5, 5,5\}$, $\gamma \in \{4,5, 5,5\}$, $\lambda \in \{0, 0,5\}$. Стоит отметить, что в эксперименте, на каждой итерации проводится 5 репликации работы алгоритма, что снижает влияние стохастического фактора.

Выбранная стратегия протестирована на примерах *A-n37-k5* и *P-n40-k5*. Полученные результаты сведены в табл. 3 и табл. 4 соответственно.

Таблица 3 - Результаты эксперимента по подбору параметров на карте *A-n37-k5*.

	Минимальное	Среднее	Максимальное	α	β	γ	λ
Результат	672,51	689,31	699,29	0,680	4,946	5,168	0,375
Время	25,97	26,22	26,67				
Результат	674,51	691,79	702,51	1	5	5	0
Время	19,54	22,31	23,58				

Для данного примера оптимальным результатом является 669 у.е. Данные таблицы 3 позволяют сделать вывод о том, что найденные значения параметров действительно показали результат, который превосходит найденный, с использованием набора «*Hybrid Ant System Savings (HAS-S)*». Улучшение составило 0,41% .

Таблица 4 - Результаты эксперимента по подбору параметров на карте *P-n40-k5*

	Минимальное	Среднее	Максимальное	α	β	γ	λ
Результат	469,71	476,77	489,55	0,656	4,939	5,373	0,387
Время	22,46	23,18	23,39				
Результат	473,52	484,72	493,13	1	5	5	0
Время	21,21	22,26	23,13				

Для данного примера оптимальным результатом является 458 у.е. Улучшение между результатом, найденным лучшим из наборов, предложенных в статье [21], и результатом, полученным случайным способом для данного примера составило 1,73 %.

Для обоих примеров заметна тенденция значений параметров, при которых результат решения задачи улучшается (так, α лежит в пределах 0,65 - 0,68, $\beta \approx 4,9$; $5,1 < \gamma < 5,3$; $\lambda \approx 0,38$). Количество полученных сведений и их анализ пока не позволяют сделать однозначного вывода о том, что именно эта комбинация значений параметров является единственным оптимальным набором. Поэтому, более глубокое и комплексное тестирование - будет объектом исследования последующих научных работ.

Еще одним параметром, влияющим на результат, является степень испарения следов феромонов.

В таблице 5 показаны результаты прогонов исходя из различных значений степени испарения.

Таблица 5 - Степень влияния испарения феромонов

p	Результат	Δ , ед.	Δ , %.
0,01	531	21	4,1
0,05	522	12	2,3
0,25	522	12	2,3
0,5	540	30	5,8
0,75	532	22	4,3
0,85	539	29	5,6
0,99	533	23	4,5

Лучшие результаты в 76 % примеров показало значение 0,05. В остальных, наиболее оптимальные результаты показало значение 0,25.

Последним настраиваемым параметром, оказывающим влияние на результат, является количество так называемых «элитных» муравьев. Их количество определяется только опытным путем. Зависимость результата от количества «элитных» муравьев для примеров с 45 и 51 клиентом представлена на таблицах 6, 7 соответственно.

Таблица 6 - Влияние количества «элитных» муравьев на примере с 45 клиентами

σ	Результат	Δ , ед.	Δ , %.
0	514	4	0,78
5	533	23	4,51
10	542	32	6,27
15	538	28	5,49
20	538	28	5,49
25	542	32	6,27
30	546	36	7,06

Таблица 7 - Влияние количества «элитных» муравьев на примере с 51 клиентом

σ	Результат	Δ , ед.	Δ , %.
0	754	13	1,75
5	774	33	4,45
10	776	35	4,72
15	772	31	4,18
20	777	36	4,86
25	759	18	2,43
30	780	39	5,26

По данным таблиц 6 и 7 была построена диаграмма (рис.3), наглядно показывающая зависимость.

Исходя из данных диаграммы, видно, что график имеет 2 локальных минимума:

- 1) при полном отсутствии «элитных» муравьев;
- 2) при количестве, равном половине размерности задачи (количества клиентов).

В подавляющем большинстве примеров (85 %), первый локальный минимум оказался меньше второго. И только в оставшихся 3 примерах ситуация диаметрально противоположная.

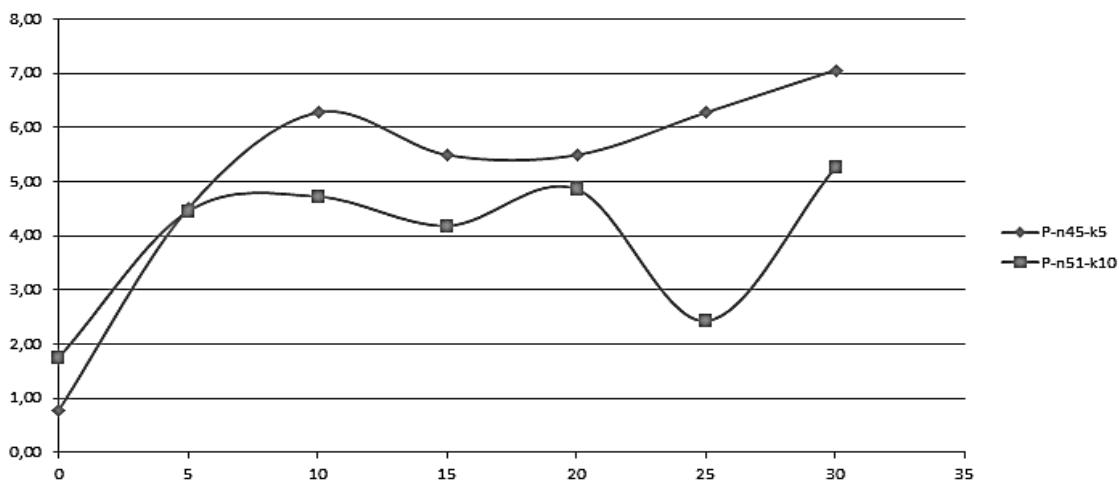


Рисунок 4 - Влияние количества «элитных» муравьев для различных примеров

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dantzig, George Bernard; Ramser, John Hubert. «The Truck Dispatching Problem» (PDF). Management Science. 6(1): 80-91.
2. P. Toth and D. Vigo. The Vehicle Routing Problem. Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, 2002.
3. Bertsimas D.J., Simchi-Levi D. A new generation of vehicle routing research:Robust algorithms addressing uncertainty // Operations Research. - 1996. - № 44. - P. 286-304.
4. Clarke G. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points / G. Clarke, J.W. Wright // Operations Research. - 1964. - № 12 - P. 568-581.
5. Dror M., Levy L. A vehicle routing improvement algorithm. Comparison of a 'Greedy' and a 'Matching' implementation for inventory routing // Computers & Operations Research. - 1986. - №13. - P. 33-45.
6. Barricelli, Nils Aall. Esempi numerici di processi di evoluzione (неопр.) // Methodos. - 1954. - C. 45-68.

7. Barricelli, Nils Aall. Symbiogenetic evolution processes realized by artificial methods (англ.) // Methodos: journal. - 1957. - P. 143-182.
8. Kopfer H., Pankratz G., Erkens E. Entwicklung eines hybriden genetischen algoritmus zur tourenplanung // Oper. Res. Spekt. 16. - 1994. - P 21-31.
9. Metropolis Nicholas, Rosenbluth, Arianna W., Rosenbluth, Marshall N., Teller, Augusta H., Teller, Edward // Equation of state calculations by fast computing machines». The journal of chemical physics. - 1953. - 21(6). - 1087.
10. Osman. Metastrategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem. Ann. Oper. Res. 41 (1993). - P. 421-451.
11. Glover F. Tabu search: part I. ORSA J. Comp. v1. - 1989. - P. 190-206.
12. Glover F. Tabu search: part II. ORSA J. Comp. v2. - 1990. - P. 4-32.
13. Gendreau M., Hertz A., Laporte G. A Tabu search heuristic for the vehicle routing problem. Management Sci. 40. - 1994. - P. 1276-1290.
14. Colorni A., Dorigo M., Maniezzo V. Distributed optimization by ant colonies, actes de la première conférence européenne sur la vie artificielle // Paris, France, Elsevier Publishing. - 1991. - P. 134-142.
15. Dorigo, M. Optimization, Learning and Natural Algorithms, PhD thesis, Politecnico di Milano, Italie, 1992.
16. Dorigo M., Gambardella L.M.. Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem // IEEE Trans. Evol. Comput. 1. - 1997. - 1. - P. 53-66.
17. Dorigo M., Maniezzo V., Colorni A. The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B. - 26. - 1. - C. 29-41. - 1996.
18. Dorigo M., Gambardella L.M. Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem // IEEE Transactions on evolutionary computation. - 1997. - Vol. 1. - 1. - C. 53-66.
19. Stützle T., Hoos H. MAX-MIN Ant System and local search for the traveling salesman problem // IEEE International Conference on Evolutionary Computation. - 1997. - C. 309-314.
20. Stützle T., Hoos H. Improvements on Ant-System: Introducing MAX-MIN Ant System.
21. Bernd Bullnheimer, Richard F. Hartl and christine strauss «Applying the ant system to the vehicle routing problem» Kluwer Academic Publishers 1999.
22. Croes G.A. A method for solving traveling salesman problems // Operations Res. - 6. - 1958. - P. 791-812.
23. Flood M.M. The traveling-salesman problem // Operations Res. - 1956. - 4. - P. 61-75.
24. Christofides N., Mingozi A., Toth P. The vehicle routing problem // Combinatorial Optimization. - 1979. - P. 315-338.
25. Augerat P., Belenguer J., Benavent E., Corberán A., Naddef D., Rinaldi G. Computational results with a branch and cut code for the capacitated vehicle routing problem // Tech. Rep. 949-M, Université Joseph Fourier, Grenoble, France. - 1995.

Маслеев Александр Иванович

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

Адрес: Россия, 603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24.

Магистрант

E-mail: masleev2018@yandex.ru

Кулязин Андрей Дмитриевич

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

Адрес: Россия, 603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24.

Аспирант

E-mail: fcvolga2008@gmail.com

Каретникова Мария Павловна

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

Адрес: Россия, 603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24.

Студент

E-mail: karetnikovamasha@mail.ru

Липенков Александр Владимирович

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

Адрес: Россия, 603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24.

К.т.н., доцент кафедры «Автомобильный Транспорт»

E-mail: _alex1@mail.ru

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE ANT COLONY METHOD FOR THE VRP PROBLEM

Abstract. The paper considers one of the meta-heuristic methods for the VRP problem - the ant colony algorithm. Its variations are given. The algorithm of the method, its mathematical model and parameters are considered. The stage of algoritmiztion are considered in AnyLogic professional modeling environment.

Keywords: ant colony algorithm, AnyLogic, vehicle routing problem, 2-opt-heuristic, ant colony

BIBLIOGRAPHY

1. Dantzig, George Bernard; Ramser, John Hubert. «The Truck Dispatching Problem» (PDF). Management Science. 6(1). - 80-91.
2. P. Toth and D. Vigo. The Vehicle Routing Problem. Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, 2002.
3. Bertsimas D.J., Simchi-Levi D. A new generation of vehicle routing research:Robust algorithms addressing uncertainty // Operations Research. - 1996. - № 44. - P. 286-304.
4. Clarke G. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points / G. Clarke, J.W. Wright // Operations Research. - 1964. - № 12 - P. 568-581.
5. Dror M., Levy L. A vehicle routing improvement algorithm. Comparison of a 'Greedy' and a 'Matching' implementation for inventory routing // Computers & Operations Research. - 1986. - №13. - P. 33-45.
6. Barricelli, Nils Aall. Esempi numerici di processi di evoluzione (neopr.) // Methodos. - 1954. - S. 45-68.
7. Barricelli, Nils Aall. Symbiogenetic evolution processes realized by artificial methods (angl.) // Methodos: journal. - 1957. - P. 143-182.
8. Kopfer H., Pankratz G., Erkens E. Entwicklung eines hybriden genetischen algorithmus zur tourenplanung // Oper. Res. Spekt. 16. - 1994. - R 21-31.
9. Metropolis Nicholas, Rosenbluth, Arianna W., Rosenbluth, Marshall N., Teller, Augusta H., Teller, Edward // Equation of state calculations by fast computing machines". The journal of chemical physics. - 1953. - 21(6). - 1087.
10. Osman. Metastrategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem. Ann. Oper. Res. 41 (1993). - P. 421-451.
11. Glover F. Tabu search: part I. ORSA J. Comp. v1. - 1989. - R. 190-206.
12. Glover F. Tabu search: part II. ORSA J. Comp. v2. - 1990. - P. 4-32.
13. Gendreau M., Hertz A., Laporte G. A Tabu search heuristic for the vehicle routing problem. Management Sci. 40. - 1994. - R. 1276-1290.
14. Colorni A., Dorigo M., Maniezzo V. Distributed optimization by ant colonies, actes de la premiore conference europeenne sur la vie artificielle // Paris, France, Elsevier Publishing. - 1991. - R. 134-142.
15. Dorigo, M. Optimization, Learning and Natural Algorithms, PhD thesis, Politecnico di Milano, Italie, 1992.
16. Dorigo M., Gambardella L.M.. Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem // IEEE Trans. Evol. Comput. 1. - 1997. - 1. - R. 53-66.
17. Dorigo M., Maniezzo V., Colorni A. The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B. - 26. - 1. - S. 29-41. - 1996.
18. Dorigo M., Gambardella L.M. Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem // IEEE Transactions on evolutionary computation. - 1997. - Vol. 1. - 1. - S. 53-66.
19. Stotzle T., Hoos H. MAX-MIN Ant System and local search for the traveling salesman problem // IEEE International Conference on Evolutionary Computation. - 1997. - S. 309-314.
20. Stotzle T., Hoos H. Improvements on Ant-System: Introducing MAX-MIN Ant System.
21. Bernd Bullnheimer, Richard F. Hartl and christine strauss «Applying the ant system to the vehicle routing problem» Kluwer Academic Publishers 1999.
22. Croes G.A. A method for solving traveling salesman problems // Operations Res. - 6. - 1958. - R. 791-812.
23. Flood M.M. The traveling-salesman problem // Operations Res. - 1956. - 4. - R. 61-75.
24. Christofides N., Mingozzi A., Toth P. The vehicle routing problem // Combinatorial Optimization. - 1979. - R. 315-338.
25. Augerat P., Belenguer J., Benavent E., Corberan A., Naddef D., Rinaldi G. Computational results with a branch and cut code for the capacitated vehicle routingproblem // Tech. Rep. 949-M, Universite Joseph Fourier, Grenoble, France. - 1995.

Masleev Alexander Ivanovich

Nizhniy Novgorod State Technical University
Adress: Russia, 603155, Nizhniy Novgorod, Minina st., 24
Master's student
E-mail: masleev2018@yandex.ru

Karetnikova Maria Pavlovna

Nizhniy Novgorod State Technical University
Adress: Russia, 603155, Nizhniy Novgorod, Minina st., 24
Student
E-mail: karetnikovamasha@mail.ru

Kulyazin Andrey Dmitrievich

Nizhniy Novgorod State Technical University
Adress: Russia, 603155, Nizhniy Novgorod, Minina st., 24
Postgraduate student
E-mail: fcvolga2008@gmail.com

Lipenkov Alexander Vladimirovich

Nizhniy Novgorod State Technical University
Adress: Russia, 603155, Nizhniy Novgorod, Minina st., 24
Candidate of technical sciences
E-mail: _alex1_@mail.ru

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2022-3(78)-3-105-109

А.В. ДОМБАЛЯН, Е.Е. ШАТАЛОВА

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В ГОРОДАХ С УЧЕТОМ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Аннотация. Рассмотрены организационные мероприятия по сокращению негативного влияния автотранспорта на воздушную среду. На примере г. Ростова-на-Дону проведено макромоделирование транспортных потоков с оценкой выбросов загрязняющих веществ от двигателей внутреннего сгорания с применением программного комплекса COPERT 4.

Ключевые слова: методы по организации дорожного движения, транспортный поток, улично-дорожная сеть, выбросы загрязняющих веществ

Введение

Развитие и эффективное функционирование современного города не возможно без транспорта. Перевозки в городах являются крайне сложной услугой и требуют профессионального подхода. Транспортные заторы, вызванные высоким уровнем автомобилизации, а также строением и состоянием основных и обездных дорог зачастую становятся основной проблемой крупных городов. Разработка комплексных схем организации дорожного движения является одной из основных составляющих успешного развития городов.

Материал и методы

Сетевые методы по организации дорожного движения: организация движения грузового транспорта; введение одностороннего движения; организация трехполосных схем организации движения; маршрутное ориентирование позволяют снизить уровень загрузки и повысить уровень обслуживания и качество окружающей воздушной среды. Мероприятия по организации дорожного движения в современных условиях имеют высокую экологическую эффективность. В зависимости от масштаба и сложности этих мероприятий можно добиться снижения выбросов на 10-25 %.

Расчеты показали, что к 2032 г. в городе Ростове-на-Дону доля участков улично-дорожной сети (УДС) с уровнем удобства А увеличится на 22 %, с уровнем удобства В, С - увеличится на 2 %, с уровнем удобства D - сократится на 15 %, с уровнем удобства E - уменьшится на 8 %.

Распределение значений интенсивности движения показало, что в г. Ростове-на-Дону в часы пик на 57-70 % участков УДС наблюдается интенсивность движения грузовых транспортных средств до 14 ч 28 ед/ч, более 50 ед/ч наблюдается на 6 % участков. Введение маршрутов для движения грузовых автомобилей может послужить снижению уровня загрузки до 8 % на 116 км основных магистралей.

Реализация трёхполосных схем организации движения позволяет увеличить пропускную способность сечения дороги до 30%, тем самым даст возможность снизить уровень загрузки и сократить время движения по участку УДС.

Повышение уровня обслуживания на значительной части сети повлечет за собой снижение заторовых и предзаторовых ситуаций, увеличение скорости сообщения и сокращение времени передвижения всеми участниками движения [2]. От этих показателей на прямую зависит снижение объема выбросов загрязняющих веществ от двигателей внутреннего сгорания.

Теория

Для обоснования конкретного проектного решения было применено моделирование движения. Моделирование движения требует получения дополнительных данных, а также включает такой сложный этап как калибровка созданной модели. Были применены следующие основные подходы и модели анализа транспортных ситуаций:

- аналитические детерминированные модели, входящие в нормативные и методические документы для решения относительно простых задач прогнозирования транспортной нагрузки, пропускной способности;

- модели транспортного спроса для транспортного планирования при разработке проектов развития сети;

- модели оптимизации параметров светофорного регулирования;

- макромодели, основанные на зависимостях между интенсивностью, плотностью и скоростью для оценки условий движения на определенных участках дороги.

Расчет

Снижение выбросов загрязняющих веществ (ЗВ), рассчитанное при организации движения грузового транспорта способом макромоделирования с применением программного комплекса COPERT 4, основанного на европейской методике оценки выбросов ЗВ от автотранспорта Емер Corinair [7], представлено в таблице 1.

Таблица 1 - Снижение выбросов загрязняющих веществ

Мероприятие - организация движения грузовых ТС	Вид ЗВ и количество, т				
	CO ₂	CO	NOx	PM	VOC
Без мероприятий	6743,591	8,521	38,918	0,333	0,519
С мероприятиями	5763,121	6,696	33,028	0,276	0,416
Сокращение выбросов, т	980,47	1,825	5,89	0,057	0,103

К 2032 году протяженность маршрутной сети г. Ростова-на-Дону должна увеличиться на 108 км и составить 500,5 км. На большей части протяжённости маршрутной сети должны эксплуатироваться автобусы большой вместимости. Для повышения эффективности автобусных маршрутов необходимо обеспечивать на новых участках приоритетные условия движения маршрутных транспортных средств (при реализации полос приоритетного движения скорость сообщения автобуса увеличивается на 9,53 км/ч), скоростного трамвая (скорость сообщения трамвая при обособленном движении составит не менее 24 км/ч). В настоящее время задержка от светофорного регулирования в среднем составляет 50 секунд (0,83 мин) на каждый узел, то после ввода приоритета задержка сокращается до 5 секунд (0,083 мин). Уменьшаются выбросы во время простоя на пресечении [4-6]. В среднем через каждый узел проходит около 100 автобусов большой вместимости (табл. 2).

Таблица 2 - Снижение выбросов загрязняющих веществ

Мероприятие - приоритетное движение ТСОП по выделенным полосам	Вид ЗВ и количество, т/год				
	CO ₂	CO	NOx	PM	VOC
Без выделения полос	247694,644	853,407	363,955	3,992	92,295
С выделением полос	182799,503	431,737	267,843	3,084	53,414
Сокращение выбросов, т/год	64895,141	421,67	96,112	0,908	38,881
Мероприятие - приоритетное движение ТСОП в регулируемых узлах	CO ₂	CO	NOx	PM	VOC
Без приоритета в узлах	201402,476	693,932	295,932	3,246	75,046
С приоритетом в узлах	209826,667	689,528	245,416	2,844	79,258
Сокращение выбросов, т/год	-8424,191	4,404	50,516	0,402	-4,212
Общее сокращение выбросов, т/год	56470,95	426,074	146,628	1,31	34,669

В соответствие с результатами моделирования, при обеспечении приоритета в узлах для автобусов, скорость легковых автомобилей падает с 24,96 км/ч до 21,07 км/ч. Из-за высокой интенсивности легковых автомобилей, валовый выброс CO₂ и VOC увеличивается, но в общем обеспечивается сокращение выбросов загрязняющих веществ.

48 трамваев (по вместимости) соответствует 96 автобусам на маршрутной сети протяженностью 25 км. 85 трамваев по вместимости соответствует 170 автобусам на маршрут-

ной сети протяженностью 50 км. Это приведет к улучшению экологической ситуации воздушного бассейна города, таблица 3.

Таблица 3 - Снижение выбросов загрязняющих веществ при развитии трамвая

Мероприятие - замена автобусов трамваями	Вид ЗВ и количество, т/год				
	CO ₂	CO	NOx	PM	VOC
Сокращение выбросов (замена 96 автобусов), т/год	14613,8	20,1	94,927	0,773	1,104
Сокращение выбросов (замена 170 автобусов), т/год	51757,2	71,183	336,2	2,737	3,91

В АСУДД входят 294 светофорных объекта, связанных с центром управления, оборудованных детекторами, что позволяет реализовать все алгоритмы управления, заложенные в АСУДД. По результатам моделирования средняя скорость потока увеличится с 19,91 км/ч до 24,34 км/ч, снижение выбросов загрязняющих веществ представлено в таблице 4.

Таблица 4 - Снижение выбросов загрязняющих веществ, рассчитанное для участка УДС города с введением АСУДД

Мероприятие - внедрение АСУДД	Вид ЗВ и количество, т/год				
	CO ₂	CO	NOx	PM	VOC
До реализации АСУДД	218814,15	968,261	323,153	6,347	117,148
После реализации АСУДД	192382,749	92,484	317,941	6,157	104,808
Сокращение выбросов, т/год	26431,401	875,777	5,212	0,19	12,34

Результаты и обсуждение

Экологически устойчивое развитие городской транспортной системы является одним из основополагающих условий экологически устойчивого развития крупных городов [3]. Сводная характеристика мероприятий для оценки их энергетической эффективности и сокращения потребления топлива представлена в таблице 5.

Таблица 5 - Характеристика экологической и энергетической эффективности мероприятий

Мероприятия	Экономия топлива, т/год		Энергоэффективность, ТДж/год
	Бензин	ДТ	
Развитие УДС и реализация сетевых методов ОДД	-	365,131	0,016
Развитие общественного транспорта	-	1696,646	0,073
Развитие трамвайного транспорта	-	16423,96	0,71
Организация приоритетного движения общественного транспорта	12687,44	5437,47	0,793
Развитие АСУДД	7989,742	513,926	0,373
Итого:	21083,542	24449,703	1,925

Выходы

Рассматриваемые мероприятия ведут к сокращению выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта. Наибольшего сокращения выбросов можно достичь за счет организации приоритетного движения общественного транспорта и трамвайного движения. Рассматриваемые группы мероприятий окажут кумулятивный эффект и снизят уровень выбросов ПГ: CO₂ - 10,48 %, CH₄ - 32,31 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трофименко Ю.В., Галышев А.Б. Оценка эколого-экономического эффекта от развития велосипедного движения в крупных городах // Автотранспортное предприятие. - 2015. - №4. - С. 29-31.
2. Трофименко Ю.В., Медведева О.Е., Артеменков А.В., Медведев П.В. Методика оценки эколого-экономической эффективности проектов в сфере автодорожного строительства // Безопасность в техносфере. - 2015. - Т. 4. - №4. - С. 56-68.

№3-3(78) 2022 Вопросы экологии

3. Белый О. В., Баринова Л.Д., Забалканская Л.Э., Экологические аспекты устойчивого развития городской транспортной системы // Транспортное планирование и моделирование, сб. материалов II Международной научно-практической конференции. – СПб: СПбГАСУ. - 2017. - С. 45-49.
4. Шаталова Е.Е., Технологии снижения потребления топлива и экологической нагрузки от автотранспорта Сахаровские чтения 2017 года // Экологические проблемы XXI века: материалы Международной научно-практической конференции. - Минск, Беларусь. - 2017. - С. 215-216.
5. Домбалиян А.В., Шаталова Е.Е., Влияние скоростного режима на количество выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта // Технологии транспортных процессов на Дону: Сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. - Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ). - 2016. - С. 86-89.
6. Домбалиян А.В., Шаталова Е.Е. Интеллектуальные транспортные системы в России // Тез. докл. Междунар. студенч. конф. – п. Персиановский: ДонГАУ. - 2016. - С. 109-110.
7. The impact of biofuels on transport and the environment, and their connection with agricultural development in Europe / сайт European Parliament. – Режим доступа: http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/S TUD/2015/513991/IPOL_STU%282015%2951_3991_EN.pdf
8. Домбалиян А.В. Развитие и совершенствование системы управления платными дорогами // Научное обозрение. - 2014. - №10-3. - С. 823-826
9. Зырянов В.В. Моделирование при транспортном обслуживании мега-событий [Электронный ресурс]/ В.В.Зырянов // Инженерный вестник Дона. - 2011. - №4. - Режим доступа: <http://ivdon.ru>
10. Dombalyan A., Kocherga V., Semchugova E., Negrov N. Traffic forecasting model for a road section // Transportation Research Procedia. - Organization and Traffic Safety Management in Large Cities: 12th International Conference. – SPb: OTSIC 2016. - 2017. - С. 159-165.
11. Домбалиян А.В., Шаталова Е.Е. Развитие интеллектуальных транспортных систем в мире // Строительство - 2015: Строительство. Дороги. Транспорт: Материалы Международной научно-практической конференции. - 2015. - С. 81-82.
12. Домбалиян А.В. Характеристика методики моделирования и определения перспективного спроса на транспортные передвижения и его распределения в транспортной системе // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. - 2015. - №1. - С. 4-10.
13. Домбалиян А.В. Особенности методов управления транспортным спросом // Научное обозрение. - 2014. - №10-2. - С. 568-571.
14. Dombalyan A., Shatalova E., Semchugova E., Solodovchenko I. Modes of operation of toll gate lanes on toll roads published under licence by IOP Publishing Ltd IOP // Conference Series: Materials Science and Engineering. - Volume 1001. - Rostov-on-Don: Mater. Sci. Eng. 1001 012103.
15. Шаталова Е.Е. Изучение параметров, влияющих на загрязнение атмосферного воздуха от транспортных потоков // Науковедение. – 2012. - №4(13).
16. Жанказиев С.В. Разработка проектов интеллектуальных транспортных систем: учеб. пособие/ С.В.Жанказиев. - М.: МАДИ, 2016. – 104 с.
17. Зырянов В.В., Кочерга В.Г., Феофилова А.А. Применение моделей выбора маршрута движения при прогнозировании распределения транспортных потоков на проектируемой дорожной сети // Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог: Сборник научных трудов ОАО ГИПРОДОРНИИ. - 2013. - №4(63). - С. 33-40.
18. Naumova N.A., Zyguanov V.V. A method of computing the traffic flow distribution density in the network with new flow-forming objects being put into operation // Journal of theoretical and applied information technology. - 2015. - Т. 78. - №1. - С. 76-83.
19. Шаталова, Е.Е. Оздоровление воздушного бассейна г. Ростова-на-Дону за счет применения альтернативных видов топлива на общественном пассажирском транспорте // Трансграничное сотрудничество в области экологической безопасности и охраны окружающей среды: III Международная научнопрактическая конференция. – Мозырь. - 2014. - С. 166-171.
20. Расчетная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ от автотранспортных средств на территории крупнейших городов. - М., 2008.

Домбалиян Анжелика Вагановна

Донской государственный технический университет
Адрес: Россия, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
Ассистент кафедры «Организация перевозок и дорожного движения»
E-mail: anzhelika-888@mail.ru

Шаталова Елена Егоровна

Донской государственный технический университет
Адрес: Россия, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
К.т.н., доцент кафедры «Организация перевозок и дорожного движения»
E-mail: Ls77@mail.ru

A.V. DOMBALYAN, E.E. SHATALOVA

DEVELOPMENT OF MEASURES FOR THE ORGANIZATION OF TRAFFIC IN CITIES, TAKING INTO ACCOUNT ENVIRONMENTAL PARAMETERS

Abstract. *Organizational measures to reduce the negative impact of vehicles on the air environment are considered. Using the example of Rostov-on-Don, a macro-modeling of traffic flows with an assessment of emissions of pollutants from internal combustion engines using the COPERT 4 software package was carried out.*

Keywords: methods of traffic management; traffic flow; road network; emissions of pollutants

BIBLIOGRAPHY

1. Trofimenko Yu.V., Galyshev A.B. Otsenka ekologo-ekonomiceskogo effekta ot razvitiya velosipednogo dvizheniya v krupnykh gorodakh // Avtotransportnoe predpriyatiye. - 2015. - №4. - S. 29-31.
2. Trofimenko Yu.V., Medvedeva O.E., Artemenkov A.V., Medvedev P.V. Metodika otsenki ekologo-ekonomiceskoy effektivnosti proektorov v sfere avtodorozhnogo stroitel'stva // Bezopasnost' v tekhnosfere. - 2015. - T. 4. - №4. - S. 56-68.
3. Belyy O.V., Barinova L.D., Zabalkanskaya L.E., Ekologicheskie aspekty ustoychivogo razvitiya gorodskoy transportnoy sistemy // Transportnoe planirovaniye i modelirovaniye, sb. materialov II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - SPb: SPbGASU. - 2017. - S. 45-49.
4. Shatalova E.E., Tekhnologii snizheniya potrebleniya topliva i ekologicheskoy nagruzki ot avtotransporta Sakharavskie chteniya 2017 goda // Ekologicheskie problemy XXI veka: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Minsk, Belarus'. - 2017. - S. 215-216.
5. Dombalyan A.V., Shatalova E.E., Vliyanie skorostnogo rezhima na kolichestvo vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv ot avtotransporta // Tekhnologii transportnykh protsessov na Donu: Sb. st. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. - Novocherkassk: YURGTU (NPI). - 2016. - S. 86-89.
6. Dombalyan A.V., Shatalova E.E. Intellektual'nye transportnye sistemy v Rossii // Tez. dokl. Mezhdunar. studench. konf. - p. Persianovskiy: DonGAU. - 2016. - S. 109-110.
7. The impact of biofuels on transport and the environment, and their connection with agricultural development in Europe / sayt European Parliament. - Rezhim dostupa: http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/S/TUD/2015/513991/IPOL_STU%282015%2951_3991_EN.pdf
8. Dombalyan A.V. Razvitiye i sovershenstvovaniye sistemy upravleniya platnymi dorogami // Nauchnoe obozrenie. - 2014. - №10-3. - S. 823-826
9. Zyryanov V.V. Modelirovaniye pri transportnom obsluzhivaniye mega-sobytiy [Elektronnyy resurs]/ V.V.Zyryanov // Inzhenernyy vestnik Dona. - 2011. - №4. - Rezhim dostupa: <http://ivdon.ru>
10. Dombalyan A., Kocherga V., Semchugova E., Negrov N. Traffic forecasting model for a road section // Transportation Research Procedia. - Organization and Traffic Safety Management in Large Cities: 12th International Conference. - SPb: OTSIC 2016. - 2017. - S. 159-165.
11. Dombalyan A.V., Shatalova E.E. Razvitiye intellektual'nykh transportnykh sistem v mire // Stroitel'stvo - 2015: Stroitel'stvo. Dorogi. Transport: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - 2015. - S. 81-82.
12. Dombalyan A.V. Harakteristika metodiki modelirovaniya i opredeleniya perspektivnogo sprosya na transportnye peredvizheniya i ego raspredeleniya v transportnoy sisteme // Vestnik Donetskoy akademii avtomobil'nogo transporta. - 2015. - №1. - S. 4-10.
13. Dombalyan A.V. Osobennosti metodov upravleniya transportnym sprosom // Nauchnoe obozrenie. - 2014. - №10-2. - S. 568-571.
14. Dombalyan A., Shatalova E., Semchugova E., Solodovchenko I. Modes of operation of toll gate lanes on toll roads published under licence by IOP Publishing Ltd IOP // Conference Series: Materials Science and Engineering. - Volume 1001. - Rostov-on-Don: Mater. Sci. Eng. 1001 012103.
15. Shatalova E.E. Izuchenie parametrov, vliyayushchikh na zagryaznenie atmosfernogo vozdukha ot transportnykh potokov // Naukovedenie. - 2012. - №4(13).
16. Zhankaziev S.V. Razrabotka proektorov intellektual'nykh transportnykh sistem: ucheb. posobie / S.V. Zhankaziev. - M.: MADI, 2016. - 104 s.
17. Zyryanov V.V., Kocherga V.G., Feofilova A.A. Primenenie modeley vybora marshruta dvizheniya pri prognozirovaniye raspredeleniya transportnykh potokov na proektiruemoy dorozhnoy seti // Aktual'nye voprosy proektirovaniya avtomobil'nykh dorog: Sbornik nauchnykh trudov OAO GIPRODORNII. - 2013. - №4(63). - S. 33-40.
18. Naumova N.A., Zyryanov V.V. A method of computing the traffic flow distribution density in the network with new flow-forming objects being put into operation // Journal of theoretical and applied information technology. - 2015. - T. 78. - №1. - S. 76-83.
19. Shatalova, E.E. Ozdorovlenie vozduzhnogo basseyna g. Rostova-na-Donu za schet primeneniya al'ternativnykh vidov topliva na obshchestvennom passazhirskom transporte // Transgranicchnoe sotrudnichestvo v oblasti ekologicheskoy bezopasnosti i okhrany okruzhayushchey sredy: III Mezhdunarodnaya nauchnoprakticheskaya konferentsiya. - Mozyr'. - 2014. - S. 166-171.
20. Raschetnaya instruktsiya (metodika) po inventarizatsii vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv ot avto-transportnykh sredstv na territorii krupneyshikh gorodov. - M., 2008.

Dombalyan Anzhelika Vaganovna

Don State Technical University,
Adress: 344000, Russia, Rostov-on-Don, Gagarin sq. 1
Assistant
E-mail: anzhelika-888@mail.ru

Shatalova Elena Egorovna

Don State Technical University,
Adress: 344000, Russia, Rostov-on-Don, Gagarin sq. 1
Candidate of technical sciences
E-mail: Ls77@mail.ru

Научная статья

УДК 656.135:338.47

doi:10.33979/2073-7432-2022-3(78)-3-110-116

В.М. КУРГАНОВ, В.Н. МУКАЕВ

БАЛАНС ИНТЕРЕСОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ И ИСПОЛНИТЕЛЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ

Аннотация. Раскрыто понятие баланса интересов промышленного предприятия и исполнителя автотранспортных услуг. Механизм обеспечения баланса интересов формализован в виде оптимизационной экономико-математической модели. Сформулировано условие настройки баланса интересов, заключающееся в том, что максимизация экономии бюджета заказчика на автотранспортное обслуживание своих подразделений достигается при наличии у перевозчика резервов обеспечения провозных возможностей за счет повышения эффективности использования автопарка. Предложена методика расчета этих резервов.

Ключевые слова: промышленное предприятие, автомобильные перевозки, баланс интересов, провозные возможности, автопарк

Введение

Проблема снижения затрат на автомобильные перевозки для промышленных предприятий в настоящее время актуальна, поскольку величина издержек на внутрицеховой, межцеховой и внешний транспорт составляет до трети себестоимости готовой продукции [9, 10]. Промышленный автомобильный транспорт остается одним из ресурсоемких технологических процессов промышленности, учитывая потребность в материально-технических и трудовых ресурсах [5, 6, 8].

Специфика взаимодействия промышленного предприятия с исполнителем автотранспортных услуг, характеризуемая встроенностью транспортного процесса в производственную систему заказчика, усугубляет конфликт их интересов. Основой предлагаемого в данной работе механизма обеспечения баланса интересов являются разработки Научно-исследовательского института открытых горных работ (г. Челябинск), направленные на адаптацию предприятий горнодобывающей отрасли к изменениям рыночной среды [1, 3, 4]. Важное условие настройки баланса интересов промышленного предприятия и автомобильного перевозчика - это наличие у перевозчика резервов обеспечения провозных возможностей и надежности транспортного процесса за счет повышения эффективности использования автопарка. Исследования таких резервов содержатся в научных работах отечественных [7, 12, 14, 15] и иностранных [2, 13, 18, 19] ученых. Имеющуюся теоретическую базу необходимо развить в части формирования механизма обеспечения (настройки) баланса интересов промышленного предприятия и исполнителя автотранспортных услуг, что является целью настоящего исследования. Для достижения этой цели необходимо решить две задачи: 1) формализовать механизм настройки баланса интересов в виде оптимизационной экономико-математической модели; 2) разработать методику оценки имеющихся у перевозчика резервов обеспечения провозных возможностей за счет повышения эффективности использования автопарка.

Материал и методы

Решение поставленных задач основывалось на использовании комплекса методов научных исследований, включающего: анализ и систематизацию специализированной научной и нормативно-правовой литературы, экономико-математическое моделирование и системный анализ транспортных процессов.

Анализ научной литературы позволил выявить встроенность транспортного процесса в производственную систему промышленного предприятия и определить направления настоящего исследования. Систематизация нормативно-правовой литературы, практики договорных отношений заказчика и исполнителя транспортных услуг, позволили определить наличие конфликта их интересов и возможности его устранения.

Известные методы экономико-математического моделирования транспортных процессов были использованы для математического описания конфликта интересов и обоснования механизма его настройки в виде целевой функции и системы ограничений. Использование системного анализа позволило определить источники резервов обеспечения провозных возможностей автопарка и способы их трансформации в транспортную работу.

Теория

На предприятиях промышленности автомобильным транспортом осуществляется перевозка разносортных материально-технических ценностей для производственных нужд, мелко-партионные отправки готовой продукции, а также доставка персонала. Обоснование мероприятий по сокращению затрат на автомобильные перевозки осложняется встроеннстью транспортного процесса в производственную систему заказчика автотранспортных услуг, что определяет следующую специфику организационно-технологического взаимодействия:

- большая часть автопарка перевозчика состоит из специализированных или переоборудованных для производственных нужд заказчика автомобилей;
- выпуск автопарка на линию и графики сменности водителей планируются исходя из ритма работы основного производства заказчика;
- бюджет перевозчика и стоимость транспортных услуг лимитируется промышленным предприятием - заказчиком автотранспортных услуг;
- производственно-техническая база перевозчика является частью производственной инфраструктуры промышленного предприятия.

Встроеннность транспортного процесса в производственную систему промышленного предприятия усугубляет конфликт интересов заказчика и исполнителя автотранспортных услуг, состоящий в следующем противоречии. Промышленное предприятие в выборе способа снижения затрат руководствуется стремлением максимально сократить затраты на автотранспортное обслуживание своих подразделений. Перевозчику такой подход не интересен, поскольку это ведет к потере его дохода.

Результаты

Математически конфликт интересов выражается противоречивостью бизнес-целей промышленного предприятия и исполнителя автотранспортных услуг:

- промышленное предприятие

$$\mathcal{E}^{\text{бюдж.}} = B^{\text{план.}} - B^{\text{факт.}} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где $\mathcal{E}^{\text{бюдж.}}$ - экономия бюджета на транспортное обслуживание подразделений промышленного предприятия, руб.;

$B^{\text{план.}}, B^{\text{факт.}}$ - соответственно плановый и фактический бюджет промышленного предприятия на транспортное обслуживание своих подразделений, руб.

- исполнитель автотранспортных услуг

$$\mathcal{E}^{\text{бюдж.}} \rightarrow \min, \quad (2)$$

Конфликт интересов предлагается устраниить за счет планирования величины $\mathcal{E}^{\text{бюдж.}}$ обязательной для выполнения всеми сторонами договорных отношений по итогам согласованного ими отчетного периода. Заказчиком будет приветствоваться максимизация экономии бюджета, поэтому предложенная экономико-математическая модель является оптимизационной. В этом случае механизм настройки баланса интересов будет formalизован в виде оптимизационной экономико-математической модели с целевой функцией, определяемой по файлу (1). Обязательным условием получения экономии бюджета на транспортное обслуживание подразделений промышленного предприятия будет наличие у перевозчика резервов обеспечения провозных возможностей за счет повышения эффективности использования автопарка. При отсутствии этих резервов, вероятность сбоев в основной технологии промышленного предприятия вследствие отсутствия транспорта возрастает до критического уровня.

Обозначенный критерий оптимизации, а также оговоренное условие его достижения, определяют вид системы ограничений:

$$Q(t) = 0 \quad (3)$$

$$R > \Pi^{\text{план.}}, \\ I = 0, \\ \mathcal{E}^{\text{бюдж.}} \geq \varepsilon \cdot B^{\text{план.}}$$

где $Q(t)$ - вероятность сбоя в основной технологии промышленного предприятия из-за отсутствия транспорта, %;

R - резервы обеспечения провозных возможностей, имеющиеся у перевозчика, т-км (маш.-ч);

$\Pi^{\text{план.}}$ - объем транспортной работы, выполняемой перевозчиком, планируемой промышленным предприятием к оптимизации, т-км (маш.-ч);

I - размер инвестиций, направляемых промышленным предприятием на обновление и модернизацию автопарка, тыс. руб.;

ε - нижняя граница планового показателя снижения затрат на автомобильные перевозки.

Нижняя граница планового показателя снижения затрат на автомобильные перевозки ε устанавливается эмпирически, согласовывается между заказчиком и исполнителем автотранспортных услуг. Как правило, ее величина не превышает 0,05-0,1.

Предусмотренное системой ограничений условие $R > \Pi^{\text{план.}}$, обеспечивает реализацию экономико-математической модели в случае отсутствия инвестиций заказчика в обновление и модернизацию автопарка перевозчика ($I = 0$). Также следует пояснить, что величина ε является лишь нижней границей $\mathcal{E}^{\text{бюдж.}}$.

В таблице обозначены источники этих резервов, а также способы их использования. Источниками резервов обеспечения провозных возможностей автопарка являются: нерегламентированные простоя автотранспорта; несоответствие эксплуатационных параметров автомобиля весогабаритным характеристикам перевозимого груза; рассогласованность взаимодействия участников транспортного процесса.

Таблица 1 - Источники резервов обеспечения провозных возможностей автопарка

Источник		Способы использования резервов
резервов	экономии затрат на перевозку	
Нерегламентированные простоя автотранспорта	Оплата заказчиком транспортных услуг, оказанных меньшим количеством транспорта	Уменьшение численности автомобилей на объекте заказчика
	Оплата заказчиком меньшего объема транспортных услуг	Корректировка графика работы автомобилей у заказчика
Источник		Способы использования резервов
резервов	экономии затрат на перевозку	
Нерегламентированные простоя автотранспорта	Сокращение затрат на величину стоимости транспортных услуг, предоставляемых подразделению заказчика, до его перехода на бестранспортную технологию	Переход заказчика на бестранспортные технологии в своем подразделении
Несоответствие эксплуатационных параметров автомобиля весогабаритным характеристикам перевозимого груза и недопользование грузовместимости транспортных средств	Оплата заказчиком перевозок, выполняемых автомобилем меньшей ценовой группы	Использование транспорта меньшей грузоподъемности, меньшей ценовой группы
Рассогласованность взаимодействия участников транспортного процесса	Сокращение затрат на оплату транспортных услуг посредством их распределения между несколькими заказчиками	Организация кольцевых маршрутов
		Закрепление одного автомобиля за несколькими заказчиками
		Обеспечение автомобиля обратной загрузкой

Имеющиеся у перевозчика резервы обеспечения провозных возможностей за счет повышения эффективности использования автопарка предлагается реализовать следующими способами: уменьшением численности автомобилей на объектах заказчика; корректировкой графика работы автомобилей у заказчика; переходом заказчика на бестранспортные техноло-

гии; использованием транспорта меньшей грузоподъемности и меньшей ценовой группы; организацией кольцевых маршрутов; закреплением одного автомобиля за несколькими заказчиками; обеспечением автомобилей обратной загрузкой [11].

Оценку имеющихся у перевозчика резервов предлагается производить по следующей методике. При наличии в транспортном процессе нерегламентированных простоев подвижного состава, оценка резервов его использования по времени определяется разностью величины общего простоя в подразделениях промышленного предприятия, и его простоя под погрузкой-выгрузкой и вспомогательными технологическими операциями:

$$R = T^{np.} - T^{norm.}, \quad (4)$$

где $T^{np.}$ - общий простой автомобилей в подразделениях заказчика, ч;

$T^{norm.}$ - нормативная величина простоя автомобилей, включая выполнение погрузочно-разгрузочных и вспомогательных технологических операций, ч.

Величина резервов вследствие несоответствия эксплуатационных параметров автомобиля весогабаритным характеристикам перевозимого груза рассчитывается суммированием неиспользованной грузоподъемности или грузовместимости по рассматриваемой группе автомобилей. Выбирается вариант с большей величиной резервов:

- проверка использования грузоподъемности автомобиля

$$R = \sum_{i=1}^{A_u} q_i^{''} \times \left(1 - \gamma_c^{sp.} \right), \quad (5)$$

где $q_i^{''}$ - грузоподъемность автомобиля i -го типа, т;

$\gamma_c^{sp.}$ - коэффициент статического использования грузоподъемности автомобиля i -го;

A_u - численность автомобилей i -го типа в автопарке, ед.

- проверка использования грузовместимости автомобиля

$$R = \sum_{i=1}^{A_u} Q_i^{''} \times \left(1 - \gamma_c^{sm.} \right), \quad (6)$$

где $Q_i^{''}$ - грузовместимость автомобиля i -го типа и ценовой группы, т;

$\gamma_c^{sm.}$ - коэффициент статического использования грузоподъемности автомобиля i -го типа и ценовой группы.

На практике в целях управленческого учета эксплуатируемый автомобильный парк дополнительно может классифицироваться по ценовым группам, включающих однотипные автомобили различных марок, но сопоставимых по себестоимости перевозок.

Наличие резервов использования автотранспорта вследствие рассогласованности взаимодействия участников транспортного процесса определяется следующим неравенством:

$$0,5 \prec \beta = \frac{L_{ep.}}{L_H + L_{ep.} + L_{X/X}} \prec 1, \quad (7)$$

где β - средний коэффициент использования пробега по группе транспортных средств рассматриваемого типа и ценовой группы за сутки;

$L_H, L_{ep.}, L_{X/X}$ - соответственно суммарный нулевой, груженый и холостой пробег по группе транспортных средств рассматриваемого типа и ценовой группы за сутки, км.

Соблюдение этого неравенства свидетельствует о том, что автомобиль можно использовать параллельно на других заявках путем их совмещения. Это возможно без ущерба интересам промышленного предприятия организацией кольцевых маршрутов, закреплением транспортного средства за несколькими подразделениями в качестве дежурного автомобиля, обеспечением обратной загрузки. Величину резервов использования автотранспорта в процентном выражении предлагается оценивать по формуле

$$R = (1 - \beta) \cdot 100\%. \quad (8)$$

Практическая реализация предлагаемой методики расчета резервов осложняется отсутствием средств автоматизированного мониторинга резервов, основанных на возможностях ERP-системы перевозчика. В современной научной литературе предлагаются методические рекомендации по формированию этих возможностей. Примерами таких работ являются собственное исследование авторов [16], а также исследования других ученых [17, 20].

Обсуждение

По итогам исследования получены новые результаты для теории эксплуатации автомобильного транспорта и организации производства на транспорте: formalизован механизм настойки баланса интересов в виде оптимизационной экономико-математической модели, а также разработана методика расчета имеющихся у перевозчика резервов обеспечения провозных возможностей за счет повышения эффективности использования автопарка.

Практическая значимость полученных результатов заключается в получении методической базы обоснования оптимизационных мероприятий, направленных на повышение эффективности автотранспортного обслуживания подразделений промышленного предприятия. На следующем этапе исследований планируется:

- установить зависимости экономии бюджета на транспортное обслуживание промышленного предприятия от величины резервов обеспечения провозных возможностей за счет повышения эффективности использования автопарка;
- доработать до уровня практических методик предложенные способы трансформации резервов обеспечения провозных возможностей, имеющихся в распоряжении перевозчика, в транспортную работу;
- обосновать практическую целесообразность использования предлагаемых методических рекомендаций.

Выводы

1. На предприятиях промышленности автомобильный транспорт играет ключевую роль, поскольку предназначен для перевозки разносортных материально-технических ценностей, мелкопартионных отправок готовой продукции, а также доставки персонала.

2. Между промышленным предприятием и перевозчиком постоянно имеет место конфликт интересов: заказчик стремится максимально сократить бюджет на транспортное обслуживание своих подразделений, перевозчику такой подход не интересен, поскольку это ведет к потере его дохода. Разрешение данного конфликта возможно за счет более полного использования провозных возможностей перевозчика посредством активации имеющихся в его распоряжении резервов.

3. Конфликт интересов промышленного предприятия и исполнителя автотранспортных услуг предлагается устранять за счет планирования предельного уровня оптимизации затрат на согласованный отчетный период времени, обязательный для выполнения всеми сторонами договорных отношений. Важным условием при этом является наличие у перевозчика резервов обеспечения провозных возможностей за счет повышения эффективности использования автопарка для их последующей трансформации в транспортную работу.

4. Методика расчета имеющихся в транспортном процессе резервов обеспечения провозных возможностей основывается на определении величины нерегламентированных простоев автомобилей у заказчика, степени использования грузоподъемности или грузовместимости транспортного средства, возможности объединения заявок от нескольких структурных подразделений промышленного предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баев, И.А. Методы управления процессом адаптации горнодобывающего предприятия: Препринт №17 НТЦ- НИИОГР - Челябинск, 2000. -20 с.
2. Барлоу, Р. Статистическая теория надежности и испытания на безотказность. - М.: Наука, 1984. - 488 с.

3. Блинов В.М., Галкин В.А., Галкина Н.В., Макаров А.М. Об эффективности адаптации горнодобывающих предприятий // Проблемы адаптации предприятий: Труды НТЦ-НИИОГР. - 1999. - Вып. 4. - Екатеринбург: УрО РАН. - С. 5-7.
4. Галкина Н.В., Важенина Л.Н., Устинова С.А. Алгоритм адаптации горнодобывающего предприятия // Научные сообщения НТЦ-НИИОГР. - 1999. - Вып.1. - Екатеринбург: УрО РАН. - С. 61-62.
5. Грязнов, М.В. Автоматизированная система контроля работы автотранспорта промышленного предприятия: монография - Магнитогорск: Магнитогорск. гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова, 2016. - 91 с.
6. Дорофеев А.Н. Эффективное управление автоперевозками (Fleet management): монография - М.: Дашков и К°, 2012. - 196 с.
7. Зайцев Е.И., Бочкарев А.А. Модель функционально-структурной надежности цепи поставок. Logistics and supply chain management: modern trends in Germany and Russia: IV Германо-российская конференция по логистике и управлению цепями поставок: Тез.докл. - Геттинген, Cuviller Verlag. - 2009. - С. 187-195.
8. Концепция повышения энергоэффективности транспортного комплекса РФ, <http://900igr.net> (Concept of increasing the energy efficiency of the transport complex of the Russian Federation).
9. Курганов, В.М. Управление надежностью транспортных систем и процессов автомобильных перевозок: монография - Магнитогорск: Магнитогорский Дом печати, 2013. - 318 с.
10. Курганов В.М., Грязнов М.В., Мукаев В.Н. Интермодальные схемы экспортных поставок метизной продукции // Соискатель - приложение к журналу Мир транспорта. - 2015. - №2(10). - С. 60-67.
11. Курганов В.М., Грязнов М.В., Мукаев В.Н. Оптимизация затрат на автомобильные перевозки промышленного предприятия // Вестник СибАДИ. - 2018. - Том 15. - №5. - С. 672-685.
12. Половко, А.М. Основы теории надежности. - СПб.: БХВ-Петербург, 2006. - 702 с.
13. Райншке, К. Модели надежности и чувствительности систем / Под ред. Б.А. Козлова - М.: Мир. - Пер. с нем., 1979. - 452 с.
14. Уваров С.А. Надежность логистических систем в интегральных цепях поставок / Под. ред. Д.А. Иванова, К. Янса, Ф. Штраубе, О.Д. Проценко, В.И. Сергеева // Логистика и управление цепями поставок: современные тенденции в России и германии: Сб. статей российско-немецкой конференции по логистике. - СПб.: Политехн. ун-т. - 2008. - С. 152-162.
15. Уткин, Э.А. Управление рисками предприятия. - М.: ТЕИС, 2003. - 248 с.
16. Kurganov V., Gryaznov M., Doroфеев A. An ontology-driven approach for modelling TMS fuel consumption information subsystem // IOP conference Series: Materials science and engineering. - 2019. - Vol. 630 (012025).
17. Mar J., He G. Sustainable manufacture resources management MRP-II // IFAC Proceedings Volumes. - 1999. - Vol. 32. - P. 6169-6171.
18. Marlin U. Tomas Reliability and warranties - OZON.ru. - 2006.
19. Neil, B. Bloom Reliability centered maintenance - McGraw-Hill, 2006.
20. Yeow L., Cheah L. Comparing commercial vehicle fuel consumption models using real-world data under calibration constraints // Transportation research record: Journal of the transportation research board. - 2021.

Курганов Валерий Максимович

Тверской государственный университет

Адрес: Россия, 170100, г. Тверь, ул. Желябова, д. 33

Д-р техн. наук, профессор кафедры экономики предприятия и менеджмента

E-mail: glavreds@gmail.com

Мукаев Владимир Николаевич

ООО «Пассажитранс»

Адрес: Россия, 455049, г. Магнитогорск, ул. Труда, д. 32

Директор

E-mail: gm-autolab@mail.ru

V.M. KURGANOV, V.N. MUKAEV

**BALANCE OF INTERESTS OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE
AND CONTRACTOR OF MOTOR TRANSPORT SERVICES**

Abstract. The essence of the balance of interests of an industrial enterprise and a contractor of motor transport services is revealed. The mechanism for ensuring the balance of interests is formalized in the form of an optimization economic and mathematical model. The condition for adjusting the balance of interests is formulated, which consists in the fact that the maximization of the customer's budget savings on motor transport services for its units is achieved if the carrier has reserves to ensure transportation capabilities by increasing the efficiency of using the vehicle fleet. A method for calculating these reserves is proposed.

Keywords: industrial enterprise, road transport, balance of interests, carrying capacity, vehicle fleet

BIBLIOGRAPHY

1. Baev, I.A. Metody upravleniya protsessom adaptatsii gornodobyvayushchego predpriyatiya: Preprint №17 NTTS- NIIogr - Chelyabinsk, 2000. -20 s.
2. Barlou, R. Statisticheskaya teoriya nadezhnosti i ispytaniya na bezotkaznost'. - M.: Nauka, 1984. - 488 s.
3. Blinov V.M., Galkin V.A., Galkina N.V., Makarov A.M. Ob effektivnosti adaptatsii gornodobyvayushchikh predpriyatiy // Problemy adaptatsii predpriyatiy: Trudy NTTS-NIIogr. - 1999. - Vyp. 4. - Ekaterinburg: UrO RAN. - S. 5-7.
4. Galkina N.V., Vazhenina L.H., Ustinova S.A. Algoritm adaptatsii gornodobyvayushchego predpriyatiya // Nauchnye soobshcheniya NTTS-NIIogr. - 1999. - Vyp.1. - Ekaterinburg: UrO RAN. - S. 61-62.
5. Gryaznov, M.V. Avtomatizirovannaya sistema kontrolya raboty avtovozov promyshlennogo predpriyatiya: monografiya - Magnitogorsk: Magnitogorsk. gos. tekhn. un-t im. G.I. Nosova, 2016. - 91 s.
6. Dorofeev A.N. Effektivnoe upravlenie avtoperevozkami (Fleet management): monografiya - M.: Dashkov i Ko, 2012. - 196 s.
7. Zaytsev E.I., Bochkarev A.A. Model` funktsional`no-strukturnoy nadezhnosti tsepi postavok. Logistics and supply chain management: modern trends in Germany and Russia: IV Germano-rossiyskaya konferentsiya po logistike i upravleniyu tsepyami postavok: Tez.dokl. - Gettingen, Cuviller Verlag. - 2009. - C. 187-195.
8. Kontsepsiya povysheniya energoeffektivnosti transportnogo kompleksa RF, <http://900igr.net> (Concept of increasing the energy efficiency of the transport complex of the Russian Federation).
9. Kurganov, V.M. Upravlenie nadezhnostyu transportnykh sistem i protsessov avtomobil`nykh perevozok: monografiya - Magnitogorsk: Magnitogorskiy Dom pechati, 2013. - 318 s.
10. Kurganov V.M., Gryaznov M.V., Mukaev V.N. Intermodal`nye skhemy eksportnykh postavok metiznoy produktsii // Soiskatel` - prilozhenie k zhurnalnu Mir transporta. - 2015. - №2(10). - S. 60-67.
11. Kurganov V.M., Gryaznov M.V., Mukaev V.N. Optimizatsiya zatrat na avtomobil`nye perevozki promyshlennogo predpriyatiya // Vestnik SibADI. - 2018. - Tom 15. - №5. - S. 672-685.
12. Polovko, A.M. Osnovy teorii nadezhnosti. - SPb.: BHV-Peterburg, 2006. - 702 s.
13. Raynshke, K. Modeli nadezhnosti i chuvstvitel`nosti sistem / Pod red. B.A. Kozlova - M.: Mir. - Per. s nem., 1979. - 452 s.
14. Uvarov S.A. Nadezhnost` logisticheskikh sistem v integral`nykh tsepyakh postavok / Pod. red. D.A. Iavanaugh, K. Yansa, F. Shtraube, O.D. Protsenko, V.I. Sergeeva // Logistika i upravlenie tsepyami postavok: sovremennye tendentsii v Rossii i germanii: Sb. statey rossiysko-nemetskoy konferentsii po logistike. - SPb.: Politekhn. un-t. - 2008. - S. 152-162.
15. Utkin, E.A. Upravlenie riskami predpriyatiya. - M.: TEIS, 2003. - 248 s.
16. Kurganov V., Gryaznov M., Dorofeev A. An ontology-driven approach for modelling TMS fuel consumption information subsystem // IOP sonference Series: Materials science and engineering. - 2019. - Vol. 630 (012025).
17. Mar J., He G. Sustainable manufacture resources management MRP-II // IFAC Proceedings Volumes. - 1999. - Vol. 32. - R. 6169-6171.
18. Marlin U. Tomas Reliability and warranties - OZON.ru. - 2006.
19. Neil, B. Bloom Reliability centered maintenance - McGraw-Hill, 2006.
20. Yeow L., Cheah L. Comparing commercial vehicle fuel consumption models using real-world data under calibration constraints // Transportation research record: Journal of the transportation research board. - 2021.

Kurganov Valery Maksimovich

Tver State University

Address: Russia, 170100, Tver, Zhelyabova str., 33

Doctor of technical sciences

E-mail: glavreds@gmail.com

Mukaev Vladimir Nikolaevich

LLC «Passagetrans»

Address: Russia, 455049, Magnitogorsk, Labor str., 32

Director

E-mail: gm-autolab@mail.ru

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2022-3(78)-3-117-126

С.А. ЛЯПИН, Д.А. КАДАСЕВ, Н.В. ВОРОНИН, Н.М. ЖЕРЕБЦОВА

АСПЕКТЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ В РЕГИОНЕ

Аннотация. Исследование направлено на анализ точек роста и построение алгоритма взаимодействия государственных органов, предприятий и организаций, а также управляющих компонентов транспортной системы региона с учетом стратегий и траекторий развития, национальных проектов, региональных программ совершенствования развития транспортного комплекса. В рамках исследования выполнено соотношение федеральных и региональных программ в сфере кадровой политики, дорожного хозяйства и автомобильного транспорта. Выделены перспективные направления комплексного характера, позволяющие выработать более усовершенствованные подходы к управлению транспортной системой региона.

Ключевые слова: государственная политика в области автомобильного транспорта; транспортная отрасль; цифровизация транспортных систем.

Введение

Целью работы является исследование стратегий цифровой трансформации транспортной отрасли РФ, программ цифровизации в сфере дорожного хозяйства в рамках цифровой трансформации транспортной системы региона. В рамках исследования были выделены следующие задачи:

- Выявить и учесть специфику деятельности транспортного комплекса региона при реализации программ федерального уровня;
- Отразить аспекты и пути совершенствования системности работы общественного транспорта как в городском и пригородном, так и в междугородном сообщении;
- Подчеркнуть роль формирования кадрового резерва для цифровой экономики, владеющего знаниями в области информационной безопасности, умеющих работать в цифровых и информационных системах управления сегментами транспортного комплекса, выполняющего внедрение новых интеллектуальных и инфокоммуникационных систем.

Обобщенная структурная схема исследуемых национальных программ и проектов, а также государственных стратегий и траекторий развития сегментов транспортной отрасли, представлена на рисунке 1.

Научная новизна исследования заключается в рассмотрении транспортного комплекса региона с точки зрения задач цифровой трансформации сферы государственного управления и социальной сферы в соотношении с национальной программой «Цифровая экономика», национального проекта «Безопасные качественные дороги». Совместное и взаимодополняемое развитие автотранспортного комплекса и дорожного хозяйства является базовым условием при выполнении стратегической задачи: развитие связности территорий [1].

Представленные программы [2] призваны минимизировать разницу в социально-экономическом развитии как субъектов РФ, так и муниципальных образований внутри них, за счет применения компонентов интеллектуально-логистических транспортных и телематических систем, позволяющих формировать устойчивые транспортные связи между крупными экономическими хозяйствующими субъектами, расположенных в непосредственной близости к агломерациям с высокой плотностью населения и концентрацией экономической активности, находящимися как на территории Липецкой области, так и за ее пределами [3].



Рисунок 1 - Структура национальных программ и проектов, федеральных и региональных государственных стратегий и траекторий развития транспортной отрасли

Материал и методы

Материалы используемые для проведения исследования расположены в открытом доступе на официальном сайте Министерства транспорта РФ, Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, национального проекта «Безопасные качественные дороги», Администрации Липецкой области. В исследовании были применены методы структурного и функционального анализа, проводились консультации со специалистами территориальных органов государственной власти и органов местного самоуправления, занятых в сфере автомобильного транспорта [4-6].

Теория

Управление транспортной системой Липецкой области осуществляется при учете двух факторов: необходимо следовать стратегии и соответствовать показателям эффективности, заложенных в системе управления общегосударственной экономикой, образующей единый аппарат управления для всех регионов РФ, а также самостоятельно разрабатываемому плану реализации внутренней экономической и транспортной региональной политики [7]. Стоит отметить, что транспортный комплекс по многим критериям определяет показатели социально-экономического развития региона, а также является фундаментальной и участвует во всех жизнеобеспечивающих сферах.

Первостепенным является выполнение задачи по определению критериев комплексной оценки и последующая разработка управленческих решений федеральными и региональными органами, которая позволит своевременно отвечать на запросы потребителей транспортных услуг, применять и исследовать различные мероприятия по оптимизации логистических маршрутов благодаря многоаспектному подходу к организации пассажирских перевозок [8].

В «Стратегии в области цифровой трансформации отраслей экономики, социальной сферы и государственного управления Липецкой области» (рис. 2) отражены следующие «Проблемы и вызовы цифровой трансформации» в подразделе «Транспорт и логистика» [9]:

- обеспечение оказания государственной услуги в электронном формате для представления льгот и субсидий на автомобильном транспорте;

- создание транспортно-логистических коридоров в регионе, основанных на телематических системах выбора оптимального маршрута движения и информационно-профилактической составляющей контроля за безопасностью перевозочного процесса.

Переход на инновационный путь развития транспорта способствует выполнению задач, стоящих перед социальным и экономическим сектором, но требует верного расчета инвестиционной политики субъектов РФ, формирования механизма государственного регулирования и управления на автомобильном транспорте, в том числе в области проработки нормативной базы по выполнению перевозок пассажиров и багажа по регулярным маршрутам [10].

Стратегия в области цифровой трансформации отраслей экономики, социальной сферы и государственного управления Липецкой области

Цель государственной программы – создание базы для внедрения технологий искусственного интеллекта и больших данных в системе государственного и муниципального управления для принятия управленческих решений по всем отраслям.

Задачи:

- повышение эффективности обслуживания городской и транспортной инфраструктуры;
- внедрение системы безналичной оплаты проезда в общественном транспорте региона;
- повышение уровня безопасности при проезде в общественном транспорте;
- обеспечение цифрового доступа граждан к информации о движении общественного транспорта.

Ожидаемые результаты реализации стратегии:

- обеспечена возможность получения в электронном виде массовых социально значимых услуг;
- обеспечено участие граждан в принятии решений, касающихся развития городской среды региона;
- снижены временные и материальные затраты органов власти за счет внедрения электронного документооборота и межведомственного взаимодействия.

Ответственные исполнители:

- Управление дорог и транспорта Липецкой области;
- Управление цифрового развития Липецкой области;
- Управление здравоохранения Липецкой области;
- Управление инвестиций и инноваций Липецкой области.

Рисунок 2 - Структура стратегии в области цифровой трансформации отраслей экономики, социальной сферы и государственного управления Липецкой области

Обновленный паспорт национального проекта «Безопасные качественные дороги» (рис. 3) был разработан в соответствии с Указом Президента России [11] главной целью реализации проекта является повышение комфорта и безопасности жизни и здоровья граждан, новая редакция включает в себя шесть федеральных проектов задачами, которых является:

- повышение качества транспортной сети как в рамках городской застройки, так и обеспечивающей сообщение внутри субъекта РФ;
- повышение безопасности всех участников дорожного движения;
- совершенствование регулирующих механизмов в области транспортной политики в регионе и применения инновационных технологий [12];
- повышение связанности территорий РФ посредством строительства новых и реконструкции существующих автомагистралей и дорог федерального значения;
- модернизация подходов к транспортному обслуживанию населения [13].

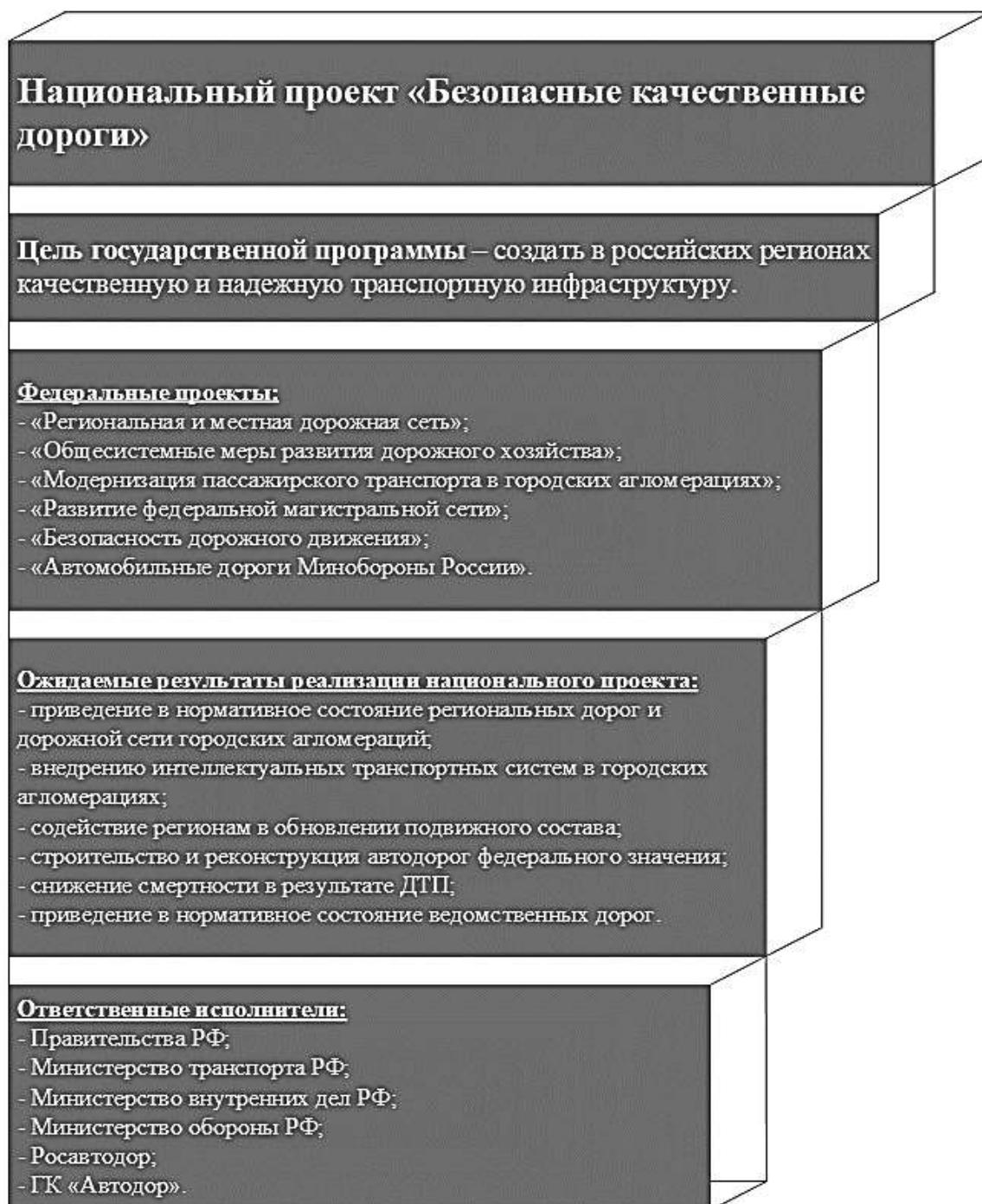


Рисунок 3 - Структура национального проекта «Безопасные качественные дороги»

Основным проектом (рис. 4), предполагающим инновационное развитие системы государственного управления, является нацпроект «Цифровая экономика», в него включены следующие подпрограммы такие как «Цифровое государственное управление» и «Информационная инфраструктура» [14], созданные в качестве решения следующих задач:

- формирование цифровой среды для реализации электронного документа для граждан;
 - совершенствование показателей, индикаторов и критериев эффективности развития государственного управления и оказания государственных услуг посредством внедрения цифровых технологий и платформенных решений [15];
 - преобразование современных цифровых образовательных технологий, способствующих формированию знаний, умений и навыков, базирующихся на отобранных и достоверных сведениях, не требующих поиска дополнительной информации в сети Интернет;
 - обеспечение информационной безопасности персональных данных граждан, тем самым выполняя принципы правовой защиты личности.



Рисунок 4 - Структура национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации»

Автомобильный транспорт в регионе играет немаловажную роль, по показателям транспортной работы грузооборот в регионе за период с 2019 по 2021 год вырос на 167 млн. тонно-км. Данный факт обусловлен прежде всего преобладанием в регионе предприятий, занятых в сельскохозяйственной отрасли, отраслях машиностроения и металлургии для которых транспорт играет фундаментальную роль, обеспечивая эффективные поставки удобрений.

ний, топлива, комплектующих и сырья [16]. Липецкая область является транзитным регионом, позволяющим выстраивать логистические механизмы с использованием мультимодальных видов перевозочных процессов, обеспечивая широкие возможности при осуществлении грузовых и пассажирских перевозок в междугородном сообщении [17].

Цифровизация транспортной отрасли призвана ответить на следующие вызовы и проблемы в системе управления транспортным комплексом благодаря реализации Стратегии цифровой трансформации транспортной отрасли Российской Федерации (рис. 5), включающей в себя следующие направления [18]:

- разработка нормативно-правовых актов и документаций, регулирующих разработку, испытания и эксплуатацию инновационных видов транспорта;
- выработка единого решения в области цифровизации безналичных систем оплаты проезда, а также построение мультимодального маршрута поездки;
- создание инструмента, осуществляющего контроль в области информационно-цифровой и транспортной безопасности.

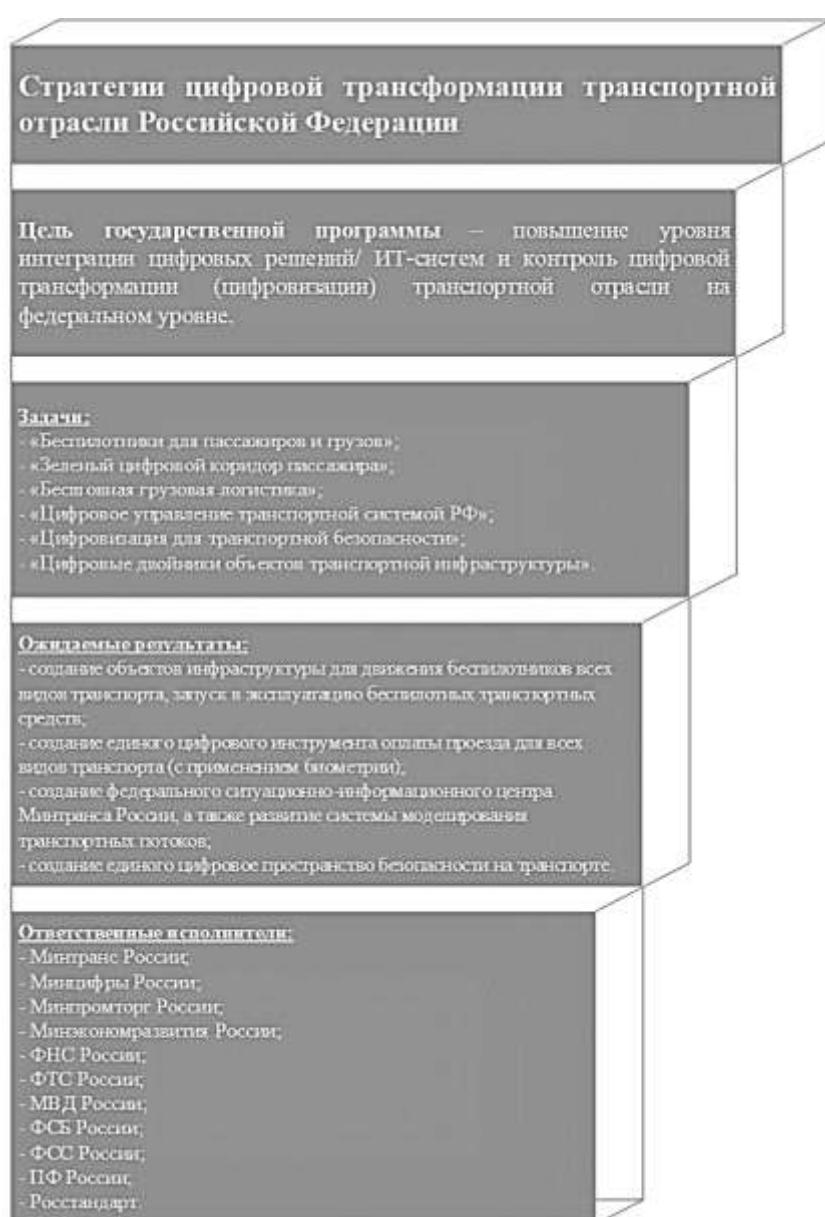


Рисунок 5 - Структура стратегии цифровой трансформации транспортной отрасли РФ

В рамках государственной программы цифровизации в сфере дорожного хозяйства в РФ [19] выделены следующие задачи по цифровизации транспортной отрасли в области дорожного хозяйства (рис. 6):

- развитие средств и технологий имитационно-информационного моделирования транспортных процессов;
- создание транснациональной сети, базирующейся на принципах, реализуемых в интеллектуальных транспортных системах [20];
- трансформация процесса оказания государственных услуг разрешительного характера в цифровом формате по принципу «одного окна»;
- достижение показателей по выполнению автоматического контроля за соблюдением Правил дорожного движения РФ.

Обеспечение реализации программ цифровизации в сфере автомобильного транспорта и дорожного хозяйства было осуществлено Министерством транспорта РФ в рамках приказа N ВБ-564фс от 03 июня 2021 г. «Об утверждении положения об управлении программ развития, цифровизации, информатизации и аналитики федеральной службы по надзору в сфере транспорта» [21]. Целью создания управления является выполнение программ по реализации компонентов информационно-телекоммуникационных технологий в области контроля и надзора на автомобильном транспорте территориальными органами.



Рисунок 6 - Структура государственной программы цифровизации в сфере дорожного хозяйства в РФ

Интеграция системы цифровой и информационной федеральной инфраструктуры возможна посредством взаимодействия мировых научных школ по вопросам цифровизации, автоматизации, интеллектуального управления в транспортных системах, поддержке проведения практико-ориентированных исследований в регионах, формирование современной материально-технической базы в высших учебных заведениях, являющихся основным источником формирования кадрового резерва.

Результаты и обсуждение

Проведенное исследование позволило систематизировать актуальные вопросы и проработать точки роста в деятельности транспортного комплекса региона, таким образом наиболее важными задачами являются: 1) обеспечить достойное качество оказываемых транспортных услуг, доступность общественного транспорта для всех групп населения в соответствии с самыми высокими социальными стандартами; 2) разработать стандарты качества и критерии допуска субъектов автомобильного транспорта к перевозочному процессу, тем самым обеспечив конкурентоспособность поставщиков транспортных услуг; 3) провести исследования в области обеспечения безопасности транспортных средств и организации их движения, а также выполнения требований транспортной безопасности.

Следующим этапом будет проведен анализ расходов федерального и регионального бюджета в рамках статьи расходования «Национальная экономика: транспорт и дорожное хозяйство (дорожные фонды)»; территориального распределения бюджета региона по муниципальным районам области; показателей-индикаторов транспортной работы в регионе; тенденций изменения состояния и параметров пассажирского парка в регионе; показателей и критериев аварийности на автомобильных дорогах Липецкой области; подходов подготовки кадров для транспортной отрасли в рамках национальной программы «Цифровая экономика». Результаты исследований будут способствовать выявлению точек роста транспортной отрасли внутри региона и помогут перейти к разработке управленческих решений с наибольшей точностью по заданным направлениям: автомобильные перевозки, совершенствование организации дорожного движения, формирование кадрового резерва.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ускова Т.В. Транспортная инфраструктура как фактор развития территорий и связанных с ними экономических пространств // Проблемы развития территории. - Вологда, 2021. - Т. 25. - № 3. - С. 7-22.
2. Ризаева Ю.Н., Сухатерина С.Н., Кузнецов А.Ю. Государственная политика в области автомобильного транспорта // Вестник Липецкого государственного технического университета. – Липецк. - 2021. - №1(44).- С. 39-42.
3. Зюзина Н.Н., Воронин Н.В., Зюзина Е.А. Анализ структуры многоуровневой модели управления автотранспортным комплексом региона // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. – Тольятти. - 2021. - Т. 2. - №1(47). - С. 79-87.
4. Московцева Л.В., Бурлюкина О.Ю., Митрофанова О.Н. Трансформация стратегии экономического развития Российской Федерации на современном этапе // Цифровая экономика: перспективы развития и совершенствования: Сборник научных статей Международной научно-практической конференции. – Курск. - 2020. - С. 151-157.
5. Маркова Е.С., Воронин Н.В. Инновационная политика государства в сфере транспорта // Инновационная экономика и право. – Липецк. - 2021. - №2(17). - С. 9-18.
6. Жеребцова Н.М. Развитие субъектов Российской Федерации в эпоху цифровой экономики / Под научной редакцией Е.Н. Камышанченко, Ю.Л. Растопчиной, А.А. Швецовой // Современные проблемы социально-экономических систем в условиях глобализации: Сборник научных трудов ХУ Международной научно-практической конференции. – Белгород. - 2021. - С. 217-220.
7. Голикова О.А. Инновационное развитие липецкой области: современное состояние и индикаторы роста / Актуальные вопросы совершенствования бухгалтерского учета, статистики и налогообложения организаций: Материалы VIII международной научно-практической конференции. - В 2 томах. – Тамбов. - 2019. - С. 217-221.
8. Шевченко А.В. Анализ существующей информационной системы общественного транспорта Липецкой области и формулирование основных требований для ее усовершенствования // Научный электронный журнал Меридиан. - Якутск. - 2020. - №2(36). - С. 96-98.
9. Стратегия в области цифровой трансформации отраслей экономики, социальной сферы и государственного управления Липецкой области. - Липецк, 19.08.2021. - (Актуальное законодательство).
10. Гавриленко, Н.Г. Сущностные особенности развития автомобильного транспорта РФ // Наука о человеке: гуманитарные исследования. – Омск. - 2021. - Т. 15. - №1. - С. 172-179.
11. О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года: Указ Президента России № 474. - Москва, 21.07.2020. - (Актуальное законодательство).
12. Рослякова Н.А. Приоритеты государственной политики развития транспортной инфраструктуры для целей инновационного развития регионов / Под редакцией Л.П. Совершаевой // Региональная экономика и развитие территорий: Сборник научных статей. - Санкт-Петербург. - 2018. - С. 85-88.
13. Воронин Н.В., Кадасев Д.А. Эффективность применения компонентов интеллектуальной транспортной системы в совершенствовании схем организации дорожного движения // Организация и безопасность

дорожного движения. материалы XIII Национальной научно-практической конференции с международным участием. – Тюмень. - 2020. - С. 427-432.

14. О системе управления реализацией национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации»: Постановление Правительства РФ №34. - Москва, 02.03.2019. - (Актуальное законодательство).

15. Огнетов В.В. Сущность и принципы государственной политики в области управления автомобильным транспортом // Аграрное и земельное право. - Королев. - 2019. - №3(171). - С. 32-41.

16. Николаев Р.С. Современные тенденции развития грузоперевозок автомобильным транспортом в россии: структурные и логистические аспекты // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. – Пермь. - 2019. - №4. - С. 290-306.

17. Воронин Н.В., Пахомова Н.Г. Концептуальная модель управления транспортным комплексом в регионе // В мире научных открытий: Материалы IV Международной студенческой научной конференции. – Ульяновск. - 2020. - С. 155-158.

18. Паспорт стратегии цифровой трансформации транспортной отрасли Российской Федерации; утв. Минтрансом России. - Москва, 16.07.2021. - (Актуальное законодательство).

19. Об утверждении Программы цифровизации в сфере дорожного хозяйства в Российской Федерации: Распоряжение Министерства транспорта Российской Федерации №ВС-105-р. - Москва, 31.05.2021. - (Актуальное законодательство).

20. Суворова А.В. Пространственное развитие территорий разного уровня: общие принципы и особенности / Под общей редакцией Лавриковой Ю.Г.// Развитие территориальных социально-экономических систем: вопросы теории и практики: Материалы XVII международной научно-практической конференции молодых ученых. – Екатеринбург. - 2020. - С. 240-243.

21. Об утверждении Положения об Управлении программ развития, цифровизации, информатизации и аналитики Федеральной службы по надзору в сфере транспорта: Приказ Ространснадзора №ВБ-564фс. - Москва, 03.06.2021. - (Актуальное законодательство).

Ляпин Сергей Александрович

Липецкий государственный технический университет
Адрес: Россия, 398000, г. Липецк, ул. Московская, д.30
Д.т.н., декан факультета инженеров транспорта
E-mail: lyapinserg2012@yandex.ru

Кадасев Дмитрий Анатольевич

Липецкий государственный технический университет
Адрес: Россия, 398000, г. Липецк, ул. Московская, д.30
К.т.н., доцент кафедры управления автотранспортом
E-mail: kadasev@mail.ru

Воронин Никита Владимирович

Липецкий государственный технический университет
Адрес: Россия, 398000, г. Липецк, ул. Московская, д.30
Аспирант
E-mail: stels650n@mail.ru

Жеребцова Наталья Михайловна

Липецкий государственный технический университет
Адрес: Россия, 398000, г. Липецк, ул. Московская, д.30
Студент
E-mail: natashazherebcova-00@yandex.ru

S.A. LYAPIN, D.A. KADASEV, N.V. VORONIN, N.M. ZHEREBTSOVA

ASPECTS OF DIGITAL TRANSFORMATION OF THE TRANSPORT INDUSTRY IN THE REGION

Abstract. The research is aimed at analyzing growth points and building an algorithm for interaction between government agencies, enterprises and organizations, as well as managing components of the transport system of the region, taking into account development strategies and trajectories, national projects, regional programs for improving the development of the transport complex. Within the framework of the study, the correlation of federal and regional programs in the field of personnel policy, road management and road transport were carried out. Promising areas of an integrated nature are highlighted, allowing to develop more advanced approaches to the management of the transport system of the region.

Keywords: state policy in the field of road transport; transport industry; digitalization of transport systems

BIBLIOGRAPHY

1. Uskova T.V. Transportnaya infrastruktura kak faktor razvitiya territorii i svyaznosti ekonomicheskogo prostranstva // Problemy razvitiya territorii. - Vologda, 2021. - Т. 25. - № 3. - S. 7-22.
2. Rizaeva Yu.N., Sukhaterina S.N., Kuznetsov A.Yu. Gosudarstvennaya politika v oblasti avtomobil'nogo transporta // Vestnik Lipetskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. - Lipetsk. - 2021. - №1(44).- S. 39-42.
3. Zyuzina N.N., Voronin N.V., Zyuzina E.A. Analiz struktury mnogourovnevoy modeli upravleniya avtotransportnym kompleksom regiona // Vestnik Volzhskogo universiteta im. V.N. Tatishcheva. - Tol'yatti. - 2021. - Т. 2. - №1(47). - S. 79-87.

4. Moskvtseva L.V., Burlyukina O.Yu., Mitrofanova O.N. Transformatsiya strategii ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na sovremenном etape // Tsifrovaya ekonomika: perspektivy razvitiya i sovershenstvovaniya: Sbornik nauchnykh statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Kursk. - 2020. - S. 151-157.
5. Markova E.S., Voronin N.V. Innovatsionnaya politika gosudarstva v sfere transporta // Innovatsionnaya ekonomika i pravo. - Lipetsk. - 2021. - №2(17). - S. 9-18.
6. Zherebtsova N.M. Razvitiye sub"ektor Rossiyskoy Federatsii v epokhu tsifrovoy ekonomiki / Pod nauchnoy redaktsiey E.N. Kamyshanchenko, Yu.L. Rastopchinoy, A.A. Shvetsovoy // Sovremennye problemy sotsial`no-ekonomicheskikh sistem v usloviyakh globalizatsii: Sbornik nauchnykh trudov HU Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Belgorod. - 2021. - S. 217-220.
7. Golikova O.A. Innovatsionnoe razvitiye lipetskoy oblasti: sovremennoe sostoyanie i indikatory rosta / Aktual`nye voprosy sovershenstvovaniya bukhgalterskogo ucheta, statistiki i nalogoooblozheniya organizatsiy: Materialy VIII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - V 2 tomakh. - Tambov. - 2019. - S. 217-221.
8. Shevchenko A.V. Analiz sushchestvuyushchey informatsionnoy sistemy obshchestvennogo transporta Lipetskoy oblasti i formulirovaniye osnovnykh trebovaniy dlya ee usovershenstvovaniya // Nauchnyy elektronnyy zhurnal Meridian. - Yakutsk. - 2020. - №2(36). - S. 96-98.
9. Strategiya v oblasti tsifrovoy transformatsii otrazley ekonomiki, sotsial`noy sfery i gosudarstvennogo upravleniya Lipetskoy oblasti. - Lipetsk, 19.08.2021. - (Aktual`noe zakonodatel`stvo).
10. Gavrilenko, N.G. Sushchnostnye osobennosti razvitiya avtomobil`nogo transporta RF // Nauka o cheloveke: gumanitarnye issledovaniya. - Omsk. - 2021. - T. 15. - №1. - S. 172-179.
11. O natsional`nykh tselyakh razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda: Ukaz Prezidenta Rossii № 474. - Moskva, 21.07.2020. - (Aktual`noe zakonodatel`stvo).
12. Roslyakova N.A. Priorityty gosudarstvennoy politiki razvitiya transportnoy infrastruktury dlya tseley innovatsionnogo razvitiya regionov / Pod redaktsiey L.P. Sovershaevoy // Regional`naya ekonomika i razvitiye territoriy: Sbornik nauchnykh statey. - Sankt-Peterburg. - 2018. - S. 85-88.
13. Voronin N.V., Kadasev D.A. Effektivnost` primeneniya komponentov intellektual`noy transportnoy sistemy v sovershenstvovanii skhem organizatsii dorozhnoy dvizheniya // Organizatsiya i bezopasnost` dorozhnoy dvizheniya. materialy HIII Natsional`noy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. - Tyumen`. - 2020. - S. 427-432.
14. O sisteme upravleniya realizatsiey natsional`noy programmy «Tsifrovaya ekonomika Rossiyskoy Federatsii»: Postanovlenie Pravitel`stva RF №34. - Moskva, 02.03.2019. - (Aktual`noe zakonodatel`stvo).
15. Ognetov V.V. Sushchnost` i printsipy gosudarstvennoy politiki v oblasti upravleniya avtomobil`nym transportom // Agrarnoe i zemel`noe pravo. - Korolev. - 2019. - №3(171). - S. 32-41.
16. Nikolaev R.S. Sovremennye tendentsii razvitiya gruzoperevozok avtomobil`nym transportom v rossii: strukturnye i logisticheskie aspekty // Vestnik Permskogo natsional`nogo issledovatel`skogo politekhnicheskogo universiteta. Sotsial`no-ekonomicheskie nauki. - Perm`. - 2019. - №4. - S. 290-306.
17. Voronin N.V., Pakhomova N.G. Kontseptual`naya model` upravleniya transportnym kompleksom v regeione // V mire nauchnykh otkrytiy: Materialy IV Mezhdunarodnoy studencheskoy nauchnoy konferentsii. - Ul`yanovsk. - 2020. - S. 155-158.
18. Pasport strategii tsifrovoy transformatsii transportnoy otrazli Rossiyskoy Federatsii; utv. Mintransom Rossii. - Moskva, 16.07.2021. - (Aktual`noe zakonodatel`stvo).
19. Ob utverzhdenii Programmy tsifrovizatsii v sfere dorozhnogo khozyaystva v Rossiyskoy Federatsii: Rasporyazhenie Ministerstva transporta Rossiyskoy Federatsii №VS-105-r. - Moskva, 31.05.2021. - (Aktual`noe zakonodatel`stvo).
20. Suvorova A.V. Prostranstvennoe razvitiye territoriy raznogo urovnya: obshchie printsipy i osobennosti / Pod obshchey redaktsiey Lavrikovoy Yu.G.// Razvitiye territorial`nykh sotsial`no-ekonomicheskikh sistem: voprosy teorii i praktiki: Materialy XVII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh. - Ekaterinburg. - 2020. - S. 240-243.
21. Ob utverzhdenii Polozheniya ob Upravlenii programm razvitiya, tsifrovizatsii, informatizatsii i analitiki Federal`noy sluzhby po nadzoru v sfere transporta: Prikaz Rostransnadzora №VB-564fs. - Moskva, 03.06.2021. - (Aktual`noe zakonodatel`stvo).

Lyapin Sergey Aleksandrovich

Lipetsk State Technical University

Address: Russia, 398000, Lipetsk, Moskovskaya str., 30

Doctor of technical sciences

E-mail: lyapinserg2012@yandex.ru

Kadasev Dmitry Anatolevich

Lipetsk State Technical University

Address: Russia, 398000, Lipetsk, Moskovskaya str., 30

Candidate of technical sciences

E-mail: kadasev@mail.ru

Voronin Nikita Vladimirovich

Lipetsk State Technical University

Address: Russia, 398000, Lipetsk, Moskovskaya str., 30

Graduate student

E-mail: stels650n@mail.ru

Zherebtsova Natalia Mikhailovna

Lipetsk State Technical University

Address: Russia, 398000, Lipetsk, Moskovskaya str., 30

Student

E-mail: natashazherebcova-00@yandex.ru

Научная статья

УДК 656

doi:10.33979/2073-7432-2022-3(78)-3-127-134

М.И. МАЛЫШЕВ

ПРИНЦИПЫ ВНЕДРЕНИЯ БЫСТРОРАЗВИВАЮЩИХСЯ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКИ

Аннотация. Обоснована актуальность проблемы управления внедрением инновационных технологий в транспортно-логистические процессы. Выявлены зависимости распространения инноваций от объема финансирования, принадлежности субъекта внедрения государственным органам власти или частным лицам, уровня экономического развития региона. Проанализированы данные о финансировании и инновационном развитии организаций и отраслей экономики. Подтверждено отсутствие зависимости уровня инновационного развития исключительно от объемов финансирования. Описаны социальные модели распространения инноваций, из которых в транспортной логистике при обозначенных условиях может быть применена сетевая модель. С позиции естественно-научного подхода выделена эконофизическая модель, позволяющая осуществлять управление диффузией инноваций. Обозначены такие требования к инновациям, как доступность и простота внедрения. Приведен пример инновационного инструмента обеспечения омниканальности в управлении цепями поставок, соответствующего обозначенным требованиям.

Ключевые слова: транспортная логистика, модели распространения инноваций, диффузия инновационных технологий, принципы внедрения, зависимость от финансирования, статистика инновационной активности; эконофизическая модель, цифровые информационные технологии

Введение

В условиях инновационно-ориентированной политики развития государства и социальных трендов, связанных с постоянным совершенствованием технологий, для обеспечения опережающего развития транспортной отрасли необходимо осуществлять своевременное внедрение инноваций и гарантировать соответствующий уровень и объем предоставления инновационных услуг в транспортной логистике.

В долгосрочном планировании органы государственной власти связывают перспективное развитие транспортной отрасли с возможным стремительным развитием технологий и повышением спроса на такие технологии. При этом появление прорывных технологий может создать ситуацию, в которой потребуется изменение концепций развития транспортной отрасли и управления в транспортной логистике. В такой перспективе задачей транспортной системы остается удовлетворение потребностей экономики и общества в транспортных услугах должного уровня. Результатом применения инноваций видится увеличение уровня конкурентоспособности транспортных предприятий, повышение безопасности и эффективности эксплуатации транспорта [1].

Акцент на инновациях, как на способе повышения конкурентоспособности, делают и в зарубежных странах с высокоразвитыми транспортными системами, соотнося с принципом инноваций экономические и социальные преимущества, оказывающие положительное влияние на общую политику [2].

Внедрение и распространение инновационных технологий необходимо осуществлять и в транспортных системах, обеспечивающих пассажирские перевозки [3].

Для достижения целей долгосрочного планирования необходимо создание центров генерации инноваций, инновационной инфраструктуры, внедрение соответствующих образовательных программ и инновационных решений.

Основой инновационного развития в транспортной логистике на уровне управления процессами являются информационные технологии, обеспечивающие формирование соответствующих инфраструктур и сервисов.

Необходимо управление внедрением инноваций, которое заключается в системном воздействии на распространение инноваций в определенной, в данном случае транспортной отрасли, и методическом регулировании процесса предоставления инновационных логистических услуг.

На сегодняшний день инновационное развитие российского транспорта ограничено низким уровнем цифровизации и недостаточным внедрением цифровых технологий профильными предприятиями, особенно с небольшим парком подвижного состава [4].

Это связано с недостаточным инновационным потенциалом предприятий транспорта (при широких инновационных возможностях и реальных перспективах внедрения информационных технологий), обусловленным отсутствием совокупности необходимых ресурсов и уровнем управленческих навыков. Ответственные за внедрение инноваций лица либо не видят возможностей для внедрения, не видят реальных перспектив и не прогнозируют преумножающих показатели эффективности результатов, либо не умеют должным образом осуществлять процесс внедрения инноваций.

При этом, процесс управления внедрением инноваций усложнен смешением различных областей науки и необходимостью взаимодействия во всех сферах производства и потребления, растущим количеством инновационных решений и колоссальными объемами информации, но при этом низким уровнем осведомленности ответственных лиц об инновационных продуктах.

Не всякое инновационное решение находит применение на практики в транспортной логистике и распространяется в больших масштабах. Плодотворные решения могут внедряться лишь под существенным давлением внешних факторов, а популярные новшества со временем могут оказаться бесперспективными.

Концептуальные новшества по большей части связаны с использованием цифровых технологий и их преимуществ, и приводят к преобразованию ключевых бизнес-операций, затрагивают продукты, услуги и логистические процессы предприятий, а также организационные структуры и концепции управления [5, 6].

Значение инновационной политики в транспортной логистике трудно переоценить, так как, во-первых, сегодняшние решения фактически предопределяют уровень развития логистических услуг в будущем, во-вторых, недостаточное распространение инновационных технологий неизбежно приведет не только к стагнации уровня транспортного обслуживания, но и к усугублению существующих транспортных проблем.

Целью настоящего исследования является выявление особенностей инновационно-ориентированного управления логистическими процессами в условиях быстроразвивающихся технологий и непрерывного процесса внедрения инноваций, и попытка интеграции выявленных особенностей в управленческий процесс.

Для достижения поставленной цели необходимо выявить наиболее подходящие для транспортной логистики методы внедрения инноваций и сопоставить основные составляющие процессов инновационного развития и управления перевозками.

Материалы и методы

В результате анализа открытых источников информации (сайтов транспортных компаний, органов государственной власти, тематических научных изданий и т.д.), на основании результатов собственных ранее выполненных исследований выявлена и сформулирована проблема распространения инновационных технологий в транспортной логистике. В процессе сопоставления статистических данных об уровне инновационной активности организаций, в том числе являющихся участниками логистических систем, объемах инновационных услуг в области доставки и хранения грузов и затрат транспортно-логистических компаний на инновационную деятельность, сделаны выводы о зависимости распространения инноваций в транспортной логистике от объема финансирования. Для выявления зависимости между затратами на инновации и объемом инновационных товаров и услуг сопоставлены соответствующие результаты в более чем пятидесяти видах экономической деятельности. Проанализированы существующие модели распространения инноваций на предмет возможности их применения в управлении диффузией. Выявлены характерные особенности инноваций, способствующие их распространению. Представлена графическая интерпретация уровня инновационной активности предприятий различных сфер деятельности и схема моделей распространения инноваций в транспортной логистике. Источники информации, непосредственно использованные в настоящем исследовании, перечислены в соответствующем разделе.

Теория

Одним из драйверов внедрения и распространения инноваций и важной составляющей инновационного потенциала предприятия считается финансирование инновационного развития в необходимом объеме (достаточное для разработки и внедрения новых решений и технологий).

Финансирование инноваций может быть внешним и внутренним. Транспортные предприятия, внедряющие инновации, могут быть частными, государственными (подведомственными федеральным и местным органам власти) и со смешанной формой собственности.

Выявлена определенная зависимость между инновациями и финансированием. Государственные компании, имеющие источники внешнего финансирования инновационного развития, по сравнению с частными предприятиями тратят больше на исследования и разработки и в результате имеют больше инноваций, если ориентироваться на количество патентов. Если инновационное развитие не имеет внешней финансовой поддержки и осуществляется только за счет финансовых ресурсов, источники которых образуются в процессе финансово-хозяйственной деятельности самой компании, то лучший инновационный профиль формируется у частных компаний [7].

Согласно статистическим данным затраты организаций на инновационную деятельность в области доставки и хранения в 2019 году составили 228822,65 млн. руб., в 2020 году 203748,54 млн. руб. [8].

Наибольшие объемы финансирования инноваций пришлись на промышленное производство, в 2019 году 984315,47 млн. руб., в 2020 году 1168528,76 млн. руб. Из них в инновации на производство оборудования израсходовано в 2019 году 22310,25 млн. руб., в 2020 году 24305,30 млн. руб., а на производство автотранспортных средств в 2019 году 32726,35 млн. руб., в 2020 году 48904,09 млн. руб. [8].

Общий объем затрат на инновационную деятельность организаций России составил в 2019 году 1954133,31 млн руб., в 2020 году 2134038,42 млн руб. [8].

В результате обработки данных о влиянии финансовой структуры на инновации в 59 странах и регионах за 19 лет сделаны выводы о механизме влияния финансирования на инновации. Исследования показывают, что финансовая структура не оказывает существенного влияния на инновации при низких уровнях экономического развития региона или отрасли, но на более высоких уровнях экономического развития рыночная финансовая структура значительно способствует инновациям [9].

Сами по себе инновации разделены на технологическую имитацию и независимые инновации. Технологические имитации требуют поддержки сторонней, например, банковской финансовой структуры, в то время, как финансирование независимых инноваций обеспечивается рынком.

Отсутствие прямой зависимости от финансирования и его определяющей роли подтверждает сравнение затрат на инновации и объема инновационных товаров и услуг в таких видах экономической деятельности, как доставка и хранение, промышленное производство оборудования и производство автотранспортных средств.

В соответствии с данными Росстата уровень инновационной активности предприятий, деятельность которых связана с транспортировкой и хранением, составлял 4 % в 2020 году и увеличился на 1,2 % по сравнению с 2019 годом [10].

Средний уровень инновационной активности организаций по России в 2020 году составил 10,8 % и увеличился на 1,7 % по сравнению с 2019 годом (рис. 1).

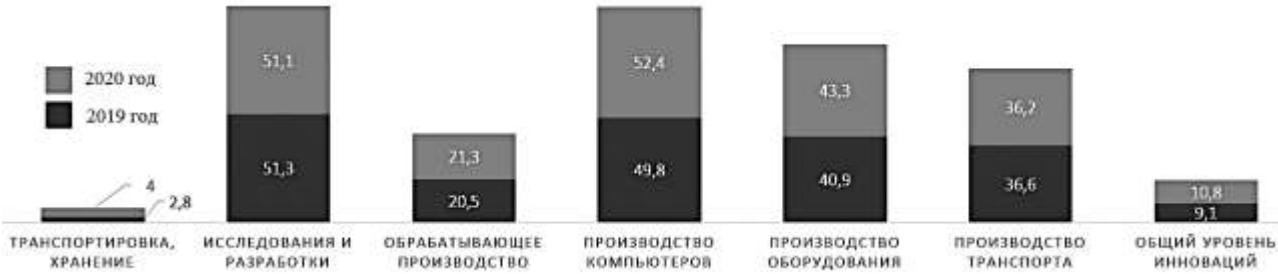


Рисунок 1 - Уровень инновационной активности организаций в Российской Федерации в 2019 и 2020 годах (%)

Наиболее инновационно активными являются предприятия, осуществляющие деятельность в области научных исследований и разработок (51,1 % организаций в 2020 году, что на 0,2 % меньше, чем в 2019 году), и обрабатывающего производства (21,3 % в 2020 году, что на 0,8 % больше, чем в 2019 году). При этом наиболее инновационно активными в обрабатывающем производстве являются предприятия, осуществляющие производство компьютеров, электронных и оптических изделий (52,4 % в 2020 году, что на 2,6 % больше, чем в 2019 году, но на 1,2 % меньше, чем в 2018 году), и некоторых видов машин и оборудования (43,3 % в 2020 году, что на 2,4 % больше, чем в 2019 году, но на 2 % меньше, чем в 2018 году).

Одной из ключевых смежных отраслей экономики считается отрасль машиностроения, обеспечивающая в том числе и производство подвижного состава, транспортных средств и внедрение инноваций, которые позволяют повысить эффективность транспортного сектора [1].

Уровень инновационной активности предприятий, осуществляющих производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов составил 36,2% в 2020 году, что на 0,4 % меньше, чем в 2019 году и на 4,3 % меньше, чем в 2018 году [10].

Общий объем инновационных товаров, работ и услуг по России с 2019 по 2020 год вырос на 6,69 %. Объем инновационных работ и услуг в сфере транспортировки и хранения в 2020 году вырос на 164,48 % по сравнению с 2019 годом (с 47469,6 до 125550,2 млн. руб.) и составил 2,42 % от общего объема товаров, работ, услуг. В области научных исследований и разработок объем инновационных товаров, работ и услуг вырос за тот же период на 18,05 % и составил 11,95 % от общего объема, а в области обрабатывающего производства вырос на 14,84 % и составил 66,1 %. Для предприятий, осуществляющих производство компьютеров, электронных и оптических изделий, некоторых видов машин и оборудования, автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов, объем инновационных товаров, работ и услуг в общем объеме составил 4,2 %, 1,96 % и 7,64 % соответственно [11].

Затраты на инновационную деятельность предприятий в области транспортировки и хранения в 2020 году уменьшились по сравнению с 2019 на 10,96 % (с 228 822,7 до 203 748,5 млн. руб.) и составили 9,55 % от общего объема затрат [8].

Затраты на деятельность в области научных исследований и разработок составляют 24,15 % от общего объема затрат. Тоже соотношение для обрабатывающего производства составляет 45,02 %, для предприятий, осуществляющих производство компьютеров, электронных и оптических изделий 4,28 %, некоторых видов машин и оборудования 1,14 %, производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов 2,29 % [8].

По сравнению с предприятиями, осуществляющими другие виды деятельности, предприятия, специализирующиеся на транспортировке, имеют потенциал инновационного развития при нынешнем состоянии финансирования.

В результате сопоставления данных об уровне инновационной активности предприятий различных сфер деятельности, объемах их инновационных товаров, работ и услуг, и затрат этих организаций на инновационную деятельность, можно подтвердить вывод, что инвестиционно-финансовая составляющая является важной, но не единственной и не единственno определяющей уровень инновационного развития предприятия определенной отрасли.

Результаты и обсуждение

Исходя из теории жизненного цикла товаров и услуг распространение инноваций совпадает с этапом их коммерциализации.

Особенностью распространения инноваций в социально-экономической среде является их взаимодействие в процессе внедрения и применения. Таким образом возможность и темпы распространения определенной инновационной технологии в области транспортной логистики зависит от распространения смежных инноваций и инновационного развития смежных отраслей.

При существующих моделях создания самих инноваций, сформулированных теорий моделирования и прогнозирования инновационного развития, недостаточно инструментов, которые позволяют управлять процессами распространения инноваций. Такая модель должна иметь возможность встраиваться в транспортно-логистические процессы и предполагать взаимодействие со смежными инновациями [12].

Кроме экономических и финансовых инструментов для успешного и качественного распространения инноваций в транспортной логистике необходимо применение управлеченческих и технологических моделей реализации инноваций.

В соответствии с пространственной моделью распространение инноваций происходит волнообразно, а осознание необходимости внедрения инновационного продукта происходит при взаимодействии организаций в рамках сравнительного анализа эффективности (рис. 3).

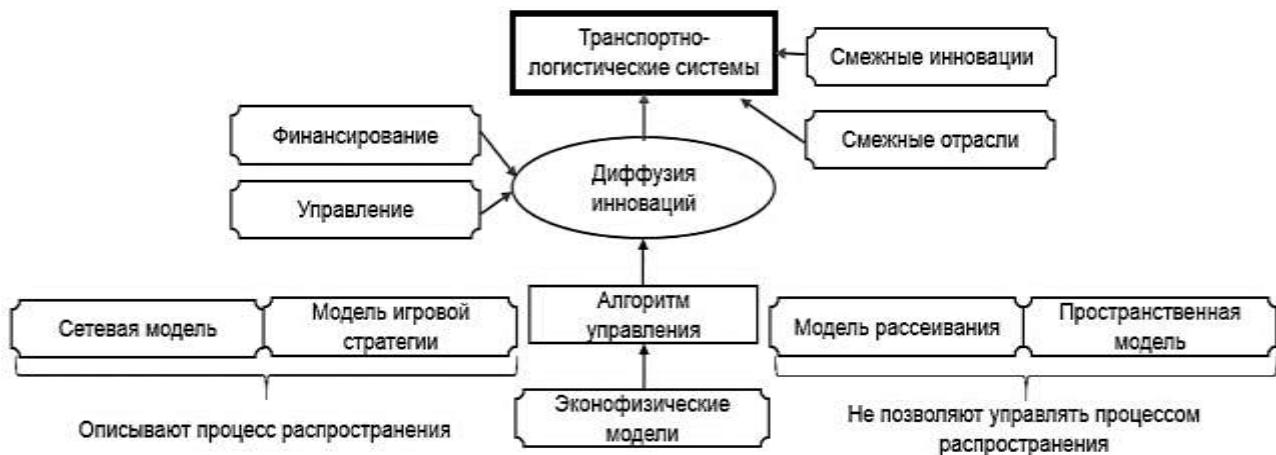


Рисунок 2 - Модели распространения инноваций в транспортной логистике

Распространение осуществляется от центра к периферии и от более крупных субъектов к менее крупным, а скорость распространения зависит от удаления периферии от центра или места зарождения инновационной технологии. Также на распространение инноваций влияют внутренние характеристики региона [13].

Пространственная модель, обеспечивая прогнозирование распространения инноваций, не позволяет управлять самим процессом распространения [14].

Это же замечание относится и к модели рассеивания.

В соответствии с моделью рассеивания распространение инноваций - это процесс, благодаря которому инновации передаются по определенным каналам среди элементов социальной системы в течение времени [15].

Для бизнес-среды социальные элементы могут быть сопоставлены с корпоративными.

В данной модели установлена зависимость роста количества последователей инновации от эффекта рекламы и маркетинговых переменных, а затем от мотивов лиц, принимающих решения о необходимости внедрения инновации.

Для описания распространения инноваций в области логистики может быть использована сетевая модель. В этом случае инновации распространяются от начальных пользователей, например, фокусной компании в управлении цепями поставок или основного перевозчика, до всех участвующих в логистической системе кандидатов на распространение.

Примером цифровой информационной инновационной технологии, распространяемой в транспортной логистике в соответствии с сетевой моделью, может быть инструмент обеспечения передачи информацией между всеми участниками цепи поставок [16].

В сетевой модели успех распространения инновации зависит от количества начальных пользователей [17].

В логистической системе это не может быть принято, как постоянный факт, так как использование инноваций не всеми участниками логистической системы может привести к снижению качества транспортировки и спровоцировать появление узких мест в цепи поставок. Успехом в распространении инновации может считаться использование определенной инновации всеми участниками логистической системы, за исключением тех участников, которые не выполняют функции улучшающей этой инновацией.

В соответствии с моделью игровой стратегии распространения инноваций, решение о внедрении инновационной технологии принимается на основе рационального выбора, вероятности усиления позиций на рынке транспортно-логистических услуг и повышения конкурентоспособности компаний.

В работах, связанных с моделью игровой стратегии уже рассматривается возможность выбора на конкурентном рынке инноваций и описываются координационные игры. Установлена независимая от размера и структуры сети закономерность, когда распространение инноваций происходит при очевидности их выгоды [18].

Проанализированные модели распространения инноваций описывают поведение пользователей, объясняют процесс принятия решений о приобретении инноваций и изображают натурное движение инноваций, не учитывая при этом взаимное влияние инноваций и не позволяя эффективно использовать особенности транспортно-логистической системы для инновационного развития. Это исключает применения данных моделей для управления процессами распространения инноваций в логистике.

Основанные на естественно-научном подходе эконофизические модели описывают распространение инноваций зависимостями, характерными для определенных сред распространения.

В процессе рассмотрения диффузии инноваций выявляются параметры их взаимного влияния, интерференции инновационных волн, моделируется движение субъектов, лиц, принимающих инновацию.

Математический аппарат эконофизического подхода позволяет учесть параметры инновации и среды распространения, построить алгоритм управления процессом распространения инновации [12].

Выходы

Имея научный инструмент построения модели управления диффузии инноваций в транспортной логистике необходимо определить параметры распространения, учитывая среду распространения, требования субъектов и особенности самих инноваций.

Одной из задач инновационных продуктов на транспорте является доступность новых технологий для предприятий и простота их внедрения [19].

Эта задача решается в процессе создания инноваций и является одной из их характеристик.

Примером распространения инновационного инструмента можно считать виртуальный, круглосуточный, отказоустойчивый инструмент обеспечения омниканальности в управлении цепями поставок [20].

Инновация может быть внедрена по пространственному принципу от фокусной компании к остальным участникам логистической цепи, а эффективно функционировать способна только если используется всеми участниками системы.

То, что происходит сегодня с цифровой трансформацией отдельных процессов и операций, предприятиями и организациями, и в целом в логистике иногда определяют, как «цифровой хаос» [21].

Управление внедрением быстроразвивающихся инновационных в том числе цифровых информационных технологий в процессы транспортной логистики обеспечит порядок распространения инноваций, сделает процесс менее спонтанным и более стратегически выверенным, обеспечит использование всех возможностей инноваций и повысит уровень знаний и компетенции персонала, эксплуатирующего инновации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года (в ред. распоряжения Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р). - М.: Правительство РФ, 2021.
2. Savin J. The EU Internal Market Regulation Through the Innovation Principle Perspective // on European Integration 2018. - 2018. - С. 1272.
3. Малышев М.И. Инновации в области городского общественного транспорта и перспективы внедрения принципов новой мобильности // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. - 2022. - Т. 25. - №3.
4. Малышев М.И., Филиппова Н.А. Уровень цифровизации российского транспорта / Под общей редакцией А.Н. Новикова // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы VI Международной научно-практической конференции.. 2020. С. 62-68.
5. Tijan E. et al. Digital transformation in the maritime transport sector // Technological Forecasting and Social Change. - 2021. - Т. 170. - С. 120879.

6. Малышев М.И. Обзор исследований в области повышения эффективности мультимодальных перевозок на основе технологических решений // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. - 2020. - Т. 23. - №4. - С. 58-71.
7. Acharya V., Xu Z. Financial dependence and innovation: The case of public versus private firms // Journal of financial economics. - 2017. - Т. 124. - №2. - С. 223-243.
8. Затраты на инновационную деятельность организаций, по видам экономической деятельности по Российской Федерации, 2017-2020 гг. / Ответственный исполнитель: Горева Е.А. - Данные федеральной службы государственной статистики. - Обновлено: 31.08.2021 г.
9. Wang C.B., Huang Z. Econometric analysis of the impact of financial structure on innovation based on the fixed effects panel model // Mathematical problems in engineering. - 2021.
10. Уровень инновационной активности организаций, по Российской Федерации, по видам экономической деятельности, 2017-2020 гг. / Ответственный исполнитель: Горева Е.А. - Данные федеральной службы государственной статистики. - Обновлено: 31.08.2021 г.
11. Объем инновационных товаров, работ, услуг по Российской Федерации, по видам экономической деятельности 2017-2020 гг. / Ответственный исполнитель: Горева Е.А. - Данные федеральной службы государственной статистики. - Обновлено: 31.08.2021 г.
12. Цветкова Н.А., Тукель И.Л. Модели распространения инноваций: от описания к управлению инновационными процессами // Инновации. - 2017. - №11(229). - С. 106-111.
13. Kandler A., Steele J. Innovation diffusion in time and space: effects of social information and of income inequality // Diffusion Fundamentals. - 2009. - Т. 11. - №3. - С. 1-17.
14. Smith T.E., Song S.A spatial mixture model of innovation diffusion // Geographical Analysis. - 2004. - Т. 36. - №2. - С. 119-145.
15. Rogers, E.M. Diffusion of innovations - Simon and Schuster, 2010.
16. Малышев М.И., Ивахненко А.М., Фадеева Е.Ю., Гоголин С.С. Исследование процесса создания сценария чат-бота в цифровой транспортной логистике // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы VII Международной научно-практической конференции. 2021. - В 2-х томах. - Орел: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева. - С. 403-414.
17. Meghanathan N. Probabilistic diffusion in random network graphs // arXiv preprint arXiv:1511.06613. - 2015.
18. Kreindler G.E., Young H.P. Rapid innovation diffusion in social networks // Proceedings of the National Academy of Sciences. - 2014. - Т. 111. - №. Supplement 3. - С. 10881-10888.
19. Malyshev M.I. et al. Artificial neural network detection of damaged goods by packaging state // 2021 Intelligent technologies and electronic devices in vehicle and road transport complex (TIRVED). - 2021. - С. 1-7.
20. Малышев М.И. Инновационные инструменты обеспечения омниканальности в управлении цепями поставок // Технологии информационного общества. - 2022. - С. 299-301.
21. Дыбская В.В. Цифровые технологии в логистике и управлении цепями поставок: аналитический обзор / под общ. и науч. ред. В. И. Сергеева - М.: Высшая школа экономики, 2020.

Малышев Максим Игорьевич

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

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

К.т.н., доцент кафедры менеджмента

E-mail: dicorus@mail.ru

M.I. MALYSHEV

PRINCIPLES OF INTRODUCING RAPIDLY DEVELOPING INNOVATIVE TECHNOLOGIES INTO TRANSPORT LOGISTICS PROCESSES

Abstract. The relevance of the problem of managing the introduction of innovative technologies in transport and logistics processes is substantiated. Dependences of the spread of innovations on the amount of funding, ownership of the subject of implementation by state authorities or private individuals, and the level of economic development of the region are revealed. Data on financing and innovative development of organizations and sectors of the economy are analyzed. It is confirmed that the level of innovative development does not depend solely on the amount of financing. Social models of innovation distribution are described, of which a network model can be applied in transport logistics under the indicated conditions. From the standpoint of the natural-scientific approach, an econophysical model has been identified that allows managing the diffusion of innovations. Such requirements for innovations as accessibility and ease of implementation are indicated. An example of an innovative tool for providing omnichannel in supply chain management that meets the specified requirements is given.

Keywords: transport logistics; innovation diffusion models; diffusion of innovative technologies; implementation principles; dependence on funding; statistics of innovative activity; econophysical model, digital information technologies

BIBLIOGRAPHY

1. Transportnaya strategiya Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda (v red. rasporyazheniya Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 27 noyabrya 2021 g. № 3363-r). - M.: Pravitel'stvo RF, 2021.
2. Savin J. The EU Internal Market Regulation Through the Innovation Principle Perspective // on European Integration 2018. - 2018. - S. 1272.
3. Malyshev M.I. Innovatsii v oblasti gorodskogo obshchestvennogo transporta i perspektivy vnedreniya printsipov novoy mobil'nosti // Nauchnyy vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoy aviatsii. - 2022. - T. 25. - №3.
4. Malyshev M.I., Filippova N.A. Uroven` tsifrovizatsii rossiyskogo transporta / Pod obshchey redaktsiey A.N. Novikova // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii.. 2020. S. 62-68.
5. Tijan E. et al. Digital transformation in the maritime transport sector // Technological Forecasting and Social Change. - 2021. - T. 170. - S. 120879.
6. Malyshev M.I. Obzor issledovaniy v oblasti povysheniya effektivnosti mul'timodal'nykh perevozok na osnove tekhnologicheskikh resheniy // Nauchnyy vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoy aviatsii. - 2020. - T. 23. - №4. - S. 58-71.
7. Acharya V., Xu Z. Financial dependence and innovation: The case of public versus private firms // Journal of financial economics. - 2017. - T. 124. - №2. - S. 223-243.
8. Zatraty na innovatsionnyu deyatel'nost' organizatsiy, po vidam ekonomiceskoy deyatel'nosti po Rossiyskoy Federatsii, 2017-2020 gg. / Otvetstvennyy ispolnitel': Goreva E.A. - Dannye federal'noy sluzhby gosudarstvennoy statistiki. - Obnovлено: 31.08.2021 g.
9. Wang C.B., Huang Z. Econometric analysis of the impact of financial structure on innovation based on the fixed effects panel model // Mathematical problems in engineering. - 2021.
10. Uroven` innovatsionnoy aktivnosti organizatsiy, po Rossiyskoy Federatsii, po vidam ekonomiceskoy deyatel'nosti, 2017-2020 gg. / Otvetstvennyy ispolnitel': Goreva E.A. - Dannye federal'noy sluzhby gosudarstvennoy statistiki. - Obnovлено: 31.08.2021 g.
11. Ob'em innovatsionnykh tovarov, rabot, uslug po Rossiyskoy Federatsii, po vidam ekonomiceskoy deyatel'nosti 2017-2020 gg. / Otvetstvennyy ispolnitel': Goreva E.A. - Dannye federal'noy sluzhby gosudarstvennoy statistiki. - Обновлено: 31.08.2021 g.
12. TSvetkova N.A., Tukkel' I.L. Modeli rasprostraneniya innovatsiy: ot opisaniya k upravleniyu innovatsionnymi protsessami // Innovatsii. - 2017. - №11(229). - S. 106-111.
13. Kandler A., Steele J. Innovation diffusion in time and space: effects of social information and of income inequality // Diffusion Fundamentals. - 2009. - T. 11. - №3. - S. 1-7.
14. Smith T.E., Song S.A spatial mixture model of innovation diffusion // Geographical Analysis. - 2004. - T. 36. - №2. - S. 119-145.
15. Rogers, E.M. Diffusion of innovations - Simon and Schuster, 2010.
16. Malyshev M.I., Ivakhnenko A.M., Fadeeva E.YU., Gogolin S.S. Issledovanie protsessa sozdaniya stsenariya chat-bota v tsifrovoy transportnoy logistike // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2021. - V 2-kh tomakh. - Orel: Orlovskiy gosudarstvennyy universitet imeni I.S. Turgeneva. - S. 403-414.
17. Meghanathan N. Probabilistic diffusion in random network graphs // arXiv preprint arXiv:1511.06613. - 2015.
18. Kreindler G.E., Young H.P. Rapid innovation diffusion in social networks // Proceedings of the National Academy of Sciences. - 2014. - T. 111. - №. Supplement 3. - S. 10881-10888.
19. Malyshev M.I. et al. Artificial neural network detection of damaged goods by packaging state // 2021 Intelligent technologies and electronic devices in vehicle and road transport complex (TIRVED). - 2021. - S. 1-7.
20. Malyshev M.I. Innovatsionnye instrumenty obespecheniya omnikanal'nosti v upravlenii tsepyami postavok // Tekhnologii informatsionnogo obshchestva. - 2022. - S. 299-301.
21. Dybskaya V.V. Tsifrovye tekhnologii v logistike i upravlenii tsepyami postavok: analiticheskiy obzor / pod obshch. i nauch. red. V. I. Sergeeva - M.: Vysshaya shkola ekonomiki, 2020.

Malyshev Maxim Igor'evich

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)

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

Candidate of technical sciences

E-mail: dicorus@mail.ru

Научная статья

УДК 656.135.01

doi:10.33979/2073-7432-2022-3(78)-3-135-140

Д.Ю. КОЧЕГУРА, Л.Б. МИРОТИН, Е.А. ЛЕБЕДЕВ

ЦИФРОВИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ РЕСУРСОДОБЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

Аннотация. Описана система управления и контроля транспортно-логистическим обеспечением ресурсодобывающего комплекса. Представлены этапы процесса управления и контроля. Выработана концептуальная модель управления транспортно-логистического обеспечения с использованием теории графов, которая является основой для подобных систем на базе искусственного интеллекта.

Ключевые слова: цифровизация, система управления и контроля, нефтегазовая промышленность, ресурсодобывающий комплекс, граф, информационные потоки, процессы и подпроцессы

Введение

Нефтегазовая промышленность играет ключевую роль в экономике Российской Федерации и тесно связана практически со всеми отраслями. Обширная цепочка создания добавленной стоимости приводит к рискам, связанным с возникновением обратного эффекта, когда минимальные задержки на начальных этапах цепочки поставок могут привести к значительным негативным последствиям для конечных потребителей [1].

В ходе проводимых научно-прикладных исследований было выявлено, что в настоящее время практически не используются современные подходы по прогнозированию возникающего спроса со стороны ресурсодобывающего комплекса (РДК) на услуги транспортно-логистического обеспечения, в том числе для доставки комплектующих, предназначенных для текущего и капитального ремонта действующих нефтяных скважин (ТКРС) [2]. Для целей снижения рисков, связанных с простоями технологических процессов на РДК необходимо решение задач по прогнозированию ТКРС с помощью средств сквозной цифровизации.

Для данной задачи под цифровизацией подразумевается процесс внедрения современных цифровых технологий во все процессы производства на РДК, которыми необходимо управлять. В прошлом управление касалось преимущественно материальных потоков, однако в современном мире процесс управления трактуется как процесс управления информационными ресурсами. В связи с этим основной тенденцией в современных процессах управления является понимание приоритетности их информационной сущности.

Материал и методы

Процесс управления и контроля транспортно-логистическим обеспечением РДК можно представить в виде последовательности следующих этапов:

- определение характеристик бизнес-процессов, которые имеют наибольшее значение для построения системы управления;
- первоначальное прогнозирование основных показателей характеристик бизнес-процессов на основе имеющихся данных;
- мониторинг и анализ полученных результатов;
- выявление ключевых точек возникновения рисков и проведение контрольных процедур;
- автоматизированный расчет корректировок;
- скорректированный прогноз;
- автоматизированное принятие управленческих решений.

Управление РДК имеет сложную иерархическую структуру, состоящую из нескольких направлений деятельности, каждый из которых включает в себя соответствующие процессы и подпроцессы. Каждый процесс и подпроцесс нуждается в аналогичных этапах управления и

контроля. При этом управление каждым процессом и подпроцессом должно иметь свою цель [3]. Например, снижение издержек, повышение устойчивости, увеличение объемов, сокращение простоев и т.д. Каждая цель процесса управления должна быть сформулирована четко с использованием количественных показателей. Также необходимо выявить точки наиболее вероятного возникновения управлеченческих, производственных и финансовых рисков.

Таким образом, появляется необходимость в построении модели управления, которая включала бы в себя все цели и методы описания взаимосвязей различных систем и подсистем в рамках одного производственного процесса РДК. При исследованиях управлеченческих процессов оптимальным является использование математических методов, которые позволяют учесть зависимость от действий многих факторов и их сочетаний. Для решения управлеченческих задач такой сложности может быть использован раздел дискретной математики, который называется теория графов.

Теория графов является базисным инструментом для создания системы искусственного интеллекта, поскольку сам граф является структурой данных. В общем виде графом называется система объектов произвольной природы и их связок, которые соединяют некоторые пары этих объектов. Объекты являются вершинами, связки ребрами, а сам граф можно определить как визуализированную нелинейную структуру данных. В нелинейных структурах данных объекты находятся на разных уровнях.

Свойства теории графов дают возможность проанализировать потоки информации о транспортно-логистических процессах РДК, выявить наиболее проблемные области и в конечном счете смоделировать такую систему управления, которая бы позволяла визуализировать решение основных задач.

Теория / расчет

Устойчивость функционирования системы управления транспортно-логистического обеспечения РДК определяется составом тех процессов, в которых с наибольшей вероятностью могут возникнуть существенные риски. Эти риски, как правило, связаны со значительными материальными и финансовыми потерями. Для создания оптимальной системы управления в точках наибольших рисков должны быть разработаны процедуры контроля. Процедуры контроля состоят из набора последовательных действий (алгоритма), которые удостоверяют, что функции на каждом процессе и подпроцессе выполняются в соответствии с заданными исходными данными.

Для целей построения системы управления предлагается встроить инструмент, который отражает информационный поток в параллели с производственными процессами. Это позволяет в режиме реального времени анализировать процессы и подпроцессы, сопоставлять фактические показатели с прогнозными, идентифицировать причины отклонений и осуществлять корректировки. Таким образом система предоставляет возможность индивидуальной настройки для каждого процесса и подпроцесса.

Рассмотрим алгоритм осуществления процесса управления и контроля транспортно-логистическим обеспечением РДК. На начальном этапе осуществляется анализ каждого процесса, участвующего в системе управления. Среди них существуют те процессы, по которым управлеченческие решения уже приняты и не подлежат изменению, либо по ним невозможно принять решение в принципе. Такие процессы алгоритмом не принимаются в рассмотрение.

Значительная часть процессов рассматривается алгоритмом следующим образом. В первую очередь в каждом процессе определяется перечень подпроцессов, степень автоматизации каждого подпроцесса, выявляются ключевые точки управления, в которых возникает максимальное количество рисков и неопределенностей, а также формируется система показателей, которые описывают подпроцессы и оценивают их эффективность [4]. Вышеуказанные параметры процессов подвергаются контролю, который состоит из последовательных шагов, включающих в себя мониторинг фактического осуществления процесса, на основании которого принимается решение о необходимости корректировок исходных параметров. В случае необходимости корректировки происходит перерасчет исходных параметров. Измененные параметры тестируются системой управления на отклонения [7-9]. В случае несуще-

ственности отклонений или рисков, система принимает решение о продолжении функционирования в штатном режиме и сообщает об успешном завершении контрольной процедуры. В случае возникновения существенных рисков или отклонений производится полный автоматический перерасчет и повторное тестирование параметров [11-13]. При успешном прохождении всех контрольных процедур система сообщает о штатном функционировании процесс управления продолжается до полного завершения.

Наиболее эффективным является представление алгоритма в информационно-графическом виде, который по своей сути является упрощенной моделью графа. Понятие графа над базовым множеством определяется как $IG = \langle W, V \rangle$. Изображается в виде вершин (полюсов), некоторые из которых соединены линиями. Затем выбирается некоторый полюс, который называется корнем, а остальные полюса называются листьями и им приписываются записи из некоторого множества X . Некоторые вершины сети являются переключательными и им приписываются переключатели $V = \{v_i, i \in I\}$. Ребра, исходящие из каждой переключательной вершины, нумеруются подряд, начиная с 1 и называются переключательными ребрами. Остальные вершины называются предикатными и им приписываются предикаты из множества $W = \{w_j, j \in J\}$. I и J - конечные множества индексов [5, 6].

Процесс управления и контроля транспортно-логистического обеспечения РДК можно представить с помощью следующего графа [10].

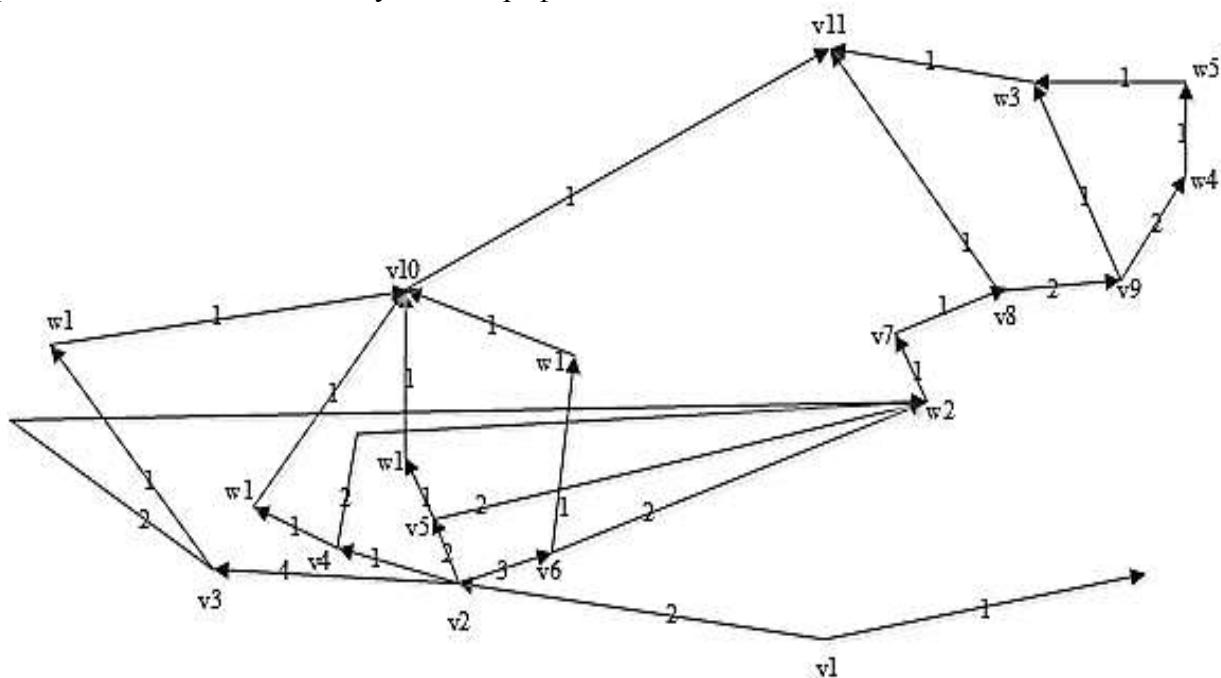


Рисунок 1 - Информационный граф системы управления и контроля транспортно-логистического обеспечения РДК

Описание графа:

- вершина $v1$ - точка определения необходимости управления каждым конкретным процессом;
- ребро 1 от вершины $v1$ - это процессы, которые не могут участвовать в алгоритме управления;
- ребро 2 от вершины $v1$ - это процессы, которые проходят алгоритм;
- вершина $v2$ - точка начала системы управления и контроля;
- ребро 1 от вершины $v2$ - это характеристика процесса, которая определяет подпроцессы;
- ребро 2 от вершины $v2$ - это характеристика процесса, которая определяет уровень автоматизации его подпроцессов;

- ребро 3 от вершины v2 - это характеристика процесса, которая определяет ключевые точки в его подпроцессах (точки наиболее вероятного возникновения рисков);
- ребро 4 от вершины v2 - это характеристика, которая определяет показатели подпроцесса;
- вершины v3, v4, v5, v6 - точки проведения контрольных процедур всех характеристик процесса на 1-м этапе;
- ребро 1 от вершин v3, v4, v5 и v6 - определяет те характеристики процесса, которые не нуждаются в корректировке и повторном пересчете;
- ребро 2 от вершин v3, v4, v5 и v6 - определяет те характеристики процесса, которые нуждаются в пересчете;
- вершина w1 - подтверждение успешности заданных характеристик процесса;
- вершина v10 - точка сбора и консолидации характеристик, которые не нуждаются в корректировках;
- вершина w2 - подтверждение необходимости корректировки характеристик процесса;
- вершина v7 - точка перерасчета и корректировки;
- вершина v8 - точка проведения контрольных процедур всех характеристик процесса на 2-м этапе;
- ребро 1 от вершины v8 - определяет те характеристики процесса, которые не нуждаются в корректировке и повторном пересчете;
- ребро 2 от вершины v8 - определяет те характеристики процесса, которые нуждаются в повторном пересчете;
- вершина v9 - точка повторного пересчета и корректировки;
- вершина w3 - подтверждение успешности повторного перерасчета или подтверждение отклонения, которое не несет существенных рисков;
- вершина w4 - подтверждение необходимости корректировки в связи с существенными рисками для всего процесса;
- вершина w5 - точка проведения контрольных процедур всех характеристик процесса на 3-м этапе;
- вершина w11 - точка окончания системы управления и контроля.

Результаты и обсуждение

Одним из наиболее важных критериев устойчивости функционирования РДК является формирование современного и высокоэффективного транспортно-логистического обеспечения его производственных процессов. В настоящее время в условиях большой неопределенности возникает наибольшее число рисков. Минимизация этих рисков требует принятия своевременных управлеченческих решений [13]. Оптимальное решение управлеченческих задач невозможно без использования самых современных инструментов поддержки принятия решений, основанных на высокой степени автоматизации и сквозной цифровизации всей деятельности РДК. В целях повышения эффективности необходимо проведение непрерывного мониторинга всех бизнес-процессов и соответствующих им подпроцессов.

Ключевым процессом управления является контроль, который создает условия для выполнения расчетных целей и является процессом их достижения. С учетом неопределенности влияния внешней среды схему действий функционирования РДК приходится менять очень часто, поэтому основной задачей является постоянное отслеживание ситуации и внесение корректировок в уже запланированные параметры. Для крупных предприятий этот процесс чрезвычайно трудоемок, поэтому комплекс контрольных мероприятий должен решаться с помощью искусственного интеллекта [14].

В данных материалах реализован метод выбора управлеченческого решения на основе информационного графа. При этом для решения задачи организации системы управления и контроля транспортно-логистическим обеспечением РДК предлагается использование таких характеристик как уровень автоматизации подпроцессов, ключевые точки возникновения рисков в каждом подпроцессе и определенный набор показателей, описывающих состояние

подпроцессов. В системе управления предложено использование контрольных процедур, которые позволяют на разных уровнях процесса принять корректное управленическое решение.

Выводы

Для организации эффективной системы управления транспортно-логистического обеспечения РДК необходимо внедрение процедур контроля в информационную систему, использующуюся на предприятии. Автоматизация процессов управления и контроля должна быть внедрена на всех этапах функционирования, включая запросы на новые комплектующие и их транспортировку на каждый конкретный РДК. Представляется целесообразным разработать и внедрить процедуры контроля, сформированных специально для описанной области [15]. Профессионально построенные и выверенные процедуры контроля, учитывающие динамику изменений внутренней и внешней среды функционирования РДК, позволяют качественно выстроить систему управления, которая способна нейтрализовать риски и неопределенности текущей деятельности, обеспечивает выполнение упреждающих действий и решает задачи краткосрочного и долгосрочного планирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миротин, Л.Б. Логистика в автомобильном транспорте: практикум - Ростов н/Д: Феникс, 2015.
2. Миротин Л.Б., Лебедев Е.А., Кочегура Д.Ю. Цифровая трансформация документооборота производственно-технической службы ресурсодобывающего комплекса // М.: Вестник транспорта. - №4. - 2020. - С. 34.
3. Кудрявцев, В.Б. Введение в теорию интеллектуальных систем - М.: Макс-пресс, 2006. - 207 с.
4. Маклаков, С.В. Моделирование бизнес-процессов с BPWin 4.0 - М.: Диалог-МИФИ, 2002. - 224 с.
5. Каплан Роберт С. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию - М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2003. - 304 с.
6. Новиков, Д.А. Математические модели формирования и функционирования команд - М.: Издательство физикоматематической литературы, 2008. - 184 с.
7. Малышев М.И. Обзор исследований в области повышения эффективности мультимодальных перевозок на основе технологических решений // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. - 2020. - Т. 23. - №4. - С. 58-71.
8. Acharya V., Xu Z. Financial dependence and innovation: The case of public versus private firms // Journal of financial economics. - 2017. - Т. 124. - №2. - С. 223-243.
9. Затраты на инновационную деятельность организаций, по видам экономической деятельности по Российской Федерации, 2017-2020 гг. / Ответственный исполнитель: Горева Е.А. - Данные федеральной службы государственной статистики. - Обновлено: 31.08.2021 г.
10. Wang C.B., Huang Z. Econometric analysis of the impact of financial structure on innovation based on the fixed effects panel model // Mathematical problems in engineering. - 2021.
11. Уровень инновационной активности организаций, по Российской Федерации, по видам экономической деятельности, 2017-2020 гг. / Ответственный исполнитель: Горева Е.А. - Данные федеральной службы государственной статистики. - Обновлено: 31.08.2021 г.
12. Маркова Е.С., Воронин Н.В. Инновационная политика государства в сфере транспорта // Инновационная экономика и право. – Липецк. - 2021. - №2(17). - С. 9-18.
13. Жеребцова Н.М. Развитие субъектов Российской Федерации в эпоху цифровой экономики / Под научной редакцией Е.Н. Камышанченко, Ю.Л. Раствориной, А.А. Швецовой // Современные проблемы социально-экономических систем в условиях глобализации: Сборник научных трудов ХУ Международной научно-практической конференции. – Белгород. - 2021. - С. 217-220.
14. Голикова О.А. Инновационное развитие липецкой области: современное состояние и индикаторы роста / Актуальные вопросы совершенствования бухгалтерского учета, статистики и налогообложения организаций: Материалы VIII международной научно-практической конференции. - В 2 томах. – Тамбов. - 2019. - С. 217-221.
15. Шевченко А.В. Анализ существующей информационной системы общественного транспорта Липецкой области и формулирование основных требований для ее усовершенствования // Научный электронный журнал Меридиан. - Якутск. - 2020. - №2(36). - С. 96-98.

Кочегура Денис Юрьевич

Кубанский государственный технологический университет
Адрес: Россия, 350063, г. Краснодар, Кубанская Набережная, 37/12, 141
Аспирант
E-mail: d.kochegura@mail.ru

Миротин Леонид Борисович

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)
Адрес: Россия, 125319, г. Москва, Ленинский просп., 64
Д.т.н., профессор, профессор
E-mail: mirotin2004@mail.ru

Лебедев Евгений Александрович

Кубанский государственный технологический университет (КубГТУ),

D.Y. KOCHEGURA, L.B.MIROTIN, E.A.LEBEDEV

MANAGEMENT AND CONTROL DIGITALIZATION FOR TRANSPORT AND LOGISTICS SUPPORT OF THE RESOURCE-EXTRACTING COMPLEX

Abstract. The article describes the management and control system for transport and logistics support of the resource-extracting complex. The stages of management and control processes are presented. A conceptual model for transport and logistics support management has been developed using the graph theory, which represents itself a basis for artificial intelligence systems.

Keywords: digitalization, management and control system, oil and gas industry, resource-extracting complex, graph, information flows, processes and subprocesses

BIBLIOGRAPHY

1. Mirotin, L.B. Logistiika v avtomobil'nom transporte: praktikum - Rostov n/D: Feniks, 2015.
2. Mirotin L.B., Lebedev E.A., Kochegura D.Yu. Tsifrovaya transformatsiya dokumentooborota proizvodstvenno-tehnicheskoy sluzhby resursodobyvayushchego kompleksa // M.: Vestnik transporta. - №4. - 2020. - S. 34.
3. Kudryavtsev, V.B. Vvedenie v teoriyu intellektual'nykh sistem - M.: Maks-press, 2006. - 207 s.
4. Maklakov, S.V. Modelirovaniye biznes-protsessov s BPWin 4.0 - M.: Dialog-MIFI, 2002. - 224 s.
5. Kaplan Robert S. Sbalansirovannaya sistema pokazateley. Ot strategii k deystviyu - M.: ZAO «Olimp-Biznes», 2003. - 304 s.
6. Novikov, D.A. Matematicheskie modeli formirovaniya i funktsionirovaniya komand - M.: Izdatel'stvo fizikomatematiceskoy literatury, 2008. - 184 s.
7. Malyshev M.I. Obzor issledovaniy v oblasti povysheniya effektivnosti mul'timodal'nykh perevozok na osnovе tekhnologicheskikh resheniy // Nauchnyy vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoy aviatsii. - 2020. - T. 23. - №4. - S. 58-71.
8. Acharya V., Xu Z. Financial dependence and innovation: The case of public versus private firms // Journal of financial economics. - 2017. - T. 124. - №2. - S. 223-243.
9. Zatraty na innovatsionnyu deyatel'nost' organizatsiy, po vidam ekonomiceskoy deyatel'nosti po Rossiiy Federatsii, 2017-2020 gg. / Otvetstvennyy ispolnitel': Goreva E.A. - Dannye federal'noy sluzhby gosudarstvennoy statistiki. - Obnovлено: 31.08.2021 g.
10. Wang C.B., Huang Z. Econometric analysis of the impact of financial structure on innovation based on the fixed effects panel model // Mathematical problems in engineering. - 2021.
11. Uroven` innovatsionnoy aktivnosti organizatsiy, po Rossiiy Federatsii, po vidam ekonomiceskoy deyatel'nosti, 2017-2020 gg. / Otvetstvennyy ispolnitel': Goreva E.A. - Dannye federal'noy sluzhby gosudarstvennoy statistiki. - Obnovлено: 31.08.2021 g.
12. Markova E.S., Voronin N.V. Innovatsionnaya politika gosudarstva v sfere transporta // Innovatsionnaya ekonomika i pravo. - Lipetsk. - 2021. - №2(17). - S. 9-18.
13. Zherebtsova N.M. Razvitiye sub"ektov Rossiiy Federatsii v epokhu tsifrovoy ekonomiki / Pod nauchnoy redaktsiey E.N. Kamyshanchenko, Y.U.L. Rastopchinoy, A.A. SHvetsovoy // Sovremennye problemy sotsial'no-ekonomiceskikh sistem v usloviyakh globalizatsii: Sbornik nauchnykh trudov HU Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Belgorod. - 2021. - S. 217-220.
14. Golikova O.A. Innovatsionnoe razvitiye lipetskoy oblasti: sovremennoe sostoyanie i indikatory rosta / Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya bukhgalterskogo ucheta, statistiki i nalogooblozheniya organizatsiy: Materialy VIII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - V 2 tomakh. - Tambov. - 2019. - S. 217-221.
15. Shevchenko A.V. Analiz sushchestvuyushchey informatsionnoy sistemy obshchestvennogo transporta Lipetskoy oblasti i formulirovaniye osnovnykh trebovaniy dlya ee usovershenstvovaniya // Nauchnyy elektronnyy zhurnal Meridian. - Yakutsk. - 2020. - №2(36). - S. 96-98.

Kochegura Denis Yurievich

Kuban State Technological University
Address: Russia, 350063, Krasnodar, Kubanskaya Embankment, 37/12, 141
Graduate student
E-mail: d.kochegura@mail.ru

Lebedev Evgeny Alexandrovich

Kuban State Technological University (KubGTU)
Address: Russia, 350072, Krasnodar, Moscow str., d. 2.
Doctor of technical sciences
Email: lebedew49@mail.ru

Mirotin Leonid Borisovich

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)
Address: Russia, 125319, Moscow, Leninsky prospekt, 64
Doctor of technical sciences
E-mail: mirotin2004@mail.ru

Уважаемые авторы!
Просим Вас ознакомиться с требованиями
к оформлению научных статей.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

- Представляемый материал должен быть оригинальным, 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; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию;
- 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 рецензента. 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.

Выводы

Основные выводы исследования могут быть представлены в кратком разделе «Выводы», 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 не менее 20-ти 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)
- 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, при ссылке следует писать слово «таблица» с указанием ее номера.

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 таблицы 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.
E-mail: 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.
E-mail: 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 30.09.2022 г.
Дата выхода в свет 21.10.2022 г.
Формат 70x108/16. Усл. печ. л. 7,7
Цена свободная. Тираж 500 экз.
Заказ № 173

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95