ISSN 2073-7432

МИР ТРАНСПОРТА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 4-1 (79) 2022

Научно-технический
журнал
Издается с 2003 года
Выходит четыре раза в год
№ 4-1(79) 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)*
Бажинов 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. 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)*
Пржибыл 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)*
Юнгмейстер Д.А. *д-р техн. наук, проф. (Россия)*
Шарата А. *д-р. наук, проф. (Польша)*

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

Адрес редколлегии:
302030, Россия, Орловская обл., г. Орел,
ул. Московская, 77
Тел. +7 905 856 6556
https://oreluniver.ru/science/journal/mtitm
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

Эксплуатация, ремонт, восстановление

А.Ю. Родичев, К.К. Настепанин, И.В. Родичева, К.В. Васильев **Интеллектуальная система диагностики состояния систем и агрегатов автомобиля**…….. 3
Б.С. Трофимов **Методика нормирования расходования топлива для легковых автомобилей в городских условиях эксплуатации**…….. 13
И.Ф. Дьяков **Прогнозирование ресурса рессорной подвески транспортного средства**…….. 23

Технологические машины

Ю.Н. Каманин, А.В. Паничкин, П.А. Кузин, А.С. Трегубов **Математическое моделирование проходки горных выработок по сверхпрочным породам**……... 34
А.Н. Рукавицын, Чжо Пьо Вей **Разработка методов управления движением рабочего органа роботизированного комплекса 3D-печати для обеспечения аддитивных технологий**……. 40
Е.В. Субачев, Д.А. Никитин, В.С. Ершов, А.А. Акулов **Расчёт плотности распределения противогололедного реагента одной форсункой аэродромной поливомоечной машины**…… 48
В.И. Чернышев, О.В. Фоминова **Управляемые виброзащитные системы: динамическое программирование и оптимизация**…… 55

Безопасность движения и автомобильные перевозки

В.П. Белокуров, Р.А. Кораблев, Э.Н. Бусарин, Э.Ю. Гукетлев **Моделирование пассажирских перевозок в зависимости от изменения пассажиропотока в течении года**……. 62
В.И. Рассоха, Н.А. Никитин **Определение зависимости вида ДТП от участка кольцевого пересечения**…… 70
С.П. Вакуленко, А.С. Кравцов, Л.Р. Айсина, А.П. Иванов **Организация совместных пассажирских автоперевозок на малоинтенсивных направлениях**…….. 80
А.Н. Новиков, Е.В. Мирошников, А.В. Кулев, М.В. Кулев **Повышение безопасности дорожного движения на основе интеллектуальных транспортных систем**……. 86
Л.Е. Кущенко **Разработка информационной модели, предупреждающей водителя о движении по опасному участку**…… 94

Вопросы экологии

С.А. Гусев, А.С. Терентьев **Оптимизация уровня экологической безопасности при грузоперевозке и переработке нефти**…… 102
О.Ю. Булатова, В.С. Булатов **Совершенствование городской транспортной системы путём внедрения основных трендов мобильности в условиях проведения массовых мероприятий**…….. 111

Образование и кадры

А.В. Кулев, М.В. Кулев **Анализ уровня подготовки студентов транспортных направлений в программной среде KNIME Analytics Platform**…….. 119
С.Ю. Гришина, М.Н. Уварова, Е.В. Мищенко, Н.В. Польшакова **Аспект инженерного образования студентов в условиях цифровизации**…….. 125

Экономика и управление

Д.О. Ломакин, А.В. Симушкин **Комплексная оценка транспортной доступности региона**…….. 133

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

Scientific and technical journal

Published since 2003

A quarterly review

№ 4-1(79) 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. Żakowska *Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland)*
S.V. Zhankaziev *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)*

Personin charge for publication:
I.V. Akimochkina

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

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

A.Yu. Rodichev, K.K. Nastepanin, I.V. Rodicheva, K.V. Vasiliev **Intelligent system for diagnosing the state of vehicle systems and assemblies**…….. 3

B.S. Trofimov **Methodology for regulation of fuel consumption for passenger cars in urban operating conditions** ……. 13

I.F. Dyakov **Prediction of suspension resource vehicle**……..…… 23

Technological machines

U.N. Kamanin, A.V. Panichkin, P.A. Kuzin, A.S. Tregubov **Mathematical modeling of mining workings by heavy-duty sales**……. 34

A.N. Rukavitsyn, Kyaw Phyo Wai **Development of methods for controlling the movement of the working body of a robotic 3D printing complex to provide additive technologies**…… 40

E.V. Subachev, D.A. Nikitin, V.S. Ershov, A.A. Akulov **Calculation of distribution density of anti-ice reagent by a single nozzle of aerodrome water washing machine**. 48

V.I. Chernyshev, O.V. Fominova **Controlled vibration protection systems: dynamic programming and optimization**……...…… 55

Road safety and road transport

V.P. Belokurov, R.A. Korablev, E.N. Busarin, E.Yu. Guketlev **Simulation of passenger traffic depending on changes in passenger flow during the year**…….…… 62

V.I. Rassokha, N.A. Nikitin **Determination of dependence of the road accident type on the segment of roundabout**…….. 70

S.P. Vakulenko, A.S. Kravcov, l.R. Aysina, A.P. Ivanov **Organization of sharing passenger transportation by cars on low-intensity routes**…….…… 80

A.N. Novikov, E.V. Miroshnikov, A.V. Kulev, M.V. Kulev **Improving road safety based on intelligent transport systems**……...…… 86

L.E. Kushchenko **Development of an information model warning the driver about movement along a dangerous road section**……. 94

Ecological Problems

S.A. Gusev, A.S. Terentyev **Optimization of the level of environmental safety during cargo transportation and oil refining** ……. 102

O.Yu. Bulatova, V.S. Bulatov **Urban transport system improvement by the main trends of mobility introduction in the mass events conditions**…….…… 111

Education and Personnel

A.V. Kulev, M.V. Kulev **Analysis of the level of training of students of transport directions in the KNIME Analytics Platform software environment**……... 119

S.Yu. Grishina, M.N. Uvarova, E.V. Mishchenko, N.V. Polshakova **Aspect of engineering education of students in conditions of digitalization**……..…… 125

Economics and Management

D.O. Lomakin, A.V. Simushkin **Comprehensive assessment of the transport accessibility of the region**……. 133

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

Научная статья
УДК 629.08
doi:10.33979/2073-7432-2022-1(79)-4-3-12

А.Ю. РОДИЧЕВ, К.К. НАСТЕПАНИН, И.В. РОДИЧЕВА, К.В. ВАСИЛЬЕВ

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ И АГРЕГАТОВ АВТОМОБИЛЯ

Аннотация. *В статье рассматривалась возможность диагностики состояния систем и агрегатов автомобиля с помощью искусственной нейронной сети. В процессе проведения эксперимента было выделено два различных состояния двигателя на основе изображений термограмм. Для автоматизированной классификации полученных с помощью тепловизора изображений термограмм применялось обучение свёрточных нейронных сетей ResNet. Полученные данные были разбиты на выборке тренировки и тестирования. Данные разбивались в соотношении: 70 % - на обучение и 30 % - на тестирование. При последовательном разбиении обучающая выборка выбиралась в начале записи каждого отдельного опыта, а тестовая - в конце. Лучшие результаты были получены при обучении СНС ResNet18. Точность тестирования при случайном способе разбиения данных составила 100 %.*

Ключевые слова: *двигатель, диагностика, состояние, искусственная нейронная сеть (ИНС), сверхточная нейронная сеть (СНС)*

Ведение

Неотъемлемой составляющей надежности функционирования систем и агрегатов автомобильной техники является своевременно проведенные мероприятия по техническому обслуживанию и контролю состояния транспортного средства, с помощью диагностирования в режиме реального времени [1-4]. Это возможно только с помощью интеллектуальных информационно-измерительных систем. Одним из таких направлений является диагностирование сложных систем и агрегатов при помощи инфракрасной термографии, которая позволяет быстро бесконтактным способом получить достоверную информацию о состоянии исследуемого объекта. Перспективное применение диагностики состояния систем и агрегатов с помощью измерительной системы «тепловизор – изображения термограммы – искусственная нейронная сеть» позволяет анализировать сложные тепловые образы технических состояний, обеспечивать высокую точность измерения термограмм и диагностических параметров, что в свою очередь способствует принятию правильных решениий о своевременном техническом обслуживании и ремонте контролируемого объекта [5-7].

Своевременное обнаружение возникшего дефекта на ранней стадии позволяет избежать аварийной ситуации, а как следствие этого безвозвратной потери дорогостоящего агрегата в результате выхода из строя ответственных узлов [8-12]. На данный момент очень важно не только обнаружить возникающий дефект в процессе эксплуатации узла или агрегата, но и научиться его своевременно предсказать, что значительно снизит аварийность и как следствие трудоемкость ремонта сложного технологического оборудования. Наиболее распространённым методом диагностики текущего состояния подшипниковых узлов и агрегатов является их мониторинг на основе анализа данных измерений вибрации. Такие исследования хорошо известны [13, 14], так как вибрационные сигналы хорошо отражают динамическое поведение роторной системы. Еще один перспективный метод отслеживания состояния подшипникового узла и, в частности, состояния подшипника скольжения, который заслуживает особого внимания, это инфракрасная фотограмметрия. Данный метод заключается в отслеживании состояния подшипникового узла скольжения при помощи изображений термограмм, так как повышение или падения температуры от своего установленного значения напрямую связано с возникновением дефекта или неисправности [15, 16]. Конструкция экспериментальных установок, суть метода и подход к его исполнению остается практически неизменным от исследования к ис-

© Родичев А.Ю., Настепанин К.К., Родичева И.В., Васильев К.В., 2022

следованию. Используемое оборудование отличается незначительно и, вероятно, зависит от состояния материально-технической базы исследователей. Основные отличия/новшества, предлагаемые авторами каждого исследования, относятся к алгоритмам: выделения признаков из полученных изображений термограмм [17, 18]. В частности, предложено несколько разновидностей применения сверточных нейронных сетей как наиболее эффективного метода обработки данных. Всеми исследователями отмечено, что наиболее популярный и подробно описанный в научной литературе метод диагностики неисправностей машин и технологического оборудования – вибрационный, обладающий гораздо меньшей точностью по сравнению с предложенными методами диагностики с использованием инфракрасной фотограмметрии. Использование вибрационного метода связано с некоторыми трудностями: установка определенных датчиков и постобработка полученного сигнала (избавление от шума) и т.п. То же самое можно сказать и о частотном методе диагностики. Точность предложенных методов с применением сверточных нейронных сетей близка к 100 %, в отличие от вибрационного метода (~80 % в зависимости от условий) [19-21].

Материал и методы

Решаемой задачей данного эксперимента стало оценка возможности распознавания режима работы двигателя по изображениям термограмм, с помощью искусственной нейронной сети, с последующим определением точности полученного результата.

В качестве исследуемого объекта был выбран автомобиль BMW E28 520i с двигателем M20B20 мощностью 129 л.с. В качестве инструмента был использован тепловизор UNI-T UTi260B, с подключённым к нему персональным компьютером. Тепловизор UNI-T UTi260B с помощью специализированного программного обеспечения передавал изображения термограммы на персональный компьютер, где они фиксировались, обрабатывались и сохранялись (рис. 1).

Рисунок 1 – Объект исследования и инструменты для его реализации

Эксперимент, съемка изображений термограмм, проводился вне помещения при постоянной температуре окружающего воздуха 2 °С. Данный эксперимент был разбит на два опыта, в ходе которых были выделены следующие состояния двигателя внутреннего сгорания:

1) работа двигателя на холостом ходу;

2) работа двигателя на холостом ходу с включённым дополнительным оборудованием (система отопления салона).

Оба опыта начинались с одного и того же значения температуры двигателя и заканчивались моментом открытия клапана термостата системы охлаждения двигателя с последующим включением вентилятора.

Из полученных в ходе эксперимента изображений термограмм были формированы два дата сета для последующей их обработки, с помощью искусственной нейронной сети. Разработка искусственной нейронной сети производилась на языке Python 3.8 в дистрибутиве Anaconda, включающего в себя библиотеки для обучения нейронных сетей. Создание кода происходило в Jupyter Notebook.

Теория

Началом решения задачи, связанной с обучением нейронной сети, является создание баз данных изображений термограмм, которые разделяются на два блока: учебный (training) и тестовый (test). В каждом блоке имеются изображения термограммы двух состояний системы. Для решения задачи классификации состояния двигателя рассмотрим способ обучения нейронной сети, способом «случайного разбиения». Классификация нейронной сети способом «случайного разбиения», заключается в распределении изображения термограмм по вышеописанным классам, путём обучения сети и проверки на тестовой выборке, где полученные в ходе эксперимента изображения термограммы делятся в случайном порядке на две выборки – учебную (training) и тестовую (test), в отношении 70 % и 30 % соответственно для каждого из двух состояний двигателя (рис. 2) [22-26].

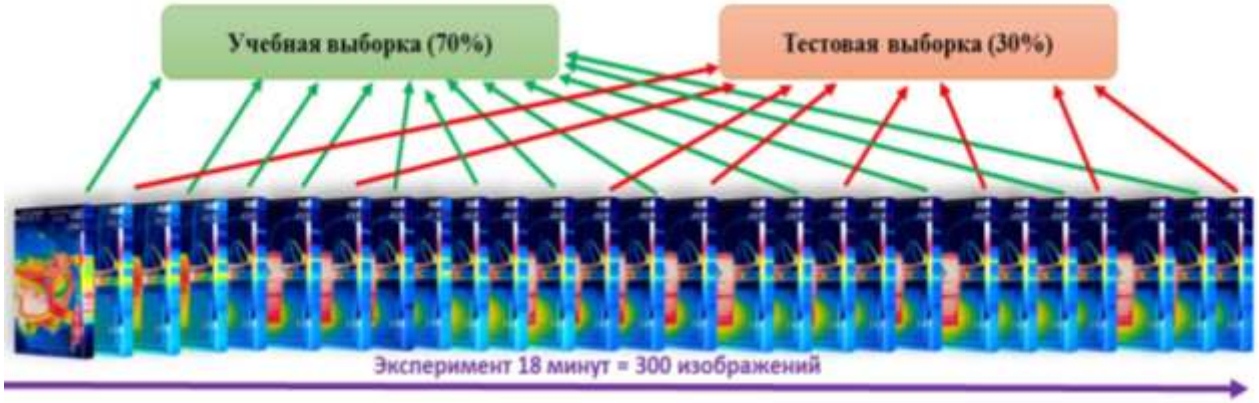


Рисунок 2 – Классификация нейронной сети способом «случайного разбиения»

Для обработки полученных изображений термограмм мы использовали свёрточные остаточные нейронные сети ResNet. Специфика данных сетей заключается в следующем: между свёрточными слоями расположены связи, которые позволяют пройти обучение легче, за счёт более плавного градиентного спуска.

Полученные нами изображения термограммы представляли собой изображения, которые имеют размер 458 на 611 пиксель, что говорит о количестве входных нейронов – 279 838. Для обработки нейронной сети полученное количество пикселей очень большое, поэтому нейронной сети необходимо свернуть изображение. Любое изображение, в нашем случае термограмма, представляет собой матрицу, в которой каждый пиксель соответствует определённому числу (рис. 3). Следует не забывать, что у нас имеются три матрицы, так как изображение цветное.

Процесс свёртки происходит следующим образом: матрица изображения умножается на фильтр, который представляет собой матрицу 7 на 7. Перемножение матриц происходит в строгом соответствии с математическими правилами.

Данные процессы происходят на каждом слое, поэтому и сеть называется свёрточная. С каждым слоем размер изображения уменьшается. Завершающим этапом работы свёрточной нейронной сети с одним элементом изображения является запись суммы всех значений в матрице в ячейку новой матрицы, размер которой (i x j) высчитывается по следующим формулам:

$$i = H\text{-}F+1; \quad (1)$$

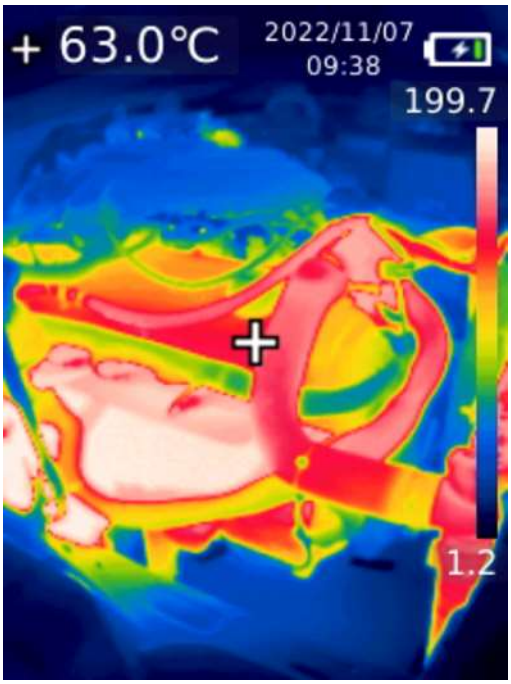
$$j = W\text{-}F+1, \qquad (2)$$

где H – высота изображения;

W - ширина изображения;

F – размер фильтра;

n – глубина цвета (RGB), в нашем случае n = 3



10	8	-4	10	7	3	3	9	1	7	-4	1	10	3	9	-2	0	-4	2	10	10	9	-3	-4	8	-2	#	3	4	10
-2	-5	3	-4	-2	0	-4	9	9	0	8	-2	-5	3	7	7	1	0	3	5	5	0	1	1	5	-4	-2	1	-4	-2
-3	0	2	1	-2	3	1	2	1	-4	-1	6	7	4	-5	-3	-4	10	-4	8	5	0	-1	10	3	10	-5	-2	9	6
3	8	2	1	7	3	6	1	-3	2	-5	3	7	-4	9	1	4	1	5	-3	8	5	0	0	10	1	4	4	-2	1
7	6	7	7	0	-2	0	-2	-1	-1	0	8	0	0	3	-5	-4	-4	-1	1	-5	4	9	5	-1	9	1	-3	6	-2
8	8	6	1	0	9	0	4	6	-3	1	-4	-3	8	7	0	5	-2	-4	-3	-3	1	-2	0	2	1	-2	6	-2	9
8	1	10	0	-4	9	7	7	2	-3	6	-5	4	1	9	7	0	9	2	0	-5	7	1	-2	8	3	9	-1	10	5
10	-2	-5	9	-3	7	0	0	3	0	10	3	2	1	2	2	3	6	-2	7	-2	9	1	5	7	4	-4	2	0	-3
-1	6	-2	-5	8	7	2	1	7	1	-5	3	6	9	-2	4	2	4	-3	2	1	8	-3	5	5	-1	8	-2	8	9
-1	1	5	4	4	9	0	-5	7	-5	4	4	5	-3	3	0	3	0	0	-4	3	4	3	-1	7	9	8	4	-2	6
4	6	7	-1	7	-2	-5	-4	-1	4	-1	9	-2	-1	4	6	2	-1	9	6	-2	10	4	4	1	6	-1	-5	-1	8
8	-3	-5	4	8	7	1	5	10	1	0	-2	-2	5	-4	-5	#	-5	1	2	9	2	-2	-1	6	-3	4	-5	4	0
1	7	5	0	-3	9	7	-4	9	-2	-4	1	9	6	9	9	2	7	7	5	-5	-3	10	8	4	1	4	5	6	1
-1	3	10	-5	3	10	-5	-4	4	-1	0	5	10	8	-2	2	5	9	0	4	1	10	6	-1	6	8	7	-4	4	5
-3	-5	7	-4	0	2	9	2	2	5	-3	9	-5	1	-4	-1	9	-2	4	-5	5	-5	1	-2	10	7	-2	1	-2	2
0	6	2	9	-5	2	2	0	-5	1	3	0	-3	6	5	10	-3	2	10	10	7	9	1	5	-3	-3	4	4	0	7
3	6	7	9	-5	0	1	1	2	4	0	-1	3	7	3	9	1	4	8	9	-5	9	-4	7	6	2	-1	9	8	6
9	3	4	-5	4	1	6	6	9	-2	7	0	-2	6	7	-2	8	-2	4	-4	-1	-2	7	7	6	3	3	3	6	8
0	10	9	0	-2	4	-2	8	10	10	-5	2	7	2	-1	-2	8	-4	8	0	10	8	-3	9	-4	4	-4	-4	4	1
2	-2	6	7	1	-3	5	-1	4	2	1	9	4	7	-1	2	-2	3	-2	9	3	10	1	-4	10	2	7	0	0	5
8	-4	-2	10	-3	10	-2	10	7	-2	8	1	-1	7	-4	1	6	3	-4	-5	4	1	-4	4	3	-3	9	0	4	10
-5	1	7	9	6	4	-4	3	5	3	9	-1	-3	6	6	3	#	-1	-1	-4	-2	-2	4	-5	-5	8	0	5	4	-4
-1	2	-1	-3	-4	7	-3	-5	3	0	-5	1	6	4	7	9	-4	10	-3	-5	9	2	-2	10	10	-2	-2	0	6	4

Рисунок 3 – Изображение термограмма двигателя с матрицей цифрового отображения

В нашем случае из матрицы изображения мы выбираем первую матрицу (рис. 4) размером 7 на 7 и умножаем на фильтр-матрицу (рис. 5) размер которых соответствует 7 на 7.

10	8	-4	10	7	3	3
-2	-5	3	-4	-2	0	-4
-3	0	2	1	-2	3	1
3	8	2	1	7	3	6
7	6	7	7	0	-2	0
8	8	6	1	0	9	0
8	1	10	0	-4	9	7

Рисунок 4 – Матрица изображение

-4	-3	9	2	4	-3	-1
1	10	8	5	-5	-1	5
8	2	6	4	10	7	2
3	3	1	-5	8	10	0
6	8	8	-3	-2	9	-2
8	6	2	7	1	7	2
0	3	6	9	5	9	5

Рисунок 5 – Фильтр матрица

Получаем в результате перемножения новую матрицу значений (рис. 6). Суммируем значения ячеек матрицы и заносим полученное значение вновь в сформированную матрицу размером 452 на 605 (рис. 7).

Процесс свёртки продолжается до тех пор, пока через всё изображение не пройдёт фильтр. Берём следующую матрицу, умножаем на фильтр, суммируем все числа и записываем в следующую ячейку сформированной матрицы (рис. 8, 9). Такие действия совершаются последовательно до тех пор, пока матрица не будет заполнена полностью.

$$\begin{pmatrix} 32 & 155 & 220 & 21 & 44 & 145 & 29 \\ 3 & -78 & -84 & -27 & -1 & -62 & -33 \\ 43 & 21 & -18 & 33 & 28 & 45 & 22 \\ 81 & 170 & 202 & 103 & 19 & 145 & 63 \\ 39 & 62 & 156 & 23 & 122 & 78 & 33 \\ 99 & 125 & 191 & 138 & 69 & 83 & 62 \\ 97 & 49 & 168 & 199 & 179 & 135 & 78 \end{pmatrix}$$

Рисунок 6 – Матрица значений

$$\begin{pmatrix} \boxed{3506} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{pmatrix}$$

Рисунок 7 – Начало формирование матрицы

10	8	-4	10	7	3	3	9	1	7	-4	1	10	3	9	-2	0	-4	2	10	10	9	-3	-4	8	-2	#	3	4	10
-2	-5	3	-4	-2	0	-4	9	9	0	8	-2	-5	3	7	7	1	0	3	5	5	0	1	1	5	-4	-2	1	-4	-2
-3	0	2	1	-2	3	1	2	1	-4	-1	6	7	4	-5	-3	-4	10	-4	8	5	0	-1	10	3	10	-5	-2	9	6
3	8	2	1	7	3	6	1	-3	2	-5	3	7	-4	9	1	4	1	5	-3	8	5	0	0	10	1	4	4	-2	1
7	6	7	7	0	-2	0	-2	-1	-1	0	8	0	0	3	-5	-4	-4	-1	1	-5	4	9	5	-1	9	1	-3	6	-2
8	8	6	1	0	9	0	4	6	-3	1	-4	-3	8	7	0	5	-2	-4	-3	-3	1	-2	0	2	1	-2	6	-2	9
8	1	10	0	-4	9	7	7	2	-3	6	-5	4	1	9	7	0	9	2	0	-5	7	1	-2	8	3	9	-1	10	5
10	-2	-5	9	-3	7	0	0	3	0	10	3	2	1	2	2	3	6	-2	7	-2	9	1	5	7	4	-4	2	0	-3
-1	6	-2	-5	8	7	2	1	7	1	-5	3	6	9	-2	4	2	4	-3	2	1	8	-3	5	5	-1	8	-2	8	9
-1	1	5	4	4	9	0	-5	7	-5	4	4	5	-3	3	0	3	0	0	-4	3	4	3	-1	7	9	8	4	-2	6
4	6	7	-1	7	-2	-5	-4	-1	4	-1	9	-2	-1	4	6	2	-1	9	6	-2	10	4	4	1	6	-1	-5	-1	8
8	-3	-5	4	8	7	1	5	10	1	0	-2	-2	5	-4	-5	#	-5	1	2	9	2	-2	-1	6	-3	4	-5	4	0
1	7	5	0	-3	9	7	-4	9	-2	-4	1	9	6	9	9	2	7	7	5	-5	-3	10	8	4	1	4	5	6	1
-1	3	10	-5	3	10	-5	-4	4	-1	0	5	10	8	-2	2	5	9	0	4	1	10	6	-1	6	8	7	-4	4	5
-3	-5	7	-4	0	2	9	2	2	5	-3	9	-5	1	-4	-1	9	-2	4	-5	5	-5	1	-2	10	7	-2	1	-2	2
0	6	2	9	-5	2	2	0	-5	1	3	0	-3	6	5	10	-3	2	10	10	7	9	1	5	-3	-3	4	4	0	7
3	6	7	9	-5	0	1	1	2	4	0	-1	3	7	3	9	1	4	8	9	-5	9	-4	7	6	2	-1	9	8	6
9	3	4	-5	4	1	6	6	9	-2	7	0	-2	6	7	-2	8	-2	4	-4	-1	-2	7	7	6	3	3	3	6	8
0	10	9	0	-2	4	-2	8	10	10	-5	2	7	2	-1	-2	8	-4	8	0	10	8	-3	9	-4	4	-4	-4	4	1
2	-2	6	7	1	-3	5	-1	4	2	1	9	4	7	-1	2	-2	3	-2	9	3	10	1	-4	10	2	7	0	0	5
8	-4	-2	10	-3	10	-2	10	7	-2	8	1	-1	7	-4	1	6	3	-4	-5	4	1	-4	4	3	-3	9	0	4	10
-5	1	7	9	6	4	-4	3	5	3	9	-1	-3	6	6	3	#	-1	-1	-4	-2	-2	4	-5	-5	8	0	5	4	-4
-1	2	-1	-3	-4	7	-3	-5	3	0	-5	1	6	4	7	9	-4	10	-3	-5	9	2	-2	10	10	-2	-2	0	6	4

Рисунок 8 – Матрица цифрового изображения

$$\begin{pmatrix} 3506 & \boxed{2183} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{pmatrix}$$

Рисунок 9 – Продолжение формированная матрицы

Следующим этапом будет перемножение полностью заполненной сформированной матрицы (рис. 9) на новый фильтр 3 на 3, который так же будет совершать цифровую обработку полученного изображения (рис. 10).

Результаты и обсуждение

Для дополнительного сравнения, обучение полученных изображений термограмм производилось при помощи двух сверточных нейронных сетей: resNet 18 и resNet 34. Итогом обучения стала обученная модель нейронной сети.

После стадии обучения была проведена проверка обученной модели на изображения тестовой выборки, что позволило проверить сеть на тех изображениях, которые не видела нейронная сеть. По результатам данного обучения были получены матрицы ошибок сверточных нейронных сетей resNet 18 и resNet 34 (рис. 11).

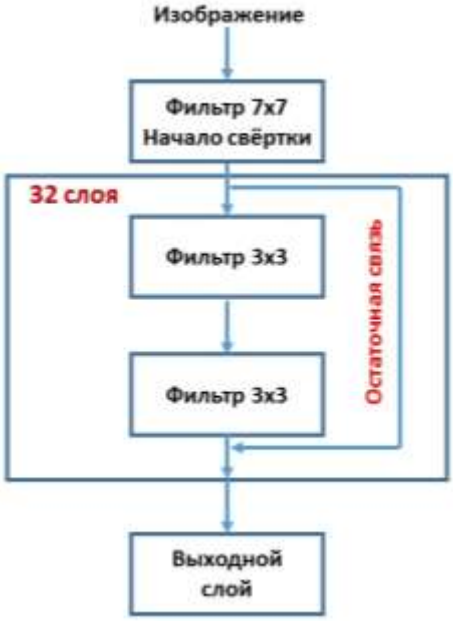
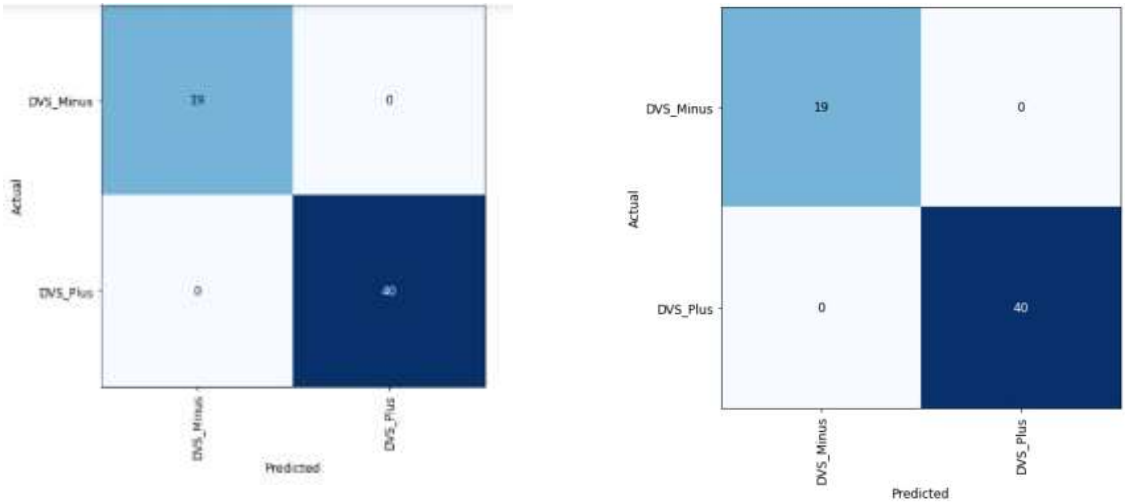


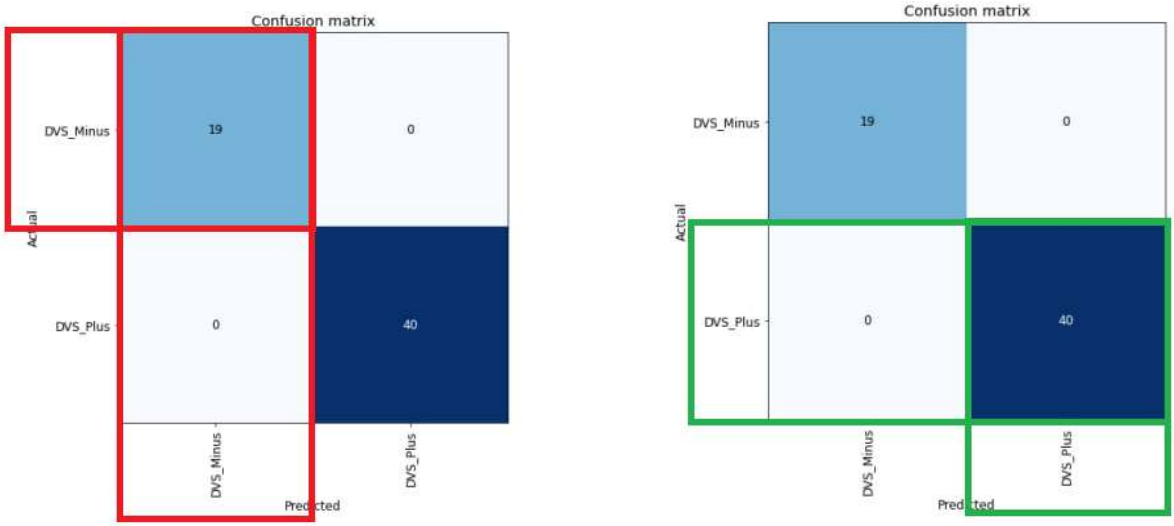
Рисунок 10 – Схема сверточной нейронной сети

Из пересечения столбцов и сорочек мы можем сделать вывод о том, что нейронная сеть с точностью в 100 % классифицировала изображения в двух режимах: работа двигателя на холостом ходу (рис. 12 *а*) и работа двигателя на холостом ходу с включённым дополнительным оборудованием (система отопления салона) (рис. 12 *б*).



ResNet18 ResNet34

Рисунок 11 – Матрица ошибок полученная способом «случайного разбиения»



а *б*

Рисунок 12 – Матрица ошибок

В связи с тем, что результаты теста двух сверточных нейронных сетей resNet 18 и resNet 34 составили 100 %, что говорит об безошибочном предсказании состояния двигателя, нами был проведен дополнительный анализ происходящего процесса обработки изображений, который приведён в таблицах на рисунке 13.

Из полученных данных согласно рисунку 12 можно сделать вывод о том, что сверточная нейронная сеть ResNet18 работает эффективнее в данном датасете.

Из полученных данных согласно рисунку 12 можно сделать вывод о том, что сверточная нейронная сеть ResNet18 работает эффективнее на данном наборе данных. Это прослеживается в количестве эпох при обучении, у сети ResNet18 на две эпохи раньше пропадает ошибка, это означает - сеть обучается быстрее и тем самым уменьшается шанс переобучения сети, который повлечёт за собой ошибку при классификации термограмм изображений.

Выводы

На основе полученных результатов проведенного эксперимента, разбитого на серию из двух опытов был подготовлен набор данных тепловых систем узлов и агрегатов двигателя внутреннего сгорания, в ходе которого было выделено два различных его состояния:

1) работа двигателя на холостом ходу;

2) работа двигателя на холостом ходу с включённым дополнительным оборудованием (система отопления салона).

poch	train_loss	valid_loss	error_rate	time
0	1.208309	1.003265	0.542373	00:59
1	1.121764	0.800193	0.406780	00:57
2	1.066944	0.617327	0.271186	00:55
3	1.028814	0.388840	0.203390	00:55
4	0.952931	0.104930	0.016949	00:56
5	0.897030	0.070599	0.016949	00:48
6	0.839761	0.093222	0.050847	00:34
7	0.782208	0.027652	0.000000	00:37
8	0.715985	0.030806	0.000000	00:54
9	0.678484	0.066950	0.016949	00:54
10	0.618293	0.315386	0.152542	00:55
11	0.574806	0.543698	0.322034	00:54
12	0.533530	0.233929	0.084746	00:55
13	0.501644	0.076780	0.000000	00:52
14	0.462828	0.029146	0.000000	00:40
15	0.429653	0.020165	0.000000	00:34
16	0.403617	0.016056	0.000000	00:34
17	0.380726	0.016147	0.000000	00:33
18	0.358822	0.014825	0.000000	00:33
19	0.341960	0.014803	0.000000	00:33

ResNet18

poch	train_loss	valid_loss	error_rate	time
0	1.077806	0.577136	0.389831	00:47
1	0.955411	0.372867	0.118644	00:47
2	0.990739	0.254534	0.033898	00:48
3	0.955385	0.189752	0.050847	00:44
4	0.924865	0.143730	0.033898	00:43
5	0.872666	0.311498	0.118644	00:44
6	0.820056	0.197537	0.101695	00:45
7	0.789901	0.060425	0.000000	00:45
8	0.717293	0.032236	0.000000	00:47
9	0.686619	0.074504	0.033898	00:48
10	0.644838	0.064456	0.016949	00:48
11	0.618222	0.012005	0.000000	00:46
12	0.586062	0.003214	0.000000	00:46
13	0.544794	0.002273	0.000000	00:48
14	0.517649	0.003398	0.000000	00:44
15	0.485517	0.004331	0.000000	00:43
16	0.464369	0.005849	0.000000	00:45
17	0.443251	0.005637	0.000000	00:46
18	0.421014	0.005671	0.000000	00:47
19	0.401147	0.005473	0.000000	00:47

ResNet34

Рисунок 13 – Таблица эпох обучения и количества ошибок при обучении

На основе методов машинного обучения были подготовлены образцы нейронных сетей, которые показали относительно высокую точность определения дефектного состояния рассматриваемой системы. Лучшие результаты были получены при обучении СНС ResNet18. Точность сети при случайном способе разбиения данных составила 100 %.

На основе проведённых исследований можно сделать вывод о перспективном применении диагностики состояния систем и агрегатов автомобиля с помощью измерительной системы «тепловизор – изображения термограммы – искусственная нейронная сеть».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биргер, И.А. Техническая диагностика - М.: Машиностроение, 1978. - 240 с.

2. Вавилов, В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль - М.: ИД Спектр, 2009. - 544 с.

3. Гаскаров, Д.В. Интеллектуальные информационные системы: учеб. пособие для вузов - М.: Высш. Шк., 2003. - 431 с.

4. Гирин Р.В. Анализ метрологических характеристик тепловизион-ной системы технического диагностирования с нейронной сетью // Вестник Самарского гос. тех. ун-та. Серия «Технические науки». - 2018. - №4. - С. 66-81.

5. Гирин Р.В., Орлов С.П., Уютова О.Ю. Искусственная нейронная сеть для технической диагностики систем управления методом термографии // Труды IV Международной научно-технической конференции «Пром-Инжиринг» - 2018.

6. ГОСТ Р ИСО 13372-2013. Контроль состояния и диагностика машин. Термины и определения. - М.: Стандартинформ, 2014. - 21 с.

7. ГОСТ Р ИСО 18434-1-2013. Контроль состояния и диагностика машин. Термография. Часть 1. Общие методы. - М.: Стандартинформ, 2014. - 28 с.

8. Feng Z, Liang M, Chu F. Recent advances in time-frequency analysis methods for machinery fault diagnosis: a review with application examples // Mech syst signal process. – 2013. - №38(1). – P. 165-205.

9. Li Y., Wang X., Si S., Huang S. Entropy based fault classifi-cation using the case western reserve university data: a benchmark study [Электронный ресурс] / IEEE Trans Reliab 2019. – Режим доступа: https://doi.org/10.1109/TR.2019.2896240

10. Wang Z., Du W., Wang J., Zhou J., Han X., Zhang Z. et al. Research and application of improved adaptive momeda fault diagnosis method // Measurement. – 2019. – №140. – P. 63-75.

11. Wang Z., He W., Du W., Zhou J., Han X., Wang J. et al. Application of parameter optimized variational mode decompo-sition method in fault diagnosis of gearbox // IEEE Access. – 2019. - №7. – P. 71-82.

12. Li Y., Wang X., Liu Z., Liang X., Si S. The entropy algorithm and its variants in the fault diagnosis of rotating machinery: a review // IEEE Access. – 2018. - №6. – P. 23-41.

13. Zhang C., Harne R.L., Li B., Wang K. Statistical quantification of dc power generated by bistable piezoelectric energy harvesters when driven by random excitations // J Sound Vib. – 2019. - №442. – P. 70-86.

14. Zhang C., Liu Y., Wan F., Chen B., Liu J., Hu B. Multi-faults diagnosis of rolling bearings via adaptive customization of flexible analytical wavelet bases [Электронный ресурс] / Chinese J Aeronautics. - 2019. – Режим доступа: https://doi.org/10.1016/j.cja.2019. 03.014

15. Li Y., Li G., Yang Y., Liang X., Xu M.A. fault diagnosis scheme for planetary gearboxes using adaptive multiscale morphology filter and modified hierarchical permutation entropy // Mech syst signal process. – 2018. - №105. – P. 19-37.

16. Zhao M., Lin J. Health assessment of rotating machinery us-ing a rotary encoder // IEEE Trans Ind Electron. – 2017. - №65(3). – P. 48-56.

17. Yongbo L.I., Xiaoqiang D.U., Fangyi W.A.N., Xianzhi W.A.N.G., Huangchao Y.U. Rotating machinery fault diagnosis based on convolutional neural network and infrared thermal imaging // Chinese journal of aeronautics. – 2020. - №33(2). - P. 427-438.

18. Choudhary A., Mian T., Fatima S. Convolutional neural network based bearing fault diagnosis of rotat-ing machine using thermal images // Measurement. – 2021. - №176. - P. 109-196.

19. Shao H., Xia M., Han G., Zhang Y., Wan J. Intelligent fault diagnosis of rotor-bearing system under varying working conditions with modified transfer convolu-tional neural network and thermal images // IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2020. - №17(5). - P. 3488-3496.

20. Shao H., Li W., Xia M., Zhang Y., Shen C., Williams D., Kennedy A., de Silva C.W. Fault diagnosis of a rotor-bearing system under variable rotating speeds using twostage parameter transfer and infrared thermal images // IEEE Transactions on instrumentation and measurement. – 2021. - №70. - P. 1-11.

21. Jia Z., Liu Z., Vong C.M., Pecht M. A rotating machinery fault diagnosis method based on feature learning of thermal images // Ieee Access. – 2019. - №7. – P. 12348-12359.

22. Christian Szegedy, Sergey Ioffe, Vincent Vanhoucke,Alex Alemi. 2016. Inception-v4, Inception-ResNet and the Impact of Residual Connections on Learning. arXiv preprint arXiv:1602.07261

23. Christian Szegedy, Wei Liu, Yangqing Jia, Pierre Sermanet, Scott Reed, Dragomir Anguelov, Dumitru Erhan, Vincent Vanhoucke, Andrew Rabinovich. Going deeper with convolutions // The IEEE Conference on computer vision and pattern recognition. – 2020. - P. 1-9.

24. Christian Szegedy, Vincent Vanhoucke, Sergey Ioffe, Jon Shlens, Zbigniew Wojna. Rethinking the Inception architecture for computer vision // The IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2016. - P. 2818-2826

25. Andreas Veit, Michael J. Wilber, Serge Belongie. Residual networks behave like ensembles of relatively shallow networks // Advances in neural information processing systems. - 2016. - P. 550-558.

26. Zifeng Wu, Chunhua Shen, Anton van den Hengel. Wider or Deeper // Revisiting the resnet model for visual recognition arXiv preprint arXiv. - 2016. - 1611. – 10080.

Родичев Алексей Юрьевич
Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
Адрес: 302030, Россия, г. Орел, ул. Московская, 77
К.т.н., доцент кафедры сервиса и ремонта машин
E-mail: rodfox@yandex.ru

Настепанин Кирилл Константинович
Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

Адрес: 302020, Россия, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
Студент
E-mail: nastepanin02@mail.ru

Родичева Ирина Владимировна
Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
Адрес: 302020, Россия, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
Аспирант
E-mail: srmostu@mail.ru

Васильев Кирилл Владимирович,
Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
Адрес: 302030, Россия, г. Орел, ул. Московская, д. 77
Студент
E-mail: gm.vasiljev485@gmail.com

A.YU. RODICHEV, K.K. NASTEPANIN, I.V. RODICHEVA, K.V. VASILIEV

INTELLIGENT SYSTEM FOR DIAGNOSING THE STATE OF VEHICLE SYSTEMS AND ASSEMBLIES

Abstract. *The article considered the possibility of diagnosing the state of systems and assemblies of a car using an artificial neural network. During the experiment, two different states of the engine were identified based on the images of thermograms. ResNet convolutional neural networks were trained for automated classification of thermogram images obtained using a thermal imager. The data obtained was split into training and testing samples. The data was broken down in the ratio: 70% for training and 30% for testing. With sequential partitioning, the training sample was selected at the beginning of the recording of each individual experiment, and the test sample was selected at the end. The best results were obtained when training the CNN ResNet18. The accuracy of testing with a random method of data partitioning was 100%.*

Keywords: *engine, diagnostics, state, artificial neural network (ANN), high-precision neural network (SNN)*

BIBLIOGRAPHY

1. Birger, I.A. Tekhnicheskaya diagnostika - M.: Mashinostroenie, 1978. - 240 s.
2. Vavilov, V.P. Infrakrasnaya termografiya i teplovoy kontrol` - M.: ID Spektr, 2009. - 544 s.
3. Gaskarov, D.V. Intellektual`nye informatsionnye sistemy: ucheb. posobie dlya vuzov - M.: Vyssh. Shk., 2003. - 431 s.
4. Girin R.V. Analiz metrologicheskikh kharakteristik teplovizion-noy sistemy tekhnicheskogo diagnostirovaniya s neyronnoy set`yu // Vestnik Samarskogo gos. tekh. un-ta. Seriya «Tekhnicheskie nauki». - 2018. - №4. - S. 66-81.
5. Girin R.V., Orlov S.P., Uyutova O.Yu. Iskusstvennaya neyronnaya set` dlya tekhnicheskoy diagnostiki sistem upravleniya metodom termografii // Trudy IV Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Prom-Inzhiring». - 2018.
6. GOST R ISO 13372-2013. Kontrol` sostoyaniya i diagnostika mashin. Terminy i opredeleniya. - M.: Standartinform, 2014. - 21 s.
7. GOST R ISO 18434-1-2013. Kontrol` sostoyaniya i diagnostika mashin. Termografiya. Chast` 1. Obshchie metody. - M.: Standartinform, 2014. - 28 s.
8. Feng Z, Liang M, Chu F. Recent advances in time-frequency analysis methods for machinery fault diagnosis: a review with application examples // Mech syst signal process. - 2013. - №38(1). - R. 165-205.

9. Li Y., Wang X., Si S., Huang S. Entropy based fault classifi-cation using the case western reserve university data: a benchmark study [Elektronnyy resurs] / IEEE Trans Reliab 2019. - Rezhim dostupa: https://doi.org/10.1109/TR.2019.2896240

10. Wang Z., Du W., Wang J., Zhou J., Han X., Zhang Z. et al. Research and application of improved adaptive momeda fault diagnosis method // Measurement. - 2019. - №140. - R. 63-75.

11. Wang Z., He W., Du W., Zhou J., Han X., Wang J. et al. Application of parameter optimized variational mode decompo-sition method in fault diagnosis of gearbox // IEEE Access. - 2019. - №7. - R. 71-82.

12. Li Y., Wang X., Liu Z., Liang X., Si S. The entropy algorithm and its variants in the fault diagnosis of ro-tat-ing machinery: a review // IEEE Access. - 2018. - №6. - R. 23-41.

13. Zhang C., Harne R.L., Li B., Wang K. Statistical quantification of dc power generated by bistable piezoe-lectric energy harvesters when driven by random excitations // J Sound Vib. - 2019. - №442. - R. 70-86.

14. Zhang C., Liu Y., Wan F., Chen B., Liu J., Hu B. Multi-faults diagnosis of rolling bearings via adaptive cus-tomization of flexible analytical wavelet bases [Elektronnyy resurs] / Chinese J Aeronautics. - 2019. - Rezhim do-stupa: https://doi.org/10.1016/j.cja.2019. 03.014

15. Li Y., Li G., Yang Y., Liang X., Xu M.A. fault diagnosis scheme for planetary gearboxes using adaptive multiscale morphology filter and modified hierarchical permutation entropy // Mech syst signal process. - 2018. - №105. - R. 19-37.

16. Zhao M., Lin J. Health assessment of rotating machinery us-ing a rotary encoder // IEEE Trans Ind Elec-tron. - 2017. - №65(3). - R. 48-56.

17. Yongbo L.I., Xiaoqiang D.U., Fangyi W.A.N., Xianzhi W.A.N.G., Huangchao Y.U. Rotating machinery fault diagnosis based on convolutional neural network and infrared thermal imaging // Chinese journal of aeronautics. - 2020. - №33(2). - R. 427-438.

18. Choudhary A., Mian T., Fatima S. Convolu-tional neural network based bearing fault diagnosis of rotating machine using thermal images // Measurement. - 2021. - №176. - P. 109-196.

19. Shao H., Xia M., Han G., Zhang Y., Wan J. Intelligent fault diagnosis of rotor-bearing system under vary-ing working conditions with modified transfer convolutional neural network and thermal images // IEEE Transactions on Industrial Informatics. - 2020. - №17(5). - R. 3488-3496.

20. Shao H., Li W., Xia M., Zhang Y., Shen C., Williams D., Kennedy A., de Silva C.W. Fault diagnosis of a ro-tor-bearing system under variable rotating speeds using twostage parameter transfer and infrared thermal images // IEEE Transactions on instrumentation and measurement. - 2021. - №70. - R. 1-11.

21. Jia Z., Liu Z., Vong C.M., Pecht M. A rotating machinery fault diagnosis method based on feature learning of thermal images // Ieee Access. - 2019. - №7. - R. 12348-12359.

22. Christian Szegedy, Sergey Ioffe, Vincent Vanhoucke,Alex Alemi. 2016. Inception-v4, Inception-ResNet and the Impact of Residual Connections on Learning. arXiv preprint arXiv:1602.07261

23. Christian Szegedy, Wei Liu, Yangqing Jia, Pierre Sermanet, Scott Reed, Dragomir Anguelov, Dumitru Er-han, Vincent Vanhoucke, Andrew Rabinovich. Going deeper with convolutions // The IEEE Conference on computer vision and pattern recognition. - 2020. - R. 1-9.

24. Christian Szegedy, Vincent Vanhoucke, Sergey Ioffe, Jon Shlens, Zbigniew Wojna. Rethinking the Incep-tion architecture for computer vision // The IEEE conference on computer vision and pattern recognition. - 2016. - R. 2818-2826

25. Andreas Veit, Michael J. Wilber, Serge Belongie. Residual networks behave like ensembles of relatively shallow networks // Advances in neural information processing systems. - 2016. - R. 550-558.

26. Zifeng Wu, Chunhua Shen, Anton van den Hengel. Wider or Deeper // Revisiting the resnet model for visu-al recognition arXiv preprint arXiv. - 2016. - 1611. - 10080.

Rodichev Alekse Yurievich
Orel State University
Adress: 302026, Russia, Orel, Moscovskaya str., 77
Candidate of technical sciences
E-mail: rodfox@yandex.ru

Rodicheva Irina Vladimirovna
Orel State University
Adress: 302020, Russia, Orel, Naugorskoe shosse, 29
Postgraduate student
E-mail: srmostu@mail.ru

Nastepanin Kirill Konstantinovich
Orel State University
Adress: 302020, Russia, Orel, Naugorskoe shosse, 29
Student
E-mail: nastepanin02@mail.ru

Vasiliev Kirill Vladimirovich
Orel State University
Adress: 302026, Russia, Orel, Moscovskaya str., 77
Student
E-mail: gm.vasiljev485@gmail.com

Научная статья
УДК 656.13
doi:10.33979/2073-7432-2022-1(79)-4-13-22

Б.С. ТРОФИМОВ

МЕТОДИКА НОРМИРОВАНИЯ РАСХОДОВАНИЯ ТОПЛИВА ДЛЯ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аннотация. *В статье предложен алгоритм методики, позволяющий использовать взаимосвязь методов экспериментального наблюдения, методов статистики, теории вероятностей для установления закона распределения расходования топлива в городских условиях эксплуатации легкового автомобиля с доверительной вероятностью 0,95 и определения предельных значений этих норм. Научно-методический подход является новым в разрезе практики нормирования расходования топлива, позволяет применять поправочные коэффициенты к базовой норме таким образом, чтобы итоговое значение соответствовало величинам, установленным экспериментально. В статье приведен пример применения методики для нормирования расходования топлива автомобиля Renault Duster в зимних условиях эксплуатации города Омска.*

Ключевые слова: *закон распределения расходования топлива, городские условия эксплуатации, легковой автомобиль, предельные нормы расхода топлива, поправочные коэффициенты к базовой норме расхода топлива, автомобиль Renault Duster*

Введение

Проблема нормирования расхода топлива на сегодняшний день возникла в результате требований по обоснованию значений расхода топлива в практике эксплуатации автотранспортных средств и направлена на ресурсосбережение невосполнимых источников для работы автомобильного транспорта.

Практика эксплуатации легковых автомобилей связана с необходимостью выполнения приказов по утверждению норм расхода топлива в соответствии с распоряжением Минтранса РФ от 14.03.2008 № АМ-23-р «О введение в действие методических рекомендаций «Нормы расхода топлив и смазочных материалов» [23]. Нормы и поправочные коэффициенты для учета расхода топлив юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями обозначены в методических рекомендациях.

Для определения расхода топлива используется базовая норма расхода, которая является обязательным базовым нормативом, и поправочные коэффициенты, учитывающие дорожно-транспортные, эксплуатационные и климатические особенности (табл. 1).

Таблица 1 – Перечень дорожно-транспортных, эксплуатационных и климатических особенностей, используемых в качестве ограничений для определения поправочных коэффициентов к норме расхода топлива (таблица составлена автором с применением Распоряжения Минтранса РФ от 14.03.2008 № АМ-23-р)

Категории условий эксплуатации	Факторы, определяющие категорию эксплуатации
1	2
Зимнее время	Климатический район страны
Горная местность	Высота над уровнем моря
Дороги со сложным планом	Наличие закруглений радиусом менее 40 м
Численность населения в нанесенном пункте	Численность населения от 100 тыс. чел. и свыше 5 млн. чел.
Частые технологические остановки, связанные с погрузкой и выгрузкой, посадкой и высадкой пассажиров и т.п.	Количество остановок на один километр пробега
Движение автомобилей с пониженной средней скоростью движения	Вид груза и движение автотранспортных средств при сопровождении
Обкатка новых автомобилей или эксплуатация автомобилей более пяти лет	Пробегом с начала эксплуатации
Перегон автотранспортных средств	Вид перегона (в одиночном состоянии или колонной и т.д.)

Окончание таблицы 1

1	2
Специальные автомобили	Тип выполнения транспортного процесса
Работа в чрезвычайных климатических и тяжелых дорожных условиях	Категория дорог
Учебная езда	Место проведения учебной езды

В дополнение к таблице 1 следует добавить, что повышающие коэффициенты используют при установке «климат-контроля», кондиционера, дополнительного оборудования рефрижераторов, при простое автомобиля с включенным двигателем. Допускается увеличивать нормы расхода топлива при внутригаражных разъездах и технических надобностях автотранспортных предприятий и т.д. Согласно основным положениям Распоряжения Минтранса РФ от 14.03.2008 № АМ-23-р разрешается применять скорректированные значения поправочных коэффициентов (надбавок) к базовым нормам расхода топлив только после соответствующего обоснования.

Практика применения документа для определения норм расхода топлива привела к многочисленным исследованиям научных и практических работников в предметной области.

Н.К. Горяев, Х.Х. Хабибуллозода делают вывод, что возраст подвижного состава и техническая скорость влияют на расход топлива, однако факт совместного влияния показателей не учитывается при определении величины расхода топлива [1]. Авторы приходят к выводу о том, что при определении величин расхода топлива не учитываются изменения общей массы транспортных средств при перевозке грузов [2].

В.М. Курганов, М.В. Грязнов, А.Н. Дорофеев [3] установили зависимости эксплуатационного расхода дизельного топлива от скорости сообщения на регулярной маршрутной сети.

Зарубежные исследования обосновывают норму расхода топлива совместно с нормой экологической безопасности в исследуемом районе перевозок.

J.I. Huertas, M. Giraldo, L.F. Quirama, J.Díaz [4] фиксировали местоположение, скорость, высоту над уровнем моря и расход топлива парка из 15 автомобилей в течение 8 месяцев в четырех регионах с разным рельефом, передвигающихся по дорогам с разным уровнем обслуживания. Установили, что методы вождения автомобилей влияют на норму расхода топлива.

В работе [5] указано, что методы вождения влияют на расход топлива. Ускорение и скорость автотранспортного средства являются основными факторами, определяющими норму расхода топлива. Тестирование было выполнено в рамках Всемирных согласованных циклов испытаний легковых автомобилей на динамометрическом стенде.

Современные научные и практические работники предлагают различные обоснования для корректировки базовых норм расхода топлива.

С. М. Мороз [6] выделяет преимущества применения индивидуальных норм расходования топлива для автомобилей, позволяющих учитывать изменяющиеся условия эксплуатации, режимы работы, наружную температуру, скорость и интенсивность движения, состояние дорожного покрытия.

В работе [7] представлена методика, позволяющая рассчитывать нормы расхода топлива для каждого перевозочного процесса с учетом дорожных и транспортных условий эксплуатации, атмосферно-климатических условий для корректировки путевого расхода топлива. В качестве исходных данных используются расчетные среднестатистические показатели автомобиля.

Исследователи предлагают применять разбивку маршрута на участки по одинаковым условиям эксплуатации для нормирования расхода топлива.

В.М. Курганов, А.Н. Дорофеев, В.М. Грязнов [8] предложили методику расчета норм расхода топлива, учитывающую разбивку маршрута на участки по одинаковым условиям эксплуатации с помощью электронных карт. Данные формируются для автомобилей, параметры которых по техническому состоянию, давлению в шинах и т.д. находятся на необходимом уровне. Показатели должны быть зафиксированы с помощью спутниковых навигаци-

онных систем мониторинга или специальными учетчиками. Полученные данные позволяют определить среднюю величину расхода топлива.

В. Н. Кузнецов [9] делает вывод о том, что при перевозке грузов в рамках одного маршрута условия эксплуатации могут существенно изменяться, что указывает на необходимость его разбиения на участки, в которых условия эксплуатации постоянны.

При обработке экспериментальных значений для определения норм расхода топлива применяются методы математической статистики и теории вероятностей.

В работе [10] для определения расхода топлива выполнены исследования в системе, набор данных которой около 7 тысяч такси с 0,3 миллиона поездок и 23000 автомобилей Didi Chuxing Express с 0,1 миллиона поездок в день в Чэнду, Китай. Однако авторы получают среднее значение для автомобиля.

Для определения нормы расхода топлива в работе [11] использовалась телематическая база данных автотранспортного предприятия (SAE J1939), включающая в себя около 19 991 записей о 1645 автотранспортных средствах, движущихся с постоянной скоростью по части M1 и M18, двух автомагистралей в Англии. Эти условия были смоделированы в HDM-4 путем расчета расхода топлива для каждого типа автотранспортного средства, движущегося с постоянной скоростью 85 км/ч по ровному и прямому участку дороги в хорошем состоянии.

В работе [12] выполнены экспериментальные исследования и получена величина расхода топлива форвардера «Амкодор-2682» с применением методов теории вероятностей и математической статистики. Авторами разработана модель, позволяющая определить средний расход топлива форвардера «Амкодор-2682» в природно-климатических условиях Республики Марий Эл.

С. В. Ильянов [13] представил вероятностно-аналитическую методику прогнозирования расхода топлива с учетом скоростного режима движения, однако результатом её применения явились средние значения показателей для автобусных маршрутов.

В работе [14] в качестве системы по определению расхода топлива применялся offline-/online контроль, которая основывается на опросе датчиков диагностирования и сравнении полученных значений информационных сигналов с константами технически исправного состояния, занесенными в память микро ЭВМ. Результаты использовались для работы сельскохозяйственной техники.

В работе [15] авторы предлагают разработанную программу «Технический сервис» адаптировать для определения норм расхода топлива. Однако расчет показателей основан на нормативном значении пробега до технического обслуживания.

Авторы [16] выполнили обзорную статью по использованию на предприятии ООО «УМИТ» систему мониторинга «Спутниковый контроль, аналитика и управление транспортом». Авторы отмечают целесообразность применения данной системы на конкретном предприятии.

Б.К. Миров, Ю.В. Панов, В.А. Зенченко, М.И. Почукаев [17] разработали методику, направленную на корректирование индивидуальных маршрутных норм расхода газового топлива. Результаты определения значений норм расхода топлива получены на основе проведённых теоретических и экспериментальных исследований. В качестве измерительного комплекса оценки расхода СУГ и условий движения автомобиля на участках маршрутов использовался ультразвуковой датчик уровня топлива и система спутникового мониторинга транспорта GPS/ГЛОНАСС. Методика может быть использована для легковых автомобилей, работающих в горных условиях.

Результаты исследования трудов по технической эксплуатации таких авторов как А.П. Болдин, В.М. Власов, Г.В. Краморенко, Е.С. Кузнецов, Г.М. Напольский и др., позволили сделать вывод о том, что в процессе выполнения работ автотранспортным средством, показатели, определяющие его результаты, являются вероятностными.

В исследованиях [18, 19] доказано, что для определения величин эксплуатационных показателей недостаточно использовать средние значения, следует оперировать величинами, которые определяют доверительные вероятности этих показателей. Не является исключени-

ем и нормирование расхода топлива, так как этот показатель зависит от множества вероятностных факторов, что подтверждено исследованиями. В качестве примера можно представить почасовое изучение расхода топлива автомобиля в конкретных условиях эксплуатации для выявления среднего значения на конкретном маршруте [20, 21].

Результаты ранее выполненных исследований позволили установить, что существующие методики необходимо использовать в качестве основы, но усовершенствовать их в части нормирования расхода топлива с учетом поправочных коэффициентов таким образом, чтобы полученные значения находились в интервале доверительных интервалов с вероятностью 0,95, полученных в результате экспериментальных исследований.

Можно утверждать, что тема настоящего исследования является актуальной.

Цель настоящего исследования – разработка нового научно-методического подхода для нормирования расхода топлива легкового автомобиля в городских условиях эксплуатации с учетом одновременного влияния вероятностных факторов.

В настоящей статье представлено решение задач:

– по разработке плана эксперимента, обработке результатов эксперимента и установлению закона распределения случайной величины с определением предельных значений расхода топлива автомобиля в зимнее время;

– расчету показателей по методике Распоряжения Минтранса РФ от 14.03.2008 № АМ-23-р, сравнение этих значений с допустимыми отклонениями, как по рекомендациям, так и по установленным интервалам.

Научно-методический подход является новым в разрезе практики нормирования расходования топлива, теоретически подкреплён научными методами, позволяющими планировать эксперимент и обрабатывать его результаты с доверительной вероятностью 0,95.

Научная значимость настоящего исследования заключается в разработке теоретического подхода и методики нормирования расхода топлива легкового автомобиля в городских условиях с учетом одновременного влияния вероятностных факторов.

Материал и методы

Для определения количества наблюдений для бесповторной выборки использовалась величина генеральной совокупности – общее количество ездок за год. Закон больших чисел использовался для теоретического обоснования статистических выводов, которые были получены в результате обработки выборки по генеральной совокупности, качество которой обеспечивается уровнем доверительной вероятности – 0,95, предельной ошибкой выборки – 0,1.

На сегодняшний момент для отслеживания работы автомобильного транспорта применяют спутниковую навигационную систему Глонасс – бортовое оборудование, собирающее и передающее информацию о состоянии транспортного средства в систему мониторинга транспорта.

Большинство навигационных систем имеют одинаковые технические возможности:

– позиционирование в конкретной точке, возможность определения скорости и направление движения автомобиля благодаря сигналу ГЛОНАСС;

– подключения внешних источников через аналоговые или цифровые входы;

– считывания данных через специализированный порт-интерфейс CAN;

– хранение объёма данных благодаря внутренней памяти на процессоре, функция активируется при отсутствии связи;

– пересылка данных на сервер для последующей обработки.

Система в ходе своей работы постоянно сообщает (записывает) о местоположении автомобиля, скорости его движения, нарушениях правил дорожного движения, направление движения, времени запуска двигателя, напряжении бортовой сети, уровень топлива в баке, техническое состояние датчиков.

Методика проведения испытаний включает в себя мониторинг режимов эксплуатации транспортного средства с помощью системы спутникового контроля Глонасс-трекер СМАРТ S-2433. Замер эксплуатационного расхода топлива проводился в реальных условиях эксплуатации автомобиля в городских условиях Омска по требованиям ГОСТ Р 54810-2011 [24]. В

качестве средства измерения использовалась ТРК Quantium мод. 200Т, № по Госреестру 22738-08. Погрешность показаний ТРК согласно ГОСТ 9018-89 [25].

Количество израсходованного топлива за период испытаний определялось по количеству топлива, заливаемого в топливный бак автомобиля. Автомобиль заправлялся на АЗС ОАО «Газпромнефть» из ТРК до края заливной горловины бака.

Теория

Для разработки нового научно-методического подхода нормирования расходования топлива легкового автомобиля в городских условиях эксплуатации с учетом одновременного влияния вероятностных факторов представлен алгоритм методики (рис. 1).

Результаты исследования получены в ходе выполнения этапов алгоритма (рис. 1).

Проведены экспериментальные исследования, значения вероятностных показателей расходования топлива легковым автомобилем в городских условиях эксплуатации приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения расхода топлива, полученные экспериментально и расположенные по возрастанию (результаты получены автором лично)

№	Значение, л/100 км	№	Значение, л/100 км	№	Значение, л/100 км
1	2	1	2	1	2
1	10,44	7	12,53	13	15,22
2	11,51	8	13,34	14	16,44
3	11,90	9	13,81	15	16,51
4	12,13	10	14,03	16	16,65
5	12,38	11	14,25	17	16,72
6	12,52	12	14,58	18	18,99
				19	20,18

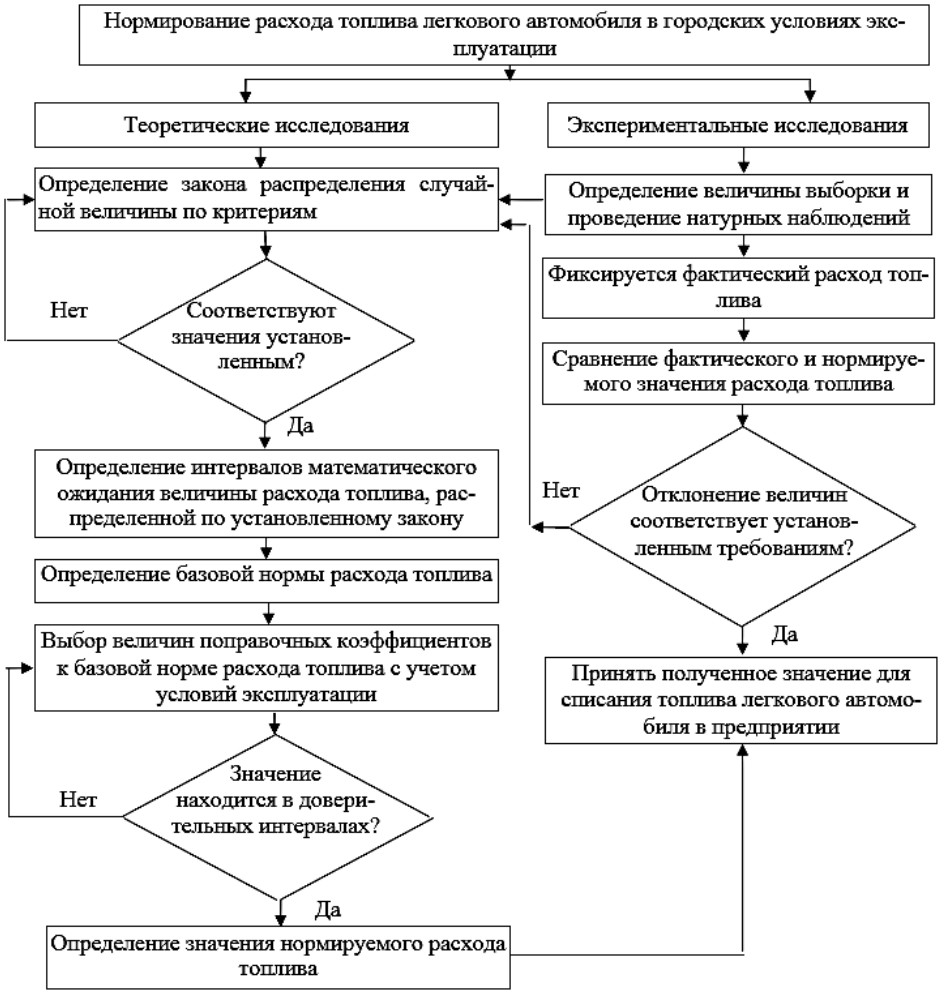


Рисунок 1 – Алгоритм методики нормирования расходования топлива для легковых автомобилей в городских условиях эксплуатации

С применением методов математической статистики и теории вероятностей получено уравнение плотности распределения расходования топлива по нормальному закону ($f(M_Q)$) [22]:

$$f(M_Q) = \frac{1}{\sigma_{MQ} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(M_Q - (M(_Q))^2}{2\sigma^2_{MQ}}}, \quad (1)$$

где MQ – расход топлива легкового автомобиля в городских условиях эксплуатации, л/100 км;

$M(_{MQ})$ – математическое ожидание M_Q, л/100 км;

σ_{MQ} – среднее квадратическое отклонение M_Q;

σ^2_{MQ} – дисперсия M_Q.

Результаты

Проверка соответствия плотности распределения выбранному закону проводилась с помощью критериев Пирсона и Романовского. Получены следующие значения:

$M(_{MQ})$=14,43 л/100 км;

σ^2_{MQ} = 6,44;

σ_{MQ} =2,54.

Полуширина доверительных интервалов расхода топлива легкового автомобиля в городских условиях эксплуатации л/100 км определялись с применением формулы (2) [22].

$$\delta_м = \sigma_{MQ} \cdot S^{-1}(P_Д; n), \quad (2)$$

где $\delta_м$ – полуширина доверительных интервалов;

$S^{-1}(P_Д; n)$ – обращенное значение функции Стьюдента.

С учетом количества наблюдений математическое ожидание расхода топлива в зимний период может изменяться от 9,62 л/100 км до 17,24 л/100 км.

Согласно алгоритму, представленному на рисунке 1, необходимо выполнить расчет по методике.

За основу расчета положено значение базовой нормы расхода топлива. Условия эксплуатации учитываются с помощью поправочных коэффициентов, регламентированных в виде процентов повышения / понижения базовых значений расхода топлива.

Нормируемый расход топлива для легкового автомобиля:

$$Q_н = 0{,}01 \cdot H_s \cdot S \cdot (1+0{,}01 \cdot D), \quad (3)$$

где $Q_н$ –нормируемый расход топлива, л/100 км;

H_s – базовая норма расхода топлива, л/100 км;

S – пробег, км;

D – поправочный коэффициент (сумма коэффициентов).

Надбавки за простои автомобиля на стоянках с включенным двигателем формула:

$$Q_н = 0{,}01 \cdot H_s \cdot S \cdot (1+0{,}01 \cdot D) + t_{ст} \cdot H_s \cdot d_н/100, \quad (4)$$

где $t_{ст}$ – время стоянок с работающим двигателем, ч;

$d_н$ – надбавка, %.

После приведения значения расхода топлива к 100 км пробега автомобиля:

$$Q_Н/100км = H_s((1+0{,}01 \cdot D) + t_{ст} \cdot 0{,}1), \quad (5)$$

где $Q_Н$/100км – расчетный нормируемый расход топлива, л/ 100 км.

Время стоянок $t_{ст}$, приведенное к 100 км пробега:

$$t_{ст} = T_{ст} \cdot 100/L, \quad (6)$$

где $T_{ст}$ – время стоянок автомобиля с работающим двигателем установлено по данным экспериментальных исследований, ч;

L – пробег автомобиля за период исследований, км.

В качестве примера расчета возьмём следующие данные: Renault Duster, который эксплуатировался в городе Омске и Омской области в период с 26.03.21 по 15.04.21 с пробегом 513 км. Базовая норма расхода топлива будет составлять 10,8 л/100 км. В качестве суммы коэффициентов (D) принимается значение 37 % (по методике Распоряжения Минтранса РФ от 14.03.2008 № АМ-23-р для города Омска в зимний период эксплуатации).

Обработанные данные по продолжительности стоянок автомобиля в зимний период с 26.03.2021 по 15.04.2021 по характерным дням сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Продолжительность стоянок автомобиля с работающим двигателем

Дата	Время	Продолжительность стоянок, мин.
26.03.21	с 9 ч. 30 мин. до 11 ч. 23 мин.	36
29.03.21	с 07 ч. 20 мин. до 16 ч. 16 мин.	45
31.03.21	с 07 ч. 43 мин. до 12 ч. 54 мин.	43
01.04.21	с 11 ч. 57 мин. до 18 ч. 11 мин.	55
02.04.21	с 07 ч. 12 мин. до 17 ч. 36 мин.	72
05.04.21	с 07 ч. 23 мин. до 16 ч. 40 мин.	9
06.04.21	с 07 ч. 23 мин. до 16 ч. 40 мин.	83
07.04.21	с 07 ч. 09 мин. до 17 ч. 36 мин.	45
08.04.21	с 07 ч. 10 мин. до 18 ч. 10 мин.	87
09.04.21	с 07ч.16 мин. до 18 ч. 35 мин.	20
12.04.21	с 07ч. 16 мин. до 18 ч. 35 мин.	11
13.04.21	с 07ч. 16 мин. до 18 ч. 35 мин.	10
14.04.21	с 07ч. 16 мин. до 18 ч. 35 мин.	69
15.04.21	с 07ч. 16 мин. до 18 ч. 35 мин.	6
	Итого	574/ 9,57 (час)

По результатам таблицы 2 продолжительность стоянок с работающем двигателем автомобиля Renault Duster равна 9,57 ч.

$t_{ст.}$= 9,57·100/513,0 = 1,86 часа.

Qн/100км = 16,81.

При пробеге 513 км расчетное количество топлива составит 86,24 литра.

Обсуждение

В ходе выполнения испытаний получены значения нормируемого расхода топлива для режима эксплуатации и за время испытания автомобиля. В ходе проведения испытаний получено значение фактического эксплуатационного расхода топлива автомобиля для основного режима эксплуатации – движение в г. Омске. Анализ сходимости результатов расчета и испытаний позволяет судить:

а) об адекватности расчетной модели нормируемого значения расхода топлива и правильности установления значение ее базовой нормы;

б) о правильности проведенного анализа условий и режимов эксплуатации автомобиля и правильности выбора поправочных коэффициентов.

Анализ сходимости выполнен путем сравнения значений нормируемого расхода топлива Qни и фактического эксплуатационного расхода Qэ, полученных для основного режима эксплуатации автомобиля.

Выводы

Поставленные в работе задачи были полностью выполнены, а именно:

– разработан план эксперимента для определения значений расхода топлива легкового автомобиля в городских условиях эксплуатации, который включает в себя мониторинг режимов эксплуатации транспортного средства, замер эксплуатационного расхода топлива в городских условиях Омска, в качестве средства измерения использовалась топливораздаточная колонка;

– выполнена обработка результатов эксперимента и установлен нормальный закон распределения случайной величины с определением предельных значений расхода топлива от 9,62 л/100 км до 17,24 л/100 км легкового автомобиля в городских условиях эксплуатации в зимнее время;

– выполнен расчет показателей расхода топлива легкового автомобиля в городских условиях эксплуатации с помощью выбора величин поправочных коэффициентов к базовой норме с учетом условий эксплуатации по методике Распоряжения Минтранса РФ от 14.03.2008 № АМ-23-р;

– выполнено сравнение полученных показателей по результатам расчета и эксперимента и установлено, что нормируемое значение расхода топлива для автомобиля Renault Duster в городских условиях эксплуатации будет составлять 16,81 л/100 км.

Полученные результаты могут быть использованы в практике работы предприятий в виде приказа на списание топлива легкового автомобиля, эксплуатируемого в городских условиях, которое будет согласовываться с фактическим.

Дальнейшие научные исследования автора будут направлены на выявление и изучение влияния конструкционных особенностей автотранспортных средств на расход топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горяев Н.К., Хабибуллозода Х.Х. Обзор исследования факторов, влияющих на расход топлива грузовых автомобилей // Прогрессивные технологии в транспортных система: Сборник матер. XIV Международ. науч.-практ. конф. – Оренбург: Оренбургский государственный университет. - 2019. – С. 172-175.

2. Горяев Н.К., Хабибуллозода Х.Х., Вавилова Е.Н. Совершенствование нормирования расхода топлива на транспортную работу для междугородных перевозок // Вестник Южно-Уральского государственного университета. – 2019. – Т. 13. – №2. – С. 171-174.

3. Курганов В.М., Грязнов М.В., Дорофеев А.Н., Адувалин А.А. Методика нормирования материальных ресурсов для автобусов // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – №1. – 2022. – С. 102-116.

4. Huertas J.I., Giraldo M., Quirama L.F., Díaz J. Driving cycles based on fuel consumption // Energies. –2018. – 11, 3064. – P. 125-142.

5. Gao J., Chen H., Li Y., Chen J., Zhang Y., Dave K., Huang Y. Fuel consumption and exhaust emissions of diesel vehicles in worldwide harmonized light vehicles test cycles and their sensitivities to eco-driving factors // Energy conversion and management. - №196 . – P. 605-613.

6. Мороз С.М. Технология автоматического индивидуального нормирования расхода топлива для автотранспортных средств // Грузовик. – 2019. – №3. – С. 11-15.

7. Кривошипов С.И. Совершенствование программного обеспечения по нормированию расхода топлива для предприятий автотранспорта // Вісник СевНТУ. – 2014. – №152. – С. 74-77.

8. Курганов В.М., Дорофеев А.Н., Грязнов В.М. Нормирование расхода топлива с использованием информационных технологий // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2018. – Т. 15. – №2(60). – С. 237-248.

9. Кузнецов В.Н. Автоматизация расчета норм расхода топлива на предприятиях АПК // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – №1(171). – С. 164-169.

10. Yi S., Haoran Z., Xuan S., Fengjing S., Changying W., Yao L. GPS data in urban online ride-hailing: A comparative analysis on fuel consumption and emissions // Journal of cleaner production. – 2019. – Т. 227. – С. 495-505.

11. Perrotta F., Parry T., Neves L.C., Buckland T., Benbow E., Mesgarpour M. Verification of the HDM-4 fuel consumption model using a Big data approach: A UK case study // Transportation Research Part D: Transport and Environment. - №67. – P. 109-118.

12. Рукомойников К.П., Купцова В.О., Сергеева Т.В. Математическая модель расхода топлива форвардера «Амкодор-2682» при выполнении лесохозяйственных работ // Изв. вузов. Лесн. журн. – 2020. – №6. – С. 148-158.

13. Ильянов С.В. Применение вероятностно-аналитической методики расчета расхода топлив для городских автобусов класса М3 // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2020. – №4. – С. 125-132.

14. Бондаренко И.И. Современные системы инструментального offline-/online-контроля расхода топлива и мониторинга режимов работы автотракторной техники // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2021. – №4(73). – С. 4-14.

15. Адакин Р.Д., Соцкая И.М. Разработка программы «Технический сервис» для предприятий, работающих с системой ГЛОНАСС и содержащих большой автопарк // Вестник АПК Верхневолжья. – 2021. – №2(54). – С. 93-98.

16. Самуйлов В.М., Неволин Д.Г., Смердова А.А. Использование системы ГЛОНАСС на коммерческом предприятии ООО «УМИТ» // Инновационный транспорт. – 2021. – №2(40). – С. 83-86.

17. Миров Б.К., Панов Ю.В., Зенченко В.А., Почукаев М.И. Определение индивидуальных маршрутных норм расхода СУГ в горных условиях эксплуатации автомобиля // Транспорт на альтернативном топливе. – 2020. – №2(74). – С. 71-77.

18. Трофимова Л.С. Применение методов субъективных вероятностей в планировании работы автотранспортного предприятия // Мир транспорта и технологических машин. – 2019. – №3(66). – С. 97-104.

19. Трофимова Л.С. Математическая модель функционирования автотранспортного предприятия при перевозке грузов в городе // Мир транспорта и технологических машин. – 2020. – №2(69). – С. 69-79.

20. Трофимов А.В., Трофимов Б.С., Усович А.Н., Пекарев И.А. К вопросу организации на предприятии системы контроля за расходом топлива автомобилей с использованием данных навигационного терминала ГЛОНАСС // Вестник Сибирского Отделения Академии Военных Наук. – 2022. – №65. – С. 148-158.

21. Трофимов А.В., Трофимов Б.С. Об особенностях применения некоторых надбавок при нормировании расхода топлива на автомобильном транспорте // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, новации: Материалы Международ. науч.-практ. конф. – Омск: СибАДИ. – 2016. – С. 612-615.

22. Галушко, В.Г. Вероятностно-статистические методы на автотранспорте – Киев: Вища школа, 1976. – 232 с.

23. О введение в действие методических рекомендаций «Нормы расхода топлив и смазочных материалов»: Распоряжение Минтранса РФ от 14.03.2008 № АМ-23-р [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_76009/

24. ГОСТ Р 54810-2011 Автомобильные транспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/1200093157

25. ГОСТ 9018-89 Колонки топливораздаточные. Общие технические условия (с Изменениями № 1, 2) [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/1200004639

Трофимов Борис Сергеевич
Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)
Адрес: 644080, Российская Федерация, г. Омск, пр-т Мира, 5
К.т.н., доцент кафедры «Автомобильный транспорт»
E-mail: trofim_bs@mail.ru

B.S. TROFIMOV

METHODOLOGY FOR REGULATION OF FUEL CONSUMPTION FOR PASSENGER CARS IN URBAN OPERATING CONDITIONS

Abstract. *The article proposes an algorithm of the methodology that allows using the relationship of experimental observation methods, statistical methods, and probability theory to establish the law of distribution of fuel consumption in urban conditions of operation of a passenger car with a confidence probability of 0.95 and determine the limit values of these norms. The scientific and methodological approach is new in the context of the practice of rationing fuel consumption, it allows you to apply correction factors to the base rate, so that the final value corresponds to the values established experimentally. The article gives an example of the application of the methodology for rationing the fuel consumption of a Renault Duster car in the winter operating conditions of the city of Omsk.*

Keywords: *distribution law of fuel consumption, urban operating conditions, passenger car, limiting fuel consumption rates, correction factors to the base fuel consumption rate, Renault Duster car*

BIBLIOGRAPHY

1. Goryaev N.K., Habibullozoda H.H. Obzor issledovaniya faktorov, vliyayushchikh na raskhod topliva gruzovykh avtomobiley // Progressivnye tekhnologii v transportnykh sistema: Sbornik mater. XIV Mezhdunarod. nauch.-prakt. konf. - Orenburg: Orenburgskiy gosudarstvennyy universitet. - 2019. - S. 172-175.

2. Goryaev N.K., Habibullozoda H.H., Vavilova E.N. Sovershenstvovanie normirovaniya raskhoda topliva na transportnuyu rabotu dlya mezhdugorodnykh perevozok // Vestnik Yuzhno-Ural`skogo gosudarstvennogo universiteta. - 2019. - T. 13. - №2. - S. 171-174.

3. Kurganov V.M., Gryaznov M.V., Dorofeev A.N., Aduvalin A.A. Metodika normirovaniya material`nykh resursov dlya avtobusov // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. - №1. - 2022. - S. 102-116.

4. Huertas J.I., Giraldo M., Quirama L.F. , D?az J. Driving cycles based on fuel consumption // Energies. - 2018. - 11, 3064. - R. 125-142.

5. Gao J., Chen H., Li Y., Chen J., Zhang Y., Dave K., Huang Y. Fuel consumption and exhaust emissions of diesel vehicles in worldwide harmonized light vehicles test cycles and their sensitivities to eco-driving factors // Energy conversion and management. - №196 . - R. 605-613.

6. Moroz S.M. Tekhnologiya avtomaticheskogo individual`nogo normirovaniya raskhoda topliva dlya avtotransportnykh sredstv // Gruzovik. - 2019. - №3. - S. 11-15.

7. Krivoshipov S.I. Sovershenstvovanie programmnogo obespecheniya po normirovaniyu raskhoda topliva dlya predpriyatiy avtotransporta // Visnik SevNTU. - 2014. - №152. - S. 74-77.

8. Kurganov V.M., Dorofeev A.N., Gryaznov V.M. Normirovanie raskhoda topliva s ispol`zovaniem informatsionnykh tekhnologiy // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil`no-dorozhnogo universiteta. - 2018. - T. 15. - №2(60). - S. 237-248.

9. Kuznetsov V.N. Avtomatizatsiya rascheta norm raskhoda topliva na predpriyatiyakh APK // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2019. - №1(171). - S. 164-169.

10. Yi S., Haoran Z., Xuan S., Fengjing S., Changying W., Yao L. GPS data in urban online ridehailing: A

comparative analysis on fuel consumption and emissions // Journal of cleaner production. - 2019. - T. 227. - S. 495-505.

11. Perrotta F., Parry T., Neves L.C., Buckland T., Benbow E., Mesgarpour M. Verification of the HDM-4 fuel consumption model using a Big data approach: A UK case study // Transportation Research Part D: Transport and Environment. - №67. - R. 109-118.

12. Rukomoynikov K.P., Kuptsova V.O., Sergeeva T.V. Matematicheskaya model` raskhoda topliva forvardera «Amkodor-2682» pri vypolnenii lesokhozyaystvennykh rabot // Izv. vuzov. Lesn. zhurn. - 2020. - №6. - S. 148-158.

13. Il`yanov S.V. Primenenie veroyatnostno-analiticheskoy metodiki rascheta raskhoda topliv dlya gorodskikh avtobusov klassa M3 // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. - 2020. - №4. - S. 125-132.

14. Bondarenko I.I. Sovremennye sistemy instrumental`nogo offline-/online-kontrolya raskhoda topliva i monitoringa rezhimov raboty avtotraktornoy tekhniki // Vestnik Belorussko-Rossiyskogo universiteta. - 2021. - №4(73). - S. 4-14.

15. Adakin R.D., Sotskaya I.M. Razrabotka programmy «Tekhnicheskiy servis» dlya predpriyatiy, rabotayushchikh s sistemoy GLONASS i soderzhashchikh bol`shoy avtopark // Vestnik APK Verkhnevolzh`ya. - 2021. - №2(54). - S. 93-98.

16. Samuylov V.M., Nevolin D.G., Smerdova A.A. Ispol`zovanie sistemy GLONASS na kommercheskom predpriyatii OOO «UMIT» // Innovatsionnyy transport. - 2021. - №2(40). - S. 83-86.

17. Mirov B.K., Panov Yu.V., Zenchenko V.A., Pochukaev M.I. Opredelenie individual`nykh marshrutnykh norm raskhoda SUG v gornykh usloviyakh ekspluatatsii avtomobilya // Transport na al`ternativnom toplive. - 2020. - №2(74). - S. 71-77.

18. Trofimova L.S. Primenenie metodov sub"ektivnykh veroyatnostey v planirovanii raboty avtotransportnogo predpriyatiya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2019. - №3(66). - S. 97-104.

19. Trofimova L.S. Matematicheskaya model` funktsionirovaniya avtotransportnogo predpriyatiya pri perevozke gruzov v gorode //Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2020. - №2(69). - S. 69-79.

20. Trofimov A.V., Trofimov B.S., Usovich A.N., Pekarev I.A. K voprosu organizatsii na predpriyatii sistemy kontrolya za raskhodom topliva avtomobiley s ispol`zovaniem dannykh navigatsionnogo terminala GLONASS // Vestnik Sibirskogo Otdeleniya Akademii Voennykh Nauk. - 2022. - №65. - S. 148-158.

21. Trofimov A.V., Trofimov B.S. Ob osobennostyakh primeneniya nekotorykh nadbavok pri normirovanii raskhoda topliva na avtomobil`nom transporte // Arkhitekturno-stroitel`nyy i dorozhno-transportnyy kompleksy: problemy, perspektivy, novatsii: Materialy Mezhdunarod. nauch.-prakt. konf. - Omsk: SibADI. - 2016. - S. 612-615.

22. Galushko, V.G. Veroyatnostno-statisticheskie metody na avtotransporte - Kiev: Vishcha shkola, 1976. - 232 s.

23. O vvedenie v deystvie metodicheskikh rekomendatsiy «Normy raskhoda topliv i smazochnykh materialov»: Rasporyazhenie Mintransa RF ot 14.03.2008 № AM-23-r [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_76009/

24. GOST R 54810-2011 Avtomobil`nye transportnye sredstva. Toplivnaya ekonomichnost`. Metody ispytaniy [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: https://docs.cntd.ru/document/1200093157

25. GOST 9018-89 Kolonki toplivorazdatochnye. Obshchie tekhnicheskie usloviya (s Izmeneniyami № 1, 2) [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: https://docs.cntd.ru/document/1200004639

Trofimov Boris Sergeevich
Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)
Address: 644080, Russia, Omsk, av. Mira, 5
Candidate of technical sciences
E-mail: trofim_bs@mail.ru

Научная статья
УДК 629.33: 027
doi:10.33979/2073-7432-2022-1(79)-4-23-33

И.Ф. ДЬЯКОВ

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА РЕССОРНОЙ ПОДВЕСКИ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Аннотация. *Изложены вопросы прогнозирования ресурса подвески из листовой рессоры транспортного средства с использованием энергозатрат при циклическом нагружении. Приведена уточненная формула расчета энергозатрат, которая имеет более тесную связь с отказами деталей в условиях эксплуатации, чем километры пробега. Показано, что при движении транспортного средства происходит нагружение и разгружение подвески, описываемые методом расчета «петля гистерезиса».*

Ключевые слова: *прогнозирование, подвеска, нагрузочные режимы, деформация подвески, скорость роста микротрещин, зона текущего ремонта*

Введение

Для оценки транспортного средства применяют коэффициент, выраженный отношением грузоподъемности к собственной массе, значения которого при проектировании стремятся повысить за счет снижения металлоемкости. Повышение коэффициента снаряженной массы влияет на плавность хода, надежность системы подвески, состоящей из стальных рессор или пружин, торсионов. Вследствие этого, возникает потребность определения ресурса подвески [20].

Целью проведенного исследования является снижение затрат на текущем ремонте подвески за счет своевременной замены листовой рессоры транспортного средства, определяемой прогнозированием ресурса, используя энергозатраты, имеющие более тесную корреляционную связь с отказами деталей. Поставленная цель достигается решением следующих задач:

1) уточнение возможности оценки ресурса подвески по энергозатратам транспортного средства;

2) прогнозирование ресурса подвески на основе нейронной сети по нагрузочной характеристике транспортного средства .

Теория / Расчет

Кроме ресурса, подвеска должна обеспечивать минимум прогиба рессоры в различных дорожных условиях и нагрузках при снаряженной массе транспортного средства, сохранение постоянной высоты уровня подрессоренной массы относительно дорожного полотна [18]. Кроме того, любая подвеска должна обеспечивать:

- снижение интенсивности восприятия колебаний подрессоренной массы;
- минимальные вертикальные колебания и угловые продольно-поперечные ускорения подрессоренной масс;
- среднеквадратическая величина вертикального ускорения не должна превышать допустимого значения;
- повышение комфортабельности движения транспортного средства;
- время успокоение $t_{усп}$ колебаний подрессоренной массы.

$$t_{усп} = \frac{1}{\varepsilon_y \omega_o} \ln \frac{1}{\lambda\left(1-\varepsilon_y^2\right)} \to \min, \tag{1}$$

где $\varepsilon_y = k_{усп} / \left(2 m_n \omega_o\right) = k_{усп} / \left(2\sqrt{m_n c_n}\right)$ – степень успокоения;

$k_{усп}$ – коэффициент успокоения, численно равное силе сопротивления подвески при скорости подрессоренной массы, равной единице $(\dot{z} = 1)$;

© Дьяков И.Ф., 2022

$\omega_o = \sqrt{c_n / m_n}$ – коэффициент, зависящий от упругих свойств подвески;

c_n – жёсткость подвески;

m_n – подрессоренная масса;

λ – коэффициент точности установки подрессоренной массы в положение равновесия.

Все приведенные выражения показывают основные свойства подвески. Из-за неровности дороги при движении возникают, в основном, отказы не только деталей трансмиссии, но и рессорной подвески, а в случае поломки на линии, возникают значительные затраты на выполнение ремонтных воздействий и простои в зоне ремонта.

Без планирования количества и номенклатуры запасных частей, в том числе рессор, длительность текущего ремонта возрастает [1]. Большую помощь в этом случае может оказать прогнозирование ресурса деталей [2-6]. Это особенно необходимо когда в сжатые сроки требуется выполнения плана транспортной работы

Переменный нагрузочный режим транспортного средства вызывает усталостные повреждения [7, 8]. Результаты обработки параметров усталостных повреждений вносят в таблицу и представляют в виде графика, описываемого петлей гистерезиса. Причем, переменный нагрузочный режим зависит от множества факторов, влияющих на интенсивность отказов деталей, интервал наработки которых представлен в виде

$$J_{S_i} = \left\{ L\left[m_i \left(k_\gamma \beta + \eta_\sigma \right) \right] + \sum_{i=1}^{n} F_i^{\text{тр}} l_i(r_i) + (F_w + F_j \pm F_h) h_g - F_f r_k \right\} \frac{1}{t_{\text{дв}}^2} 0,272 , \qquad (2)$$

где L - пробег за рассматриваемый период;

m_i - масса транспортного средства;

k_γ, β - соответственно коэффициенты использования грузоподъёмности и пробега;

η_σ - коэффициент использования снаряженной массы транспортного средства;

$F_i^{\text{тр}}, F_w\ F_j, F_f, F_h$ - соответственно сила трения трущегося звена, сила сопротивления воздушного потока, сила инерции, сила сопротивления качению колеса, сила дорожного сопротивления при подъеме;

$l_i(r_i)$ - длина контакта трущихся поверхностей или радиус звенев;

h_g - высота центра тяжести транспортного средства;

r_k - радиус колеса;

$t_{\text{дв}}$ - время нахождения транспортного средства в рабочем режиме;

0,272 - коэффициент перевода из Н·м в кВт·ч .

Для учета нагрузочного режима, влияющего на ресурса подвески, а также во избежание ударов в ограничитель хода для грузовых транспортных средств следует, чтобы коэффициент динамического прогиба находился в пределах

$$k_{h\ \text{дин}} = (2...3) h_{zn\ \text{стат}} ,$$

где $h_{z\ n\ \text{стат}}$ – статический прогиб подвески или можно выразить по нагрузкам

$$k_{h\ \text{дин}} = F_{z\ n\ \text{дин}} / F_{z\ n\ \text{стат}} ,$$

где $F_{zn\ \text{дин}}, F_{zn\ \text{стат}}$ – соответственно, динамическая и статическая нагрузки.

Причем, статическая нагрузка при прогибе рессор имеет вид

$$F_{zn}(h_{zn}) = F_{zn\ \text{стат}} \exp\left(\frac{h_{zn} - h_{zn\ \text{стат}}}{h_{zn\ \text{стат}}} \right) . \qquad (3)$$

Учитывая, что в процессе эксплуатации транспортных средств, происходят внезапные отказы рессорной подвески, которые можно относить к экспоненциальному закону распределения в виде

$$f(J_s) = \lambda \exp(-\lambda J_s); \quad p(J_s) = \exp(-\lambda(J_s), \tag{4}$$

где λ – интенсивность отказов при накоплении усталостных повреждений подвески транспортного средства;

$\lambda(J_S)$ – интенсивность внезапных отказов при наработке J_S в кВт · ч.

Для нормального закона распределения интенсивности накопления усталостных повреждений деталей, использована функция Лапласа

$$f(\mathrm{t}) = \frac{2}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{1}{\left[1 + \Phi\left(\frac{T_{\text{ср}}}{\sigma}\right)\right]} \exp\left[-\frac{\left(t - T_{\text{ср}}\right)^2}{2\sigma^2}\right]; \tag{5}$$

$$p(t) = \frac{1 + \Phi\left(\frac{T_{\text{ср}} - t}{\sigma}\right)}{1 + \Phi\left(T_{\text{ср}} / \sigma\right)}, \tag{6}$$

где $T_{\text{ср}}, \sigma$ – среднее время безотказной работы и среднеквадратическое отклонение;

$\Phi\left(T_{\text{ср}} - t\right) / \sigma$, $\Phi\left(T_{\text{ср}} / \sigma\right)$ – функции Лапласа (для вычисления пользуются специальными таблицами).

В условиях эксплуатации в первом приближении для прогнозирования ресурса подвески можно использовать экспериментальный метод более материалоемкий или расчетно-экспериментальный. Экспериментальный метод прогнозирования проводится на основе исследования петли гистерезиса в лабораторных условиях [19].

1. *Лабораторные испытания на стенде*. Стендовые испытания [9] показали, что при ступенчатом нагружении с помощью гидропульсатора, управляемого электронным блоком, можно исследовать свойства материала. Стенд шестиканальный электрогидравлический в базовой комплектации состоит из шести гидроцилиндров, трех гидростанций, трех блоков распределительных станций перекачки и шести откачивающих насосов, гидроразводки, автоматизированной системы управления и электрооборудования. Гидростанция предназначена для подачи масла под давлением в гидросистему гидропульсатора. Три гидростанции объединены гидроразводкой в общую гидросистему, к которой подсоединены блоки распределительные. Блоки распределительные предназначены для управления подачей масла к гидропульсаторам. Откачивающие насосы предназначены для удаления сливного масла из гидростатических подшипников гидропульсаторов и подачи его в бак станции перекачки. Станции перекачки предназначены для сбора масла от откачивающих насосов, удаления из масла воздуха и перекачки его в баки гидростанций. При работе гидростанций поток рабочей жидкости поступает в распределительные блоки, через которые поток жидкости поступает к гидропульсаторам, работающим по программе. Система управления позволяет производить испытания изделий с регулированием, по перемещению или по силе в автоматическом режиме по заданной программе.

Программный комплекс (ПК) позволяет: воспроизводить гармоническое, пилообразное и ступенчатое нагружение объекта испытаний с заданной частотой, амплитудой и постоянными составляющими; воспроизводить квазистическое и импульсное нагружение объекта испытаний с произвольным законом его изменения во времени, а также обеспечить любое количество его повторений; осуществлять воспроизведение регулярного блок-программного нагружения объекта испытаний, состоящего из ступеней с фиксированным числом циклов нагружения заданной амплитуды и постоянной составляющей; в качестве исходных данных для блок-программы используются результаты непосредственной, в том числе двумерной схематизации эксплуатационных процессов нагружения конструкций; осуществлять воспроизведение периодического псевдослучайного режима нагружения объекта испытаний с заданной дисперсией и формой спектральной плотности процесса; обеспечить возможность

синхронизации управления силовозбудителями с учетом их взаимовлияния друг на друга при испытании одной детали или узла [17].

В процессе управления стендовыми испытаниями обеспечиваются адаптивное регулирование процесса нагружения конструкций и контроль режима испытаний по допускам. Условия применения ПК предназначен для применения на программно и аппаратно полностью совместимых персональных компьютерах .

ПК «BRAS»: память, необходимая для работы системы ОЗУ – 1,0 Гбайт (минимум), винчестер – 60,0 Мбайт + данные; количество каналов управления – макс. 8 (16); количество каналов регистрации – макс. 8 (16); минимальный такт прерывания – 2 мс; диапазон регулируемых частот 0-100 Гц; возможность независимого управления сервогидравлическим и силовозбудителями одновременно. Выбор диапазона частот для системы:

0 – 100 Гц; 0 – 50 Гц; 0 – 25 Гц. Эти параметры запоминаются в системном файле «BRAS», кроме того, создается файл протокола. После этого пункт меню «Инициализация системы» гасится, и доступ к этому пункту меню становится невозможным.

2. *Формирование режимов нагружения*. Формирование режима нагружения осуществляется в 2 этапа:

1) умножением эталонных сигналов на обратные передаточные функции определяются управляющие сигналы;

2) для оценки погрешности воспроизведения на стенд один раз подается каждый блок управляющих сигналов, после чего вычисляются в процентах ошибки среднеквадратическое отклонение (СКО) и размаха. Ошибка СКО характеризует отклонение формы измеренных сигналов от формы эталонных сигналов, а ошибка размаха оценивает различие между амплитудами измеренных и эталонных сигналов.

Следует иметь в виду, что во время проведения испытания происходит постоянная проверка допусков: сравниваются эталонный процесс и измеренный процесс на соответствующем датчике механических величин. При превышении однократного допуска стенд дорабатывает один блок (в зависимости от диапазона частот это 0,4; 0,6 или 0,8 с), и испытания останавливаются [16].

После ввода подпункта «Конец испытания» вся информация из протокола испытания записывается в файл протокола. Для выхода на протокол испытания для данного стенда необходимо выйти из меню «Этапы испытания», в правом окне выбрать стрелками нужный номер стенда и нажать клавишу «*Enter*». Каждой ступени нагружения можно поставить в соответствие 3-4 класса распределения амплитуд. При этом число циклов $N_{цi}$ каждой ступени нагружения определяется до начала разрушения. При минимальном прогибе рессоры число циклов в блоке в 2-3 раза больше, чем при максимальном значении прогиба. Испытания начинаются с 1-й ступени блока, затем следует 2-я, и т. д. вплоть до 10-й, далее по нисходящей − 9-я, 8-я. Затем последовательность ступеней остается неизменной, что позволяет построить петли гистерезиса, а изменение площади петли гистерезиса от количества циклов. Площадь петли гистерезиса характеризует затраты энергии на деформацию подвески. Учитывая, что часть внешней приложенной силы при циклическом нагружении подвески, например, при прогибе, растяжении или кручении определяется энергозатратами, с учетом геометрических характеристик из выражения

$$J_{A_г} = [\sigma_р(\tau_{кр}) A_г \sum_{i=1}^{n} V_{пi} / 0,7 l_р b 2\pi] k_п \qquad (7)$$

где $\sigma_р(\tau_{кр})$ – расчетное напряжение (при прогибе, кручении, растяжении);

$A_г$ – площадь петли гистерезиса;

$V_{пi}$ – элементарный (i -й) объем подвески (рассматривается как ступенчатая балка);

$0,7 l_р$, b - соответственно, длина и ширина рессоры;

$k_п$ – коэффициент перевода с Н · м на кВт·ч.

При длительном циклическом нагружении происходит усталостное разрушение рессоры, на которое затрачивается энергия

$$\Delta J_{\text{раз}} = N_F \operatorname{sign} f \frac{1}{\nu} \Delta s_i k'_{\text{п}}, \tag{8}$$

где N_F – внутреннее усилие;

$\operatorname{sign} f$ - изменение коэффициента трения между кристаллическими решетками;

ν - обратная величина частоты запаздывания деформации кристаллической решетки при изменении коэффициента трения;

ΔS – изменение роста микротрещин;

k'_n – коэффициент пропорциональности внутренней энергии.

Значение внутреннего усилия находят методом сечения по поперечной оси рессоры. При равенстве внешней и внутренней энергии следует

$$\left[\frac{\sigma_{F_i}(\tau_i)\mu_{\sigma,N_{\text{ц}}} A_{\text{г}} \sum_{i=1}^{n} V_{\text{п}}}{0,7 l_{\text{р}} b 2\pi} \right] k_{\text{п}} = N_F sigf \frac{1}{\nu} \Delta s k'_{\text{п}}. \tag{9}$$

Из выражения (9) можно определить

$$\Delta s_i = \frac{\sigma_{p_i}(\tau_i) A_{\text{г}} \sum_{i=1}^{n} V_{i\,\text{д}} k_{\text{п}}}{2\pi 0,7 l_{\text{р}} b N_F \operatorname{sig} f \frac{1}{\nu} k'_{\text{п}}} \le [\Delta s], \tag{10}$$

учитывая, что

$$V_{\text{д}} = \sum_{i=1}^{n} A_{i\,\text{сеч}} l_{i_{\text{д}}},$$

где $A_{\text{сеч}}$ – элементарная площадь поперечного сечения рессоры;

$l_{об}$ – элементарная длина листа рессоры;

$[\Delta s]$ – допускаемое значение микротрещины.

Тогда отношение элементарной микротрещины за *i*-е число циклов составит

$$\nu'_{\text{г}} = \frac{\Delta s_i}{\Delta N_{\text{ц}}} = \frac{\Delta J''_{A_{\text{г}}} - \Delta J'_{A_{\text{г}}}}{\Delta N'' - \Delta N'_{\text{ц}}} = \operatorname{tg}\alpha_{A_{\text{г}}}, \tag{11}$$

где $\Delta J''_{A_{\text{г}}}, \Delta J'_{A_{\text{г}}}$ – соответственно, диапазон энергозатрат внешней силы, приложенной в конце и вначале циклического нагружения подвески;

$\Delta N''_{\text{ц}}, \Delta N'_{\text{ц}}$ – соответственно диапазон циклов в конце и вначале нагружения рессорной подвески;

$\alpha_{\text{г}}$ – угол наклона кривой, определяемой по площади петли гистерезиса,

3. *Методика прогнозирования.* В условиях эксплуатации транспортного средства прогнозирование имеет первостепенное значение. На стадии прогнозирования подвески не ограничиваются построением лишь экспериментальных данных, так как они в большинстве случаев не будет адекватны рассматриваемому ресурсу подвески в условиях эксплуатации [14].

Результаты и обсуждение

Менее материалоёмким является расчетно-экспериментальный метод.

Достоверные результаты получаются на основе нейронной сети [10-13]. Нейронная сеть стандартной архитектуры имеет несколько слоев каналов для ввода, обработки и вывода результатов исследования. Для исследования прогноза оптимального ресурса подвески на

основе нейронной сети использован произвольный ряд подвесок однотипных транспортных средств, содержащих N =6 единиц, которые разделены на три группы. Первая группа относится как обучающая, вторая – для тестирования и третья как контрольная выборка. Все они отличаются друг от друга наработкой транспортного средства с интервалом 1 тыс. кВт·ч. Для прогнозирования скорости роста микротрещин в подвеске использованы пять поддиапазонов. Каждый поддиапазон соответствует определенному углу $\alpha_{A_г}$ наклона кривой площади петли гистерезиса $J_{A_г} = f\left(N_ц\right)$

$$\alpha_{г1} = (12,...,14)^o;\ \alpha_{г2} = (14,...,16)^o : \alpha_{г3} = (16,...,18)^o;$$

$$\alpha_{г4} = (18,...,20)^o\ \alpha_{г5} = (20,...,22)^o.$$

Каждый угол наклона кривой представлен в виде строки, определяемой по площади петли гистерезиса

$$x_{\alpha_{гi}} = 0110010*0010100*01001000*01011000*1111100. \quad (12)$$

Для решения данного выражения (12) используют весовые коэффициенты, которые минимизированы по значениям заданных $v^k_{\alpha_г}$ и прогнозируемых $\left[\Delta v_{\alpha_г}\right]$ и выходных параметров, представленных как минимизация функции погрешности из выражения

$$z_{\alpha_г} = \sum_{k=1}^{p}\left(v^{(k)}_{\alpha_г} - \left[\Delta v_{\alpha_г}\right]\right)^2 \to \min, \quad (13)$$

где p – означает число нейронов в входном слое.

В итоге каждый нейрон определяет вклад каждого своего веса и суммарную ошибку сети. Значения весов находят через коэффициенты корреляции $r_{jтс}$ в виде

$$w_i = \frac{r_i}{\sum\limits_{i=1}^{m} r_{jтс}}, \quad (14)$$

где r_i – коэффициент корреляции i -ой подвески;

m - количество измерений.

Весовой коэффициент меняется при передачи от слоя к слою по формуле

$$\Delta w^{(n)}_{ij} = -\eta\frac{\partial z_{aг}}{\partial w^{(n)}_{ij}}, \quad (15)$$

где η – коэффициент скорости обучения.

Примерный перечень весовых коэффициентов каждой группы подвески транспортных средств после обучения получены 0,389 относится к первой группе; 0,221 – второй; 0,237 - третьей при общем коэффициенте корреляции первой группы 0,763, второй – 0,686 и третьей – 0,694. Для прогнозирования ресурса подвески используется функция распределения Вейбулла

$$z_{J_s} = L_{v_i} / \Delta J_s + \beta_р \frac{J_s^{\beta_р - 1}}{\mu^{\beta_р}} e^{-\left(\frac{J_s}{\mu}\right)^{\beta_р}}, \quad (16)$$

где $L_{v_i} / \Delta J_s$ – относительное смещение заданного значения отказов характеристики L_{v_i} при приращении наработки ΔJ_{s_i} транспортного средства;

$\beta_р$ – параметр формы распределения Вейбулла ($\beta_р > 1$ функция возрастает);

μ – параметр масштаба, характеризующий степень растянутости кривой распределения.

Учитываем, что обобщенно-регрессионная сеть имеет определенную точку по точности и эта точность убывает при отходе в сторону от данной точки, связанной с параметром прогнозирования. Сеть GRNN имеет два скрытых слоя: слой радиальных элементов и слой элементов, которые формируют взвешенную сумму для соответствующего вектора выходного слоя [15]. Входной слой первого промежуточного слоя нейронов передает сигналы на второй слой, которые являются радиально симметричными. При этом прогнозируемый выходной сигнал нейрона v_i определится зависимостью

$$[\Delta v_{a\text{г}}] = f\left(\sum_{i=1}^{m} w_{ij}\lambda_j^{\text{д}}(k) + w_{i0}\right), \tag{17}$$

где k - номер предыдущего цикла;

w_{i0} - пороговые значения интенсивности изменения угла наклона кривой петли гистерезиса контролируемых рессор автомобилей.

Пример и результаты расчета

Для испытания рессор в лабораторных условиях необходимо использовать:

- стационарный шестицилиндровый гидравлический пульсатор с программным управлением - 1;
- персональный компьютер типа PC/AT с оперативной памятью от 1 Гбайт, арифметическим сопроцессором и жестким магнитным диском емкостью 80 Мбайт;
- программный комплекс «Excel» 2007;
- программный комплекс Matlab:
- программный комплекс «STATISTICA» фирмы StatSoft;
- планиметр (PLANIX-5) 2-х координатный - 1 ед.;
- рессора задней подвески автомобиля УАЗ - 6 ед.;
- электронный микроскоп MEIJI TECHNO - 1 ед.;
- полировочный станок JSSG - 1 ед.;
- соляная кислота -5 мг.

На рисунке 1 показан шестицилиндровый гидропульсатор, оснащенный персональным компьютером (ПК) с программным управлением «BRAS». (Большая Регулирующая Адаптивная Система). Он предназначен для управления и контроля усталостных испытаний деталей и элементов машиностроительных конструкций с воспроизведением регулярных периодически режимов нагружения, в том числе блок-программных испытаний с помощью сервогидравлического испытательного оборудования. Нагружение рессор проводился штоком гидроцилиндра, действующим на среднюю часть рессоры через шаровой шарнир (рис. 2)

Рисунок 1 − Общий вид внешнего управляющего устройства гидропульсатора

По результатам строится площадь петли гистерезиса с использованием программы «Excel» (рис. 3).

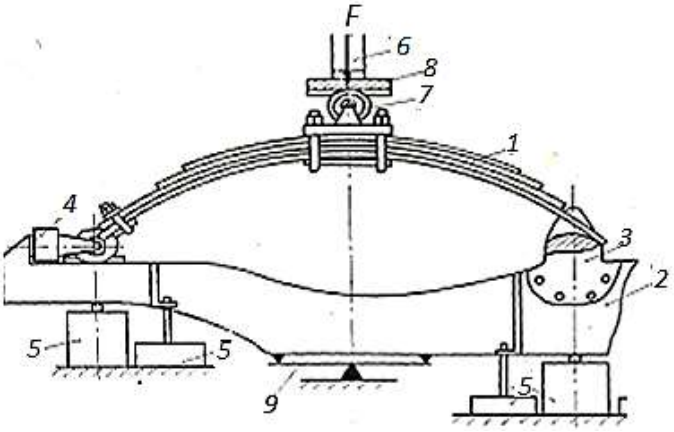


Рисунок 2 - Стенд для испытания листовых рессор:
1– рессора; 2– лонжерон; 3– кронштейн; 4, 5– датчики силы; 6 – шток гидроцилиндра; 7– ролик; 8– пластина; 9 – основания стенд

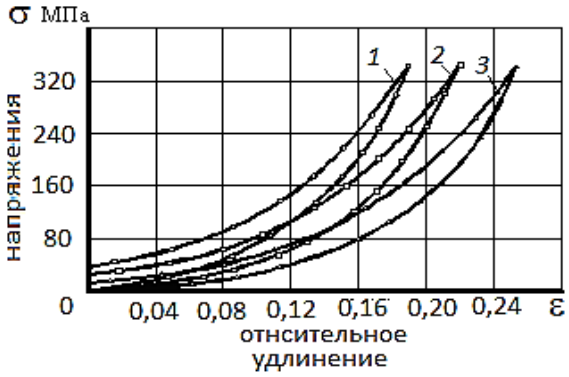


Рисунок 3 – Изменение площади петли гистерезиса при различных циклах нагружения циклов:
1- Nц= 1 · 10³; 2- Nц= 12,0·10³; 3- Nц= 21,0·10³

Полученные данные регистрируются на двухкоординатном самописце WX-431 «*Watanave*». При достижении угла наклона кривой площади петли гистерезиса (рис. 4 *а, б*) более 65 град. на поверхности и фона внутреннего трения $\lambda(N_ц)$ материала рессоры возникают микротрещины (рис. 5), видимые под электронным микроскопом.

Элементарные микротрещины отличаются в зависимости от числа циклов нагружения. На рисунке 5 показаны изменение микроструктура образцов рессорной стали от количества циклов нагружения и разгружения:

а) – $N_ц$=1·10³ в состоянии поставки материала;
б) –$N_ц$=12·10³;
в) –$N_ц$=21·10³.

Полученные значения параметров площади петли гистерезиса использованы для прогнозирования ресурса подвески на основе многослойной нейронной сети GRNN. Используемая программа Mat Lab состоит из двух частей. Первая часть предназначена для обучения нейронной сети, вторая оценивает качества сформированной задачи. Можно использовать пакет «STATISTICA» фирмы Stat Soft интегрированной системой комплексного статистического анализа и обработки данных в среде Windows.

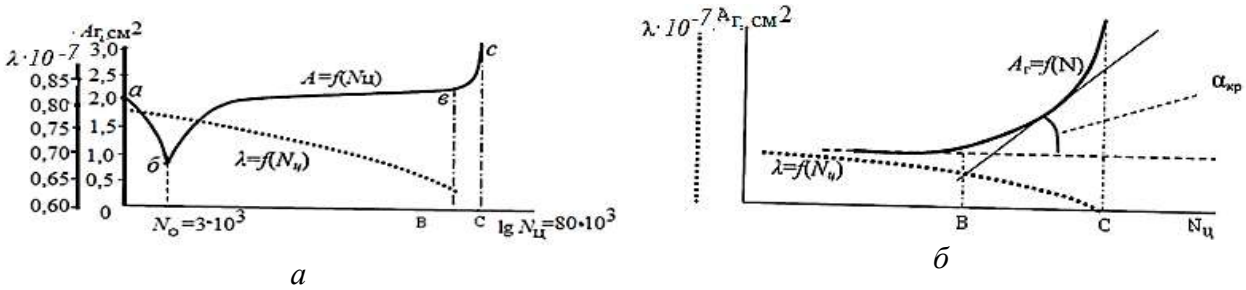
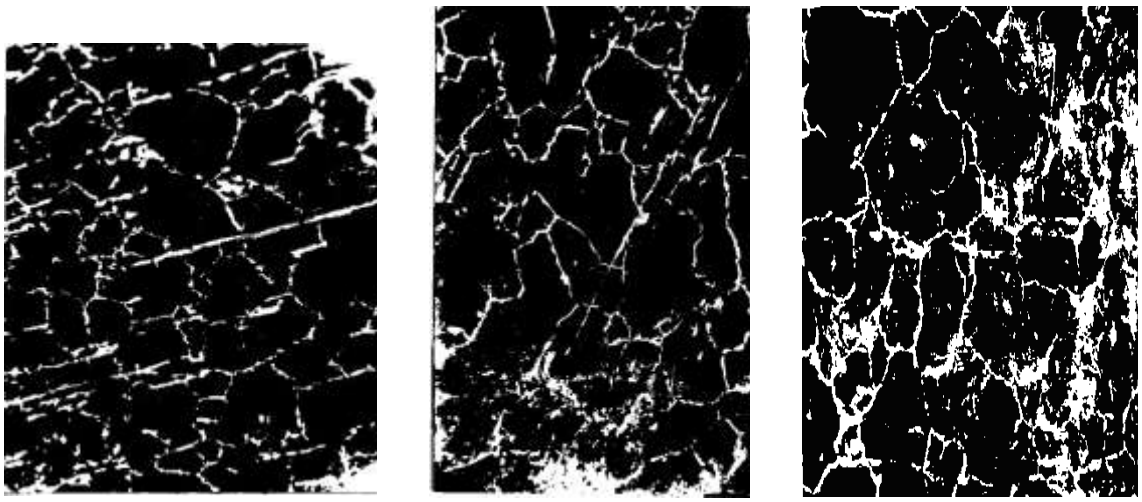


Рисунок 4 - Изменение угла наклона площади петли гистерезиса и фона внутреннего трения материала в зависимости от*: а - числа циклов нагружения,*
б - зоны локального увеличения угла наклона площади петли гистерезиса

Максимально возможную амплитуду нагружения ($\sigma_и$, $\tau_{кр}$) находим из условий $\sigma_т$ = 400 МПа материала при $\sigma_и$ = 0,8$\sigma_т$ и $\tau_{кр}$ = 0,6$\sigma_т$.По изменению площади петли гистерезиса определены основные характеристики стали, которые приведены в таблице 1.



а *б* *в*

Рисунок 5 – Микроструктура стали 65 от числа циклов нагружения

Таблица 1 - Результаты испытаний рессорной стали при различных режимах нагрузки

Показатели	Интервалы по углам наклона кривой площади петли гистерезиса, град			
	8-12	12-16	16-20	20-24
Затрачено энергии на деформацию рессоры, кВт·ч/цикл.	$0.72\cdot10^{-9}$	$0.9\cdot10^{-9}$	$1.56\cdot10^{-9}$	$1.68\cdot10^{-9}$
Коэффициент рассеяния энергии, %	0.509	0.610	0.748	0.926
Скорость роста микротрещин, мкм/цикл	$0.45\cdot10^{-5}$	$0.56\cdot10^{-5}$	$0.97\cdot10^{-5}$	$1.05\cdot10^{-5}$
Прогнозируемое значение ресурса *R(t)*, цикл/кВт·ч	$\leq10^{8}$ $N_ц$	$55,5\cdot10^{7}$	$35\cdot10^{6}$	$20\cdot10^{5}$

Выводы

1. Основным показателем, определяющим прогнозирование ресурса подвески транспортного средства в условиях эксплуатации, является отношение наработки транспортного средства прогнозируемого периода J_{S_2} к продолжительности наработки J_{S_1} ретроспективного анализа: $\gamma_{J_s} = J_{S_2} / J_{S_1}$. Данный показатель может иметь незначительную погрешность назначения ресурса подвески, так как прошлые показатели наработки недостаточно адекватны различным условиям эксплуатации. Анализируя рисунки 2 и 3 можно сделать следующие выводы.

2. С целью повышения долговечности подвески следует снижать внешние усилия на промежуточных листах рессоры путем использования межлистовой графитовой смазки, обеспечивая уменьшение сухого трения.

3. При прогнозировании долговечности передней и задней подвески можно рассматривать их отдельно из-за неравенства нагрузочных режимов.

4. Прогнозирование ресурса подвески показывает возможности своевременного замены подвески с минимальными затратами и простоями на текущем ремонте транспортного средства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горяев И.А. Зависимость затрат на запасные части от возраста подвижного состава автомобильного транспорта // Известие ЮУрГУ.– 2012. – №44.– С. 185–186.

2 Бажанов Ю.В., Бажанов М.Ю. Прогнозирование остаточного ресурса конструктивных элементов автомобилей в условиях эксплуатации // Фундаментальные исследования. – 2015.− №4.− С. 16-21.

3. Кулешов А.А., Литвин А.Г. Анализ современных методов прогнозироваие ресурса узлов и деталей горнотранспортных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. − Вып. 3.− С. 294-297.

4. Михлин, В.М. Прогнозирование технического состояния машин - М.: Колос. − 1976. − 287 с.

5. Данченко А.В., Ольгард Л.С., Бондарев С.В. и др. Прогнозирование остаточного ресурса ходовых частей подвижного состав, исчерпавших свой ресурс // Вестник Днепропетровскго национального университета заnізничного транспорту Академика Лазаряно. − 2007. − №15. − С. 86-87.

6. Кирилов А.Г., Ратников А.С., Кокарев О.П. Методика оперативного прогнозирования остаточного ресурса элементов тормозной системы // Владимирский государственный университет А.Г. и Н.Г. Столетовых. − 2020. − №17-1. − С. 168-172.

7. Косенко Е.Е. Методы оценки эксплуатационной надежности автомобилей // Инженерный вестник Дона. - №3. − 2017. − С. 1-9.

8. Трощенко, В.Т. Механическое поведение металлов при различных видах нагружения – Киев: Логос. − 2000. − 571 с.

9. Рассоха В.И. Методическое обеспечение стендовых испытаний на усталость узлов рамных металлоконструкций мобильных машин // Вестник Оренбурского государственного университета. − 1999. − №1. – С. 62-66.

10. Голубеев, Ю.Ф. Нейросетевые методы в мехатронике - М.: Московский университет, 2007. − 157 с.

11. He Y., Liu G., Qiu Y. New adaptive strategy for the search for intensification and dieverin search of Taboos // Journal of computer research development. - №41. – 2004. - P. 162-166.

12. He Y., Qiu Y., Liu G., et al. Optimization of weights of neural network using adaptive approach to taboo search, in the second international Symposium on nerve nets // Chongqing, China. – 2005. - P. 672-676.

13 Breiman L. Обсуждение нейронных сетей и связанных сними методов классификации // Journal of The Royal. Статистическое Общество. - 1994.− №56(3). − С. 409-456.

14. Лебедева, И.М. Макроэкономическое планирование и прогнозирование / под ред. Федоровой А.Ю. – СПб: Университет ИТМО, 2016. – 54 с.

15. Борисов В.В., Луферов В.С. Метод многомерного анализа и прогнозирования состояния сложных систем и процессов на основе нечетких когнитивных темпоральных моделей // Системы управления, связи и безопасности. - 2020. - №2. - С. 1-23.

16. Надежность и эффективность в технике: Справочник - М.: Машиностроение. - В 10 т. - Том 3, 1988. - 328 с.

17. Воскобоев В.Ф. Надежность технических систем и техногенный риск: Учебное пособие. - М.: ИД «Альянс», «Путь». - Часть 1, 2008. - 200 с.

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

19. Лепетюха С.В., Якушев А.С. Состояние и перспективы развития технологического автотранспорта Лебединского ГОКа // Горный журнал. - 2007. - №7. - С. 25-27.

20. Насковец А.М., Пархомчик П.А., Егоров А.Н., Шишко С.А., Моисеенко В.И. Современное развитие карьерного транспорта производства ОАО «БЕЛАЗ» // Актуальные вопросы машиноведения. - 2018. - Т. 7. - С. 8-11.

Дьяков Иван Федорович
Ульяновский государственный технический университет
Адрес: 432027, Россия, г. Ульяновск, Северный Венец, 32
Д.т.н., профессор кафедры «Основы проектирования машин и инженерная графика
E-mail: i.dyakov@ulstu.ru

I.F. DYAKOV

PREDICTION OF SUSPENSION RESOURCE VEHICLE

Abstract. *The issues of forecasting the resource of the suspension from the leaf spring of the vehicle using energy consumption during cyclic loading are presented. A refined formula for calculating energy consumption is given, which has a closer connection with failures of parts in operating conditions than kilometers of mileage. It is shown that when the vehicle is moving, the suspension is loaded and unloaded, described by the «hysteresis loop» calculation method. The area of the hysteresis loop is used in predicting the suspension resource using a neural network. This makes it possible to increase the utilization rate of the vehicle by reducing costs and downtime during current repairs.*

Keywords*: forecasting, suspension, load conditions, suspension deformation, microcrack growth rate, maintenance area*

BIBLIOGRAPHY

1. Goryaev I.A. Zavisimost` zatrat na zapasnye chasti ot vozrasta podvizhnogo sostava avtomobil`nogo transporta // Izvestie YUUrGU. - 2012. - №44. - S. 185-186.

2 Bazhanov Yu.V., Bazhanov M.Yu. Prognozirovanie ostatochnogo resursa konstruktivnykh elementov avtomobiley v usloviyakh ekspluatatsii // Fundamental`nye issledovaniya. - 2015. - №4. - S. 16-21.

3. Kuleshov A.A., Litvin A.G. Analiz sovremennykh metodov prognozirovaie resursa uzlov i detaley gornotransportnykh mashin // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten`. - 2004. - Vyp. 3. - S. 294-297.

4. Mikhlin, V.M. Prognozirovanie tekhnicheskogo sostoyaniya mashin - M.: Kolos. - 1976. - 287 s.

5. Danchenko A.V., Ol`gard L.S., Bondarev S.V. i dr. Prognozirovanie ostatochnogo resursa khodovykh chastey podvizhnogo sostav, ischerpavshikh svoy resurs // Vestnik Dnepropetrovskgo natsional`nogo universiteta zaniznichnogo transportu inAkademika Lazaryano. - 2007. - №15. - S. 86-87.

6. Kirilov A.G., Ratnikov A.S., Kokarev O.P. Metodika operativnogo prognozirovaniya ostatochnogo resursa elementov tormoznoy sistemy // Vladimirskiy gosudarstvennyy universitet A.G. i N.G. Stoletovykh. - 2020. - №17-1. - S. 168-172.

7. Kosenko E.E. Metody otsenki ekspluatatsionnoy nadezhnosti avtomobiley // Inzhenernyy vestnik Dona. - №3. - 2017. - S. 1-9.

8. Troshchenko, V.T. Mekhanicheskoe povedenie metallov pri razlichnykh vidakh nagruzheniya - Kiev: Logos. - 2000. - 571 s.

9. Rassokha V.I. Metodicheskoe obespechenie stendovykh ispytaniy na ustalost` uzlov ramnykh metallokonstruktsiy mobil`nykh mashin // Vestnik Orenburskogo gosudarstvennogo universiteta. - 1999. - №1. - S. 62-66.

10. Golubeev, Yu.F. Neyrosetevye metody v mekhatronike - M.: Moskovskiy universitet, 2007. - 157 s.

11. He Y., Liu G., Qiu Y. New adaptive strategy for the search for intensification and dieverin search of Taboos // Journal of computer research development. - №41. - 2004. - R. 162-166.

12. He Y., Qiu Y., Liu G., et al. Optimization of weights of neural network using adaptive approach to taboo search, in the second international Symposium on nerve nets // Chongqing, China. - 2005. - P. 672-676.

13 Breiman L. Obsuzhdenie neyronnykh setey i svyazannykh snimi metodov klassifikatsii // Journal of The Royal. Statisticheskoe Obshchestvo. - 1994. - №56(3). - S. 409-456.

14. Lebedeva, I.M. Makroekonomicheskoe planirovanie i prognozirovanie / pod red. Fedorovoy A.Yu. - SPb: Universitet ITMO, 2016. - 54 s.

15. Borisov V.V., Luferov V.S. Metod mnogomernogo analiza i prognozirovaniya sostoyaniya slozhnykh sistem i protsessov na osnove nechetkikh kognitivnykh temporal`nykh modeley // Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti. - 2020. - №2. - S. 1-23.

16. Nadezhnost` i effektivnost` v tekhnike: Spravochnik - M.: Mashinostroenie. - V 10 t. - Tom 3, 1988. - 328 s.

17. Voskoboev V.F. Nadezhnost` tekhnicheskikh sistem i tekhnogennyy risk: Uchebnoe posobie. - M.: ID «Al`yans», «Put`». - Chast` 1, 2008. - 200 s.

18. Gavrishev, S.E. Organizatsionno-tekhnologicheskie metody povysheniya nadezhnosti i effektivnosti raboty kar`erov: monografiya. - Magnitogorsk: MGTU, 2002. - 231 s.

19. Lepetyukha S.V., YAkushev A.S. Sostoyanie i perspektivy razvitiya tekhnologicheskogo avtotransporta Lebedinskogo GOKa // Gornyy zhurnal. - 2007. - №7. - S. 25-27.

20. Naskovets A.M., Parkhomchik P.A., Egorov A.N., Shishko S.A., Moiseenko V.I. Sovremennoe razvitie kar`ernogo transporta proizvodstva OAO «BELAZ» // Aktual`nye voprosy mashinovedeniya. - 2018. - T. 7. - S. 8-11.

Dyakov Ivan Fydorovich
Ulyanovsk State Technical University
Adress: 432027, Russia, Ulyanovsk, Severny Venets, 32
Doctor of technical sciences
E-mail: i.dyakov@ulstu.ru

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Научная статья
УДК 629.1.03
doi:10.33979/2073-7432-2022-1(79)-4-34-39

Ю.Н. КАМАНИН, А.В. ПАНИЧКИН, П.А. КУЗИН, А.С. ТРЕГУБОВ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОХОДКИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПО СВЕРХПРОЧНЫМ ПОРОДАМ

Аннотация. *В статье приведено обоснование применения технологии механизированной проходки вертикальных шахтных стволов. Сделаны выводы о рациональных технологических параметрах разрушения груди забоя комбинированным механическим способом. Сделан вывод о необходимости проведения дополнительных экспериментальных исследованиях для уточнения физических констант горной породы и применения альтернативных критериев разрушения.*

Ключевые слова: *проходческий комплекс, ударный исполнительный орган, метод конечных элементов, механизированная проходка, шахтный ствол, гидромолот, резание горных пород, разрушение*

Введение

Строительство вертикальных шахтных стволов обычно проводится при помощи буровзрывного способа, который имеет ряд недостатков [1-4]. Однако сравнительно низкая эффективность этого способа и все повышающиеся требования к безопасности ведения горных работ в напряженных породах при строительстве глубоких шахт обуславливают интерес горных предприятий к проведению исследований по улучшению технологии механизированной проходки вертикальных стволов. Также не стоит забывать, что ресурсов в верхних слоях земной коры становится все меньше и чтобы добывать больше, нужно заглубляться все дальше [5].

Способ механизированной проходки обладает рядом преимуществ: он обеспечивает равномерное и точное оконтуривание сечения выработки, сплошность близлежащего породного массива [6]. При механизированном способе проходки отсутствуют взрывные волны, нарушающие устойчивость горного массива. И, что особенно важно: уменьшается количество горняков, работающих непосредственно в забое,а, следовательно, удаётся сделать процесс добычи более безопасным.

Применение стволопроходческих комбайнов позволяет ускорить темпы проходки и строительства ствола в среднем в 1,25-2 раза – по сравнению с буровзрывным способом. Производительность реально увеличить до 90-120 м/мес. Необходимо отметить, что шахтный ствол – это, как правило, первая капитальная выработка, открывающая доступ к месторождению полезного ископаемого. В конечном счёте, более раннее завершение строительства шахтного ствола означает сокращение времени с первичным отрицательным денежным потоком на стадии освоения месторождения. То есть предприятие раньше начинает получать прибыль. Таким образом, ускорение темпов проходки и строительства шахтного ствола позволяет раньше окупить вложенные средства и увеличивает инвестиционную привлекательность проекта по разработке месторождения полезного ископаемого.

Однако существующие технологии строительства вертикальных шахтных стволов, особенно глубоких с несколькими горизонтами, предусматривают создание сопряжений шахтного ствола с будущими горизонтальными горными выработками уже на этапе строительства ствола. В настоящее время проходка сопряжений осуществляется буровзрывным способом, а основная проходка при этом останавливается, как правило, на 1,5-2 месяца. Для стволов глубиной от 1000 до 1500 метров таких сопряжений может быть около 5. Таким образом, исключение необходимости остановки основной проходки шахтного ствола для проходки сопряжений при строительстве шахтных стволов, особенно

© Каманин Ю.Н., Паничкин А.В., Кузин П.А., Трегубов А.С., 2022

глубоких и сверхглубоких, способно сократить время строительства ствола не менее чем на полгода, не считая выигрыша в производительности от использования стволопроходческих комбайнов в сравнении с буровзрывным способом.

Материал и методы

Предлагаемый способ проходки сверпрочных горных пород включает в себя две основные операции:

1) нарезка в теле породы ослабляющих пропилов при помощи специализированных алмазных дисков;

2) применение гидроударников для разрушения ослабленной породы.

Высокая эффективность применения гидроударников при таком подходе обусловлена таким специфическим свойством горных пород как высокая разница между пределом прочности на сжатие $\sigma_{сж}$ и растяжение σ_p. Предел прочности на растяжение в 7-12 раз меньше предела прочности на сжатие. Ослабление породы вертикальными пропилами работает в двух направлениях: создает концентраторы напряжений, которые повышают уровень напряжений в массиве горной породы и дает возможность возникновения волн расстягивающих напряжений, по величине превыщающих соответствующий предел прочности.

Для оценки эффективности предложенной технологии была разработана математическая модель массива горной породы с пропилами в различных вариациях и ее нагружение инструментов гидромолота.

В качестве расчетной модели была выбрана ударная система состоящая из бойка, инструмента и части массива с разрезами. Удар наносится в месте разреза под углом 90 градусов. Энергия удара *E* рассчитывается по массе бойка *m* и скорости его удара *v*:

$$E = \frac{m v^2}{2}. \qquad (1)$$

В последующих расчетах параметры системы соответствуют энергии равной 4000 Дж. Свойства породы соответствуют граниту с прочностью 10-15 по шкале Протодьяконова. Предел прочности на растяжение – 10МПа. Предел прочности на сжатие 145МПа. Расчетная схема выполнена с использованием симметрии отностиельно осевой плоскости. Разрушение оценивалось по теории прочности Мора-Кулона [7-9].

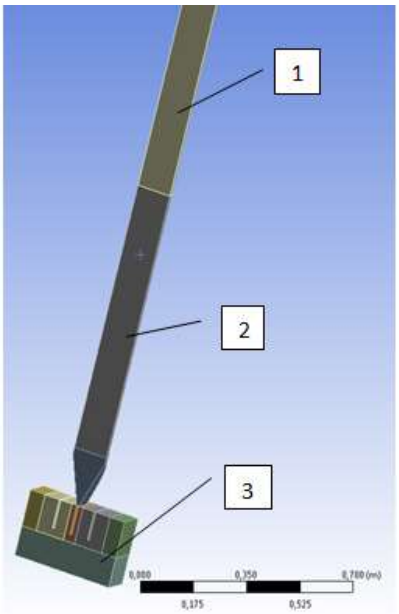


Рисунок 1 - Расчетная схема «боек-инструмент-массив»:
1 – боек, 2 - инструмент, 3 - массив

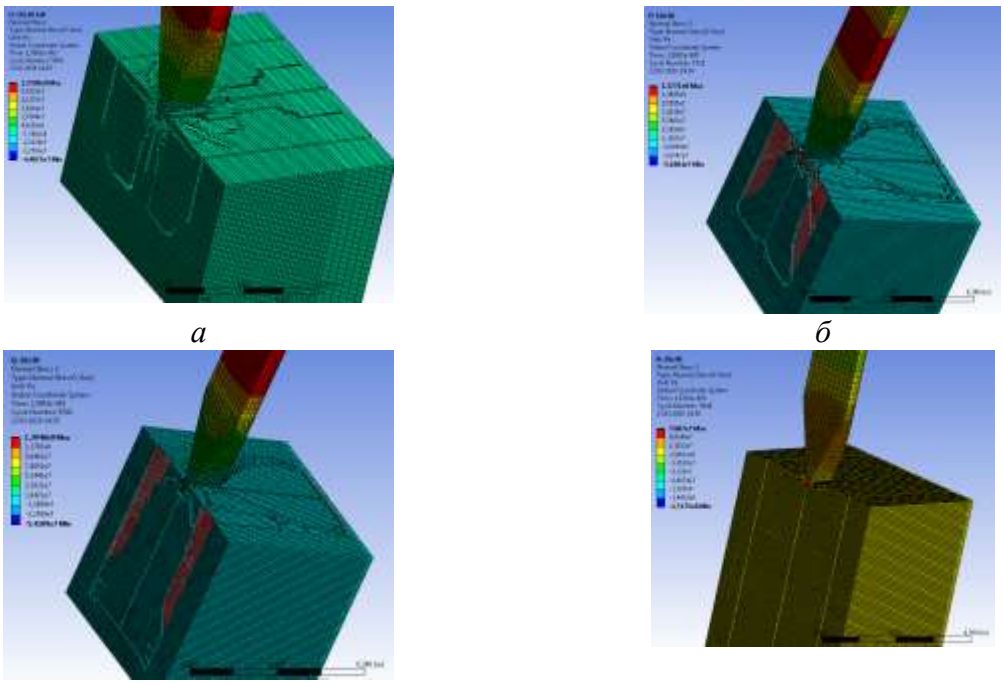
Решение задач такого уровня сложности крайне сложно реализовать в аналитической форме, т.е. применяя классические методы теории упругости и пластичности. Слишком сложная геометрия системы, присутствует контактное взаимодействие между бойком и инструментом, а также инструментом и массивом горной породы. Поэтому наиболее рациональным в данном случае будет применение метода конечных элементов, реализованный в одном из популярных пакетов программ [10].

На рисунке 1 представлена расчетная схема ударной системы «боек-инструмент-массив».

Результаты

Следует учитывать, что важнейшей частью подобных расчетов является точное знание физических параметров массива.

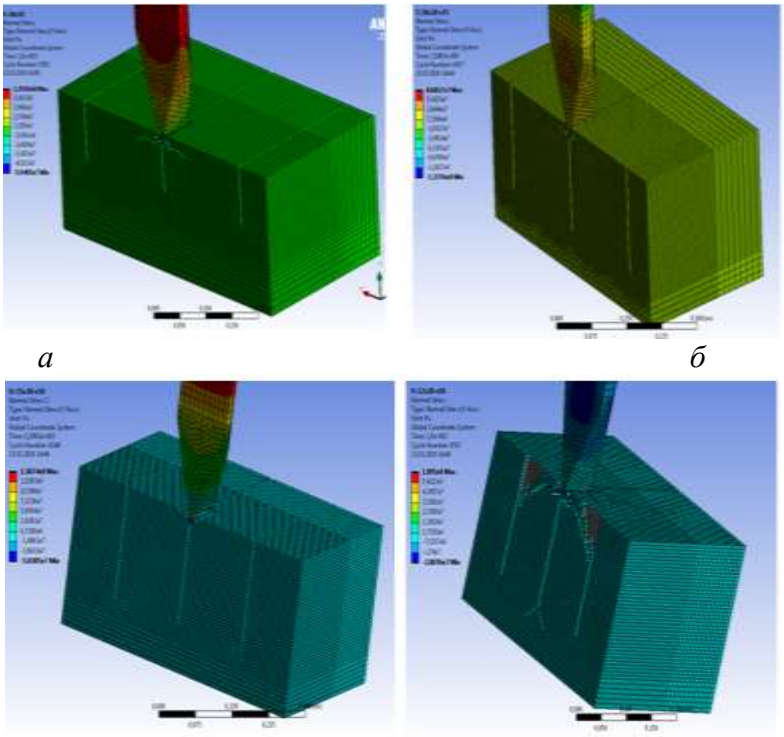
Коэффициент Пуассона, модуль Юнга, плотность, пределы прочности на растяжение и сжатие и другие – более специфичные, необходимые для применения в более сложных критериях прочности [11-12]. Эти параметры могут сильно варьироваться в зависимости от места добычи, обработки и еще множества факторов [13-14].



а *б*

в *г*

Рисунок 2 - Результаты математического моделирования: а - *расстояние между резами и глубины резания 100х100 мм. (разрушение присутствует, это было ожидаемо при столь низкой глубине резания); б - параметры расстояния между резами и глубины 100х200 мм (разрушение присутствует, глубина вдвое больше, чем в предыдущем расчете); в - параметры расстояния между резами и глубины 100х300 мм (разрушение происходит, но уже не на всю глубину); г - параметры расстояния между резами и глубины 100х400 мм (разрушение происходит, но уже не на всю глубину)*



а *б*

в *г*

Рисунок 3 - Результаты математического моделирования (продолжение): *а - параметры расстояния между резами и глубины 200х100 мм (начинаем увеличивать расстояние между резами. В этом случае разрушение также незначительно); б - параметры расстояния между резами и глубины 200х200 мм (увеличивая глубину получить магистральные трещины, разрушающие массива также не получается); в - параметры расстояния между резами и глубины 150х200 мм (уменьшив расстояние между щелями до 150 мм с глубиной 200 мм видим, что ничего не поменялось – разрушения нет); г - параметры расстояния между резами и глубины 120х200 мм (дальнейшее уменьшение шага резания приводит к образованию трещин, но они не соединяются друг с другом, что необходимо для эффективного разрушения)*

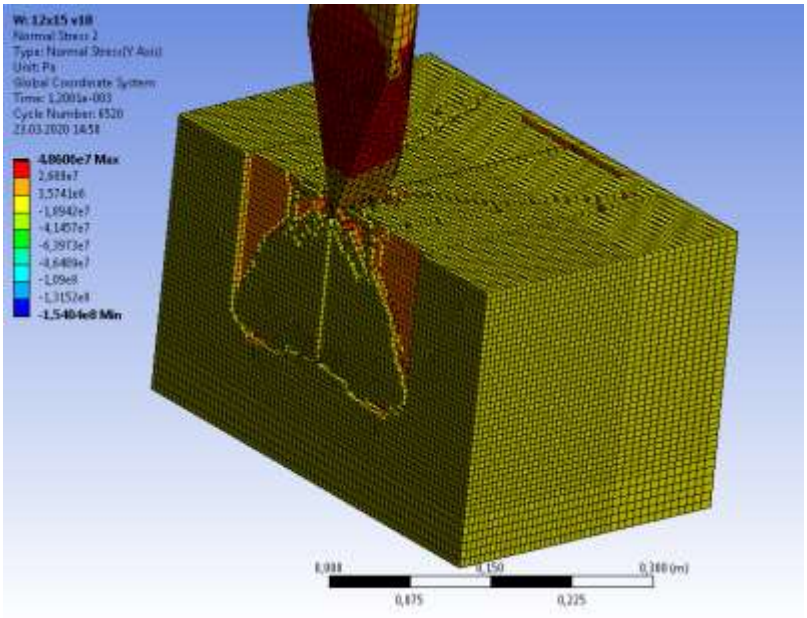


Рисунок 4 - Результаты математического моделирования (окончание): *параметры расстояния между резами и глубины 120х150 мм (уменьшив глубину резания до 150 мм мы получаем устойчивую картину разрушения элемента массива со сквозными трещинами)*

Основной задачи последующих расчетов было выяснить при каких параметрах резания породы (глубина и расстояние между пропилами) будет происходить разрушение элементов массива. Полученные результаты математического моделирования представлены в виде серии картин разрушения с комментариями.

Обсуждение

Представленные результаты имеют лишь оценочный характер и требуют дополнительных расчетов. Это связано, в первую очередь, со сложностью структуры реальной горной породы. Также, вполне возможно, что другой критерий прочности даст более точные результаты. Однако для проведения дальнейших исследований необходимы экспериментальные исследования, как для проверки разработанной математической модели, так и для уточнения физических констант горной породы

Выводы

Из уже приведенных результатов можно сделать следующие выводы:

1) с уменьшением шага резания вероятность разрушения возрастает;

2) влияние глубины резания не столь однозначно. При прочих равных условиях, очевидно, существует некоторое значение, при котором потребная энергия для разрушения массива будет минимальна. Но для его определения нужно проведение дополнительных вычислительных экспериментов;

3) представленная технология разрушения имеет достаточно высокую эффективность для применения в горной промышленности, но требует дальнейшей проработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hartman L.H. Introductory mining engineering - New-Jersey: John Wiley & Sons, 2002. - 570 с.
2. Mendyka P., Kotwica K., Stopka G. и др. Innovative roadheader mining head with assymetrical disc tools // 2016. - С. 489-496.
3. Климов В.Е., Ушаков Л.С., Трубин А.С. Импульсные технологии в строительстве // Материалы Международной научно-технической конференции. - Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. – 2016. - С. 137-140.
4. Acaroglu O., Ergin H. A new method to evaluate roadheader operational stability // Tunnelling and underground space technology. - 2006. - Т. 21. - С. 172-179.
5. Бате, К.Ю. Численные методы анализа и метод конечных элементов - М.: Стройиздат, 1982. - 448 с.
6. Kenneth B. Hydraulic hammer design & development project – Glasgow: Glasgow Caledonian University, 2012. – 358 с.
7. Bilgin N., Dincer T., Copur H., Erdogan M. Some geological and geotechnical factors affecting the performance of a roadheader in an inclined tunnel // Tunnelling and underground space technology. – 2004. – Vol. 19. -

№6. – P. 629-636.

8. Ansys. ANSYS mechanical user's guide. Release 16.2 - Southpointe: Ansys inc, 2015. – 1796 с.

9. Ушаков Л.С., Каманин Ю.Н., Климов В.Е. Решение задачи оптимизации процесса разрушения минерального массива планетарным ударно-скалывающим исполнительным органом технологической машины // Mining informational and analytical bulletin. – 2018. – Том. 1. – С.175-181.

10. Lu X., Wang D., Xu C. et al. Experimental investigation and field application of foam used for suppressing roadheader cutting hard rock in underground tunneling // Tunnelling and underground space technology. – 2015. –Vol. 49. – P. 1-8.

11. Каманин Ю.Н., Паничкин А.В., Степанов А.А., Кулаков А.А. О конечно-элементном подходе к решению контактной динамической задачи ударного нагружения массива твердого материала исполнительным органом строительно-дорожной машины // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: Сборник трудов XVI Международной научно-технической конференции. - 2018. - С. 244-247.

12. Redelin R.A., Kravchenko V.A., Kamanin Y.N. et al. Study of effect of in-line hydropneumatic accumulators on output characteristics of hydraulic hammer // IOP Conf. Series: Earth and environmental science. – 2017. – Vol. 87. – P. 6.

13. Рыбак Л.А., Мамаев Ю.А., Вирабян Л.Г. Синтез алгоритма коррекции траектории движения выходного звена робота-гексапода на основе теории искусственных нейронных сетей // Вестник Белгородского гос. техн. ун-та им. В.Г. Шухова. – 2016. - №12. - С. 142-152.

14. Яцун С.Ф., Рукавицын А.Н., Вальков А.Ф. Исследование движения параллельного микроманипулятора с пьезоэлектрическими приводами // Известия Курского государственного технического университета. - 2010. - №2(31). - С. 12-21.

15. Архангельская М.А., Вермель В.Д., Евдокимов Ю.Ю. и др. Корректировка управляющей программы обработки формообразующей оснастки для обеспечения точности изготовления деталей из полимерных композиционных материалов по результатам их измерений на координатно-измерительной машине // Изв. Самарского научного центра РАН. - 2016. - Т. 18. - №1(2). - С. 145-147.

16. Ганькин, Ю.А. Основы теории автотракторных двигателей: Рекомендовано Министерством общего и профессионального образования в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям «Механизация сельского хозяйства», «Сервис и техническая эксплуатация транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования в сельском хозяйстве» – Москва: РГАЗУ, 1997. – 304 с.

17. Карелина М.Ю. Выпускная квалификационная работа бакалавра: учебное пособие для студентов вузов по направлению подготовки «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» – Орел: Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, 2016. – 328 с.

18. Ершов В.С., Птицын Д.А., Акулов А.А., Махмудов З.М. Рассмотрение срока службы автомобиля с точки зрения технологии управления жизненным циклом изделия // Технологии информационного общества: Сборник трудов XV Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества». – Москва: ООО «Издательский дом Медиа паблишер». - 2021. – С. 126-127.

19. Гриб В.В., Карелина М.Ю., Петрова И.М., Филимонов М.А. Разработка алгоритма прогнозирования и мониторинга ресурса механических систем // Современные проблемы теории машин. – 2013. – №1. – С. 77-79.

20. Алексеенко, Е.В. Финансы автотранспортной и дорожной отраслей в условиях цифровизации экономики – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Русайнс», 2020. – 244 с.

Каманин Юрий Николаевич
Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева
Адрес: 302030, Россия, г. Орел, ул. Московская, 77
К.т.н., доцент кафедры подъемно-транспортных,
строительных и дорожных машин
E-mail: kamanchi22@mail.ru

Паничкин Антон Валерьевич
Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева
Адрес: 302030, Россия, г. Орел, ул. Московская, 77
К.т.н., и.о. зав. каф. подъемно-транспортных,
строительных и дорожных машин
E-mail: teppa79@yandex.ru

Кузин Павел Александрович
Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева
Адрес: 302030, Россия, г. Орел, ул. Московская, 77
Студент
E-mail: pasha.kuzin.1976@mail.ru

Трегубов Алексей Сергеевич
Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева
Адрес: 302030, Россия, г. Орел, ул. Московская, 77
Студент
E-mail: PanVV95@yandex.ru

U.N. KAMANIN, A.V. PANICHKIN, P.A. KUZIN, A.S. TREGUBOV

MATHEMATICAL MODELING OF MINING WORKINGS BY HEAVY-DUTY SALES

Abstract. *The article provides a justification for the use of the technology of mechanized sinking of vertical mine shafts. Conclusions are drawn about the rational technological parameters of the destruction of the slaughter breast by a combined mechanical method. It is concluded that it is necessary to conduct additional experimental studies to clarify the physical constants of the rock and to apply alternative destruction criteria.*

Keywords: *tunneling complex, impact executive body, finite element method, mechanized sinking, mine shaft, hydraulic hammer, rock cutting, destruction*

BIBLIOGRAPHY

1. Hartman L.H. Introductory mining engineering - New-Jersey: John Wiley & Sons, 2002. - 570 s.
2. Mendyka P., Kotwica K., Stopka G. i dr. Innovative roadheader mining head with assymetrical disc tools // 2016. - S. 489-496.
3. Klimov V.E., Ushakov L.S., Trubin A.S. Impul`snye tekhnologii v stroitel`stve // Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. - Natsional`nyy issledovatel`skiy Moskovskiy gosudarstvennyy stroitel`nyy universitet. - 2016. - S. 137-140.
4. Acaroglu O., Ergin H. A new method to evaluate roadheader operational stability // Tunnelling and underground space technology. - 2006. - T. 21. - C. 172-179.
5. Bate, K.Yu. Chislennye metody analiza i metod konechnykh elementov - M.: Stroyizdat, 1982. - 448 s.
6. Kenneth B. Hydraulic hammer design & development project - Glasgow: Glasgow Caledonian University, 2012. - 358 c.
7. Bilgin N., Dincer T., Copur H., Erdogan M. Some geological and geotechnical factors affecting the performance of a roadheader in an inclined tunnel // Tunnelling and underground space technology. - 2004. - Vol. 19. - №6. - P. 629-636.
8. Ansys. ANSYS mechanical user's guide. Release 16.2 - Southpointe: Ansys inc, 2015. - 1796 c.
9. Ushakov L.S., Kamanin Yu.N., Klimov V.E. Reshenie zadachi optimizatsii protsessa razrusheniya mineral`nogo massiva planetarnym udarno-skalyvayushchim ispolnitel`nym organom tekhnologicheskoy mashiny // Mining informational and analytical bulletin. - 2018. - Tom. 1. - S. 175-181.
10. Lu X., Wang D., Xu C. et al. Experimental investigation and field application of foam used for suppressing roadheader cutting hard rock in underground tunneling // Tunnelling and underground space technology. - 2015. - Vol. 49. - P. 1-8.
11. Kamanin Yu.N., Panichkin A.V., Stepanov A.A., Kulakov A.A. O konechno-elementnom podkhode k resheniyu kontaktnoy dinamicheskoy zadachi udarnogo nagruzheniya massiva tverdogo materiala ispolnitel`nym organom stroitel`no-dorozhnoy mashiny // Tekhnologicheskoe oborudovanie dlya gornoy i neftegazovoy promyshlennosti: Sbornik trudov XVI Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. - 2018. - C. 244-247.
12. Redelin R.A., Kravchenko V.A., Kamanin Y.N. et al. Study of effect of in-line hydropneumatic accumulators on output characteristics of hydraulic hammer // IOP Conf. Series: Earth and environmental science. - 2017. - Vol. 87. - P. 6.
13. Rybak L.A., Mamaev Yu.A., Virabyan L.G. Sintez algoritma korrektsii traektorii dvizheniya vykhodnogo zvena robota-geksapoda na osnove teorii iskusstvennykh neyronnykh setey // Vestnik Belgorodskogo gos. tekhn. un-ta im. V.G. Shukhova. - 2016. - №12. - S. 142-152.
14. Yatsun S.F., Rukavitsyn A.N., Val`kov A.F. Issledovanie dvizheniya parallel`nogo mikromanipulya-tora s p`ezoelektricheskimi privodami // Izvestiya Kurskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. - 2010. - №2(31). - S. 12-21.
15. Arkhangel`skaya M.A., Vermel` V.D., Evdokimov Yu.Yu. i dr. Korrektirovka upravlyayushchey programmy obrabotki formoobrazuyushchey osnastki dlya obespecheniya tochnosti izgotovleniya detaley iz polimernykh kom-pozitsionnykh materialov po rezul`tatam ikh izmereniy na koordinatno-izmeritel`noy mashine // Izv. Samarskogo nauchnogo tsentra RAN. - 2016. - T. 18. - №1(2). - S. 145-147.
16. Gan`kin, Yu.A. Osnovy teorii avtotraktornykh dvigateley: Rekomendovano Ministerstvom obshchego i professional`nogo obrazovaniya v kachestve uchebnogo posobiya dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy, obuchayushchikhsya po spetsial`nostyam «Mekhanizatsiya sel`skogo khozyaystva», «Servis i tekhnicheskaya ekspluatatsiya transportnykh i transportno-tekhnologicheskikh mashin i oborudovaniya v sel`skom khozyaystve» - Moskva: RGAZU, 1997. - 304 s.
17. Karelina M.Yu. Vypusknaya kvalifikatsionnaya rabota bakalavra: uchebnoe posobie dlya studentov vuzov po napravleniyu podgotovki «Ekspluatatsiya transportno-tekhnologicheskikh mashin i kompleksov» - Orel: Orlovskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni N.V. Parakhina, 2016. - 328 s.
18. Ershov V.S., Ptitsyn D.A., Akulov A.A., Makhmudov Z.M. Rassmotrenie sroka sluzhby avtomobilya s tochki zreniya tekhnologii upravleniya zhiznennym tsiklom izdeliya // Tekhnologii informatsionnogo obshchestva: Sbornik trudov XV Mezhdunarodnoy otraslevoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Tekhnologii informatsionnogo obshchestva». - Moskva: OOO «Izdatel`skiy dom Media pablisher». - 2021. - S. 126-127.
19. Grib V.V., Karelina M.Yu., Petrova I.M., Filimonov M.A. Razrabotka algoritma prognozirovaniya i monitoringa resursa mekhanicheskikh sistem // Sovremennye problemy teorii mashin. - 2013. - №1. - S. 77-79.
20. Alekseenko, E.V. Finansy avtotransportnoy i dorozhnoy otrasley v usloviyakh tsifrovizatsii ekonomiki - Moskva: Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost`yu «Rusayns», 2020. - 244 s.

Kamanin Yuriy Nikolaevich
Orel state University
Address: 302030, Russia, Orel, Moskovskaya str., 77
Candidate of technical sciences
E-mail: kamanchi22@mail.ru

Panichkin Anton Valer'evich
Orel state University
Address: 302030, Russia, Orel, Moskovskaya str., 77
Candidate of technical sciences
E-mail: teppa79@yandex.ru

Kuzin Pavel Aleksandrovich
Orel state University
Address: 302030, Russia, Orel, Moskovskaya str., 77
Student
E-mail: pasha.kuzin.1976@mail.ru

Tregubov Aleksey Sergeevich
Orel state University
Address: 302030, Russia, Orel, Moskovskaya str., 77
Student
E-mail: PanVV95@yandex.ru

Научная статья
УДК62-529
doi:10.33979/2073-7432-2022-1(79)-4-40-47

А.Н. РУКАВИЦЫН, ЧЖО ПЬО ВЕЙ

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ РАБОЧЕГО ОРГАНА РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА 3D-ПЕЧАТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация. *Представлены результаты разработки роботизированного комплекса для обеспечения аддитивных технологий на основе пространственного манипулятора. Показано, что качество объемной печати может быть обеспечено за счет реализации в пространстве обобщенных или декартовых координат постоянного перемещения рабочего органа (экструдера) по требуемой траектории. Разработан метод организации управляемого движения рабочего органа 3-D принтера на основе задания множества узловых точек, движение между которыми осуществляется по прямолинейным траекториям. Для этого обратная задача о кинематическом положении решается в режиме реального времени. Разработанный и реализованный в среде Matlab алгоритм позволил определить значения обобщенных координат, скоростей, ускорений и сил при движениях звеньев соответствующих конфигурациям пространственного манипулятора в заданных точках траектории.*

Ключевые слова: *аддитивные технологии, 3D-принтер, манипулятор, траектория, обратная задача кинематики, рабочий орган, ориентация, обобщенные координаты*

Введение

Широкое распространение новейших цифровых технологий в области проектирования и управления различными технологическими машинами стимулирует бурный процесс развития технологий послойного синтез или, так называемых, аддитивных технологий (AF – Additive Manufacturing). Современные AF-технологии характеризуются высокой энергоэффективностью при изготовлении изделий из различных материалов, таких как металлы, полимеры, композиты и пр. В сравнении с традиционными методами, AF-технологии дают возможность обеспечить ресурсосберегающий подход к созданию деталей сложного профиля. Данный факт предопределяет широкое использование данной технологии объемной печати в различных производственных областях. Создание масштабных прототипов, макетов, сложно профильных деталей и заготовок путем «прямого выращивания» не требует использования дорогостоящей оснастки, что значительно снижает стадию технологической подготовки производства. AF-технологии самым наилучшим образом способствуют снижению трудовых и материальных затрат [1-4].

3D-принтер является основным устройством комплекта оборудования для обеспечения AF-технологий. Сегодня в мире насчитывается порядка сотни компаний, занимающихся серийным производством подобных устройств, каждая из которых привнесла свои новшества и усовершенствования технологии объемной печати, а некоторые из них разработали собственные методы и конструкции 3D-принтеров. Но в тоже самое время, в серийном и массовом производстве, аддитивные технологии, которые направлены на прямое изготовление конечного продукта, внедряются с огромным трудом [5, 6].

Такое противоречие объясняется не только отсутствием широкой номенклатуры используемых материалов, которые позволяют изготовить изделие с требуемыми характеристиками в достаточном количестве (т.е. недостаточным уровнем развития самой AF-технологии), но и ограниченными возможностями 3D-принтеров, разрабатываемых обычно на основе обычных трехкоординатных портальных манипуляторов [8, 9].

© Рукавицын А.Н., Чжо Пьо Вей, 2022

Материал и методы

Манипуляционная система роботизированного комплекса для обеспечения аддитивных технологий (рис. 1) представляет собой сложную структуру, которую можно рассматривать как многомерный объект управления, требующий настройки и регулирования следующих параметров:

- траектории движения рабочего органа (РО);
- положения и кинематические зависимости для звеньев манипулятора;
- энергетические характеристики приводов;
- температура и скорость подаваемого материала.

Обеспечение требуемой траектории движения рабочего органа – экструдера комплекса 3-D печати с контурным управлением, можно реализовать на основе специального метода, который позволяет программно формировать заданную траекторию движения [10].

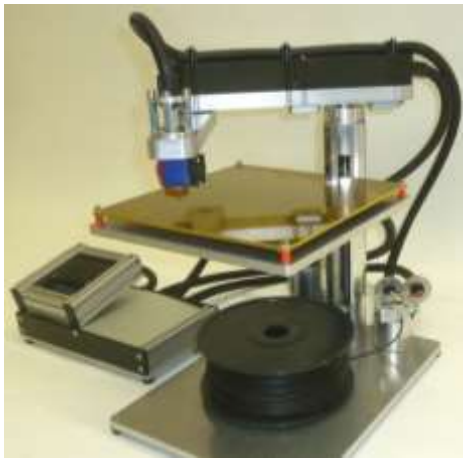


Рисунок 1 - Роботизированный комплекс 3-D печати для обеспечения AF-технологий

Специфика работы 3-D принтера характеризуется требованием обеспечения непрерывности движение РО - экструдера по требуемой траектории. Причем эта траектория может быть задана как в декартовой системе координат, так и в пространстве обобщенных координат. Настройку движения экструдера можно рассматривать как последовательность опорных точек. Через эти точки, расположенные в пространстве, должен проходить РО манипуляционного механизма 3D-принтера. Формирование требуемой траектории движения осуществляется программно в виде некоторой дискретной функции времени. Присвоение законов движения звеньям механизма манипуляции должно быть организовано на основе аппроксимирующих функций, определяющих их положение в пространстве обобщенных координат. В этом случае реализуются простейшие манипуляции, а на саму траекторию движения не накладывается никаких ограничений в виде положения начальной и конечной точек [11, 12].

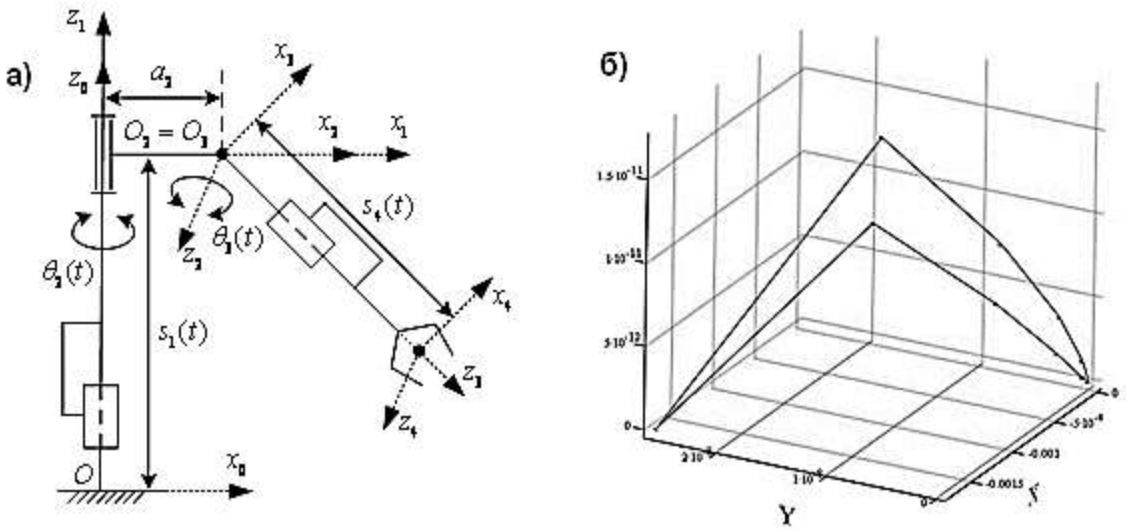


Рисунок 2 – Кинематическая схема манипуляционного механизма (а) и изменение положения РО декартовой системе координат (б)

Целью данной работы является создание метода, который позволяет программно формировать заданную траекторию движения РО манипуляционного механизма 3D-принтера (рис. 2*а*) для поддержки и обеспечения аддитивных технологий. Поставленная цель

достигается через задание положения множества промежуточных узловых точек. Перемещение РО между заданными узловыми точками происходит по прямолинейной траектории, что дает возможность обеспечить движение и ориентации РО манипуляционного механизма в декартовой системе координат (рис. 2*б*).

Теория

Особенностью реализации AF-технологий является создание непрерывного движения с постоянной скоростью во время переходов через промежуточные узловые точки. Аппроксимация законов изменения функций положения и ориентации РО во времени в этих областях выполняется квадратичными полиномами [12, 17]. Данная операция требует нахождения в каждый момент времени угловых или линейных перемещений в кинематических парах (сочленениях) манипуляционного механизма, которые будут соответствовать требуемой конфигурации манипулятора, обеспечивающей нахождение РО в заданных точках его траектории движения. Т.е. по сути решается обратная задача кинематики. При последовательном переходе через узловые точки, положение и требуемая ориентация РО манипуляционного механизма создаются за счет поступательного и вращательного движений его звеньев. Вычисление вектора обобщенных координат звеньев $q = (q_1, q_2, ... q_n)^T$ происходит на основе заданных векторов линейных и угловых координат ориентации РО манипуляционного механизма $S_C = (x_C, y_C, z_C, \varphi_C, \theta_C, \psi_C)^T$. Здесь x_C, y_C, z_C – координаты положения РО манипулятора в пространстве; φ_C, θ_C, ψ_C – углы ориентации РО; q_i, $i = 1...n$ – обобщенные координаты звеньев манипулятора.

Если считать, что геометрические размеры звеньев манипулятора известны (рис. 2*а*), то математически координаты РО в начальной системе отсчета будут определяться при помощи формулы [13, 16]:

$$R_0 = T_{04} R_4,$$

где R_0, R_4 – матрицы-столбцы размером 4×1, соответствующие координатам произвольной точки РО соответственно в системах 0 и n;

$T_{04} = T_{01} T_{12} T_{23} T_{34}$ – расширенная матрица перехода от начальной системы координат к конечной, являющаяся произведением матриц последовательных переходов.

Тогда расширенная матрица перехода имеет вид:

$$T_{04} = \begin{bmatrix} \cos\theta_2(t)\cos\theta_3(t) & -\cos\theta_2(t)\sin\theta_3(t) & \sin\theta_2(t) & s_4(t)\cos\theta_2(t)\sin\theta_3(t) + s_4(t)\sin\theta_2(t) + a_2\cos\theta_2(t) \\ \sin\theta_2(t)\cos\theta_3(t) & -\sin\theta_2(t)\sin\theta_3(t) & -\cos\theta_2(t) & s_4(t)\sin\theta_3(t)\sin\theta_2(t) - s_4(t)\cos\theta_2(t) + a_2\sin\theta_2(t) \\ \sin\theta_3(t) & \cos\theta_3(t) & 0 & -s_4(t)\cos\theta_3(t) + s_1(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Следует отметить что, поскольку все три оси, связанные с РО, образуют правую систему координат, то достаточно знать направляющие косинусы двух осей, например, x4 и z4, т.к. положение этих осей в пространстве уже определяет положение оси y4 . Таким образом, число направляющих косинусов может быть уменьшено до шести [14, 15]:

$$\cos(\vec{i}_n, \vec{i}_0) = \cos\theta_2(t)\cos\theta_3(t); \quad \cos(\vec{j}_n, \vec{i}_0) = -\cos\theta_2(t)\sin\theta_3(t); \quad \cos(\vec{k}_n, \vec{i}_0) = \sin\theta_2(t);$$

$$\cos(\vec{i}_n, \vec{k}_0) = \sin\theta_3(t); \quad \cos(\vec{j}_n, \vec{k}_0) = \cos\theta_3(t); \quad \cos(\vec{k}_n, \vec{k}_0) = 0.$$

Но только три из них являются полностью независимыми. Достаточно взять косинусы следующих углов: между одноименными осями z_4 и z_0 ($\cos(\vec{k}_n, \vec{k}_0)$, между осями z_4 и x_4 и между осями x_4 и x_0. Тогда получаем три выражения, определяющие углы:

$$\cos(\vec{i}_n, \vec{i}_0) = \cos\theta_2(t)\cos\theta_3(t); \quad \cos(\vec{k}_n, \vec{i}_0) = \sin\theta_2(t); \quad \cos(\vec{k}_n, \vec{k}_0) = 0.$$

Третье равенство служит очевидным уравнением связи, которая выражается в том, что ось РО z_4 всегда будет находиться в горизонтальной плоскости, перпендикулярно оси z_0. Уравнением связи также является выражение для первого косинуса.

Если предположить, что в некоторый момент времени задано значение угла $\cos\left(\vec{k}_n, \vec{i}_0\right) = \sin\ \theta_2(t) = \alpha_{13}$, то $\cos\ \theta_2(t) = \sqrt{1-\alpha_{13}^{\ 2}}$.

Для центра масс РО имеем уравнения:

$$x^* = s_4(t)\sqrt{1-\alpha_{13}^{\ 2}}\sin\ \theta_3(t) + s_4(t)\alpha_{13} + a_2\sqrt{1-\alpha_{13}^{\ 2}};$$

$$y^* = s_4(t)\sin\ \theta_3(t)\alpha_{13} - s_4(t)\sqrt{1-\alpha_{13}^{\ 2}} + a_2\alpha_{13};$$

$$z^* = -s_4(t)\cos\ \theta_3(t) + s_1(t).$$

Выражая из первого и второго уравнений $\sin\ \theta_3(t)$ и приравнивая оба значения получим:

$$\sin\ \theta_3(t) = \frac{x^* - s_4(t)\alpha_{13} - a_2\sqrt{1-\alpha_{13}^{\ 2}}}{s_4(t)\sqrt{1-\alpha_{13}^{\ 2}}} = \frac{y^* + s_4(t)\sqrt{1-\alpha_{13}^{\ 2}} - a_2\alpha_{13}}{s_4(t)\alpha_{13}}.$$

Откуда

$$s_4(t) = x^*\alpha_{13} - y^*\sqrt{1-\alpha_{13}^{\ 2}}.$$

Тогда

$$\sin\ \theta_3(t) = \frac{x^*\left(1-\alpha_{13}^{\ 2}\right) + y^*\sqrt{1-\alpha_{13}^{\ 2}}\alpha_{13} - a_2\sqrt{1-\alpha_{13}^{\ 2}}}{\left(x^*\alpha_{13} - y^*\sqrt{1-\alpha_{13}^{\ 2}}\right)\sqrt{1-\alpha_{13}^{\ 2}}} = \frac{x^*\sqrt{1-\alpha_{13}^{\ 2}} + y^*\alpha_{13} - a_2}{x^*\alpha_{13} - y^*\sqrt{1-\alpha_{13}^{\ 2}}}$$

или

$$\theta_3(t) = \arcsin\ \frac{x^*\sqrt{1-\alpha_{13}^{\ 2}} + y^*\alpha_{13} - a_2}{x^*\alpha_{13} - y^*\sqrt{1-\alpha_{13}^{\ 2}}}.$$

Из уравнения для третьей координаты получаем

$$s_1(t) = z^* + s_4(t)\cos\ \theta_3(t).$$

Выбор промежуточных узловых точек на предварительном этапе осуществляется таким образом, чтобы расхождение между траекторией РО манипуляционного механизма 3-D принтера и заданной прямой не превышали допустимых значений [11].

Переход к обобщенным координатам требует вычисления их векторов, которые соответствуют ориентации и положению и ориентации РО в промежуточных узловых точках. Аналогично операции определения траектории движения в декартовой системе координат, выбранные узловые точки в дальнейшем используются для нахождения траектории изменения обобщенных координат, аппроксимация законов которых происходит по следующему алгоритму.

1. Ориентация и положение РО манипуляционного механизма для двух последовательных участков *i* и *i+1* траектории движения в трех узловых точках представляются в виде матрицы однородных преобразований, размером (4×4):

$$A = \begin{bmatrix} C & r \\ 0 & 1 \end{bmatrix},$$

где C - характеризующая ориентацию РО манипулятора матрица направляющих косинусов;

$r = [x, y, z]^T$ - характеризующий положение РО радиус-вектор.

2. Положение РО манипулятора на прямолинейном участке описывается уравнением:

$$r(t) = r_{n+1} + t'\Delta r_i, \quad t \in [0, T_i - \tau], \quad t' = t / T_i,$$

где t_i' - время в безразмерной форме.

3. Движение РО из точки q_i в точку q_{I-i} происходит по следующему закону:

$$q(t) = q_{n-1} + t'\Delta r_i, \quad t \in [0, T_i - \tau], \quad t' = t / T_i.$$

4. Движение РО при переходах между участками задается в виде:

$$q(t) = q_i - \frac{(\tau + T_i - t)^2}{4\tau T_i}\Delta q_i + \frac{(\tau - T_i + t)^2}{4\tau T_{i+1}}\Delta q_{i+1}, \qquad t \in [T_i - \tau, T_i + \tau],$$

где $q(t)$ – вектор обобщенных координат;

t, t' – время действительное и расчетное;

τ – временной полуинтервал квадратичной интерполяции;

T_i – время прохождения по i-ому участку.

Приведенный алгоритм был реализован в среде Matlab [10, 17]. На рисунках 3 и 4 представлены графики изменения обобщенных координат, скоростей и ускорений манипулятора при движении РО по прямолинейной траектории.

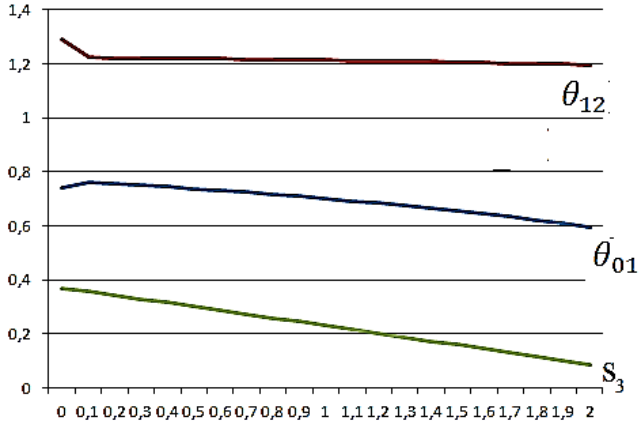


Рисунок 3 - Обобщенные координаты РО пространственного манипулятора

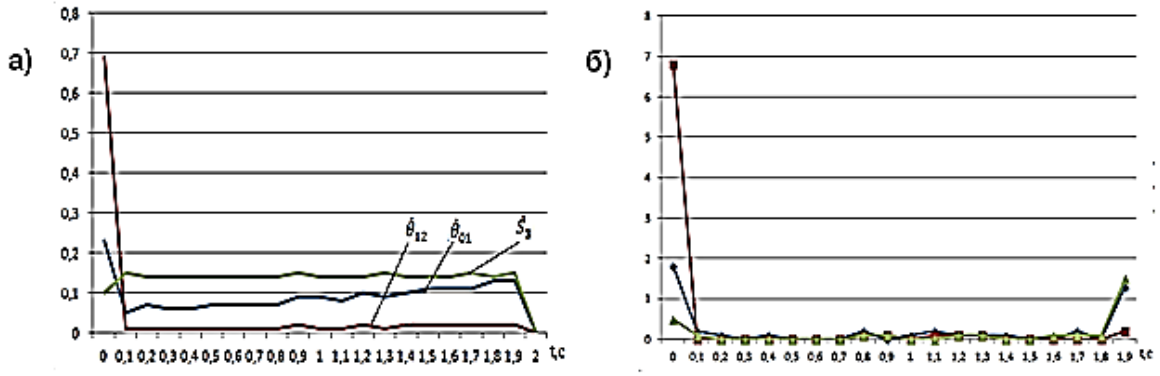


Рисунок 4 - Графики изменения обобщенных скоростей (а) и ускорений (б) РО пространственного манипулятора

Результаты

Траектории движения РО манипуляционного механизма 3D-принтера при перемещении между промежуточными узловыми точками может существенно отличаться от заданной прямолинейной траектории, что может негативно сказаться на качестве конечного продукта (рис. 3). Компенсация возникающего отклонения при условии движения РО манипулятора по заданной прямолинейной траектории требует определения ее величины, как разности между положениями РО в промежуточной точке $q_j(t)$ в пространстве обобщенных координат и в рассматриваемый момент времени t.

В тоже время из представленных графиков видно, что с течением времени наблюдается относительная стабилизация динамических параметров движения звеньев манипуляционной системы и их стремление за конечное время к установившимся значениям.

Обобщенные скорости и ускорения РО манипулятора при движении по прямолинейной траектории (рис. 4) определяют не только ориентацию и положение РО в начальной и конечной точках рассматриваемого участка, но и соответствующие значения его обобщенных координат.

Обсуждение

Бурный рост сфер применения современных аддитивных технологий требует создания нового высокопроизводительного оборудования, которое непрерывно совершенствуется по причине постоянного роста требований к качеству производимой продукции, а также расширения числа и спектра применяемых материалов [18, 19]. Данный факт предопределяет возрастание роли математического и численного моделирования объектов обеспечивающих функционирование оборудования объемной печати для изготовления сложно-профильных и уникальных деталей.

Исследуемый роботизированный комплекс для 3-D печати представляет собой многомерный объект управления, настройка и регулирование которого происходят путем определения и поддержания в заданном диапазоне позиционных кинематических и силовых энергетических параметров [7, 20]. Решение обратной задачи кинематики для любых начальных значений дает возможность получить, в результате численного моделирования дифференциальных уравнений, обобщенные координаты РО пространственного манипуляционного механизма, которые принимают в конечный момент времени значения из рабочего диапазона, соответствующего требуемому положению РО манипулятора.

Выводы

Благодаря уходу от традиционных технологий, AF-методы дают возможность получения уникальной топологии конструкции с использованием материалов, недоступных для формообразований другими технологиями. При этом важно понимать, что конечный продукт (деталь) – это неразрывная совокупность оборудования, материала и технологии. Поэтому очень важна взаимосвязь разработчиков аддитивного оборудования, производителей материала и конечных пользователей.

Расширение функциональных возможностей современных роботизированных комплексов трехмерной печати возможно за счет расширения реализации более сложных траекторий движения рабочего органа - экструдера, а также повышения быстродействия манипуляционной системы, оснащенной несколькими избыточными переносными степенями подвижности.

Достоинством предложенного метода для указанной кинематической схемы манипуляционного механизма является единственность решения, которое не зависит от его начального состояния, и обеспечивает достаточно высокую точность и быстродействие робототехнической системы в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зябрев, И.А., Порошин В.В. Разработка оборудования для аддитивной лазерной технологии // ПРОФЕССИОНАЛ ГОДА – 2017: Сб. статей V Международного научно-практического конкурса. - 2017. - С. 42-47.

2. Щелконогов А.Е., Дворниченко А.А., Загребина Е.С. Оптимизация параметров оборудования для производства модельной оснастки с помощью аддитивных технологий // Актуальные направления научных исследований: перспективы развития: Сб. матер. междунар. научно-практ. конф. - 2017. - С. 316-321.

3. Wadley H.N. Multifunctional periodic cellular metals // Philos. Trans. R. Soc. A 364. - 2006. – P. 31-68.

4. Гуняева А.Г., Сидорина А.И., Курносов А.О. и др. Полимерные композиционные материалы нового поколения на основе связующего ВСЭ-1212 и наполнителей, альтернативных наполнителям фирм Porcher Ind. и Toho Tenax // Авиационные материалы и технологии. - 2018. - №3(52). С. 18-26.

5. Повод Г.В., Куренова С.В. К вопросу об использовании технологий 3-Д печати // Актуальные научные исследования в современном мире. - 2017. - №4-4(24). - С. 56-59.

6. Топозов, Н.К. Инновационная подготовка производства - Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2010. – 228 с.

7. Zheng, X. Ultra-light, Ultra-stiff Mechanical Metamaterials // AAAS. - 2014. - P. 29.

8. Новиков А.Н., Родичев А.Ю., Горин А.В. и др. Влияние технологических факторов на качество формирования антифрикционного покрытия на деталях машин // Мир транспорта и технологических машин. - 2021. - №2(73). - С. 32-40.

9. Герасимов М.Д., Горшков П.С., Бражник Ю.В., Грудина В.А. Разработка предложений по использованию вариации насадок (сопел) для строительного 3D-принтера // Вестник Белгородского гос. техн. ун-та, им. В.Г. Шухова. - 2017. - №5. - С. 89-98.

10. Рыбак Л.А., Мамаев Ю.А., Малышев Д.И., Вирабян Л.Г. Программный модуль для реализации заданной траектории движения выходного звена робота-гексапода для 3D-печати изделий // Вестник Белгородского гос. техн. ун-та им. В.Г. Шухова. – 2016. - №8. - С. 155-165.

11. Пчелинцева С.В. Анализ сходимости процесса формирования программных траекторий с ограниченными отклонениями для манипуляторов с контурным управлением // Вестник Саратов. гос. техн. ун-та. - 2012. - Т. 1. - №2(64). - С. 402-409.

12. Рыбак Л.А., Мамаев Ю.А., Вирабян Л.Г. Синтез алгоритма коррекции траектории движения выходного звена робота-гексапода на основе теории искусственных нейронных сетей // Вестник Белгородского гос. техн. ун-та им. В.Г. Шухова. – 2016. - №12. - С. 142-152.

13. Яцун С.Ф., Рукавицын А.Н., Вальков А.Ф. Исследование движения параллельного микроманипулятора с пьезоэлектрическими приводами // Известия Курского государственного технического университета. - 2010. - №2(31). - С. 12-21.

14. Архангельская М.А., Вермель В.Д., Евдокимов Ю.Ю. и др. Корректировка управляющей программы обработки формообразующей оснастки для обеспечения точности изготовления деталей из полимерных композиционных материалов по результатам их измерений на координатно-измерительной машине // Изв. Самарского научного центра РАН. - 2016. - Т. 18. - №1(2). - С. 145-147.

15. Wai K.P., Rukavitsyn A., Rain T. Development of the method of generating programmed trajectories of the end effector of a 3D printer for additive technologies based on a spatial manipulation mechanism // Smart innovation, Systems and technologies. - 2020. - Т. 154. - С. 279-288.

16. Jang D., Meza L.R. and others. Fabrication and deformation of three-dimensional hollow ceramic nanostructures // Nat. Mater. – 2013. - №12. – P. 893-898.

17. Рукавицын А.Н., Ефремов Д.И. Моделирование движения механической системы с двумя степенями свободы в пакете «MATLAB/SIMMECHANICS» // Молодежь и наука: Шаг к успеху: сб. науч. статей 4-й Всерос. науч. конф. перспективных разработок молодых ученых. – Курск: Юго-Западный государственный университет. - 2020. - С. 132-135.

18. Варнавский А.Н., Гадельшин А.Р., Салин Д.С. Исследование влияния показателей печати на качество и соотношение цена/качество результата изготовления изделий на бюджетном 3D-принтере // Вестник Белгородского гос. техн. ун-та, им. В.Г. Шухова. - 2018. - №12. - С. 124-132.

19. Андреев Ю.С., Тимофеева О.С., Яблочников Е.И. Проектирование и изготовление формообразующей оснастки в условиях мелкосерийного производства // Изв. вузов. Приборостроение. - 2016. - Т. 59. - №7. - С. 592-599.

20. Berger J.B., Wadley H.N.G., McMeeking R.M. Mechanical metamaterials at the theoretical limit of isotropic elastic stiffness // Nat. Mater. - 2017. - №543. – P. 533-537.

Рукавицын Александр Николаевич
Юго-Западный государственный университет
Адрес: 305040, Россия, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94
К.т.н., доцент кафедры механики, мехатроники и робототехники
E-mail: alruk75@mail.ru

Чжо Пьо ВеЙ
Юго-Западный государственный университет
Адрес: 305040, Россия, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94
Докторант
E-mail: kyawkhankoo@gmail.com

A.N. RUKAVITSYN, KYAW PHYO WAI

DEVELOPMENT OF METHODS FOR CONTROLLING THE MOVEMENT OF THE WORKING BODY OF A ROBOTIC 3D PRINTING COMPLEX TO PROVIDE ADDITIVE TECHNOLOGIES

Abstract. *The article presents the results of the development of a robotic complex for providing additive technologies based on a spatial manipulator. The quality of volumetric printing is ensured by the continuous movement of the working body - the extruder along a trajectory specified in the space of generalized coordinates or in Cartesian space. A method is proposed for forming program trajectories of the manipulator's working body by specifying a set of nodal points, the movement between which is carried out along rectilinear trajectories. To do this, the inverse kinematics problem of position is solved at each moment of time. The developed algorithm, implemented in the Matlab environment, made it possible to determine the values of generalized coordinates, velocities, accelerations and forces during the movement of links corresponding to the configurations of the spatial manipulator at specified points of the trajectory.*

Keywords: *additive technologies, 3D-printer, manipulator, trajectory, inverse kinematics problem, working body, orientation, generalized coordinates*

BIBLIOGRAPHY

1. Zyabrev, I.A., Poroshin V.V. Razrabotka oborudovaniya dlya additivnoy lazernoy tekhnologii // PROFESSIONAL GODA - 2017: Sb. statey V Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo konkursa. - 2017. - S. 42-47.

2. Shchelkonogov A.E., Dvornichenko A.A., Zagrebina E.S. Optimizatsiya parametrov oborudovaniya dlya proizvodstva model`noy osnastki s pomoshch`yu additivnykh tekhnologiy // Aktual`nye napravleniya nauchnykh issledovaniy: perspektivy razvitiya: Sb. mater. mezhdunar. nauchno-prakt. konf. - 2017. - S. 316-321.

3. Wadley H.N. Multifunctional periodic cellular metals // Philos. Trans. R. Soc. A 364. - 2006. - R. 31-68.

4. Gunyaeva A.G., Sidorina A.I., Kurnosov A.O. i dr. Polimernye kompozitsionnye materialy novogo pokoleniya na osnove svyazuyushchego VSE-1212 i napolniteley, al`ternativnykh napolnitelyam firm Porcher Ind. i Toho Tenax // Aviatsionnye materialy i tekhnologii. - 2018. - №3(52). S. 18-26.

5. Povod G.V., Kurenova S.V. K voprosu ob ispol`zovanii tekhnologiy 3-D pechati // Aktual`nye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire. - 2017. - №4-4(24). - S. 56-59.

6. Topozov, N.K. Innovatsionnaya podgotovka proizvodstva - Chelyabinsk: Izdat. tsentr YUUrGU, 2010. - 228 s.

7. Zheng, X. Ultra-light, Ultra-stiff Mechanical Metamaterials // AAAS. - 2014. - P. 29.

8. Novikov A.N., Rodichev A.Yu., Gorin A.V. i dr. Vliyanie tekhnologicheskikh faktorov na kachestvo formirovaniya antifriktsionnogo pokrytiya na detalyakh mashin // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2021. - №2(73). - S. 32-40.

9. Gerasimov M.D., Gorshkov P.S., Brazhnik Yu.V., Grudina V.A. Razrabotka predlozheniy po ispol`zovaniyu variatsii nasadok (sopel) dlya stroitel`nogo 3D-printera // Vestnik Belgorodskogo gos. tekhn. un-ta, im. V.G. Shukhova. - 2017. - №5. - S. 89-98.

10. Rybak L.A., Mamaev Yu.A., Malyshev D.I., Virabyan L.G. Programmnyy modul` dlya realizatsii zadannoy traektorii dvizheniya vykhodnogo zvena robota-geksapoda dlya 3D-pechati izdeliy // Vestnik Belgorodskogo gos. tekhn. un-ta im. V.G. Shukhova. - 2016. - №8. - S. 155-165.

11. Pchelintseva S.V. Analiz skhodimosti protsessa formirovaniya programmnykh traektoriy s ogranichennymi otkloneniyami dlya manipulyatorov s konturnym upravleniem // Vestnik Saratov. gos. tekhn. un-ta. - 2012. - T. 1. - №2(64). - S. 402-409.

12. Rybak L.A., Mamaev Yu.A., Virabyan L.G. Sintez algoritma korrektsii traektorii dvizheniya vykhodnogo zvena robota-geksapoda na osnove teorii iskusstvennykh neyronnykh setey // Vestnik Belgorodskogo gos. tekhn. un-ta im. V.G. Shukhova. - 2016. - №12. - S. 142-152.

13. Yatsun S.F., Rukavitsyn A.N., Val`kov A.F. Issledovanie dvizheniya parallel`nogo mikromanipulyatora s p`ezoelektricheskimi privodami // Izvestiya Kurskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. - 2010. - №2(31). - S. 12-21.

14. Arkhangel`skaya M.A., Vermel` V.D., Evdokimov Yu.Yu. i dr. Korrektirovka upravlyayushchey programmy obrabotki formoobrazuyushchey osnastki dlya obespecheniya tochnosti izgotovleniya detaley iz polimernykh kom-pozitsionnykh materialov po rezul`tatam ikh izmereniy na koordinatno-izmeritel`noy mashine // Izv. Samarskogo nauchnogo tsentra RAN. - 2016. - T. 18. - №1(2). - S. 145-147.

15. Wai K.P., Rukavitsyn A., Rain T. Development of the method of generating programmed trajectories of the end effector of a 3D printer for additive technologies based on a spatial manipulation mechanism // Smart innovation, Systems and technologies. - 2020. - T. 154. - S. 279-288.

16. Jang D., Meza L.R. and others. Fabrication and deformation of threedimensional hollow ceramic nanostructures // Nat. Mater. - 2013. - №12. - R. 893-898.

17. Rukavitsyn A.N., Efremov D.I. Modelirovanie dvizheniya mekhanicheskoy sistemy s dvumya stepenyami svobody v pakete «MATLAB/SIMMECHANICS» // Molodezh` i nauka: Shag k uspekhu: sb. nauch. statey 4-y Vseros. nauch. konf. perspektivnykh razrabotok molodykh uchenykh. - Kursk: Yugo-Zapadnyy gosudarstvennyy universitet. - 2020. - S. 132-135.

18. Varnavskiy A.N., Gadel`shin A.R., Salin D.S. Issledovanie vliyaniya pokazateley pechati na kachestvo i sootnoshenie tsena/kachestvo rezul`tata izgotovleniya izdeliy na byudzhetnom 3D-printere // Vestnik Belgorodskogo gos. tekhn. un-ta, im. V.G. Shukhova. - 2018. - №12. - S. 124-132.

19. Andreev Yu.S., Timofeeva O.S., Yablochnikov E.I. Proektirovanie i izgotovlenie formoobrazuyushchey osnastki v usloviyakh melkoseriynogo proizvodstva // Izv. vuzov. Priborostroenie. - 2016. - T. 59. - №7. - S. 592-599.

20. Berger J.B., Wadley H.N.G., McMeeking R.M. Mechanical metamaterials at the theoretical limit of isotropic elastic stiffness // Nat. Mater. - 2017. - №543. - R. 533-537.

Rukavitsyn Alexander Nikolaevich
South-West State University
Address: 305040, Russia, Kursk, 50 let Oktyabrya str.,94
Candidate of technical sciences
E-mail: alruk75@mail.ru

Kyaw Phyo Wai
South-West State University
Address: 305040, Russia, Kursk, 50 let Oktyabrya str.,94
Doctoral student
E-mail: kyawkhankoo@gmail.com

Научная статья
УДК 656.714, 351.814.1, 358.424, 656.13, 656.071.81
doi:10.33979/2073-7432-2022-1(79)-4-48-54

Е.В. СУБАЧЕВ, Д.А. НИКИТИН, В.С. ЕРШОВ, А.А. АКУЛОВ

РАСЧЁТ ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНОГО РЕАГЕНТА ОДНОЙ ФОРСУНКОЙ АЭРОДРОМНОЙ ПОЛИВОМОЕЧНОЙ МАШИНЫ

Аннотация: *В рамках предложенной статьи определены ключевые особенности работы аэродромной поливомоечной машины (АПММ). Выявлена наиболее эффективная компоновка АПММ, способная обеспечить высокие эксплуатационные и технико-экономические показатели. Произведен расчёт плотности распределения противогололедного реагента одной форсункой аэродромной поливомоечной машины. Определен средний расход жидкости через одну форсунку за определенный отрезок времени. Определена оптимальная конфигурация расположения форсунок, способная обеспечить требуемое качество распыления воды и реагента для поддержания качественного сцепления шасси воздушного судна с полотном взлетно-посадочной полосы.*

Ключевые слова: *аэродромная поливомоечная машина, расчет, зона перекрытия факела форсунок, анализ конструкции, противогололедный реагент*

Введение

Аэродромная поливомоечная машина (АПММ) нового поколения предназначена для быстрой и качественной уборки взлетно-посадочной полосы (ВПП) и прилегающих территорий при условии беспрепятственной эксплуатации аэродрома по прямому назначению как в летний, так и в зимний период времени. В летний период времени АПММ осуществляет функции поливочно-компрессорной машины, которая смачивает аэродромное покрытие водой и сметает пыль для увеличения коэффициента сцепления поверхности ВПП. В зимний период времени к вышеперечисленным работам добавляется распыление противогололедного реагента.

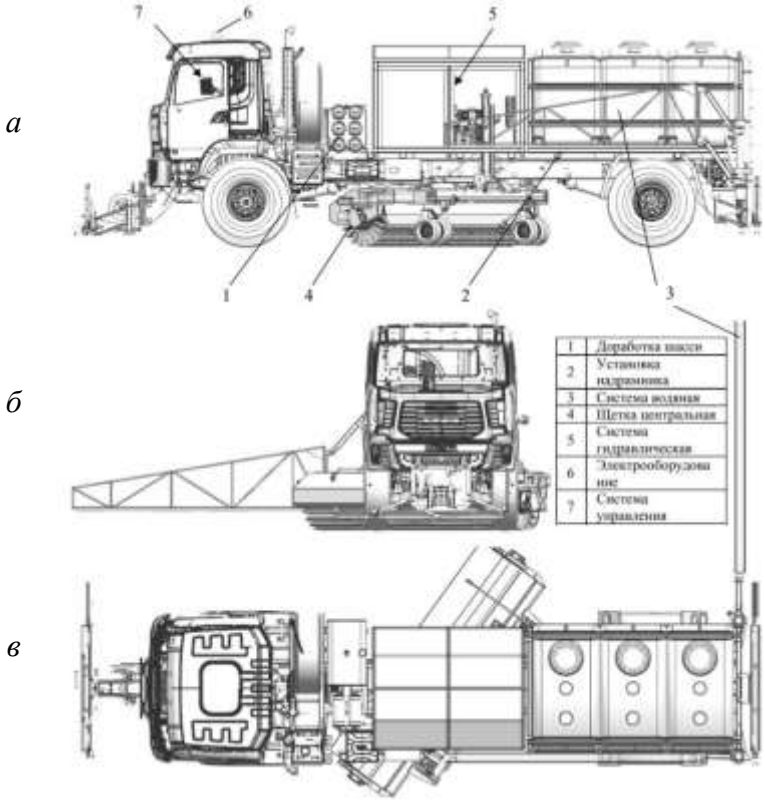


Рисунок 1 – Общий вид АПММ:
а - вид сбоку, б - вид спереди, в - вид спереди (распрыскиватель раскрыт с одной стороны)

Службы аэропорта, в соответствии с действующими требованиями нормами годности к эксплуатации гражданских аэродромов, осуществляют обслуживание и содержание ВПП и прилегающих территорий с использованием ряда уборочной и обслуживающей техники:

© Субчев Е.В., Никитин Д.А., Ершов В.С., Акулов А.А., 2022

- контролируют соответствие летных полей аэродромов требованиям НГЭА;
- проводит мероприятия, направленные на восстановление пригодности летных полей аэродромов к приему и отправлению воздушных судов;
- своевременно информирует службу аэронавигационной информации обо всех изменениях, происходящих на аэродроме в части готовности лётного поля к полетам и выполняемых работах на его элементах. Это напрямую связано с технологией содержания ВПП. Все операции проводятся в режиме «технологического окна» между взлетами и посадками без прекращения летной эксплуатации. Как только требуется освободить ВПП, аэродромная служба сообщает о выполненном объеме работ и о результатах проведенных операций;
- осуществляет мероприятия по содержанию твердых покрытий летных полей для обеспечения соответствия сертификационным требованиям на аэродромах, в том числе на аэродромах, допущенных к эксплуатации по минимуму I, II, III категорий ИКАО.

Служба спецавтотранспорта предназначена для своевременного, качественного и безопасного технического и коммерческого обслуживания всех видов воздушных судов, в том числе грузовых, пассажиров и их багажа.

Основные цели и задачи службы спецтранспорта:

- обеспечение спецмашинами работ по техническому и коммерческому обслуживанию воздушных судов;
- обеспечение спецмашинами и средствами механизации работ по эксплуатационному содержанию аэродрома и восстановительному ремонту искусственных покрытий;
- перевозка грузов, вахтовое обеспечение, выполнение транспортных заявок;
- обеспечение работ по ликвидации последствий авиационных происшествий имеющимися в наличии средствами и техникой в составе аварийно-спасательной команды аэропорта;
- другие работы, выполняемые по наземному технологическому обслуживанию аэродромов, ВС, пассажиров и грузов.

В настоящее время, разрабатываемая техника не производится на территории России. Разработка конструкции аэродромных машин нового поколения, способных обеспечить рынок Российской Федерации конкурентоспособной специальной техникой вызывает большой интерес, так как в настоящее время, в условиях ограниченного количества импортной продукции, возрастает спрос на имеющиеся решения отечественных производителей. Отсутствие на рынке Российской Федерации современной, высокоэффективной техники, способной обеспечить спрос отечественных аэропортов может отрицательно сказаться на качестве и безопасности перелетов.

Материал и методы

В качестве исходных данных для расчёта плотности распределения противогололедного реагента одной форсункой принято:

- на входе – водяной насос 300 ВР (295 л/мин, давление 20 бар);
- на выходе форсунка AI11006VS (в количестве на задней 22 и боковых рейках 56 шт.) с расходом 3,56 л/мин и давлением 8 бар;
- плотность распыла жидкого реагента от 50 до 150 г/м^2.

Рисунок 2 – Форсунка компании TeeJet

Рисунок 3 – Крепление соединения форсунки и трубы

Исходя из сведений сайта производителя, была подобрана плоскоструйная форсунка компании TeeJet AI11006VS (рис. 2). Данная форсунка имеет факел распыла в 110 градусов,

наконечник выполнен из нержавеющей стали, что способствует долгому сроку службы, при взаимодействии с агрессивными средами [1-3]. При использовании реагента в аспираторе образуются большие, накопленные воздухом, капли, такой размер капель способствует меньшему сносу при распылении, что способствует качественному распределению жидкого противогололедного реагента в зимний период времени. Оптимальное рекомендуемое давление из сайта производителя 2-8 бар. Соединение форсунки и трубы происходит с помощью крепления QJ17560A-NYB (рис. 3) устанавливаемого на трубу диаметром 20-25 мм [4-7].

Теория / Расчет

На рисунках 4 и 5 схематично продемонстрированы зоны перекрытия факела распыления форсунок, при высоте расположения над покрытием 150 и 300 мм, соответственно.

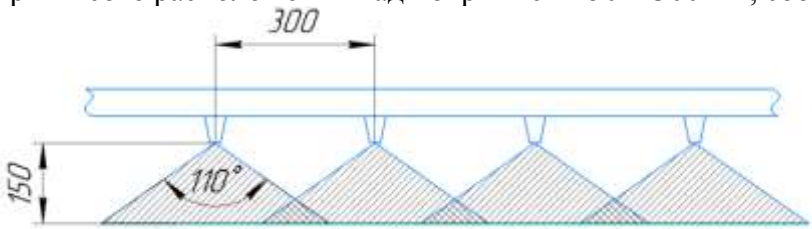


Рисунок 4 – Зона перекрытия факела форсунок при высоте расположения 150 мм над покрытием

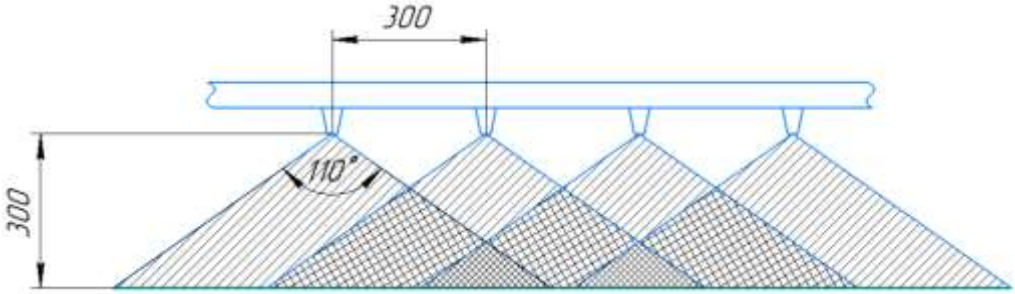


Рисунок 5 – Зона перекрытия факела форсунок при высоте расположения 300 мм над покрытием

Исходя из визуального наблюдения схем (рис. 4, 5), делаем вывод, что качество распределения противогололедного реагента будет лучше при расположении форсунки над землей на высоте 300 мм, при расстоянии между форсунками 300 мм [8-12].

Определим расход реагента через одну форсунку [13-17]:

$$q_{1ф} = \frac{Q_{общ} \cdot V_м \cdot B_ф}{60000}, \text{ л/мин}; \quad (1)$$

$$q_{1ф} = \frac{1783,76 \cdot 4 \cdot 30}{60000} \approx 3,56 \text{ л/мин}, \quad (2)$$

где $V_м$ – скорость машины, км/ч ($V_м$=4 км/ч);

$B_ф$ – расстояние между форсунками, см ($B_ф$=30 см);

$Q_{общ}$ – расход жидкого противогололедного реагента через одну форсунку с учетом расстояния между форсунками, л/га, определим по формуле [17-20]:

$$Q_{общ} = Q_T \cdot K_1 \cdot K_2, \text{ л/га}; \quad (3)$$

$$Q_{общ} = 1161 \cdot 1,67 \cdot 0,92 = 1783,76 \text{ л/га}, \quad (4)$$

где Q_T – табличное значение расхода воды через одну форсунку (табл. 1), л/га (Q_T = 1161 л/га);

Таблица 1 – Значения расхода через одну форсунку при изменении скорости.

Скорость машины, км/ч	4	5	6	7	8	10	12	16	18	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Расход, л/га	1161	929	774	663	581	464	387	290	258	232	186	155	133	116	103	92,9	84,44	77,4

K_1 – коэффициент пересчета зависимости расстояния между форсунок, при 30 см между форсунками, (K_1 = 1,67);

K_2 – коэффициент пересчета плотности реагента (K_2 = 0,92).

Расход воды через одну форсунку в зависимости от скорости при давлении в системе 8 бар представлен в таблице 1.

Зависимость коэффициента пересчета от расстояния между форсунками приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Коэффициенты пересчета зависимости расстояния между форсунками

Расстояние между форсунками, см	Коэффициент пересчета	Расстояние между форсунками, см	Коэффициент пересчета
20	2,5	45	1,11
25	2	60	0,83
30	1,67	70	0,71
35	1,43	75	0,66
40	1,25	–	–

В таблице 3 показана зависимость параметров распределения жидкого реагента через одну форсунку от скорости при давлении 8 бар.

Таблица 3 – Зависимость параметров распределения жидкого реагента через одну форсунку от скорости при давлении 8 бар.

Скорость АПММ, км/ч	Параметры				
	Расход, л/га	Расход, л/м^2	Расход, г/м^2	Давление, бар	Расход одной форсунки, л/мин
4	1783,76	0,178	164,11	8	3,56
5	1427,32	0,143	131,31		
6	1189,17	0,119	109,40		
7	1018,63	0,102	93,71		
8	892,65	0,089	82,12		
10	712,89	0,071	65,59		
12	594,59	0,059	54,70	8	3,56
16	445,56	0,045	40,99		
18	396,39	0,040	36,47		
20	356,44	0,036	32,79		
25	285,77	0,029	26,29		
30	238,14	0,024	21,91		
35	204,34	0,020	18,80		
40	178,38	0,018	16,41		
45	158,56	0,016	14,59		
50	142,70	0,014	13,13		
55	129,73	0,013	11,94		
60	118,92	0,012	10,94		

Результаты и обсуждение

При условии, что расстояние между форсунками 300 мм, то в одном ряду задней рейки, длинной 3,2 м, расположены 11 форсунок. Для повышения качества и увеличения скорости обработки поверхности противогололедным реагентом, устанавливают второй ряд рейки с форсунками (рис. 6). Тогда общее количество форсунок на задней рейке составит 22 штуки.

Также при расстоянии между форсунками 300 мм, на боковой штанге(крыле), длинной 4,5 м, в одном ряду расположены 15 форсунок. Также, для увеличения скорости обработки поверхности и повышения качества обработки, ставят второй ряд форсунок (рис. 7). Тогда общее количество форсунок на одной боковой штанге составит 30 штук.

Вывод

Оптимальным решением выбора конструкции, исходя из плотности распределения жидкого реагента на квадратный метр равной 50 г/м^2, является: расстояние между форсунками 30 см и высота распыления 30 см, благодаря чему достигается перекрытие форсунок 65 %, скорость машины будет варьироваться в диапазоне 20-100 км/ч при условии двойного ряда форсунок.

Рисунок 6 – Вид задней рейки с форсунками

Рисунок 7 – Вид боковой штанги с форсунками

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карелина М.Ю., Титов Н.В., Коломейченко А.В. и др. Импортозамещающая технология восстановления и упрочнения рабочего оборудования строительных и дорожных машин // Строительные и дорожные машины. – 2015. – №8. – С. 34-37.
2. Карелина М.Ю., Петровская Е.А., Пыдрин А.В., Карелина М.Ю. Оптимизация ингибированного состава для обеспечения сохраняемости сельскохозяйственной техники // Труды ГОСНИТИ. – 2015. – Т. 121. – С. 89-93.
3. Ганькин, Ю.А. Основы теории автотракторных двигателей: Рекомендовано Министерством общего и профессионального образования в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям «Механизация сельского хозяйства», «Сервис и техническая эксплуатация транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования в сельском хозяйстве» – Москва: РГАЗУ, 1997. – 304 с.
4. Карелина М.Ю. Выпускная квалификационная работа бакалавра: учебное пособие для студентов вузов по направлению подготовки «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» – Орел: Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, 2016. – 328 с.
5. Ершов В.С., Птицын Д.А., Акулов А.А., Махмудов З.М. Рассмотрение срока службы автомобиля с точки зрения технологии управления жизненным циклом изделия // Технологии информационного общества: Сборник трудов XV Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества». – Москва: ООО «Издательский дом Медиа паблишер». - 2021. – С. 126-127.
6. Гриб В.В., Карелина М.Ю., Петрова И.М., Филимонов М.А. Разработка алгоритма прогнозирования и мониторинга ресурса механических систем // Современные проблемы теории машин. – 2013. – №1. – С. 77-79.
7. Алексеенко, Е.В. Финансы автотранспортной и дорожной отраслей в условиях цифровизации экономики – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Русайнс», 2020. – 244 с.
8. Ершов В.С., Хамков А.А., Акулов А.А., Шадрин С.С. Исследования углов крена автомобиля при прохождении поворотов в зависимости от изменения его массы // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2020. – №4(26). – С. 1.
9. Ершов В.С., Акулов А.А., Карелина М.Ю. Разработка мобильной установки для оцинковывания элементов металлических конструкций автомобильно-дорожной инфраструктуры // Наука и творчество: вклад молодежи: Сборник материалов всероссийской молодежной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Махачкала: Типография ФОРМАТ. - 2020. – С. 212-215.
10. lukin M., Prusov E., Roshchina S., Karelina M., Vatin N. Multi-span composite timber beams with rational steel reinforcements // Buildings. - 2021. - №2. - С. 1-12.
11. Панько, Ю.В. Функциональные области управления предприятием: монография – Саратов: Амирит, 2020. – 126 с. – ISBN 978-5-00140-759-1;

12. Mamaev A., Balabina T., Karelina M. Method for determining road rut depth and power related to rutting upon wheel rolling // Transportation research procedia 14. Сер. «14th International conference on organization and traffic safety management in large cities, OTS 2020". - SPb: Elsevier B.V. - 2020. - С. 430-435.

13. Ганькин, Ю.А. Основы теории автотракторных двигателей - М: РГАЗУ, 1997. - 304 с.

14. Максикова Е.Д., Голик С.А. Оптимизация транспортного процесса промышленных предприятий // Вестник Иркутского университета. – 2018. – №21. – С. 191-193.

15. Abid S.R., Ali S.H., Kadhum A.L., Al-gasham T.S., Gunasekaran M., Fediuk R., Vatin N., Karelina M. Impact performance of steel fiber-reinforced self-compacting concrete against repeated drop weight impact // Crystals. - 2021. - №2. - С. 1-17.

16. Прудовский Б.Д., Терентьев А.В. Методы определения множества Парето в некоторых задачах линейного программирования // Записки Горного института. - Том 211. – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». - 2015. - С. 89-90.

17. Вельможин, А.В. Грузовые автомобильные перевозки: Учебник для вузов - М.: Горячая линия - Телеком, 2006. - 560 с.

18. Кацыв, Д.П., Алексеев С.Р., Красникова Н.А. Оценка эффективности имитационных моделей транспортных систем // Автоматизация управления предприятиями промышленности и транспортного комплекса: Сб. науч. тр. – Москва: МАДИ (ГТУ). - 2006. - С. 96-100.

19. Программа расчета экологической безопасности автомобилей, эксплуатирующихся в аэропортах: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. - №2021668270; Заявл. 18.11.21; Опубл. 18.11.21 // Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет.

20. Yefimenko D.B., Ptitsyn D.A., Akulov A.A., Smirnov P.I. Modeling of fuel consumption of passenger cars based on their technical characteristics // Systems of signals generating and processing in the field of on board communications: Conference proceedings. – Moscow. - 2021. – P. 9416138.

Субачев Евгений Владимирович
ООО «Завод Спецагрегат»
Адрес: 456300, Россия, Миасс, Объездная дорога, 2/17
Генеральный директор
E-mail: 777_sev@mail.ru

Никитин Дмитрий Александрович
Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)
Адрес: 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64 проезд
Заместитель начальника УНИР
E-mail: d.nikitin@madi.ru

Ершов Владимир Сергеевич
Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)
Адрес: 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64 проезд
Преподаватель кафедры «Детали машин и теория механизмов»
E-mail: vsershov21@gmail.ru

Акулов Алексей Андреевич
Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)
Адрес: 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64 проезд
Преподаватель кафедры «Детали машин и теория механизмов»
E-mail: a.akulov.98@mail.ru

E.V. SUBACHEV, D.A. NIKITIN, V.S. ERSHOV, A.A. AKULOV

CALCULATION OF DISTRIBUTION DENSITY OF ANTI-ICE REAGENT BY A SINGLE NOZZLE OF AERODROME WATER WASHING MACHINE

Abstract: *Within the framework of the proposed article, the key features of the operation of an airfield watering machine (APMM). The most efficient layout of the APMM, which is capable of having high operational and technical and economic indicators, has been revealed. The calculation of the probability of distribution of anti-icing reagent by one nozzle of an airfield watering machine was made. A certain flow rate of the medium liquid through one nozzle for a period of time. A certain optimal value of the stock of nozzles required of the required quality of spraying of water and a reagent to use the high-quality grip of the aircraft with the runway.*

Keywords: *airfield watering machine, calculation, nozzle flame overlap zone, design analysis, anti-icing agent*

BIBLIOGRAPHY

1. Karelina M.Yu., Titov N.V., Kolomeychenko A.V. i dr. Importozameshchayushchaya tekhnologiya vosstanov-leniya i uprochneniya rabochego oborudovaniya stroitel`nykh i dorozhnykh mashin // Stroitel`nye i dorozhnye mashiny. - 2015. - №8. - S. 34-37.
2. Karelina M.Yu., Petrovskaya E.A., Pydrin A.V., Karelina M.Yu. Optimizatsiya ingibirovannogo sostava dlya obespecheniya sokhranyaemosti sel`skokhozyaystvennoy tekhniki // Trudy GOSNITI. - 2015. - T. 121. - S. 89-93.
3. Gan`kin, Yu.A. Osnovy teorii avtotraktornykh dvigateley: Rekomendovano Ministerstvom obshchego i professional`nogo obrazovaniya v kachestve uchebnogo posobiya dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy, obuchayushchikhsya po spetsial`nostyam «Mekhanizatsiya sel`skogo khozyaystva», «Servis i tekhnicheskaya ekspluatatsiya transportnykh i transportno-tekhnologicheskikh mashin i oborudovaniya v sel`skom khozyaystve» - Moskva: RGAZU, 1997. - 304 s.
4. Karelina M.Yu. Vypusknaya kvalifikatsionnaya rabota bakalavra: uchebnoe posobie dlya studentov vuzov po napravleniyu podgotovki «Ekspluatatsiya transportno-tekhnologicheskikh mashin i kompleksov» - Orel: Orlovskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni N.V. Parakhina, 2016. - 328 s.
5. Ershov V.S., Ptitsyn D.A., Akulov A.A., Makhmudov Z.M. Rassmotrenie sroka sluzhby avtomobilya s tochki zreniya tekhnologii upravleniya zhiznennym tsiklom izdeliya // Tekhnologii informatsionnogo obshchestva: Sbornik trudov XV Mezhdunarodnoy otraslevoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Tekhnologii informatsionnogo obshchestva». - Moskva: OOO «Izdatel`skiy dom Media pablisher». - 2021. - S. 126-127.
6. Grib V.V., Karelina M.Yu., Petrova I.M., Filimonov M.A. Razrabotka algoritma prognozirovaniya i monitoringa resursa mekhanicheskikh sistem // Sovremennye problemy teorii mashin. - 2013. - №1. - S. 77-79.
7. Alekseenko, E.V. Finansy avtotransportnoy i dorozhnoy otrasley v usloviyakh tsifrovizatsii ekonomiki - Moskva: Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost`yu «Rusayns», 2020. - 244 s.
8. Ershov V.S., Hamkov A.A., Akulov A.A., Shadrin S.S. Issledovaniya uglov krena avtomobilya pri prokhozhdenii povorotov v zavisimosti ot izmeneniya ego massy // Avtomobil`. Doroga. Infrastruktura. - 2020. - №4(26). - S. 1.
9. Ershov V.S., Akulov A.A., Karelina M.Yu. Razrabotka mobil`noy ustanovki dlya otsinkovyvaniya elementov metallicheskikh konstruktsiy avtomobil`no-dorozhnoy infrastruktury // Nauka i tvorchestvo: vklad molodezhi: Sbornik materialov vserossiyskoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. - Makhachkala: Tipografiya FORMAT. - 2020. - S. 212-215.
10. lukin M., Prusov E., Roshchina S., Karelina M., Vatin N. Multispan composite timber beams with rational steel reinforcements // Buildings. - 2021. - №2. - S. 1-12.
11. Pan`ko, Yu.V. Funktsional`nye oblasti upravleniya predpriyatiem: monografiya - Saratov: Amirit, 2020. - 126 s. - ISBN 978-5-00140-759-1;
12. Mamaev A., Balabina T., Karelina M. Method for determining road rut depth and power related to rutting upon wheel rolling // Transportation research procedia 14. Ser. «14th International conference on organization and traffic safety management in large cities, OTS 2020». - SPb: Elsevier B.V. - 2020. - S. 430-435.
13. Gan`kin, Yu.A. Osnovy teorii avtotraktornykh dvigateley - M: RGAZU, 1997. - 304 s.
14. Maksikova E.D., Golik S.A. Optimizatsiya transportnogo protsessa promyshlennykh predpriyatiy // Vestnik Irkutskogo universiteta. - 2018. - №21. - S. 191-193.
15. Abid S.R., Ali S.H., Kadhum A.L., Algasham T.S., Gunasekaran M., Fediuk R., Vatin N., Karelina M. Impact performance of steel fiber-reinforced self-compacting concrete against repeated drop weight impact // Crystals. - 2021. - №2. - S. 1-17.
16. Prudovskiy B.D., Terent`ev A.V. Metody opredeleniya mnozhestva Pareto v nekotorykh zadachakh lineynogo programmirovaniya // Zapiski Gornogo instituta. - Tom 211. - SPb.: Natsional`nyy mineral`no-syr`evoy universitet «Gornyy». - 2015. - S. 89-90.
17. Vel`mozhin, A.V. Gruzovye avtomobil`nye perevozki: Uchebnik dlya vuzov - M.: Goryachaya liniya - Telekom, 2006. - 560 s.
18. Katsyv, D.P., Alekseev S.R., Krasnikova N.A. Otsenka effektivnosti imitatsionnykh modeley transportnykh sistem // Avtomatizatsiya upravleniya predpriyatiyami promyshlennosti i transportnogo kompleksa: Sb. nauch. tr. - Moskva: MADI (GTU). - 2006. - S. 96-100.
19. Programma rascheta ekologicheskoy bezopasnosti avtomobiley, ekspluatiruyushchikhsya v aeroportakh: Svidetel`stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM. - №2021668270; Zayavl. 18.11.21; Opubl. 18.11.21 // Moskovskiy avtomobil`no-dorozhnyy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet.
20. Yefimenko D.B., Ptitsyn D.A., Akulov A.A., Smirnov P.I. Modeling of fuel consumption of passenger cars based on their technical characteristics // Systems of signals generating and processing in the field of on board communications: Conference proceedings. - Moscow. - 2021. - P. 9416138.

Subachev Evgeniy Vladimirovich
LLC «Zavod Spetsagregat»
Address: 456300, Russia, Miass, Bypass road 2/17
CEO
E-mail: 777_sev@mail.ru

Nikitin Dmitry Aleksandrovich
Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)
Address: 125319, Russia, Moscow
Deputy head of the MADI UNIR
E-mail: d.nikitin@madi.ru

Ershov Vladimir Ssergeevich
Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)
Address: 125319, Russia, Moscow
Lecturer
E-mail: vsershov21@gmail.ru

Akulov Alexey Andreevich
Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)
Address: 125319, Russia, Moscow
Lecturer, E-mail: a.akulov.98@mail.ru

Научная статья
УДК 62-52
doi:10.33979/2073-7432-2022-1(79)-4-55-61

В.И. ЧЕРНЫШЕВ, О.В. ФОМИНОВА

УПРАВЛЯЕМЫЕ ВИБРОЗАЩИТНЫЕ СИСТЕМЫ: ДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ

Аннотация. *Приводятся новые научные результаты исследований в области теории оптимального управления колебательными процессами, связанные с проявлением локального эффекта в методе динамического программирования, реализацией пошаговой стратегии оптимизации динамической системы по управлению и нахождением алгоритмов оптимального позиционного управления. Приведены примеры нахождения позиционного управления в системах виброзащиты с дополнительным управляемым упругим и демпфирующим звеном, а также с рекуператором потенциальной энергией.*

Ключевые слова**:** *управляемая виброзащитная система, оптимальное управление, динамическое программирование, упругодемпфирующее звено прерывистого действия, рекуператор потенциальной энергии*

Введение

Для обеспечения нормативных показателей вибрационного состояния в различных зонах мобильных машин используются как управляемые, так и пассивные виброзащитные системы. Поскольку динамические свойства пассивных виброзащитных систем в области низких и резонансных частот внешних возмущений резко ухудшаются, то основное внимание уделяется разработке их управляемых аналогов, то есть систем с прямым и непрямым управлением [1-5]. Прямое (активное) управление непосредственно отождествляется с компенсационным воздействием, которое воспринимает защищаемый объект от внешнего источника энергии. Теоретически при «неограниченной» мощности внешнего источника энергии можно обеспечить любые требуемые показатели вибрационного состояния защищаемого объекта и, в этом плане, активные системы являются эталонными по отношению к системам с непрямым управлением. Что касается последних, то они позволяют избежать больших энергетических затрат поскольку компенсационные воздействия формируются опосредствовано, например, путем импульсного (скачкообразного) изменения параметров упругодемпфирующего звена. Для этих целей используют различные мехатронные устройства, встраиваемые в систему [6-9].

Материал и методы

Общий принцип работы управляемых виброзащитных систем, связанный с компенсацией внешних возмущений, позволяет утверждать, что показатели вибрационного состояния, которые обеспечивают активные системы виброзащиты с ограниченной мощностью внешнего источника энергии, можно достичь также используя виброзащитные системы с непрямым управлением. Такая возможность осуществима только тогда, когда по аналогии известных оптимальных алгоритмов активного управления будут найдены соответствующие оптимальные алгоритмы непрямого управления применительно к основным базовым моделям. В первую очередь следует рассматривать группу базовых моделей с типовыми (дополнительными) управляемыми звеньями, содержащими исполнительные органы, выполненные на основе упругого элемента, а также демпфера вязкого и сухого трения [10-12]. Кроме того, следует выделить группу базовых моделей с рекуператорами потенциальной и кинетической энергии, которые позволяют непосредственно имитировать работу активных систем с ограниченным по мощности внешним источником энергии [13-16].

В таблице 1 отображены исходные группы базовых моделей управляемых виброзащитных систем. Базовые модели БМ-(а, б, в) первой группы объединяет общий алгоритм непрямого управления и близкие по функциональным проявлениям (динамическим характери-

© Чернышев В.И., Фоминова О.В., 2022

стикам) исполнительные органы. Во вторую группу включены базовая модель с рекуператором потенциальной энергии БМ-РПЭ и активная (эталонная) система БМ-А.

Таблица 1 – Базовые модели управляемых виброзащитных систем

Условные обозначения	Уравнения движения защищаемого объекта при кинематическом возмущении	Области поиска управления
БМ-а	$m\ddot{x} + b(\dot{x} - \dot{y}) + c(x - y) + uc_0 \oint (\dot{x} - \dot{y})dt = 0$ $\downarrow$ $\dot{x}_1 = x_2,$ $\dot{x}_2 = -\varepsilon\eta^{-1}(x_2 - \dot{\vartheta}) - \eta^{-2}(x_1 - \vartheta) - u\gamma\eta^{-2} \oint (x_2 - \dot{\vartheta})d\tau$	$0 \le u \le 1$
БМ-б	$m\ddot{x} + b(\dot{x} - \dot{y}) + c(x - y) + ub_0(\dot{x} - \dot{y}) = 0$ $\downarrow$ $\dot{x}_1 = x_2,$ $\dot{x}_2 = -\varepsilon\eta^{-1}(x_2 - \dot{\vartheta}) - \eta^{-2}(x_1 - \vartheta) - u\varepsilon_0\eta^{-1}(x_2 - \dot{\vartheta})$	
БМ-в	$m\ddot{x} + b(\dot{x} - \dot{y}) + c(x - y) + uF_0 sign(\dot{x} - \dot{y}) = 0$ $\downarrow$ $\dot{x}_1 = x_2,$ $\dot{x}_2 = -\varepsilon\eta^{-1}(x_2 - \dot{\vartheta}) - \eta^{-2}(x_1 - \vartheta)$ $- uf_0\eta^{-2} sign(x_2 - \dot{\vartheta})$	
БМ-А	$m\ddot{x} + b(\dot{x} - \dot{y}) + c(x - y) = uU_0$ $\downarrow$ $\dot{x}_1 = x_2,$ $\dot{x}_2 = -\varepsilon\eta^{-1}(x_2 - \dot{\vartheta}) - \eta^{-2}(x_1 - \vartheta) + uu_0\eta^{-2}$	$-1 \le u \le 1$
БМ-РПЭ	$m\ddot{x} + b(\dot{x} - \dot{y}) + c(x - y) + uc_r(x - y) = 0$ $\downarrow$ $\dot{x}_1 = x_2,$ $\dot{x}_2 = -\varepsilon\eta^{-1}(x_2 - \dot{\vartheta}) - \eta^{-2}(x_1 - \vartheta) - u \cdot \lambda \cdot \eta^{-2}(x_1 - \vartheta)$	

Здесь в исходных уравнениях базовых моделей приняты следующие обозначения:

m – масса защищаемого объекта;

b, b_0 – вязкое сопротивление среды и управляемого демпфера;

c, c_0 – жесткость несущего и управляемого упругого элемента;

f_0 – сила сухого трения управляемого фрикционного демпфера;

c_r – жесткость упругого элемента рекуператора потенциальной энергии;

U_0 – максимальное значение компенсационного воздействия;

$x, \dot{x}, \ddot{x}$ – перемещение, скорость и ускорение защищаемого объекта;

$y, \dot{y}$ – перемещение и скорость кинематического возмущения;

u – управление (безразмерная функция управления);

$\eta = \omega/k$ – безразмерная частота (ω – характерная частота кинематического возмущения, $k = \sqrt{c/m}$ – собственная частота системы);

$\varepsilon = b/mk,\ \varepsilon_0 = b_0/mk$ – относительное демпфирование;

$\gamma = c_0/c, \lambda = c_r/c$ – коэффициенты;

$x_0 = x/y_0$, $x_1 = \dot{x}/y_0\omega$, $\vartheta = y/y_0$, $\dot{\vartheta} = \dot{y}/y_0\omega$ – безразмерные переменные (y_0 – амплитуда кинематического возмущения);

$u_0 = U_0/y_0mk^2$ – безразмерное компенсационное воздействие;

$\tau = \omega t$ – безразмерное время.

Чтобы разобраться, как базовые модели формируют компенсационные воздействия, при которых достигается положительный эффект, необходимо корректно поставить и решить соответствующую оптимизационную динамическую задачу. Следует учитывать, что оптимальные алгоритмы непрямого управления будут зависеть от принимаемого критерия каче-

ства, по которому производится оценка функционирования базовых моделей, и различаться для процессов виброзащиты и виброизоляции, то есть по умолчанию каждая базовая модель имеем две модификации [17]. При этом основные трудности оптимизации связаны с нахождением непрямого управления в виде позиционных функций компонент состояния колебательной системы [18-20]. Для решения данного класса задач используют математический аппарат теории оптимального управления [21-23]. Однако получить аналитическое решение удается только в отдельных случаях. Поэтому, как правило, используют численные методы и современные информационные технологии [24, 25].

Теория

Проявление локального эффекта в методе динамического программирования.

Сформулируем достаточно общую оптимизационную задачу для систем с непрямым управлением. Требуется определить оптимальное позиционное управление $\tilde{u} = u(x,\tau) \in U$ для динамической системы

$$\dot{x} = f(x,u,\tau), \tag{1}$$

при котором принятый показатель качества (функционал)

$$J = \int_0^T F(x)d\tau, \tag{2}$$

на интервале $0 - T$ будет иметь минимальное значение.

В соответствии с принципом оптимальности, который положен в основу метода динамического программирования, следует, что функционал (2) достигает минимального значения на любом конечном участке оптимальной траектории. Данное утверждение отображается в виде функции Беллмана

$$V(x,\tau) = \min_u \int_\tau^T F(x)d\tau, \tag{3}$$

и, соответственно, позволяет свести нахождение оптимального управления к решению функционального уравнения Беллмана

$$-\frac{\partial V}{\partial \tau} = \min_u \left[\frac{\partial V}{\partial x} f(x,u,\tau) + F(x)\right]. \tag{4}$$

После подстановки функции (3) в уравнение (4), приходим к следующему соотношению

$$\min_u \left[\int_\tau^T \frac{\partial F}{\partial x} d\tau \cdot f(x,u,\tau)\right]. \tag{5}$$

Данное соотношение позволяет реализовать формальную процедуру нахождения оптимального позиционного управления из условия минимума выражения в квадратных скобках. Однако при этом оптимальное позиционное управление будет содержать интегральные множители и дополнительно зависеть от верхнего предела интегрирования, то есть процесс оптимизации необходимо проводить, используя дискретные алгоритмы прямой или обратной прогонки [25, 26]. Покажем, что применительно к системам виброзащиты возможно применять качественно новые подходы оптимизации, в основе которых лежат фундаментальные аналитические зависимости характерные для колебательных процессов.

Виброзащитные системы относятся к классу динамических объектов, которые совершают колебательные движения, то есть в фазовом пространстве изображающая точка описывает периодически замкнутые фазовые траектории. Очевидно, что это свойство виброзащитных систем должно сохраняться при любом допустимом управлении. Но самое главное состоит в том, что верхний предел T в уравнении (5), соответствующий «конечной точке» на фазовой траектории, можно выбирать произвольно, например, равным $\tau + \Delta\tau$. Как следствие значение оптимального управления можно определять непосредственно на каждом шаге интегрирования динамической системы (1), обеспечивая при этом локальный минимум соотношению

$$\min_u \left[\frac{\partial F}{\partial x} f(x,u,\tau)\Delta\tau\right] = \min_u(\nabla F \cdot f)\ . \tag{6}$$

Здесь

$$\nabla F = \begin{pmatrix} \frac{\partial F}{\partial x_1} & \frac{\partial F}{\partial x_2} \end{pmatrix},\ f = (f_1 \quad f_2)^{\mathrm{T}}\ . \tag{7}$$

Как видно, решение оптимизационных задач, связанных с управлением колебаниями динамических систем по методу динамического программирования, допускает использование следующей цепочки преобразований, приводящей к соотношению (6):

$$\min_u F(x) \to \min_u \frac{dF}{dt} = \min_u (\nabla F \cdot f). \quad (8)$$

Поскольку в любой точке оптимальной траектории каждое соотношение в цепочке (8) должно достигать допустимо-минимального значения, то эти соотношения можно объединить в одно результирующее соотношение

$$\min_u [F(x)(\nabla F \cdot f)] = \min_u G\,(x, f). \quad (9)$$

Итак, соотношение (9) может быть использовано не только для пошаговой оценки оптимальности управления непосредственно в процессе интегрировании динамической системы (1) и соответствующего его определения в виде числового массива, но также и для нахождения его общей аналитической зависимости в виде $\tilde{u} = u(x, \tau)$. Последнее получаем из условия минимума выражения в квадратных скобках.

Следует отметить, что решение поставленной оптимизационной задачи по нахождению общей аналитической зависимости для оптимального позиционного управления $\tilde{u} = u(x, \tau)$ возможно только тогда, когда соотношение (9) явно зависит от управления.

Если же зависимость соотношения (9) от управления реализуется неявно (по умолчанию), то по аналогии с цепочкой преобразований (8) следует воспроизвести последующую цепочку преобразований

$$\min_u G(x, f) \to \min_u \frac{dG}{dt} = \min_u (\nabla G \cdot fd), \quad (10)$$

где

$$G(x, f) = F(x)(\nabla F \cdot f), \nabla G = \left(\frac{\partial G}{\partial x_1} \quad \frac{\partial G}{\partial x_2} \quad \frac{\partial G}{\partial f_1} \quad \frac{\partial G}{\partial f_2}\right), fd = (f_1 \quad f_2 \quad \dot{f}_1 \quad \dot{f}_2)^{\mathrm{T}}. \quad (11)$$

Конечное соотношение в цепочке (10) уже будет явно зависеть от управления и, соответственно, можно в дальнейшем использовать следующее результирующее соотношение

$$\min_u [G(x, f)(\nabla G \cdot fd)]. \quad (12)$$

Результаты и обсуждение

<u>Примеры нахождения оптимальных позиционных управлений</u>.

Пример 1. Произведем оптимизацию по управлению первых трех базовых моделей, а именно БМ-(а, б, в), когда подынтегральная функция показателя качества (2)

$$F(x) = x_1.$$

В этом случае

$$\nabla F = (1 \quad 0), \quad G(x, f) = x_1 f_1, \quad \nabla G = (f_1 \quad 0 \quad x_1 \quad 0), \quad \nabla G \cdot fd = f_1^2 + x_1 \dot{f}_1.$$

Поскольку $f_1 = x_2$, а $\dot{f}_1 = f_2$, то соотношение (12) преобразуется к виду:

$$\min_u [G(x, f)(\nabla G \cdot fd)] = \min_u x_1 x_2 (x_1^2 + x_1 f_2) \to \min_u x_2 f_2.$$

Функции f_2 рассматриваемых базовых моделей зависят от управления и для них можно выделить единое локально-значимое слагаемое $-u(x_2 - \dot{\vartheta})$, которое при минимизации соотношения (12) по управлению позволяет найти оптимальное позиционное управление:

$$\min_u x_2 f_2 \to \min_u [-x_2 u(x_2 - \dot{\vartheta})] \to \tilde{u} = \begin{cases} 1, & x_2(x_2 - \dot{\vartheta}) > 0 \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}. \quad (13)$$

Пример 2. Изменим оптимизационную задачу, поставленную в примере 1, приняв, что подынтегральная функция показателя качества (2)

$$F(x) = x_2.$$

В этом случае

$$\nabla F = (0 \quad 1) \text{ и, соответственно, } G(x, f) = x_2 f_2.$$

Далее по аналогии с примером 1, используя необходимую локально-значимую информацию, которую содержат функции f_2, непосредственно найдем оптимальное позиционное управление также в виде (13).

Вывод. Алгоритмы оптимального управления дополнительным упругим звеном и демпфером вязкого или сухого трения являются одинаковыми. Причем реализуемый процесс

формирования компенсационных воздействий (восстанавливающих и диссипативных сил) является прерывистым. По этой причине данные управляемые звенья характеризуются как звенья прерывистого действия.

Пример 3. Требуется найти оптимальное позиционное управление для активной системы виброзащиты, а также для виброзащитных систем с рекуператором потенциальной энергии. Соответствующие канонические уравнения данных систем приведены в таблице 1 – это базовые модели БМ-А и БМ-РПЭ.

Пусть

$$F(x) = x_2.$$

Тогда

$$\nabla F = (0 \quad 1) \text{ и } G(x, f) = x_2 f_2.$$

С учетом локально-значимой информации, которую содержат каждая функция f_2 в канонических уравнениях базовых моделей, оптимизацию по управлению будем проводить, используя соотношение (9). В результате минимизации этого соотношения по управлению находим сингулярные функции компонент состояния системы, которые и определяют оптимальные позиционные управления.

Для базовой модели БМ-А имеем:

$$\min_u x_2 f_2 = \min_u x_2 u \to \tilde{u} = sign(-x_2) = \begin{cases} 1, & x_2 < 0, \\ -1, & \text{иначе.} \end{cases} \tag{14}$$

Для базовой модели БМ-РПЭ имеем:

$$\min_u x_2 f_2 \to \min_u [-x_2 u(x_1 - \vartheta)] \to \tilde{u} = sign[x_2(x_1 - \vartheta)] = \begin{cases} 1, & x_2(x_1 - \vartheta) > 0, \\ -1, & \text{иначе.} \end{cases} \tag{15}$$

Идентичное проявление сингулярности оптимальных управлений (14) и (15) позволяет отнести базовую модель БМ-РПЭ к группе активных систем с периодически подзаряжаемым и ограниченным по мощности внешним источником энергии.

Выводы

Получен новый научный результат в области теории оптимального управления колебательными процессами, который связан с проявлением локального эффекта в методе динамического программирования и определяет пошаговую стратегию оптимизации динамической системы по управлению, а также алгоритм нахождения оптимального позиционного управления. Приведены примеры нахождения позиционного управления в системах виброзащиты с дополнительным управляемым упругим и демпфирующим звеном, а также с рекуператором потенциальной энергией. Установлено, что алгоритмы оптимального управления дополнительным упругим звеном и демпфером вязкого или сухого трения являются одинаковыми. Причем реализуемый процесс формирования компенсационных воздействий (восстанавливающих и диссипативных сил) является прерывистым. По этой причине данные управляемые звенья характеризуются как звенья прерывистого действия, что является необходимым признаком их оптимальности.

Идентичное проявление сингулярности оптимальных управлений для активной системы и базовой модели с рекуператором потенциальной энергии позволяет рассматривать последнюю как модель имитирующую работу активной системы с периодически подзаряжаемым и ограниченным по мощности внешним источником энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Генкин М.Д., Яблонский В.В. Активные виброзащитные системы // Виброизолирующие системы в машинах и механизмах. – М.: Наука. – 1977. – С. 3-11.
2. Коловский, М.З. Автоматическое управление виброзащитными системами – М.: Наука, 1976. - 320 с.
3. Рыбак, Л.А. Основы управления виброзащитными системами: монография – Белгород: БГТУ, 2007. – 172 с.
4. Хоменко, А.П. Динамика и управление в задачах виброзащиты и виброизоляции подвижных объектов – Иркутск: ИГУ, 2000. – 293 с.
5. Чернышев В.И., Савин Л.А., Фоминова О.В. Непрямое управление колебаниями: элементы теории // Труды СПИИРАН. – 2019. – №18. – С. 148-175.
6. Жавнер, В.Л. Мехатронные системы: учеб. пособие – СПБ.: Политехн. ун-т, 2011. – 131 с.

7. Дорф, Р. Современные системы управления – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2012. – 831 с.
8. Елисеев С.В., Хоменко А.П., Упырь Р.Ю. Мехатроника виброзащитных систем с рычажными связями // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Иркутск: ИрГУПС. – 2009. – №3(23). – С. 8-16.
9. Найгерт К.В., Целищев В.А. Реологические системы демпфирования, применяющие комбинированные и ротационные магнитореологические технологии // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2019. – Т. 19. – №1. – С. 26-36.
10. Рандин Д.Г. Исследование динамических характеристик управляемого демпфера // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2013. – №2(38). – С. 64-70.
11. Фоминова, О.В. Прерывистое демпфирование в системах виброзащиты: основы теории, приложения – М.: Машиностроение-1, 2005. – 256 с.
12. Юрлин Д.В., Бахмутов С.В., Кулагин В.А. Базовые алгоритмы управления жёсткостью пневмоэлементов подвески автомобиля // Труды НАМИ. – 2020. – №1. – С. 20-35.
13. Пат. 2734268 РФ. Рекуператор.
14. Посметьев В.И., Драпалюк М.В., Зеликов В.А. Оценка эффективности применения системы рекуперации энергии в подвеске автомобиля // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – №76(02). – С. 1-15.
15. Стыров, А.Е. Подход к использованию рекуперации энергии в электромеханической активной подвеске транспортного средства // Сборник научных трудов НГТУ. – 2015. – №2(80). – С. 106-115.
16. Фоминова, О.В. Виброзащитные системы с рекуператорами механической энергии // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2018. – №5. – С. 96-104.
17. Фоминова О.В., Белозёрова Е.Б., Чернышев В.И. Система виброизоляции с управляемым демпфером // Справочник. Инженерный журнал с приложением. – 2012. – №6. – С. 16-22.
18. Пшихопов В.Х., Медведев М.Ю. Адаптивное позиционное управление подвижными объектами, не линеаризуемыми обратной связью // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2015. – №16(8). – С. 523-530.
19. Чернышев В.И., Фоминова О.В., Горин А.В. Виброзащитные системы транспортных средств: активное управление и оптимизация // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – №4(75). – С. 20-26.
20. Дыхта В.А., Самсонюк О.Н. Оптимальное импульсное управление с приложениями – М.: Физматлит. - 2003. – 256 с.
21. Троицкий, В.А. Оптимальные процессы колебаний механических систем – Л.: Машиностроение, 1976. – 248 с.
22. Фоминова, О.В. Экстремальные задачи и оптимизация: введение в теорию непрямого импульсного управления процессами колебаний – М.: Издательский дом «Спектр», 2011. – 218 с.
23. Фоминова О.В., Савин Л.А., Чернышев В.И. Теоретические аспекты формирования оптимальных управляемых процессов виброзащиты // Известия юго-западного государственного университета. Серия: техника и технологии. - Курск ЮЗГУ. – 2013. – №3. – С. 44-50.
24. Мозжорина, Т.Ю. Численное решение задач оптимального управления с переключением методом пристрелки // Математическое моделирование и численные методы. – 2017. – №2. – С. 94-106.
25. Тюхтина, А.А. Методы дискретной оптимизации – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2015. – 72 с.
26. Ивановский, Р.И. Компьютерные технологии в науке и образовании. Практика применения систем Mathcad Pro – М.: Высш. шк., 2003. – 431 с.

Чернышев Владимир Иванович
Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
Адрес: 302020, Россия, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
Д.т.н., профессор кафедры мехатроники, механики и робототехники
E-mail: chernyshev_46@ mail.ru

Фоминова Ольга Владимировна
Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
Адрес: 302020, Россия, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
К.т.н., доцент кафедры мехатроники, механики и робототехники
E-mail: gari1@ list.ru

V.I. CHERNYSHEV, O.V. FOMINOVA

CONTROLLED VIBRATION PROTECTION SYSTEMS: DYNAMIC PROGRAMMING AND OPTIMIZATION

Abstract. *The article presents new scientific results of research in the field of the theory of optimal control of oscillatory processes related to the manifestation of a local effect in the dynamic programming method, the implementation of a step-by-step strategy for optimizing a dynamic system for control and finding algorithms for optimal positional control. Examples are given of finding*

positional control in vibration protection systems with an additional controlled elastic and damping link, as well as with a potential energy recuperator.

Keywords: *controlled vibration protection system, optimal control, dynamic programming, elastic-damping link of intermittent action, potential energy recuperator*

BIBLIOGRAPHY

1. Genkin M.D., Yablonskiy V.V. Aktivnye vibrozashchitnye sistemy // Vibroizoliruyushchie sistemy v mashinakh i mekhanizmakh. - M.: Nauka. - 1977. - S. 3-11.
2. Kolovskiy, M.Z. Avtomaticheskoe upravlenie vibrozashchitnymi sistemami - M.: Nauka, 1976. - 320 s.
3. Rybak, L.A. Osnovy upravleniya vibrozashchitnymi sistemami: monografiya - Belgorod: BGTU, 2007. - 172 s.
4. Homenko, A.P. Dinamika i upravlenie v zadachakh vibrozashchity i vibroizolyatsii podvizhnykh ob"ektov - Irkutsk: IGU, 2000. - 293 s.
5. Chernyshev V.I., Savin L.A., Fominova O.V. Nepryamoe upravlenie kolebaniyami: elementy teorii // Trudy SPIIRAN. - 2019. - №18. - S. 148-175.
6. Zhavner, V.L. Mekhatronnye sistemy: ucheb. posobie - SPB.: Politekhn. un-t, 2011. - 131 s.
7. Dorf, R. Sovremennye sistemy upravleniya - M.: Laboratoriya Bazovykh Znaniy, 2012. - 831 s.
8. Eliseev S.V., Homenko A.P., Upyr` R.Yu. Mekhatronika vibrozashchitnykh sistem s rychazhnymi svyazyami // Sovremennye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie. - Irkutsk: IrGUPS. - 2009. - №3(23). - S. 8-16.
9. Naygert K.V., Tselishchev V.A. Reologicheskie sistemy dempfirovaniya, primenyayushchie kombinirovannye i rotatsionnye magnitoreologicheskie tekhnologii // Vestnik YUUrGU. Seriya «Mashinostroenie». - 2019. - T. 19. - №1. - S. 26-36.
10. Randin D.G. Issledovanie dinamicheskikh kharakteristik upravlyaemogo dempfera // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki. - 2013. - №2(38). - S. 64-70.
11. Fominova, O.V. Preryvistoe dempfirovanie v sistemakh vibrozashchity: osnovy teorii, prilozheniya - M.: Mashinostroenie-1, 2005. - 256 s.
12. Yurlin D.V., Bakhmutov S.V., Kulagin V.A. Bazovye algoritmy upravleniya zhiostkost`yu pnevmoelementov podveski avtomobilya // Trudy NAMI. - 2020. - №1. - S. 20-35.
13. Pat. 2734268 RF. Rekuperator.
14. Posmet`ev V.I., Drapalyuk M.V., Zelikov V.A. Otsenka effektivnosti primeneniya sistemy rekuperatsii energii v podveske avtomobilya // Nauchnyy zhurnal KubGAU. - 2012. - №76(02). - C. 1-15.
15. Styrov, A.E. Podkhod k ispol`zovaniyu rekuperatsii energii v elektromekhanicheskoy aktivnoy podveske transportnogo sredstva // Sbornik nauchnykh trudov NGTU. - 2015. - №2(80). - C. 106-115.
16. Fominova, O.V. Vibrozashchitnye sistemy s rekuperatorami mekhanicheskoy energii // Fundamental`nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. - 2018. - №5. - S. 96-104.
17. Fominova O.V., Beloziorova E.B., Chernyshev V.I. Sistema vibroizolyatsii s upravlyaemym dempferom // Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal s prilozheniem. - 2012. - №6. - S. 16-22.
18. Pshikhopov V.H., Medvedev M.Yu. Adaptivnoe pozitsionnoe upravlenie podvizhnymi ob"ektami, ne linearizuemymi obratnoy svyaz`yu // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. - 2015. - №16(8). - S. 523-530.
19. Chernyshev V.I., Fominova O.V., Gorin A.V. Vibrozashchitnye sistemy transportnykh sredstv: aktivnoe upravlenie i optimizatsiya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2021. - №4(75). - S. 20-26.
20. Dykhta V.A., Samsonyuk O.N. Optimal`noe impul`snoe upravlenie s prilozheniyami - M.: Fizmatlit. - 2003. - 256 s.
21. Troitskiy, V.A. Optimal`nye protsessy kolebaniy mekhanicheskikh sistem - L.: Mashinostroenie, 1976. - 248 s.
22. Fominova, O.V. Ekstremal`nye zadachi i optimizatsiya: vvedenie v teoriyu nepryamogo impul`snogo upravleniya protsessami kolebaniy - M.: Izdatel`skiy dom «Spektr», 2011. - 218 s.
23. Fominova O.V., Savin L.A., Chernyshev V.I. Teoreticheskie aspekty formirovaniya optimal`nykh upravlyaemykh protsessov vibrozashchity // Izvestiya yugo-zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: tekhnika i tekhnologii. - Kursk YUZGU. - 2013. - №3. - S. 44-50.
24. Mozzhorina, T.Yu. Chislennoe reshenie zadach optimal`nogo upravleniya s pereklyucheniem metodom pristrelki // Matematicheskoe modelirovanie i chislennye metody. - 2017. - №2. - S. 94-106.
25. Tyukhtina, A.A. Metody diskretnoy optimizatsii - Nizhniy Novgorod: Nizhegorodskiy gosuniversitet, 2015. - 72 s.
26. Ivanovskiy, R.I. Komp`yuternye tekhnologii v nauke i obrazovanii. Praktika primeneniya sistem Mathcad Pro-M.: Vyssh. shk., 2003. - 431 s.

Chernyshev Vladimir Ivanovich
Orel State University
Address: 302020, Russia, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Doctor of technical sciences
Email: chernyshev_46@ mail.ru

Fominova Olga Vladimirovna
Orel State University
Address: 302020, Russia, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Candidate of technical sciences
E-mail: gari1@ list.ru

Научная статья
УДК 656.027.1
doi:10.33979/2073-7432-2022-1(79)-4-62-69

В.П. БЕЛОКУРОВ, Р.А. КОРАБЛЕВ, Э.Н. БУСАРИН, Э.Ю. ГУКЕТЛЕВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗМЕНЕНИЯ ПАССАЖИРОПОТОКА В ТЕЧЕНИИ ГОДА

Аннотация. *Рассматривается современное состояние организации пассажирских перевозок, имеющее ряд общих проблем, решение которых является весьма актуальным. Нестабильность пассажиропотоков в течение года, особенно характерная для городов Юга России в период летних отпусков, вызывает острую необходимость в реорганизации процесса управления транспортными процессами за счет использования оптимизационных решений. Наибольшая эффективность в данном случае может быть достигнута за счет использования оптимальной системы управления транспортного обслуживания населения городов при обеспечении качества перевозочного процесса.*

Ключевые слова: *пассажиропоток, транспортный процесс, пассажирские перевозки, оптимизация, качество обслуживания*

Введение

Оптимизация транспортного процесса при проведении сезонных пассажирских перевозок проводится на основе анализа и оценки параметров, характеризующих изменение пассажиропотоков в зависимости от сезонных переменных факторов на улично-дорожной сети городов. Рассматриваемая оптимизация управления транспортными процессами при стохастическом состоянии сезонных пассажирских перевозок позволит обеспечить их эффективность с учетом необходимого оказания качества услуг.

Материал и методы

Исследования пассажирских перевозок в летний период времени в городах Юга России нуждаются в корректировке за счет использования математического аппарата линейного и динамического программирования. Кроме этого использовалась математическая статистика по определению ситуационного сезонного изменения пассажиропотоков. В основе проведения исследований рассматривалась улично-дорожная сеть города-курорта Геленджик в различные периоды времени года.

Теория

Эффективность пассажирских перевозок в течение года, когда меняется пассажиропоток, достигается при оптимальной системе управления [1-5]. В связи с этим рассмотрены задачи по оптимальному оказанию транспортных услуг по перевозке пассажиров в зависимости от времени года на улично-дорожной сети города [6-7]. При этом принято, что имеется *i*-е количество типов пассажирского автотранспорта (ПАТ).

Для решения поставленных задач введены следующие обозначения: A_i – количество ПАТ *i*-го типа, $i = \overline{1, m}$; B_{ij} – потребность в ПАТ *i*-го типа на *j*-том маршруте, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$; A_{ij} – количество ПАТ *i*-го типа на *j*-том маршруте, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$; Z_i – количество дополнительно приобретаемого ПАТ *i*-го типа в зависимости от сезонной потребности, $i = \overline{1, m}$; C_i – затраты, связанные с приобретением дополнительно одной единицы ПАТ *i*-го типа, $i = \overline{1, m}$; μ – максимальное количество ПАТ; A_j – количество ПАТ а на *j*-том маршруте, $j = \overline{1, n}$.

© Белокуров В.П., Кораблев Р.А., Бусарин Э.Н., Гукетлев Э.Ю., 2022

С учетом введенных обозначений, задача математически может быть представлена в виде

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} A_{ij} = Q_{ij}\,,\ i=\overline{1,m}\,,\ j=\overline{1,n}\,, \tag{1}$$

то есть потребность каждого пассажира в пассажирском автотранспорте i-го типа на j-том маршруте, должна быть полностью удовлетворена (Q_{ij}).

В случае приобретения дополнительного ПАТ, что характерно в летний период времени для городов Юга России имеем

$$A_{ij} = A_i + Z_i\,,\ i=\overline{1,m}\,,\ j=\overline{1,n}\,. \tag{2}$$

Суммарное количество ПАТ i-го типа на УДС курортных городов ($A_i + Z_i$) должна соответствовать:

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} A_{ij} \le \mu\,,\ i=\overline{1,m}\,,\ j=\overline{1,n}\,, \tag{3}$$

то есть количество ПАТ i-го типа не должно превышать μ. При этом переменные не должны быть отрицательными, т.е.

$$A_{ij} \ge 0\,,\ Z_i \ge 0\,,\ i=\overline{1,m}\,,\ j=\overline{1,n}\,. \tag{4}$$

Затраты на дополнительно приобретенный пассажирский автотранспорт (в том числе и арендованный) в летний период времени в курортных городах Юга России, когда существенно увеличивается пассажиропоток на УДС городов, не должны превышать величины общей суммы ассигнований на пополнение ПАТ (C), то есть

$$\sum_{i=1}^{m} C_i Z_i \le C\,,\ i=\overline{1,m}\,. \tag{5}$$

В этом случае функция цели примет вид

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} A_{ij} \to \min\,. \tag{6}$$

Задача (1)-(6) относится к классу задач линейного программирования. Если в летний период времени в города курортных зон России не приобретаются дополнительные автобусы из-за роста сезонного пассажиропотока, то принимаем, что $C=0$, $Z_i=0$, $i=\overline{1,m}$. Условие (5) при этом выпадает из системы ограничений рассматриваемой задачи и, решение задачи принимает следующий вид:

$$\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m} A_{ij} = A_i\,,\ i=\overline{1,m}\,,\ j=\overline{1,n}\,, \tag{7}$$

$$\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m} A_{ij} \le \mu\,,\ i=\overline{1,m}\,,\ j=\overline{1,n}\,, \tag{8}$$

$$\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m} A_{ij} = B_{ij}\,,\ i=\overline{1,m}\,,\ j=\overline{1,n}\,, \tag{9}$$

$$\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m} A_{ij} \to \min\,. \tag{10}$$

Необходимым условием решения задачи (7)-(10) является:

$$\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m} B_{ij} = \sum_{i=1}^{m} A_i\,,\ i=\overline{1,m}\,,\ j=\overline{1,n}\,,$$

то есть потребность пассажиров в автомобильных перевозках должна быть удовлетворена.

Использование пассажирского автотранспорта будет характеризоваться зависимостью:

$$\sum_{i=1}^{m} A_i \le \mu \ , \ i = \overline{1, m} \ .$$

Задача (7)-(10) также сводится к транспортной задаче линейного программирования, так как

$$\left.\begin{aligned} &\sum_{i=1}^{m} A_{ij} = A_j, \quad i = \overline{1, m}, \ j = \overline{1, n} \\ &\sum_{i=1}^{m} B_{ij} = B_j, \quad i = \overline{1, m}, \ j = \overline{1, n} \end{aligned}\right\} . \tag{11}$$

В этом случае с учетом (11) задача примет следующий вид:

$$\left.\begin{aligned} &\sum_{j=1}^{n} A_j = B_j, \quad j = \overline{1, n} \\ &\sum_{j=1}^{n} A_j \le \mu, \quad j = \overline{1, n} \\ &A_j \ge 0, \quad j = \overline{1, n} \\ &\sum_{j=1}^{n} A_j \to \min \end{aligned}\right\} . \tag{12}$$

Результатом решения полученной транспортной задачи (12) является величина A_j, представляющая собой количество ПАТ всех типов, находящихся на j-ом маршруте [7]. По известным потребностям в ПАТ каждого типа можно задать i-ый тип пассажирского автотранспорта, то есть перейти от величины A_j к величинам A_{ij}. Однако, использование математической модели (12) не всегда приводит к получению оптимального результата, так как ПАТ разных типов имеет и разную производительность при перевозке пассажиров [8]. Становится не ясно, как задать в этом случае величину B_{ij}. В этом случае может быть использована следующая математическая модель:

$$\left.\begin{aligned} &\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m} A_{ij} \le A_i, \quad i = \overline{1, m}, \ j = \overline{1, n} \\ &\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m} A_{ij} \le \mu, \quad i = \overline{1, m}, \ j = \overline{1, n} \\ &\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m} W_{ij} A_{ij} = Q_i, \quad i = \overline{1, m}, \ j = \overline{1, n} \\ &A_{ij} \ge 0, \quad i = \overline{1, m}, \ j = \overline{1, n} \\ &\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m} A_{ij} \to \min \end{aligned}\right\} , \tag{13}$$

где Q_i – количество пассажиров, которое необходимо перевезти по j-му маршруту, $j = \overline{1, n}$;

W_{ij} – производительность одного ПАТ i-го типа, находящегося на j-ом маршруте.

Оптимальное использование пассажирского автотранспорта (задачи (1)-(6), (8)-(10), (12) и (13)) могут быть использованы при организации пассажирских перевозок в различные периоды года при изменяющихся пассажиропотоках как в городах курортных зон, так и в других городах России.

Ниже рассмотрен расчет оптимального количества пассажирского автотранспорта по времени года и часам суток на УДС города. При этом принималось, что оптимальность управления пассажирскими перевозками в конечном варианте достигается за счет использования обобщенного показателя качества обслуживания пассажиров при обеспечении экономической эффективности транспортного процесса [9, 10]. В этом случае в качестве основного управляющего параметра используют интервал движения ПАТ, который зависит от его

количества на маршрутах города. Другим важным параметром, влияющим на качество обслуживания пассажиров, является время пребывания пассажиров в пути, которое определяется временем ожидания пассажирами транспорта, временем посадки-высадки пассажиров и непосредственно временем перемещения пассажиров в автобусе [11].

В этом случае задача оптимизации пассажирских перевозок может быть сведена к следующему критерию:

$$\varphi = \sum_{l=1}^{L} \left[Q_{lj}^{вх} \cdot t_{lj}^{ож} + t_{lj}^{ст} \sum_{l=1}^{L} \left(Q_{lj}^{вх} - Q_{lj}^{вых} \right) \right], \tag{14}$$

где $Q_{lj}^{вх}$ – количество пассажиров, входящих в ПАТ на l остановке j-го маршрута;

$Q_{lj}^{вых}$ – количество пассажиров, выходящих из ПАТ на l остановке j-го маршрута;

$t_{lj}^{ож}$ – время ожидания ПАТ одним пассажиром на l остановке j-го маршрута;

$t_{lj}^{ст}$ – время стоянки ПАТ одним пассажиром на l остановке j-го маршрута;

L – количество остановок на j-ом маршруте.

Время ожидания ПАТ $t_{lj}^{ож}$ и время его стоянки $t_{lj}^{ст}$ в формуле (14) являются функциями загрузки пассажирского транспорта [12]. Это позволяет использовать критерий (14) при выборе типа пассажирского транспорта по его вместимости.

Количество ПАТ в зависимости от времени года и времени суток может быть определено за счет минимизации критерия φ. В этом случае вводятся ограничения как на количество пассажирского автотранспорта (15), так и на уровень его загрузки (16), то есть

$$A_j \le A_j(t); \tag{15}$$

$$\gamma_{lj} = \frac{\sum_{l=1}^{L} \left(Q_{lj}^{вх} - Q_{lj}^{вых} \right)}{q_j} \le \gamma_j(t), \tag{16}$$

где A_j – количество ПАТ на j-ом маршруте;

$A_j(t)$ – количество ПАТ, которое может быть максимально выпущено на маршрут j в момент времени t;

γ_{lt} – коэффициент наполняемости ПАТ на l остановке j-го маршрута;

$\gamma_j(t)$ – заданная величина коэффициента наполняемости ПАТ на j-ом маршруте;

q_j – средняя вместимость ПАТ на j-ом маршруте.

Оптимизация критерия эффективности (14) с учетом ограничений (15) и (16) будет способствовать предотвращению загрузки УДС городов пассажирским транспортом малой вместимости на маршрутах с большими пассажиропотоками, что исключит появление больших интервалов движения и повысит качество обслуживания пассажиров [13, 15].

В случае если количество ПАТ на УДС города достаточно, для обеспечения перевозки пассажиров в полном объеме, то его наполняемость с учетом зависимости (16) будет иметь следующее неравенство:

$$\sum_{l=1}^{L} \left(Q_{lj}^{вх} - Q_{lj}^{вых} \right) \le \gamma_{lj} q_j . \tag{17}$$

Неравенство (17) отражает то, что число пассажиров в ПАТ на любой остановке $\sum_{l=1}^{L} \left(Q_{lj}^{вх} - Q_{lj}^{вых} \right)$ не превышает его вместимости q_j.

В случае выполнения неравенства (15) выпуск количества ПАТ на УДС городов имеет ограничение как сверху, так и снизу. Так, ограничение пассажирского транспорта снизу ($A_{j\min}$) будет определяться исходя из максимальной загрузки ПАТ ($\gamma_{\max}$) на выбранной остановке (l) в момент времени t при интервале движения пассажирского транспорта I_j, то есть

$$A_{j\min} \geq \gamma_{\max} \frac{t_j^{об}}{I_j}, \tag{18}$$

где $\gamma_{\max}$ – коэффициент заполнения ПАТ, характеризующий его максимальную загрузку;

$t_j^{об}$ – время оборота ПАТ на j-ом маршруте;

I_j – интервал движения ПАТ, при котором производятся замеры входа-выхода пассажиров на j-ом маршруте.

Приведенное ограничение снизу (18) предотвращает увеличение сверхнормативного интервала движения и превышение коэффициента наполнения γ пассажирского транспорта.

Ограничение сверху по количеству ПАТ также необходимо. Его возрастание будет снижать эффективность перевозки пассажиров [14]. Так на j-ом маршруте $A_{j\max}$ с учетом неравенств (17) и (18) будет иметь следующий вид

$$A_{j\max} \geq \frac{t_j^{об}}{I_j}. \tag{19}$$

Время оборота рейса $t_j^{об}$ на j-ом маршруте определяется по зависимости:

$$t_j^{об} = t_{дв} + t_{ос} = \frac{S_j}{V_{эк}}, \tag{20}$$

где $t_{дв}$ – время движения ПАТ;

$t_{ос}$ – время затраченное на остановках ПАТ;

S_j – длина j-ого маршрута в обоих направлениях (если маршрут маятниковый, а не кольцевой);

$V_{эк}$ – эксплуатационная скорость движения ПАТ;

L_j – число остановок на j-ом маршруте.

При подстановке зависимости (20) в (19) для интервала движения ПАТ, которая учитывает как время затраченное на движение транспорта, так и время его стоянки на остановках маршрута, примет вид

$$I_j = \frac{S_j}{V_j \cdot A_j} + \frac{L_j \cdot \tau_j}{A_j}, \tag{21}$$

где τ_j – среднее время стоянки на одной остановке j-ого маршрута.

Принимая $A_j = A_{j\max}$ при минимальном времени стоянки ПАТ τ_j при посадке-высадке пассажиров из выражения (21) получим максимальное количество пассажирского транспорта:

$$A_{j\max} = \frac{S_j}{V_j \cdot I_j} + \frac{L_j \cdot \tau_j}{I_j}. \tag{22}$$

Из зависимостей (18) и (22) следует, что оптимальное количество пассажирского транспорта находится в интервале ($A_{j\min}$, $A_{j\max}$) и может быть записана в следующем виде:

$$\gamma_{\max} \cdot \frac{t_j^{об}}{I_j} \leq A_j \leq \frac{S_j}{V_j \cdot I_j} + \frac{L_j \cdot \tau_j}{I_j}. \tag{23}$$

Таким образом, ситуационная задача распределения пассажирского транспорта по маршрутам УДС города может характеризоваться критерием оптимальности φ (14), где переменными показателями являются: среднее время ожидания ПАТ на l остановке j-ого маршрута ($t_{lj}^{ож}$) и среднее время стоянки ПАТ на остановке при посадке-высадке пассажиров (τ_j). Количество входящих и выходящих пассажиров ($Q_{lj}^{вх}$ и $Q_{lj}^{вых}$) принимается постоянным значением, удовлетворяющим ограничению в виде неравенства (17). В решении данной задачи принимается также, что УДС города состоит из n-ного количества маршрутов, известны также пассажиропотоки на каждом маршруте, время стоянки ПАТ на остановках (τ_j), общее число остановок на маршруте (L_j) и общее количество пассажирского транспорта на всех маршрутах города (A) [16-18].

Результаты и обсуждение

Оптимизацией данной ситуационной задачи, в зависимости от времени года, является распределение ПАТ по маршрутам УДС города таким образом, чтобы суммарное время ожидания пассажирского транспорта на остановках было минимальным, а количество ПАТ на маршрутах УДС города удовлетворяло неравенству (23), которое обеспечит качество обслуживания пассажиров [19].

Целевая функция (14) и неравенство (23) позволяют оптимально распределять пассажирский транспорт по каждому маршруту УДС города в зависимости от времени года, направления маршрута и времени суток. Это является особенно важным для городов Юга России, в которых пассажиропоток на улично-дорожной сети существенно увеличивается за счет приезжающих на отдых [20]. В этом случае должны решаться такие ситуационные задачи, как: рациональное использование имеющегося пассажирского транспорта, обеспечение ритмичности его движения на маршрутах, уменьшение времени ожидания транспорта и нахождения пассажиров в пути, что, в конечном счете, и определит качество обслуживания.

Выводы

Оптимальность ситуационного управления пассажирскими перевозками в проведенных исследованиях достигается за счет использования таких обобщенных показателей эффективности обслуживания, как интервал движения, интенсивность пассажиропотока и его возможные сезонные изменения и время пребывания пассажиров в пути следования. Это позволяет использовать оптимизационный критерий как для определения количества пассажирского транспорта на улично-дорожной сети города, так и возможного его необходимого дополнительного распределения по некоторым маршрутам города в летний период времени в городах Юга России.

По результатам проведенных исследований предложен метод расчета ситуационного сезонного распределения пассажирского транспорта по маршрутам города с учетом обеспечения социально-экономической эффективности и качества пассажирских перевозок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айзерман, М.А. Выбор вариантов: основы теории - М.: Наука, 1990. – 240 с.
2. Березовский, Б.А. Бинарные отношения в многокритериальной оптимизации - М.: Наука, 1981. – 125 с.
3. Белокуров С.В., Белокуров В.П. Оптимизация многоцелевых транспортных задач при использовании алгоритма анализа и отсева на итерациях поиска решений // Транспорт: наука, техника, управление. - Москва: ВИНИТИ РАН. – №6. – 2009. – С. 2-4.
4. Белокуров С.В., Белокуров В.П. Модели многокритериального поэтапного выбора в информационных системах управления транспортными процессами // Транспорт: наука, техника, управление. – Москва: ВИНИТИ РАН. – 2009. – №8. – С. 11-14.
5. Белокуров С.В., Скрыль С.В., Белокуров В.П. Особенности модели оптимального управления процесса отсева решений на базе синтеза теории выбора в транспортных системах // Транспорт. Наука, техника, управление: науч. информ. сб. РАН. – Москва: ВИНИТИ. – 2010. - №1. – С. 5-9.
6. Белокуров С.В., Сумин В.И., Кузнецова Л.Д., Кашутин С.В. Модели выбора в условия векторной оценки качества // Математическое моделирование и информационные технологии в сфере обслуживания потребителей: Материалы III Межвузовской научно-практической конференции. – Сочи: СГУТиКД, 2007. – С. 75-76.
7. Белокуров С.В., Сумин В.И., Питолин М.В., Кашутин С.В. Задача выбора оптимальных вариантов на основе вероятностного подхода // Вестник ВГТУ. Сер. Радиоэлектроника и системы связи. – 2006. – №7. – С. 59-62.
8. Белокуров В.П., Белокуров С.В., Скрыль С.В. Принятие решений для эффективного управления транспортными системами на основе ситуаций выбора // Транспорт: наука, техника, управление: Научный информационный сборник ВИНИТИ РАН. – №2. – 2010. – С. 6-12.
9. Белокуров В.П., Мотузка Д.А., Артемов А.Ю. Повышение эффективности эксплуатации автотранспорта при осуществлении сезонных пассажирских перевозок в городах курортных зон // Технология колесных и гусеничных машин. – 2015. – №3. – С. 25-33.
10. Беляков, В.В. Многокритериальная оптимизация в задачах оценки подвижности, конкурентоспособности автотракторной техники и диагностики сложных технических систем - Н. Новгород: ННГТУ, 2001. – 271 с.
11. Величко, С.В. Синтез функций выбора на итерациях поиска в численных моделях многокритериальной оптимизации: Монография – Воронеж: Воронеж. гос. лесотехн. акад, 2004. - 126 с.
12. Ларичев, О.И. Теория и методы принятия решений – М.: Логос, 2000. – 296 с.
13. Шоломов, М.В. Логические методы исследования дискретных моделей выбора - М: Наука. – 1989. –

287 с.

14. Gottlich S., Klar A. Model hierarchies and optimization for dynamic flows on networks // Modeling and optimization of flows on networks. – Cetaro.: C.I.M.E., 2009. – 150 p.

15. Garrison, W.L. Tomorrow's transportation: changing cities, economies, and lives // Norwood: Artech House, 2000. – 316 p.

16. Belokurov S.V., Belokurov V.P., Zolnikov V.K., Cherkasov O.N. Methods of multi-criteria optimization in problems of simulation of trucking industry // Transportation research procedia. – 2017. – №20. – P. 47-52.

17. Hibbs, J. Transport policy: the mith of integrated planning – London: the institute of economic affairs, 2000. – 111 p.

18. Kaufmann A., Gupta M.M. Fuzzy mathematical models in engineering and management science – Amsterdam: North-Holland, 1998. – 195 p.

19. Kall P., Wallance S.W. Stochastic programming // John wiley and sons. - Chichester. - 1994. – 317 p.

20. Shen X., Yao X. Mathematical modeling and multiobjective evolutionary algorithms applied to dynamic flexible job shop scheduling problems // Information Scienees. – 2015. – Vol. 298. – P. 198-224.

Белокуров Владимир Петрович
Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова
Адрес: 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8
Д.т.н., профессор, профессор кафедры организации перевозок и безопасности движения
E-mail: opbd_vglta@mail.ru

Кораблев Руслан Александрович
Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова
Адрес: 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8
К.с-х.н., доцент, доцент кафедры организации перевозок и безопасности движения
E-mail: korablev_ruslan@mail.ru

Бусарин Эдуард Николаевич
Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова
Адрес: 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8
К.т.н., доцент, доцент кафедры организации перевозок и безопасности движения
E-mail: busarin.eduard@mail.ru

Гукетлев Эльдар Юсуфович
Майкопский государственный технологический университет
Адрес: 385000, Республика Адыгея, г. Майкоп, ул. Первомайская, 210
Старший преподаватель кафедры автомобильного транспорта
E-mail: kaf_outp@mkgtu.ru

V.P. BELOKUROV, R.A. KORABLEV, E.N. BUSARIN, E.YU. GUKETLEV

SIMULATION OF PASSENGER TRAFFIC DEPENDING ON CHANGES IN PASSENGER FLOW DURING THE YEAR

Abstract. *The article discusses the current state of the organization of passenger transportation, which has a number of common problems, the solution of which is very relevant. The instability of passenger flows during the year, which is especially typical for the cities of the South of Russia during the summer holidays, causes an urgent need to reorganize the process of managing transport processes through the use of optimization solutions. The greatest efficiency in this case can be achieved through the use of an optimal system for managing transport services for the population of cities while ensuring the quality of the transportation process.*

Keywords: *passenger traffic, transport process, passenger traffic, management optimization, quality of service*

BIBLIOGRAPHY

1. Ayzerman, M.A. Vybor variantov: osnovy teorii - M.: Nauka, 1990. - 240 s.
2. Berezovskiy, B.A. Binarnye otnosheniya v mnogokriterial`noy optimizatsii - M.: Nauka, 1981. - 125 s.
3. Belokurov S.V., Belokurov V.P. Optimizatsiya mnogotselevykh transportnykh zadach pri ispol`zovanii algoritma analiza i otseva na iteratsiyakh poiska resheniy // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. - Moskva: VINITI RAN. - №6. - 2009. - S. 2-4.

4. Belokurov S.V., Belokurov V.P. Modeli mnogokriterial`nogo poetapnogo vybora v informatsionnykh sistemakh upravleniya transportnymi protsessami // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. - Moskva: VINITI RAN. - 2009. - №8. - S. 11-14.

5. Belokurov S.V., Skryl` S.V., Belokurov V.P. Osobennosti modeli optimal`nogo upravleniya protsessa otseva resheniy na baze sinteza teorii vybora v transportnykh sistemakh // Transport. Nauka, tekhnika, upravlenie: nauch. inform. sb. RAN. - Moskva: VINITI. - 2010. - №1. - S. 5-9.

6. Belokurov S.V., Sumin V.I., Kuznetsova L.D., Kashutin S.V. Modeli vybora v usloviya vektornoy otsenki kachestva // Matematicheskoe modelirovanie i informatsionnye tekhnologii v sfere obsluzhivaniya potrebiteley: Materialy III Mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Sochi: SGUTiKD, 2007. - S. 75-76.

7. Belokurov S.V., Sumin V.I., Pitolin M.V., Kashutin S.V. Zadacha vybora optimal`nykh variantov na osnove veroyatnostnogo podkhoda // Vestnik VGTU. Ser. Radioelektronika i sistemy svyazi. - 2006. - №7. - S. 59-62.

8. Belokurov V.P., Belokurov S.V., Skryl` S.V. Prinyatie resheniy dlya effektivnogo upravleniya transportnymi sistemami na osnove situatsiy vybora // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie: Nauchnyy informatsionnyy sbornik VINITI RAN. - №2. - 2010. - S. 6-12.

9. Belokurov V.P., Motuzka D.A., Artemov A.Yu. Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii avtotransporta pri osushchestvlenii sezonnykh passazhirskikh perevozok v gorodakh kurortnykh zon // Tekhnologiya kolesnykh i gusenichnykh mashin. - 2015. - №3. - S. 25-33.

10. Belyakov, V.V. Mnogokriterial`naya optimizatsiya v zadachakh otsenki podvizhnosti, konkurentosposobnosti avtotraktornoy tekhniki i diagnostiki slozhnykh tekhnicheskikh sistem - N. Novgorod: NNGTU, 2001. - 271 s.

11. Velichko, S.V. Sintez funktsiy vybora na iteratsiyakh poiska v chislennykh modelyakh mnogokriterial`noy optimizatsii: Monografiya - Voronezh: Voronezh. gos. lesotekhn. akad, 2004. - 126 s.

12. Larichev, O.I. Teoriya i metody prinyatiya resheniy - M.: Logos, 2000. - 296 s.

13. Sholomov, M.V. Logicheskie metody issledovaniya diskretnykh modeley vybora - M: Nauka. - 1989. - 287 s.

14. Gottlich S., Klar A. Model hierarchies and optimization for dynamic flows on networks // Modeling and optimization of flows on networks. - Cetaro.: S.I.M.E., 2009. - 150 p.

15. Garrison, W.L. Tomorrow's transportation: changing cities, economies, and lives // Norwood: Artech House, 2000. - 316 p.

16. Belokurov S.V., Belokurov V.P., Zolnikov V.K., Cherkasov O.N. Methods of multicriteria optimization in problems of simulation of trucking industry // Transportation research procedia. - 2017. - №20. - P. 47-52.

17. Hibbs, J. Transport policy: the mith of integrated planning - London: the institute of economic affairs, 2000. - 111 p.

18. Kaufmann A., Gupta M.M. Fuzzy mathematical models in engineering and management science - Amsterdam: North-Holland, 1998. - 195 p.

19. Kall P., Wallance S.W. Stochastic programming // John wiley and sons. - Chichester. - 1994. - 317 p.

20. Shen X., Yao X. Mathematical modeling and multiobjective evolutionary algorithms applied to dynamic flexible job shop scheduling problems // Information Scienees. - 2015. - Vol. 298. - R. 198-224.

Belokurov Vladimir Petrovich
Voronezh state forestry University
Adress: 394087, Russia, Voronezh, Timiryazev str., 8
Doctor of technical sciences
E-mail: opbd_vglta@mail.ru

Busarin Eduard Nikolaevich
Voronezh state forest engineering University
Adress: 394087, Russia, Voronezh, Timiryazev str., 8
Candidate of technical sciences
E-mail: busarin.eduard@mail.ru

Korablev Ruslan Aleksandrovich
Voronezh state forestry University
Adress: 394087, Russia, Voronezh, Timiryazev str., 8
Candidate of agricultural sciences
E-mail: korablev_ruslan@mail.ru

Guketlev Eldar Yusufovich
Maikop State Technological University
Adress: 385000, Republic of Adygea, Maykop
Senior Lecturer
E-mail: kaf_outp@mkgtu.ru

Научная статья
УДК 656.13
doi:10.33979/2073-7432-2022-1(79)-4-70-79

В.И. РАССОХА, Н.А. НИКИТИН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВИДА ДТП ОТ УЧАСТКА КОЛЬЦЕВОГО ПЕРЕСЕЧЕНИЯ

Аннотация. *В работе выявлена взаимосвязь между различными типами дорожно-транспортных происшествий, местом их возникновения и конфигурацией кольцевой проезжей части. Материалом для анализа послужили данные о 321 происшествии на 19 кольцевых пересечениях. Предлагается внести изменения в существующую классификацию ДТП, используя в качестве критерия разделение не по участникам аварии, а по характеру происшествия. Разделение кольцевых пересечений на участки для детализации местоположения аварии позволяет сделать выводы о характере ДТП и влиянии конструкции кольцевого пересечения на безопасность.*

Ключевые слова: *улично-дорожная сеть, кольцевое пересечение, безопасность, классификация дорожно-транспортных происшествий*

Введение

Кольцевые пересечения – это тип конфигурации перекрёстков, прочно ассоциирующийся с повышенным уровнем безопасности дорожного движения. Международные исследования перекрёстков, преобразованных из обычных в кольцевые, указывают на значительное сокращение дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с пострадавшими, особенно аварий с серьёзными травмами и смертельным исходом [1-7]. Кольцевые пересечения повышают безопасность дорожного движения благодаря уменьшению числа конфликтных точек и снижению скорости движения, что приводит к снижению тяжести последствий ДТП [8].

Исследования иностранных учёных выявили три преобладающих типа ДТП на кольцевых пересечениях: столкновения въезжающих транспортных средств и движущихся по кольцевой проезжей части, столкновения на выездах с кольца и столкновения с впереди идущими транспортными средствами [9-13].

Большое количество исследований сосредоточено на характеристиках безопасности движения на кольцевых пересечениях, но ввиду особенностей сбора данных о ДТП на территории Российской Федерации практически отсутствует информация о точном месте аварии.

Целью работы является выявление взаимосвязи между различными типами ДТП, местом их возникновения и конфигурацией кольцевой проезжей части.

Материал и методы

Материалом для анализа послужила информация о ДТП, произошедших в период с 2015 г. по 2021 г. включительно. Данные для исследований взяты из открытых источников, а именно из базы данных ГИБДД и автомобильных сообществ. Суммарно была получена информация о 321 ДТП, повлёкших материальный ущерб или травмы, в том числе 315 ДТП на 13 многополосных кольцевых пересечениях, 5 ДТП на 5 кольцах с двухполосным движением и 1 ДТП на кольцевом пересечении с однополосным движением. Для классификации происшествий было произведено разделение условного кольцевого пересечения на определённое количество участков в соответствии с идеями повышения точности описания ДТП, полученными по результатам работ исследователей Мандавилли [9] и Монтелла [10].

Теория

Авторы статьи предлагают выделить 11 участков на кольцевом пересечении, что позволит лучше понять, что привело к ДТП, а также точно учесть местоположение транспортного средства на кольце. Для каждого участка определяется преобладающий тип ДТП, что в свою очередь связывает причины возникновения аварии с характеристиками и конфигурацией кольцевой проезжей части. Разделение на отдельные участки позволяет учесть большое разнообразие в конфигурациях кольцевых пересечений. На рисунке 1 представлено пересечение, включающее в себя наибольшее число элементов, например, присутствует выделенная полоса для правого поворота. Подобный подход уже применялся к другим типам пересе-

© Рассоха В.И., Никитин Н.А., 2022

чений, например, нерегулируемым перекрёсткам [14, 15], съездам с автомагистралей [16] и на служебных дорогах [17].

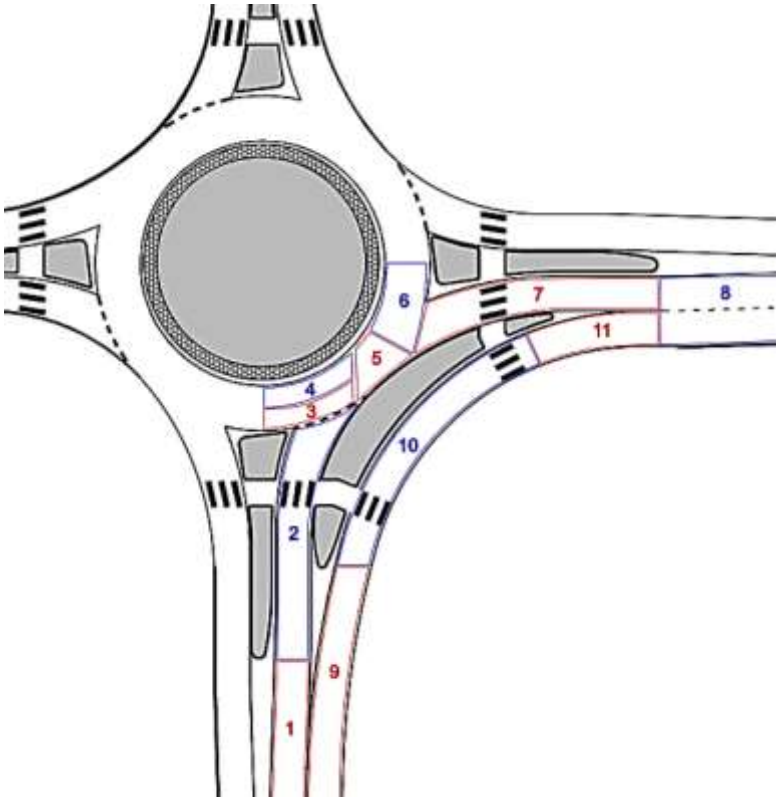


Рисунок 1 - Разделение кольцевого пересечения на участки

Результаты

Ввиду большого количества различных проектов кольцевых пересечений, были определены общие характеристики каждого участка (табл. 1).

Таблица 1 - Участки кольцевых пересечений и их описание

Участок кольцевого пересечения (рис. 1)	Описание
Подход и въезд на кольцо	
Участок 1	25-150 м до кольцевой проезжей части. Входящие транспортные потоки и очереди, связанные с заторами.
Участок 2	0-25 м до кольцевой проезжей части, вплоть до разметки. Включает в себя пешеходные переходы.
Кольцевая проезжая часть	
Участок 3	Расположен на въезде на кольцевую проезжую часть сразу за разделительной разметкой. В случае многополосного кольца – внешняя и средняя полосы движения.
Участок 4	Продолжение участка 3. Расположен напротив въезда на кольцо. При наличии, включает в себя фартук для проезда грузовых транспортных средств. В случае многополосного кольца – внутренняя полоса.
Участок 5	Расположение на кольцевой проезжей части, в зоне конфликтных точек переплетения транспортных потоков. Начало и конец участка желательно располагать на расстоянии 5-10 м от въездов и выездов.
Участок 6	Расположен на кольцевой проезжей части напротив съезда с кольца.
Съезд с кольца	
Участок 7	0-25 м после кольцевой проезжей части. Включает в себя пешеходные переходы.
Участок 8	25-200 и более метров. Исходящий транспортный поток. Размер зо-

Участок кольцевого пересечения (рис. 1)	Описание
	ны зависит от расположения ближайших перекрёстков.
Выделенный правый поворот	
Участок 9	Начало полосы для выделенного поворота на уширении проезжей части.
Участок 10	Участок, включающий в себя пешеходные переходы на въезде и выезде с кольца.
Участок 11	Окончание полосы для выделенного поворота на сужении проезжей части.

Распределение происшествий по кольцевым пересечениям и тяжести последствий

Для отображения реальной ситуации на пересечениях, к официальной статистике, которая учитывает только происшествия с пострадавшими, были добавлены данные об авариях с материальным ущербом, которые составили 82 % от общего числа аварий. Данные были распределены с учётом кольцевых пересечений, на которых произошло ДТП (табл. 2).

Таблица 2 - Распределение ДТП по кольцевым пересечениям и тяжести последствий

№ пересечения	Кол-во ДТП	ДТП с пострадавшими	ДТП с тяжёлыми травмами	ДТП с погибшими	ДТП с материальным ущербом
1	2	3	1	2	3
1	186	12	2	1	174
2	15	4	0	0	11
3	5	4	0	0	1
4	8	8	2	0	0
5	7	7	1	0	0
6	27	10	1	1	17
7	61	2	0	0	59
8	0	0	0	0	0
9	5	3	1	0	2
10	1	1	0	0	0
11	1	1	0	1	0
12	0	0	0	0	0
13	1	1	0	0	0
14	0	0	0	0	0
15	1	1	1	0	0
16	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0
18	2	2	0	0	0
19	1	1	0	0	0
Итого	**321**	**57**	**8**	**3**	**264**
	100,00%	17,76%	2,49%	0,93%	82,24%

Кольцевые пересечения под номерами 1, 6 и 7 характеризуются наибольшим числом ДТП, что обусловлено их расположением на пересечении магистральных городских улиц и высокой интенсивностью движения. Однако, кольцевые пересечения 2, 4 и 9 также расположены в аналогичных условиях, но количество происшествий на них резко отличается в меньшую сторону. Подобная разница может быть обусловлена разными факторами, наиболее вероятным из которых является отсутствие точной информации о ДТП с материальным ущербом.

Распределение происшествий по участкам

Наибольшее количество аварий произошло в зоне переплетения потоков на кольцевой проезжей части (табл. 3).

Таблица 3 - Распределение ДТП по участкам на кольцевых пересечениях

Участок кольцевого пересечения	Всего ДТП	В %	Участок кольцевого пересечения	Всего ДТП	В процентах
Все участки	321	100,00	Участок 7	47,00	14,64
Участок 1	22,00	6,85	Участок 8	9,00	2,80
Участок 2	33,00	10,28	Участок 9	3,00	0,93
Участок 3	21,00	6,54	Участок 10	1,00	0,31
Участок 4	4,00	1,25	Участок 11	3,00	0,93
Участок 5	65,00	20,25	**Итого по участкам**		**74,77**
Участок 6	32,00	9,97	Участок неизвестен		25,23

Следующими по уровню с минимальной разницей в количестве происшествий идут участки на въездах и выездах кольцевого пересечения. Минимальное количество ДТП зафиксировано на участках 9, 10 и 11, что может быть связано с тем фактом, что из 19 кольцевых пересечений лишь одно имеет выделенные правые повороты.

Также следует отметить, что для 25 % происшествий невозможно определить участок кольцевого пересечения, ввиду отсутствия точной схемы ДТП. Данную проблему можно решить, применив иностранный опыт составления диаграмм столкновений для определения характера ДТП [10, 11]. Преимуществом такого подхода является наглядное определение преобладающих типов аварий на кольцевом пересечении, а также манёвров транспортных средств, которые привели к столкновению. С помощью графического оформления стрелок можно кодировать информацию о времени дня, погоде, видам участников ДТП и степени тяжести травм.

Ещё одним подходом к сбору данных о ДТП может быть использование нейросетей, позволяющих обрабатывать данные о транспортных потоках в реальном времени с помощью видеокамер, расположенных вблизи улиц и дорог. Опыт по сбору такой информации уже применялся российскими исследователями [18]. Дальнейшим развитием подобных систем детектирования может быть регистрация транспортных происшествий с возможностью реконструкции траекторий участников дорожного движения, что позволит проанализировать причины возникновения ДТП для предотвращения аналогичных аварий в будущем.

Типы происшествий

На территории Российской Федерации выделяют девять видов ДТП [19]: 1) наезд на стоящее транспортное средство; 2) наезд на препятствие; 3) наезд на пешехода; 4) наезд на велосипедиста; 5) наезд на животное; 6) наезд на гужевой транспорт; 7) столкновение; 8) опрокидывание; 9) прочие происшествия.

Анализ данной классификации показал, что она не отвечает основным задачам исследования. В связи с этим предлагается иная классификация (табл. 4), которая позволяет более полно описать происходящие на кольцевых пересечениях виды происшествий:

Таблица 4 - Классификация ДТП для кольцевых пересечений

Вид ДТП	Описание
Съезд с дороги (проезжей части)	Происшествие с участием одного транспортного средства, при котором транспортное средство выезжает с дороги и сталкивается с внедорожным объектом, например, дорожным знаком или островком безопасности.
Столкновение с центральным островком	Происшествие с участием одного транспортного средства, при которой транспортное средство сталкивается с центральным островком.
Неверный выбор направления движения	Участник движения въезжает на кольцевое пересечение в недопустимом направлении или движется по кольцевой проезжей части в неверном направлении.
Наезд сзади	Происшествие, при котором транспортное средство сталкивается с задней частью впереди идущего транспортного средства.
Потеря управления	Происшествие, произошедшее в результате потери управления одним или несколькими участниками дорожного движения.
Наезд на уязвимых участников дорожного движения	Комплексное понятие, включающее в себя наезд на пешеходов, велосипедистов, мотоциклистов и пользователей средств малой мобильности.

Вид ДТП	Описание
Столкновение на въезде	Происшествие, при котором въезжающее транспортное средство не уступает дорогу и сталкивается с транспортным средством, движущимся по кольцевой проезжей части.
Боковой удар	Происшествие, произошедшее при перестроении на кольцевой проезжей части или на съезде с кольцевого пересечения.
Падение пассажира	Происшествие, при котором произошло падение пассажира в общественном транспорте.

Предложенная классификация была разработана на основе анализа наиболее часто встречающихся происшествий и позволяет произвести разделение не по участникам, а по характеру происшествия, однако, предложенные выше виды ДТП могут быть изменены, например, «столкновение с центральным островком» может быть объединено с «потерей контроля». Следует отметить, что российские исследования по выявлению факторов, влияющих на ДТП [20], позволят в дальнейшем доработать данную классификацию, а также определить, какую информацию необходимо заносить в диаграмму происшествия для дальнейшего учёта.

Связь между видом происшествия и местоположением на проезжей части

Виды ДТП были распределены по участкам на кольцевом пересечении в соответствии с местом их возникновения (табл. 5).

Таблица 5 - Виды ДТП, распределённые по участкам на кольцевом пересечении

Вид ДТП	Кол-во ДТП	В %	Вид ДТП	Кол-во ДТП	В %
1	2	3	1	2	3
Все участки	**321**	**100,00**	**Наезд на уязвимых участников дорожного движения**	**26**	**8,10**
Съезд с дороги	**4**	**1,25**	Участок 1	1	0,31
Участок 7	2	0,62	Участок 2	11	3,43
Участок 9	1	0,31	Участок 5	1	0,31
Участок 11	1	0,31	Участок 7	10	3,12
Столкновение с центральным островком	**3**	**0,93**	Участок 8	2	0,62
Участок 4	3	0,93	Участок 10	1	0,31
Неверный выбор направления движения	**2**	**0,62**	**Столкновение на въезде**	**15**	**4,67**
Участок 3	2	0,62	Участок 2	2	0,62
Наезд сзади	**57**	**17,76**	Участок 3	9	2,80
Участок 1	2	0,62	Участок 5	3	0,93
Участок 2	8	2,49	**Боковой удар**	**78**	**24,30**
Участок 3	6	1,87	Участок 1	11	3,43
Участок 5	19	5,92	Участок 2	5	1,56
Участок 6	3	0,93	Участок 3	2	0,62
Участок 7	10	3,12	Участок 4	1	0,31
Участок 8	6	1,87	Участок 5	22	6,85
Участок 9	1	0,31	Участок 6	22	6,85
Участок 11	2	0,62	Участок 7	15	4,67
Потеря управления	**6**	**1,87**	**Падение пассажира**	**5**	**1,56**
Участок 5	2	0,62	Участок 1	1	0,31
Участок 6	1	0,31	Участок 3	1	0,31
Участок 7	2	0,62	Участок 5	1	0,31
Участок 9	1	0,31	Участок 6	1	0,31
			Участок 7	1	0,31

Данные таблицы 6 показывают, что значительное число аварий произошло на участках 5 и 7. Наезд сзади наиболее часто происходил в зоне переплетения потоков на кольце и на выезде – на участке 7. Столкновения на въезде происходили на участке 5 из-за особенностей участников и конфигурации кольцевых пересечений, в этом случае одним из участников ДТП являлось крупногабаритное грузовое транспортные средства. Участки 2 и 7 характеризуются преобладанием ДТП с уязвимыми участниками дорожного движения. Происшествия с боковым ударом наиболее часто происходили на участках 1, 5, 6 и 7, что большей частью связано с наличием нескольких полос на подходе к кольцу и непосредственно на кольцевой проезжей части. Исключительно на участке 3 встречалось проблема с неверным выбором направления движения, однако размер выборки этого типа аварии очень мал, чтобы делать какие-то дальнейшие выводы.

На четыре основных вида ДТП – наезд сзади, наезд на уязвимых участников дорожного движения, столкновение на въезде и боковой удар – приходится более половины (55 %) от всех происшествий на кольцевых пересечениях.

Анализ ДТП на кольцевых пересечениях по территории Российской Федерации

В рамках исследования отдельно был произведён автоматизированный сбор и анализ ДТП на кольцевых пересечениях с помощью статистической информации, опубликованной на официальном сайте Министерства внутренних дел Российской Федерации «Сведения о показателях состояния безопасности дорожного движения» [21].

В связи с отсутствием единого перечня кольцевых пересечений на территории Российской Федерации, поиск производился по ключевому словосочетанию «Нерегулируемое пересечение с круговым движением» в разделе «Объекты улично-дорожной сети». Выборка была сформирована за период с 01.01.2015 по 31.12.2021 гг. (информация о ДТП ранее 2015 г. недоступна на официальном сайте).

Сводная статистика по ДТП на кольцевых пересечениях представлена в таблице 6.

Таблица 6 - ДТП на кольцевых пересечениях

Общее количество происшествий	5 219
Количество участников	12 455
Общее количество травмированных, из них:	6 247
автомобилистов	5 135
пешеходов	712
мотоциклистов	381
велосипедистов	161
передвигавшихся на средствах индивидуальной мобильности	6
Общее количество смертей, из них:	233
автомобилистов	160
пешеходов	37
мотоциклистов	26
велосипедистов	8
передвигавшихся на средствах индивидуальной мобильности	0

В связи с наличием ДТП со смертельным исходом представляется целесообразным более подробно проанализировать, каким образом происходило распределение по годам для сравнения показателей. Количество смертельных ДТП на кольцевых пересечениях по годам представлено на рисунке 2.

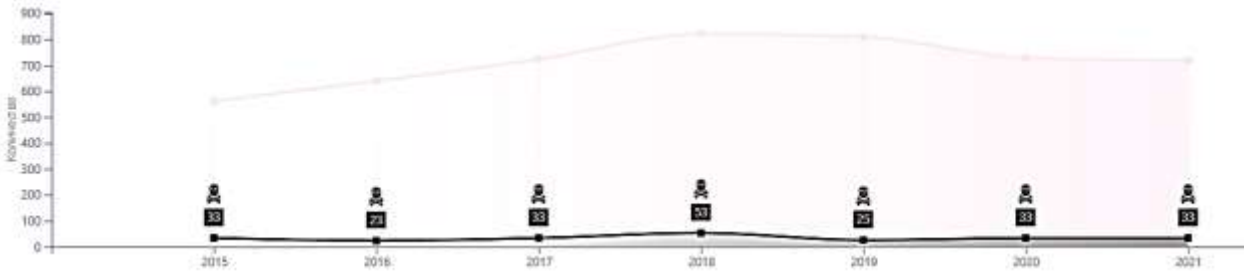


Рисунок 2 - Количество смертельных ДТП на кольцевых пересечениях

На графике можно отметить резкий рост числа смертельных ДТП в 2018 г. с последующим снижением в два раза в 2019 г. Данный рост может быть связан с установлением 26.10.2017 г. Постановлением Правительства РФ № 1300 «О внесении изменений в Правила дорожного движения Российской Федерации» приоритета проезда перекрестка с круговым движением. Данный факт требует дополнительного анализа и может быть рассмотрен в дальнейшем в рамках отдельного исследования.

Также следует отметить, что количество смертельных ДТП в период с 2015 по 2021 гг. не имело явной тенденции к снижению. Однако необходимо подчеркнуть, что ввиду отсутствия единого перечня кольцевых пересечений, в котором было бы указано общее количество пересечений с учётом года введения в эксплуатацию, говорить о негативной тенденции в части смертельных ДТП не представляется возможным.

Отдельно были проанализированы факторы, которые могли негативно повлиять на вероятность возникновения ДТП с привязкой к количеству происшествий (табл. 7).

Таблица 7 - Факторы, влияющие на вероятность возникновения ДТП

Освещённость		
Светлое время суток	3 260	62,5 %
Темное время суток, освещение включено	1 610	30,8 %
Темное время суток, освещение отсутствует	189	3,6 %
Погодные условия		
Ясно	3 094	58,0 %
Пасмурно	1 770	33,2 %
Дождь	264	5,0 %
Дорожное покрытие		
Сухое	3 642	69,8 %
Мокрое	1 031	19,8 %
Обработанное противогололедными материалами	339	6,5 %

Полученные результаты представляют наибольший интерес в связи с тем, что условия, в которых происходило наибольшее количество ДТП, могут считаться оптимальными с точки зрения безопасности дорожного движения.

Таким образом, по результатам автоматизированного анализа ДТП можно сделать вывод о том, что в случае с кольцевыми пересечениями наиболее существенным параметром, который влияет на вероятность возникновения ДТП, является человеческий фактор.

В дальнейших исследованиях необходимо детальнее проанализировать статистические данные с разбором карточек происшествий.

Обсуждение

Основной задачей данной работы было определение видов происшествий на кольцевых пересечениях в зависимости от локации. Количество проанализированных пересечений было относительно небольшим (19 колец), и вследствие этого исследование может иметь некоторые ограничения. Однако целью авторов было не сравнение кольцевых пересечений между собой, а определение видов преобладающих ДТП, а также мест их возникновения. Полученная выборка из 321 ДТП на кольцевых пересечениях с данной задачей справилась.

Есть основание полагать, что разделение кольцевых пересечений на участки и определение наиболее часто возникающих на этих участках происшествий позволит получить в дальнейшем новые данные о характере ДТП и влиянии на их возникновение конфигурации кольцевой развязки.

Полученные результаты показывают, что ДТП чаще происходили на участке переплетения потоков (участок 5), въездах (участки 1-3) и выездах (участки 6 и 7). Также определены четыре наиболее часто встречающихся вида происшествий. Боковой удар является самым часто встречающимся видом ДТП на исследуемых пересечениях. Самый высокий процент таких происшествий наблюдается на участке переплетения потоков и на участках выезда, что свидетельствует о нарушении водителями траектории движения и несоблюдении безопасной дистанции при перестроении. Наезды сзади чаще всего случались на участке переплетения потоков на кольцевой проезжей части и на выезде (участок 7). С точки зрения безопасности дорожного движения результаты исследования указывают на наличие системной проблемы на многополосных кольцевых пересечениях, которая проявляется возникновением аварий в наиболее конфликтных местах.

Пешеходные переходы, расположенные вблизи кольцевых пересечений, являются источником повышенной опасности, что заметно по преобладанию данного вида ДТП на участках 2 и 7. Возможно, несмотря на снижение скорости на подходе к кольцевому пересечению, сложность участка улично-дорожной сети вынуждает водителя распределять внимание на большое число внешних факторов, что приводит к повышенной утомляемости и невнимательности. В связи с этим, рекомендуется обустраивать пешеходные переходы на удалении от кольцевых пересечений для повышения безопасности уязвимых участников дорожного движения, что является устоявшейся практикой в других странах [7, 22].

Автоматизированный анализ ДТП позволил прийти к выводу, что погодные и дорожные условия не оказывают существенного влияния на вероятность ДТП на кольцевых пересечениях, так как их преобладающее количество произошло в ясную погоду, светлое время суток и при сухом покрытии.

Выводы

Результаты работы выявили перспективные направления для дальнейших исследований. В будущих исследованиях ДТП, происходящих на кольцевых пересечениях, следует дополнительно изучить взаимосвязь между преобладающими видами ДТП, их местом с точки зрения определенных участков пересечения и характеристиками кольцевой развязки, такими как ограничение скорости, местоположение (городское или региональное), геометрические характеристики проезжей части, многополосность кольца и наличие выделенных правых поворотов.

Дальнейшие развитие исследований ДТП зависит непосредственно от качества и количества собранных исходных данных, что требует изменения подхода к их сбору и обработке. Предлагается сделать обязательной передачу данных от страховых компаний и аварийных комиссаров информации о ДТП, повлёкших за собой только материальный ущерб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brude U., Larsson J. What roundabout design provides the highest possible safety // Nord. road Transp. Res. - 2000. - Vol. 2. - P. 17-21.

2. De Brabander B., Nuyts E., Vereeck L. Road safety effects of roundabouts in Flanders // J. Safety Res. - 2005. - Vol. 36. - №3. - P. 289-296.

3. Elvik R. Effects on road safety of converting intersections to roundabouts: Review of evidence from non-U.S. studies // Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board. - 2003. - Vol. 1847. - №1. - P. 1-10.

4. Elvik R. et al. The handbook of road safety measures // Emerald group publishing limited. - 2009. - 1078 p.

5. Retting R.A. et al. Crash and injury reduction following installation of roundabouts in the United States // Am. J. Public Health. - 2001. - Vol. 91. - №4. - P. 628-631.

6. Transportation research board. Roundabouts: an informational guide – second edition. - Washington, DC: The national academies press, 2010. - 396 p.

7. Rodegerdts L. et al. Roundabouts in the United States // Washington, D.C.: Transportation research board. - 2007. - 116 p.

8. Jensen S.U. Safety effects of converting intersections to roundabouts // Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board. - 2013. - Vol. 2389. - №1. - P. 22-29.

9. Mandavilli S., McCartt A.T., Retting R.A. Crash patterns and potential engineering countermeasures at maryland roundabouts // Traffic Inj. Prev. - 2009. - Vol. 10. - №1. - P. 44-50.

10. Montella A. Identifying crash contributory factors at urban roundabouts and using association rules to explore their relationships to different crash types // Accid. Anal. Prev. - 2011. - Vol. 43. - №4. - P. 1451-1463.

11. Park M., Lee D., Park J.-J. An investigation of the safety performance of roundabouts in korea based on a random parameters count model // J. Adv. Transp. - 2018. - Vol. 2018. - P. 1-8.

12. Isebrands H. Crash analysis of roundabouts at high-speed rural intersections // Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board. - 2009. - Vol. 2096. - №1. - P. 1-7.

13. Никитин Н.А., Рассоха В.И. Безопасность велосипедистов на кольцевых пересечениях: краткий обзор и анализ литературы // Прогрессивные технологии в транспортных системах: материалы XVI международной научно-практической конференции. – Оренбург: ФГБОУ ВО «ОГУ». - 2021. – С. 369-376.

14. Retting R.A., Weinstein H.B., Solomon M.G. Analysis of motor-vehicle crashes at stop signs in four U.S. cities // J. Safety Res. - 2003. - Vol. 34. - №5. - P. 485-489.

15. Gstalter H., Fastenmeier W. Reliability of drivers in urban intersections // Accid. Anal. Prev. - 2010. - Vol. 42. - №1. - P. 225-234.

16. Praticò F., Vaiana R., Gallelli V. Transport and traffic management by micro simulation models: operational use and performance of roundabouts // Urban Transport XVIII. A Coruña, Spain. - 2012. - Vol. 128. - P. 383-394.

17. Khattak A.J., Targa F. Injury severity and total harm in truck-involved work zone crashes // Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board. - 2004. - Vol. 1877. - №1. - P. 106-116.

18. Khazukov K. et al. Real-time monitoring of traffic parameters // J. Big Data. - 2020. - Vol. 7. - №1. - P. 84.

19. Martynyuk S.N. Problems of classification and analysis of road traffic accidents // Soc. Polit. Econ. law. - 2016. - №3. - P. 134-136.

20. Yakupova G., Buyvol P., Shepelev V. Identification of factors affecting the road traffic injury rate // Transp. Res. Procedia. - 2020. - Vol. 50. - P. 735-742.

21. РФ Г.М. Сведения о показателях состояния безопасности дорожного движения [Электронный ресурс] / 2015-2022. - 2022. – Режим доступа: http://stat.gibdd.ru/

22. Никитин Н.А. Анализ эффективности кольцевого пересечения с пешеходными переходами // Вестник Иркутского государственного технического университета. - 2018. - Т. 22. - №11. - С. 231-240.

Рассоха Владимир Иванович
Оренбургский государственный университет
Адрес: 460018, Россия, г. Оренбург, проспект Победы, д. 13
Д.т.н., доцент, декан транспортного факультета
E-mail: cabin2012@yandex.ru.

Никитин Николай Андреевич
Балтийский федеральный университет им. И. Канта
Адрес: 436041, Россия, г. Калининград, ул. Александра Невского, д. 14
Заведующий лабораторией кафедры машиноведения и технических систем
E-mail: NiNikitin@kantiana.ru

V.I. RASSOKHA, N.A. NIKITIN

DETERMINATION OF DEPENDENCE OF THE ROAD ACCIDENT TYPE ON THE SEGMENT OF ROUNDABOUT

***Abstract**. The paper identifies the relationship between different types of road accidents, their place of occurrence and the configuration of the roundabout. The analysis was based on 321 incidents at 19 roundabouts. It is proposed to make changes to the existing classification of the accidents, using as a criterion the division not by the participants of the accident, but by the nature of the accident. The division of roundabouts into segments to detail the location of the accident allows for the conclusion about the nature of the accident and the impact of the structure of the roundabout on safety.*

***Keywords:** road network, roundabout, safety, classification of road accidents*

BIBLIOGRAPHY

1. Brude U., Larsson J. What roundabout design provides the highest possible safety // Nord. road Transp. Res. - 2000. - Vol. 2. - P. 17-21.

2. De Brabander B., Nuyts E., Vereeck L. Road safety effects of roundabouts in Flanders // J. Safety Res. - 2005. - Vol. 36. - №3. - P. 289-296.

3. Elvik R. Effects on road safety of converting intersections to roundabouts: Review of evidence from non-U.S. studies // Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board. - 2003. - Vol. 1847. - №1. - P. 1-10.

4. Elvik R. et al. The handbook of road safety measures // Emerald group publishing limited. - 2009. - 1078 p.

5. Retting R.A. et al. Crash and injury reduction following installation of roundabouts in the United States // Am. J. Public Health. - 2001. - Vol. 91. - №4. - P. 628-631.

6. Transportation research board. Roundabouts: an informational guide - second edition. - Washington, DC: The national academies press, 2010. - 396 p.

7. Rodegerdts L. et al. Roundabouts in the United States // Washington, D.C.: Transportation research board. - 2007. - 116 p.

8. Jensen S.U. Safety effects of converting intersections to roundabouts // Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board. - 2013. - Vol. 2389. - №1. - P. 22-29.

9. Mandavilli S., McCartt A.T., Retting R.A. Crash patterns and potential engineering countermeasures at maryland roundabouts // Traffic Inj. Prev. - 2009. - Vol. 10. - №1. - P. 44-50.

10. Montella A. Identifying crash contributory factors at urban roundabouts and using association rules to explore their relationships to different crash types // Accid. Anal. Prev. - 2011. - Vol. 43. - №4. - P. 1451-1463.

11. Park M., Lee D., Park J.-J. An investigation of the safety performance of roundabouts in korea based on a random parameters count model // J. Adv. Transp. - 2018. - Vol. 2018. - P. 1-8.

12. Isebrands H. Crash analysis of roundabouts at high-speed rural intersections // Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board. - 2009. - Vol. 2096. - №1. - P. 1-7.

13. Nikitin N.A., Rassokha V.I. Bezopasnost` velosipedistov na kol`tsevykh peresecheniyakh: kratkiy obzor i analiz literatury // Progressivnye tekhnologii v transportnykh sistemakh: materialy XVI mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Orenburg: FGBOU VO «OGU». - 2021. - S. 369-376.

14. Retting R.A., Weinstein H.B., Solomon M.G. Analysis of motor-vehicle crashes at stop signs in four U.S. cities // J. Safety Res. - 2003. - Vol. 34. - №5. - P. 485-489.

15. Gstalter H., Fastenmeier W. Reliability of drivers in urban intersections // Accid. Anal. Prev. - 2010. - Vol. 42. - №1. - P. 225-234.

16. Pratic F., Vaiana R., Gallelli V. Transport and traffic management by micro simulation models: operational use and performance of roundabouts // Urban Transport XVIII. A Coru?a, Spain. - 2012. - Vol. 128. - P. 383-394.

17. Khattak A.J., Targa F. Injury severity and total harm in truck-involved work zone crashes // Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board. - 2004. - Vol. 1877. - №1. - P. 106-116.

18. Khazukov K. et al. Real-time monitoring of traffic parameters // J. Big Data. - 2020. - Vol. 7. - №1. - P. 84.

19. Martynyuk S.N. Problems of classification and analysis of road traffic accidents // Soc. Polit. Econ. law. - 2016. - №3. - P. 134-136.

20. Yakupova G., Buyvol P., Shepelev V. Identification of factors affecting the road traffic injury rate // Transp. Res. Procedia. - 2020. - Vol. 50. - P. 735-742.

21. RF G.M. Svedeniya o pokazatelyakh sostoyaniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya [Elektronnyy resurs] / 2015-2022. - 2022. - Rezhim dostupa: http://stat.gibdd.ru/

22. Nikitin N.A. Analiz effektivnosti kol`tsevogo peresecheniya s peshekhodnymi perekhodami // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. - 2018. - T. 22. - №11. - S. 231-240.

Rassokha Vladimir Ivanovich
Orenburg State University
Adress: 460018, Russia, Orenburg, Pobedy ave., 13
Doctor of technical sciences
E-mail: cabin2012@yandex.ru

Nikitin Nikolai Andreevich
Baltic Federal University
Adress: 436041, Russia, Kaliningrad, Alexander Nevsky str., 14
Head of the laboratory of the department of mechanical engineering and technical systems
E-mail: ninikitin@kantiana.ru

Научная статья
УДК 656.1
doi:10.33979/2073-7432-2022-1(79)-4-80-85

С.П. ВАКУЛЕНКО, А.С. КРАВЦОВ, Л.Р. АЙСИНА, А.П. ИВАНОВ

ОРГАНИЗАЦИЯ СОВМЕСТНЫХ ПАССАЖИРСКИХ АВТОПЕРЕВОЗОК НА МАЛОИНТЕНСИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ

Аннотация. *Представлено предложение использования личного транспорта для выполнения задач общественного на направлениях со слабоудовлетворительным потребительским качеством регулярного пассажирского сообщения. Рассмотрен зарубежный опыт организации совместных поездок на малоинтенсивных маршрутах. Предложены аспекты базирования концепции нового транспортного продукта. Обозначены области дальнейших исследований.*

Ключевые слова: *райдшеринг, карпулинг, совместные поездки, пассажирские перевозки, развитие малоинтенсивных направлений*

Введение

Россия отличается невысокой плотностью населения и транспортная доступность на хорошем или удовлетворительном уровне обеспечивается не на всей территории. Под хорошей транспортной доступностью понимается не только фактическое наличие маршрутов, но и частотность следования транспорта. В статистических сборниках при оценке доступности общественного транспорта отражается показатель количества транспортных средств на 100 тыс. населения, пассажирооборот или количество совершенных поездок, но показателю покрытия сети не уделяется должного внимания.

В России насчитывается порядка 155,8 тыс. населенных пунктов [1], из которых порядка 98 % относится к сельской местности. В то же время, регулярные перевозки обеспечивается лишь для 58 % сельских населенных пунктов (рис. 1). Многие рейсы обслуживаются морально и физически устаревшим подвижным составом, а качество перевозок (главным образом время в пути и частота рейсов) не соответствует требованиям пассажиров. Многие населённые пункты остаются без общественного транспорта даже при наличии автодорог или железнодорожных линий.

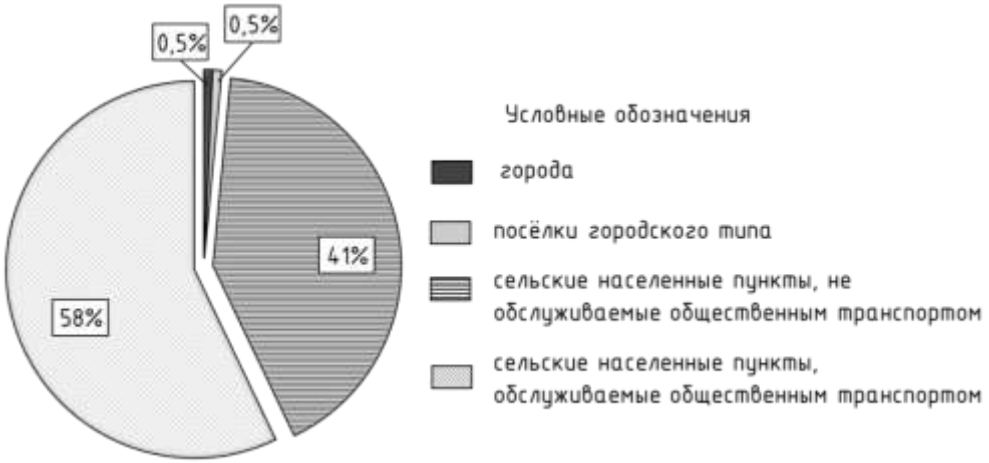


Рисунок 1 – Диаграмма распределения населенных пунктов в Российской Федерации

Материал и методы

Важным фактором сохранения приемлемого уровня качества жизни в сельских населённых пунктах является обеспечение устойчивой транспортной связи с магистральной сетью страны – фидерное сообщение.

Наиболее востребованные параметры потребительского качества пассажирского сообщения для фидерного транспорта:

- тариф (Т);
- частота движения или удобство расписания (Ч);
- пунктуальность - качество исполнения заявленного расписания и гарантированность исполнения рейса (П).

© Вакуленко С.П., Кравцов А.С., Айсина Л.Р., Иванов А.П., 2022

Фидерным транспортом как правило являются личные автомобили, такси, рейсовые автобусы, сильные и слабые стороны которых представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сильные и слабые стороны различных видов фидерного транспорта

Вид транспорта	Сильные стороны	Слабые стороны
личный транспорт	Ч, П	Т
такси	Ч	Т
рейсовые автобусы	Т	Ч,П

Высокий тариф для личного транспорта и такси повышает требования к общему уровню качества жизни в сельской местности и для определённых слоёв населения они не являются участниками рынка транспортных услуг.

Частичное использование личного автомобиля для выполнения функций общественного транспорта может существенно повысить в том числе доступность владения автомобилем – частично перекрыть расходы на эксплуатацию доходами от перевозки пассажиров.

Анализ мирового опыта показывает, что существует множество различных вариантов организации транспортного обслуживания пассажиров на малоинтенсивных маршрутах и организации перевозок пассажиров по принципам «райдшеринга» или транспорта по запросу, приведенных в таблице 2, обладающих следующими отличительными особенностями:

- тарифная и юридическая интеграция с общественным транспортом;
- применение гибких подходов к построению маршрутной сети и расписаний движения подвижного состава;
- государственное регулирование перевозок и установление на них стандартов;
- высокая степень информатизация перевозок.

Таблица 2 – Зарубежный опыт организации транспортного обслуживания на малоинтенсивных маршрутах [2-7]

Название сервиса	Подвижной состав	Способ заказа поездки	Мобильность маршрутной сети	Интеграция с общественным транспортом
Tele-Bus (Европа)	автобусы	По телефону	динамическая	существует
BerlKönig (Гермагия)	микроавтобусы	приложение	динамическая	отсутствует
MTS (США)	микроавтобусы	По телефону	фиксированная	существует
GRTC (США)	Автобусы	По телефону или приложение	фиксированная	Не полная
KCATA (США)	Автобусы	н/д	динамическая	существует
TNC (США)	Автобусы и легковые автомобили	По телефону или приложение	динамическая	Не полная

Проведенный анализ показывает возможность и необходимость узаконивания подобных поездок [8-12] и вывода качества пассажирских перевозок в мегаполисах и агломерациях на принципиально новый уровень.

Теория

Учитывая проблемы транспортной доступности небольших населенных пунктов и существующий опыт организации совместных поездок, авторами настоящей статьи предлагается инициация разработки проекта совместных поездок с поощрениями водителей, подчиняющегося государственному надзору и регулированию [13-15].

Концепция нового продукта должна состоять в следующих аспектах:

1) автолюбитель осуществляет поездку в личных целях;

2) от автолюбителя необходимо условие незначительной корректировки собственной поездки - явка в установленный пункт отправления в установленное время отправления;

3) автолюбитель получает установленный тариф от пассажиров, являющихся на выполняемый им рейс;

4) автолюбитель получает субсидию в размере тарифа за выполняемый им рейс по числу свободных мест в его транспортном средстве в случаях недостаточного количества явившихся пассажиров;

5) общий объём доходов водителя от выполняемого рейса ниже коммерческого дохода по поездке. Осуществление поездки без личных потребностей водителя нецелесообразна;

6) выполнение поездки фиксируется «цифровым» отчётом по установленной технологии;

7) число рейсов и явочное расписание устанавливается для каждого маршрута персонально (исполнительной властью субъекта РФ);

8) пассажиры получают новый качественный вид сообщения в пределах тарифа, установленного для автобусного транспорта;

9) сильными сторонами нового сообщения будут тариф и удобство расписания (частота движения), слабой стороной – пунктуальность.

Новый фидерный транспорт должен обеспечить минимальную нагрузку на бюджет и максимальное покрытие дорожной сети общественным транспортом, обеспечить приемлемый уровень качества в сельской местности.

Возможность заблаговременного бронирования поездки позволит планировать свое перемещение не только жителям населенных пунктов, покрываемых сетью совместных поездок, но и стать драйвером развития туризма [16].

Потенциальная клиентская база, не имеющая смартфонов, может «бронировать» поездки путем явки и формирования запроса в «учетном пункте», который может размещаться в магазине или другой «аттракторной точке» населенного пункта.

Локальные особенности поездок в каждом населенном пункте со временем сформируют понимание об оптимальном расписании, необходимом количестве транспортных средств на популярных маршрутах, необходимости наличия мест для размещения багажа и прочих характеристиках.

Для обеспечения безопасности водителя и пассажиров в мобильное приложение сервиса совместных поездок могут быть добавлены балльно-рейтинговая система, «кнопка SOS» и контрольные вопросы (в том числе с фотофиксацией) о состоянии водителя и пассажиров, ограничивающие доступ в транспортное средство лиц, находящихся в алкогольном опьянении и дисциплинирующие участников поездки [17, 18]. Дополнительной мерой безопасности пассажиров может выступать необходимость прохождения водителем короткого теста в мобильном приложении (например, теста Горбова-Шульте [19]), на внимание и скорость реакции, по аналогии с мерами, трестирующимися агрегатором каршеринга «Делимобиль» [20].

Для снижения рисков отсутствия заявки водителя на рейс менее чем за 4 часа до предполагаемого отправления пассажира, система может предложить поездку водителю, который в профиле при регистрации указал похожий маршрут в качестве одного из приоритетных или водителю, указавшему в карточке профиля при регистрации место жительства рядом с искомой точкой сбора.

Отличительной особенностью предлагаемого проекта и сервиса от уже существующих принципов организации совместных поездок пассажиров должно быть их субсидирование, которое станет не только инструментом надежности перевозок и компенсацией убытков, связанных с неполной заполняемостью транспортных средств, в том числе на обратных маршрутах, но и стимулом преодоления эмоционального барьера по поездке с возможно не знакомым пассажиром.

Для формирования устойчивой маршрутной сети необходима мотивация водителя в совершении регулярных поездок по маршруту. Поэтому такие поездки должны базироваться изначально на пожелании водителя поехать по конкретному маршруту, который ему интересен ежедневно или с другой, но заранее определенной частотностью. Субсидирование водителя может достигаться не только путем оплаты пассажирами проезда, но и дополнительными поощрениями в виде снижения транспортного налога, кэшбэка на бензин на определенных автозаправочных станциях или другими дотациями, при выполнении определенного «плана» количества поездок с попутчиками за единицу времени (например, за год).

Результаты и обсуждение

При интеграции государственных интересов в транспортных перевозках и системы организации совместных поездок (по принципам общественного транспорта или такси) возможно достижение значительных эффектов.

Концепция субсидирования перевозок пассажиров на легковых автомобилях должна организационно взаимодействовать с исполнительной властью субъектов Федерации и под-

страиваться с учётом социальных и экономических эффектов к каждому маршруту/ району/направлению/субъекта Российской Федерации.

Существенная экономия на заказе социально значимых перевозок на малоинтенсивных маршрутах при отказе от организации новых автобусных или железнодорожных перевозок при критически малых пассажиропотоках с минимальным набором качества услуг) может достигаться в следующих размерах: уменьшение субсидий по сравнению с пригородной железнодорожной перевозкой возможно от 2 до 10 раз (до 20 млн. руб. на пару поездов), а по сравнению с автобусной перевозкой до 2 раз (до 1 млн. руб. на одну пару рейсов).

При этом требуется исследование и проработка всех аспектов предлагаемой технологии (системы) (в т.ч. правовая, тарифная).

Система должна быть готова к тиражированию во всех регионах России, а реализация подобного проекта силами игроков рынка цифровых услуг на транспорте теоретически внедряема и не являться сложной задачей. В перспективе подобные решения могут быть внедрены игроками рынка цифровых транспортных услуг и/или органами исполнительной власти субъектов Федерации по форме государственно-частного партнерства.

Выводы

Реализация принципов, заложенных в организацию системы пассажирских перевозок на малоинтенсивных маршрутах автодорожной сети Российской Федерации должна обеспечить развитие пассажирских перевозок в отдалённых районах, имеющих в настоящее время неудовлетворительное качество транспортного обслуживания.

Упорядочение системы поездок с незначительным их субсидированием позволит достичь значительных социальных эффектов, выражающихся в повышении привлекательности проживания в отдельных районах и населённых пунктах, снижения оттока населения в более крупные населённые пункты. Встраивание предлагаемых поездок в единую мультимодальную транспортную систему позволит сформировать новую бесшовную систему перевозки пассажиров как на субсидируемых, так и на самоокупаемых маршрутах.

В зависимости от вида принятой в результате выполнения и утверждения проекта схемы распределения затрат участников внедрения проекта, возможно снижение затрат бюджетов субъектов Российской Федерации, бюджетов муниципальных образований на организацию (заказ) пассажирских перевозок на убыточных маршрутах автомобильного и железнодорожного транспорта на величину 10-40 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информация о количестве населенных пунктов по субъектам Российской Федерации [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://minfin.gov.ru/ru/document/?id_4=128341informatsiya_o_kolichestve_naselennykh_punktov_po_subektam_rossiiskoi_federatsii.

2. KCATA expands on-demand paratransit program [Электронный ресурс] / Metro Magazine. – Режим доступа: https://www.metro_magazine.com/10032881/kcata_expands_on_demand_paratransit_program

3. Официальный сайт сервиса BerlKönig [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.berlkoenig.de/.

4. Alex Roman. Fleet, route updates help san diego mts' adapt to service demands [Электронный ресурс] / Metro magazine. – Режим доступа: https://www.metro-magazine.com/10007291/fleet-_route_updates_help_san_diegomts_adapt_to_service_demands.

5. GRTC debuts app, online tool for managing customer paratransit trips [Электронный ресурс] / Metro magazine. – Режим доступа: https://www.metro_magazine.com/10032235/grtc_debuts_app_online_tool_for_managing_customer_paratransit_trips.

6. Официальный сайт инициатив развития городской мобильности CIVITAS [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://civitas.eu/

7. Швецова И.Ю., Журавлева Н.Н. Повышение мобильности населения путем использования сайтов совместных поездок (изучение зарубежного опыта на основе немецкоязычных информационных источников) // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – №5-3. – С. 465-467.

8. Дерюгина, С.Р. Райдшеринг: проблемы правового регулирования и гражданско-правовой ответственности // Власть Закона. – 2019. – №1(37). – С. 204-213.

9. Дерюгина, С.Р. Каршеринг и райдшеринг: к проблеме правовой природы договоров // Гражданское право. – 2019. – №4. – С. 20-23.

10. Панчева В.С., Воробьев В.В., Нуждаева В.В. Правовое регулирование сервисов по карпулингу (совместных пригородных и междугородних поездок) // Образование и право. – 2019. – №1. – С. 106-111.

11. Затолокин, А.А. О государственном контроле за автомобильными поездками, при которых пассажиры компенсируют часть расходов (карпулинг, райдшеринг) // Вестник КРУ МВД России. - 2018. - №3(41).- С. 91-94.

12. Горбунова, М.В. Безопасность пассажироперевозок при использовании услуг «райдшеринга» и «карпулинга» [Электронный ресурс] / StudNet. - 2022. - №3. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/bezopasnost_passazhiroperevozok_pri_ispolzovanii_uslug_raydsheringa_i_karpulinga.

13. Гимранов, Г.А. Шеринг-экономика как вид современного потребления на примере сервисов совместных поездок // Экономика и управление: научно-практический журнал. – 2019. – №1(145). – С. 134-137.

14. Сатюков, С.Р. Проблемы и перспективы развития райдшеринга в рамках формирования экономики совместного потребления // Московский экономический журнал. - 2019. - №4. - С.149-161.

15. Волкова, Е.М. Развитие совместного потребления в городских транспортных системах // Транспортные системы и технологии. - 2021. - №3. – С. 56-66.

16. Фамбу К.С., А.А.Н. Стефан Экономика совместного потребления как направление ресурсосбережения в туризме года / Под общ. ред. И.В. Вякиной, Г.Г. Скворцовой // Современное состояние экономики России: вызовы, возможности, риски: Сб. науч. тр. Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Тверь: Тверской государственный технический университет. - 2022. – С. 142-146.

17. Ефанова Н.В., Шролик А.В. Оценка перспективы разработки и внедрения веб-сервиса для организации совместных поездок // Наука и общество в современных условиях. – 2015. – №1(3). – С. 66-68.

18. Трушин, И.С. О типологии конкурентных преимуществ, создаваемых в результате ИТ-инноваций: кейсы межотраслевых инноваций // Современная конкуренция. – 2015. – №6(54). – С. 102-115.

19. Таблицы Шульте-Горбова [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://testbrain.ru/tests/viewtestGSh.

20. Сергей Бабкин. Каршеринг запустил тест на алкоголь для водителей [Электронный ресурс] // Российская газета. – Режим доступа: https://rg.ru/2020/09/22/reg_cfo/karshering_zapustil_test_na_alkogol_dlia-voditelej.html.

Вакуленко Сергей Петрович
Российский университет транспорта (МИИТ)
Адрес: 127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9
К.т.н., профессор, директор Института управления и цифровых технологий
E-mail: post-iuit@bk.ru

Кравцов Андрей Степанович
Московско-Тверская пригородная пассажирская компания
Адрес: 107078, Россия, г. Москва, Новорязанская ул., 18, стр. 21
Начальник отдела стратегического развития АО «МТ ППК»
E-mail: eisenbahn@mail.ru

Айсина Лилия Риантовна
Российский университет транспорта (МИИТ)
Адрес: 127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9
Старший преподаватель
E-mail: l.r.aysina@mail.ru

Иванов Артемий Павлович
Российский университет транспорта (МИИТ)
Адрес: 127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9
Аспирант
E-mail: artemiy.p.ivanov@gmail.com

S.P. VAKULENKO, A.S. KRAVCOV, L.R. AYSINA, A.P. IVANOV

ORGANIZATION OF SHARING PASSENGER TRANSPORTATION BY CARS ON LOW-INTENSITY ROUTES

Abstract. *The authors of the article suggest using personal transport to perform public transport tasks for settlements, which are remote from the main transport. As rule, there are one or two bus trip per week in these settlements and the consumer quality of passenger service in most cases is poorly satisfactory. The article considers the foreign experience of organizing joint trips on low-intensity routes. The article describes the aspects of basing the concept of a new transport product and identifies areas for further scientific research.*

Keywords: *ridesharing, carpooling, joint trips, passenger transportation, development of low-intensity destinations*

BIBLIOGRAPHY

1. Informatsiya o kolichestve naselennykh punktov po sub»ektam Rossiyskoy Federatsii [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: https://minfin.gov.ru/ru/document/id_4=128341-informatsiya_o_kolichestve_naselennykh_punktov_po_subektam_rossiiskoi_federatsii.

2. KCATA expands on-demand paratransit program [Elektronnyy resurs] / Metro Magazine. - Rezhim dostupa: https://www.metro-magazine.com/10032881/kcata-expands-on-demand-paratransit-program.

3. Ofitsial`nyy sayt servisa BerlKnig [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: https://www.berlkoenig.de/.

4. Alex Roman. Fleet, route updates help san diego mts' adapt to service demands [Elektronnyy resurs] / Metro magazine. - Rezhim dostupa: https://www.metro-magazine.com/10007291/fleet-route-updates-help-san-diego-mts-adapt-to-service-demands.

5. GRTC debuts app, online tool for managing customer paratransit trips [Elektronnyy resurs] / Metro magazine. - Rezhim dostupa: https://www.metro-magazine.com/10032235/grtc-debuts-app-online-tool-for-managing-customer-paratransit-trips.

6. Ofitsial`nyy sayt initsiativ razvitiya gorodskoy mobil`nosti CIVITAS [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: https://civitas.eu/.

7. Shvetsova I.Yu., Zhuravleva N.N. Povyshenie mobil`nosti naseleniya putem ispol`zovaniya saytov sovmestnykh poezdok (izuchenie zarubezhnogo opyta na osnove nemetskoyazychnykh informatsionnykh istochnikov) // Mezhdunarodnyy studencheskiy nauchnyy vestnik. - 2016. - №5-3. - S. 465-467.

8. Deryugina, S.R. Raydshering: problemy pravovogo regulirovaniya i grazhdansko-pravovoy otvetstvennosti // Vlast` Zakona. - 2019. - №1(37). - S. 204-213.

9. Deryugina, S.R. Karshering i raydshering: k probleme pravovoy prirody dogovorov // Grazhdanskoe pravo. - 2019. - №4. - S. 20-23.

10. Pancheva V.S., Vorob`ev V.V., Nuzhdaeva V.V. Pravovoe regulirovanie servisov po karpulingu (sovmestnykh prigorodnykh i mezhdugorodnikh poezdok) // Obrazovanie i pravo. - 2019. - №1. - S. 106-111.

11. Zatolokin, A.A. O gosudarstvennom kontrole za avtomobil`nymi poezdkami, pri kotorykh passazhiry kompensiruyut chast` raskhodov (karpuling, raydshering) // Vestnik KRU MVD Rossii. - 2018. - №3(41).- S. 91-94.

12. Gorbunova, M.V. Bezopasnost` passazhiroperevozok pri ispol`zovanii uslug «raydsheringa» i «karpulinga» [Elektronnyy resurs] / StudNet. - 2022. - №3. - Rezhim dostupa: https://cyberleninka.ru/article/n/bezopasnost-passazhiroperevozok-pri-ispolzovanii-uslug-raydsheringa-i-karpulinga.

13. Gimranov, G.A. Shering-ekonomika kak vid sovremennogo potrebleniya na primere servisov sovmestnykh poezdok // Ekonomika i upravlenie: nauchno-prakticheskiy zhurnal. - 2019. - №1(145). - S. 134-137.

14. Satyukov, S.R. Problemy i perspektivy razvitiya raydsheringa v ramkakh formirovaniya ekonomiki sovmestnogo potrebleniya // Moskovskiy ekonomicheskiy zhurnal. - 2019. - №4. - S.149-161.

15. Volkova, E.M. Razvitie sovmestnogo potrebleniya v gorodskikh transportnykh sistemakh // Transportnye sistemy i tekhnologii. - 2021. - №3. - S. 56-66.

16. Fambu K.S., A.A.N. Stefan Ekonomika sovmestnogo potrebleniya kak napravlenie resursosberezheniya v turizme goda / Pod obshch. red. I.V. Vyakinoy, G.G. Skvortsovoy // Sovremennoe sostoyanie ekonomiki Rossii: vyzovy, vozmozhnosti, riski: Sb. nauch. tr. Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. - Tver`: Tverskoy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet. - 2022. - S. 142-146.

17. Efanova N.V., Shrolik A.V. Otsenka perspektivy razrabotki i vnedreniya veb-servisa dlya organizatsii sovmestnykh poezdok // Nauka i obshchestvo v sovremennykh usloviyakh. - 2015. - №1(3). - S. 66-68.

18. Trushin, I.S. O tipologii konkurentnykh preimushchestv, sozdavaemykh v rezul`tate IT-innovatsiy: keysy mezhotraslevykh innovatsiy // Sovremennaya konkurentsiya. - 2015. - №6(54). - S. 102-115.

19. Tablitsy Shul`te-Gorbova [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: http://testbrain.ru/tests/viewtestGSh.

20. Sergey Babkin. Karshering zapustil test na alkogol` dlya voditeley [Elektronnyy resurs] // Rossiyskaya gazeta. - Rezhim dostupa: «https://rg.ru/2020/09/22/reg-cfo/karshering-zapustil-test-na-alkogol-dlia-voditelej.html.

Vakulenko Sergey Petrovich
Russian University of transport
Address: 127994, Russia, Moscow, Obraztsova str., 9
Candidate of technical sciences
E-mail: post-iuit@bk.ru

Kravcov Andrej Stepanovich
Moscow-Tver Suburban Passenger Company
Адрес: 107078, Russia, Moscow, Novor'azanskaya str.
Head of strategic development department
E-mail: eisenbahn@mail.ru

Aysina Liliya Ринатовна
Russian University of transport
Address: 127994, Russia, Moscow, Obraztsova str., 9
Senior teacher
E-mail: l.r.aysina@mail.ru

Ivanov Артемий Павлович
Russian University of transport
Address: 127994, Russia, Moscow, Obraztsova str., 9
Graduate student
E-mail: artemiy.p.ivanov@gmail.com

Научная статья
УДК 629.051
doi:10.33979/2073-7432-2022-1(79)-4-86-93

А.Н. НОВИКОВ, Е.В. МИРОШНИКОВ, А.В. КУЛЕВ, М.В. КУЛЕВ

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Аннотация. *В работе рассматриваются вопросы использования подсистем интеллектуальных транспортных систем для повышения уровня безопасности дорожного движения. Проанализированы состав и функционал модулей и подсистем ИТС Белгородской области. Получены данные о снижении количества ДТП и тяжести их последствий после развертывания ИТС Белгородской области. Результаты настоящего исследования могут использоваться администрациями субъектов Российской Федерации для внедрения ИТС на своих территориях и снижения уровня аварийности.*

Ключевые слова: *транспортная сеть, планирование, перспективное территориальное развитие, пассажирский транспорт*

Введение

В настоящее время в Российской Федерации наблюдается снижения уровня дорожно-транспортной аварийности. Однако, темпы данного снижения недостаточно быстрые, так, например, в 2021 году на улицах и дорогах страны зарегистрировано 133 331 (-3,1 %) дорожно-транспортное происшествие, в котором погибли и (или) были ранены люди. В данных ДТП погибли 14 874 (-5,8 %) человека и получили ранения 167 856 (-4,2 %) [1]. Однако данные цифры позволяют утверждать, что снижение аварийности недостаточное, а представленные значения являются довольно высокими.

Транспортной стратегией Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года предусмотрено, направление, связанное с повышением уровня безопасности дорожного движения. Одним из целевых показателей является достижение смертности в 4 человека на 100 тыс. населения.

Для решения данной проблемы наиболее перспективным является вариант использования интеллектуальных транспортных систем (ИТС).

Материал и методы

В данной статье использовался зарубежный и отечественный опыт организации интеллектуальных транспортных систем, в том числе для решения задач повышения уровня безопасности дорожного движения.

Проблемам ИТС посвящены труды многих отечественных и зарубежных ученых: С.В. Жанказиев [2], В.В. Сильянов [3], В.М. Власов [4], В.В. Зырянов [5], Д.В. Капский [6], А.И. Солодкий [7], В.Г. Кочерга [8], Ю.Н. Ризаева [9], И. Н. Пугачев [10], С.А. Евтюков [11], Ю.В. Трофименко [12], С.В. Дорохин [13], С.С. Шадрин [14] и др.

Теория / Расчет

Белгородская область является одним из лидеров в области внедрения и развития сервисов интеллектуальной транспортной системы. Постановлением Правительства Белгородской области от 12 мая 2020 г. № 181-пп утверждена Концепция создания интеллектуальных транспортных систем в Белгородской области на 2020 - 2024 годы. Основной целью данной концепции является повышение организации и безопасности дорожного движения, а также улучшение социальной сферы и сферы экономики, связанных с автомобильным транспортом [15-19].

К 2022 году в Белгородской области уже развернуто более 20 модулей и подсистем ИТС, способствующих решению транспортных проблем региона. Одной из первых была развернута подсистема метеомониторинга, которая представлена 30 дорожными метеостанциями, собранных на компонентах фирмы Вайсала. Управление подсистемой осуществляется программных обеспечением «Буревесник».

© Новиков А.Н., Мирошников Е.В., Кулев А.В., Кулев М.В., 2022

Подсистема собирает данные о фактических погодных условиях на основе которых составляется 72-часовой прогноз погоды. Подсистема также производит фотосъемку дорожного полотна (рис. 1) [20].

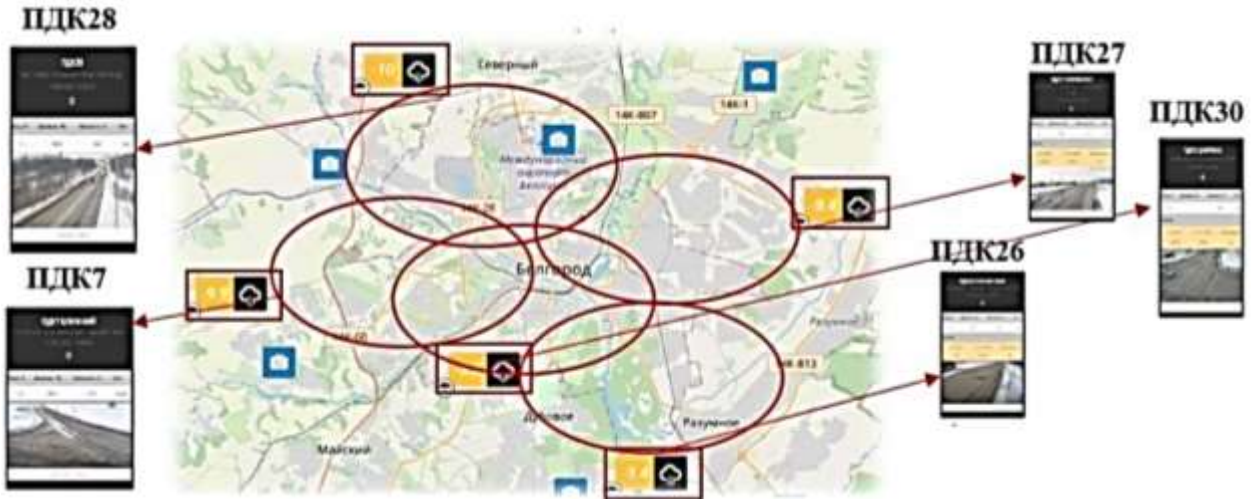


Рисунок 1 – Метеомониторинг Белгородской области

К основным контролируемым параметрам погодных условий относятся:

1) температура воздуха;
2) влажность воздуха;
3) скорость и направление ветра;
4) вид и количество осадков;
5) температура дорожного полотна;
6) состояние дорожного полотна.

Контролируемые параметры передаются с периодичностью 12 раз в час, фотоматериалов 2 раза в час.

На основании данных метеомониторинга осуществляются работы по содержанию дорог с помощью подсистемы контроля дорожной техники. Подсистема была построена на базе программного обеспечения спутникового мониторинга транспорта Wialon. В настоящее время происходит переход на систему ЕСМТБО.

В рамках осуществления контроля над транспортом подрядных организаций (более 2000 единиц дорожной техники), в подсистему выводится информация работе и фактическом местоположении техники, что позволяет осуществлять надзор за качеством (рис. 2).

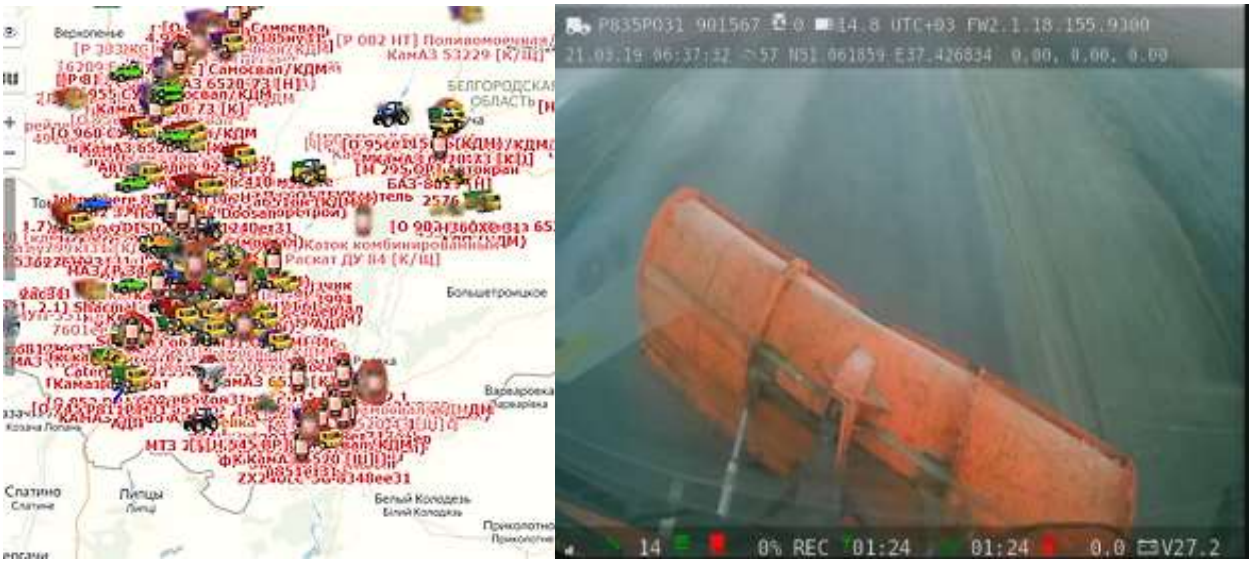


Рисунок 2 – Контроль дорожной техники

При наличии на месте проведения работ сигнала сотовой связи возможна передача видеоизображения с техники в реальном времени.

Еще одной подсистемой, реализующей функционал снижения количества дорожно-транспортных происшествий на улично-дорожной сети Белгородской области, является подсистема видеонаблюдения, детектирования дорожно-транспортных происшествий и чрезвычайных ситуаций. На данном уровне происходит автоматизация процессов детектирования ДТП. Для этой цели на территории города Белгородской размещено более 400 технических средств фотовидеофиксации транспорта (рис. 3) с возможностью распознавания ГРЗ (рис. 4).

Рисунок 3 – Визуализация с камер фотовидеофиксации в Белгородской области

Рисунок 4 – Распознавание ГРЗ в ИТС Белгородской области

Отдельного внимания заслуживает модуль контроля эффективности ИТС, которая производит мониторинг дорожной обстановки в целях снижения уровня ДТП (рис. 5), увеличения уровня безопасности дорожного движения и т.д. Архитектура модуля представлена

совокупностью блоков, функций и интерактивных форм взаимосвязанных между собой. Так, например, в рамках блока «Безопасность дорожного движения» возможно построение тепловых карт мест концентрации ДТП и мест концентрации нарушений. Так же модуль способен определять показатели БКАД, такие как снижение смертности в результате дорожно-транспортных происшествий (количество погибших на 100 тыс. населения) и т.д.

Рисунок 5 – Визуализация данных ИТС Белгородской области

Таким образом функциональные возможности ИТС Белгородской области значительно повышает уровень безопасности дорожного движения.

Результаты и обсуждение

Одним из результатов внедрения ИТС в Белгородской области является появление тенденции к снижению количества и тяжести последствий ДТП (рис. 6).

Рисунок 6 – Динамика уровня аварийности в Белгородской области

Так по результатам 2020 года (начало развертывания ИТС в Белгородской области) снижение количества ДТП составило 12 %, количества погибших – 10 %, раненых – 15 %.

В 2021 году снижение продолжилось: количество ДТП сократилось на 8 %, число погибших – 6 %, раненых – 5 %.

По итогам десяти месяцев 2022 года на дорогах Белгородской области снижение показателей аварийности наблюдается в 2 районах: Борисовском и Старооскольском, при этом в Белгородском районе ситуация не проявила динамики по отношению к аналогичному периоду прошлого года (рис. 7).

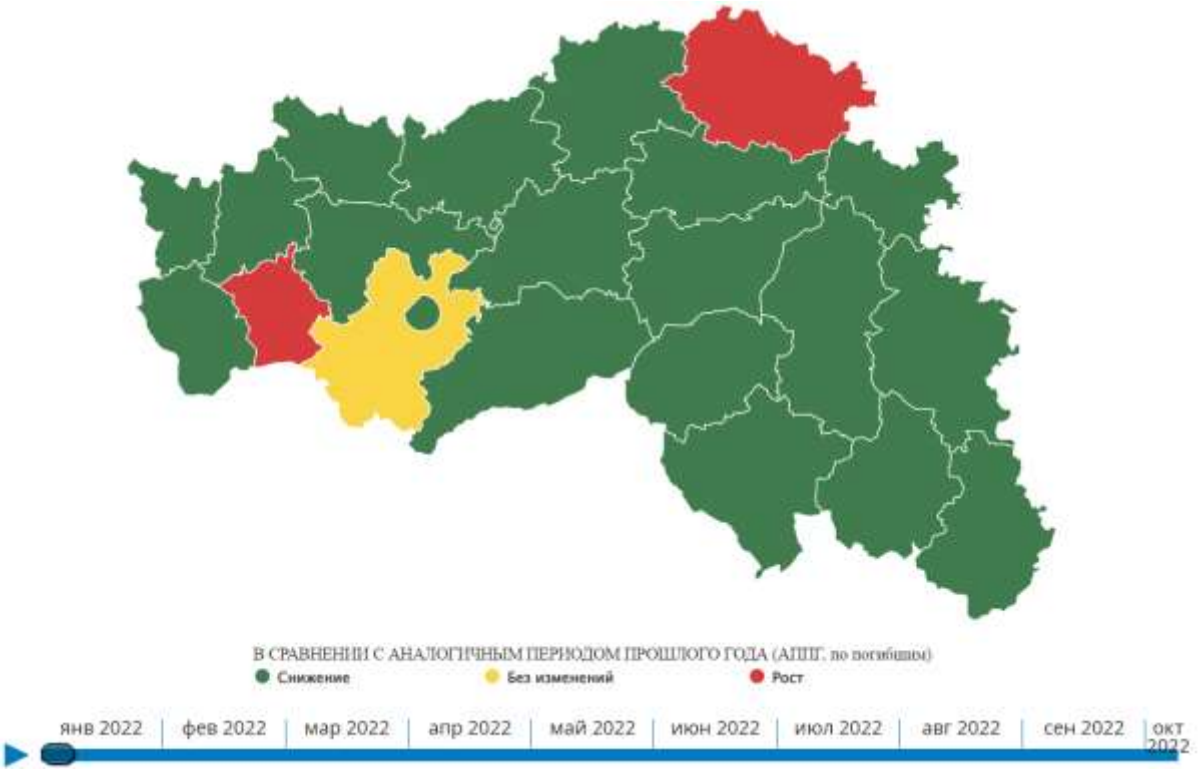


Рисунок 7 – Картограмма ДТП в Белгородской области за 10 месяцев 2022 года

Распределение количества ДТП и тяжести их последствий в Белгородской области по месяцам 2022 года представлены на рисунке 8.

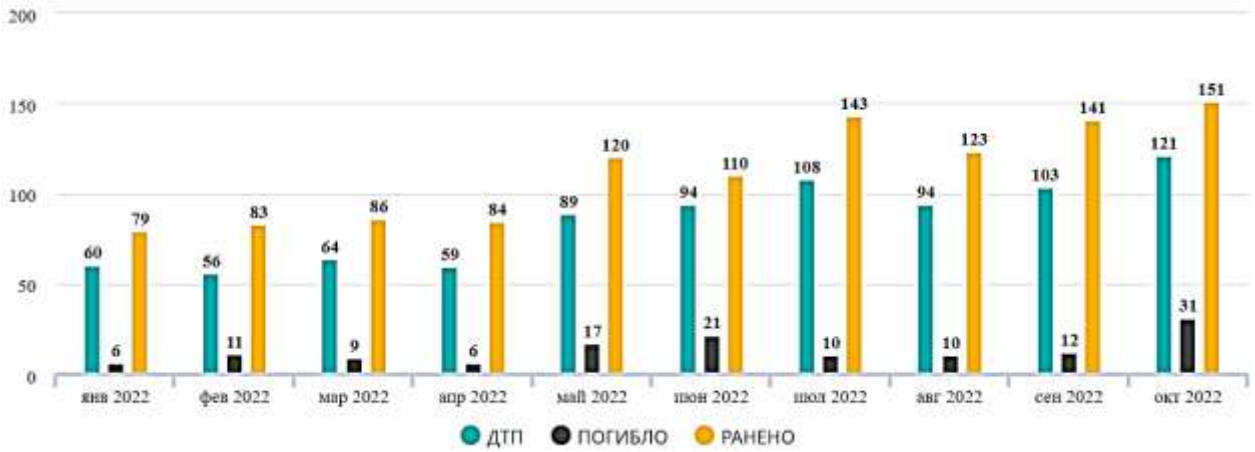


Рисунок 8 – Аварийность в Белгородской области за 10 месяцев 2022 года

Выводы

Таким образом можно сделать вывод о том, что развертывание ИТС в Белгородской агломерации положительно сказывается на количестве и тяжести последствий ДТП в данном регионе.

Так по результатам 2020 года (начало развертывания ИТС в Белгородской области) снижение количества ДТП составило 12 %, количества погибших – 10 %, раненых – 15 %.

В 2021 году снижение продолжилось: количество ДТП сократилось на 8 %, число погибших – 6 %, раненых – 5 %.

Дальнейшее снижение данных показателей возможно достичь путем внедрения новых модулей и подсистем, а также расширения существующих на новые (неохваченные районы) Белгородской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баканов, К.С. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 6 месяцев 2021 года: Информационно-аналитический обзор – Москва: Научный центр безопасности дорожного движения Министерства внутренних дел Российской Федерации, 2021. – 41 с.
2. Жанказиев С.В. Научные основы и методология формирования интеллектуальных транспортных систем в автомобильно-дорожных комплексах городов и регионов: Дис. … докт. техн. наук / Жанказиев Султан Владимирович. – Москва, 2012. – 451 с.
3. Сильянов В.В., Капитанов В.Т., Монина О.Ю., Чубуков А.Б. Интеллектуальные транспортные системы: история, состояние и пути развития / Под редакцией А.Н. Новикова // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы 4-ой Международной научно-практической конференции. – Орел: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева. - 2019. – С. 138-145.
4. Власов В.М., Богумил В.Н., Жанказиев С.В., Смирнов А.Б. Применение интеллектуальных телематических систем для оперативной оценки технического состояния автотранспортных средств // Автотранспортное предприятие. – 2007. – №9. – С. 50-53.
5. Зырянов В.В. Подготовка специалистов по интеллектуальным транспортным системам // Безопасность, дорога, дети: практика, опыт, перспективы и технологии: Материалы форума. – Новочеркасск: Лик. - 2015. – С. 192-196.
6. Капский, Д.В. Основы автоматизации интеллектуальных транспортных систем: Учебник – Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. – 412 с.
7. Солодкий А.И. О развитии системы подготовки и повышения квалификации специалистов по интеллектуальным транспортным системам // Автотранспортное предприятие. – 2014. – №1. – С. 37-38.
8. Кочерга В.Г. Основы функционирования интеллектуальных транспортных систем в организации движения и перевозок: дис. … докт. техн. наук / Кочерга Виктор Григорьевич. – Москва, 2001. – 345 с.
9. Ризаева Ю.Н., Ляпин С.А., Кадасев Д.А., Сухатерина С.Н. Структурная модель интеллектуальной транспортно-логистической системы региона / Под общей редакцией А.Н. Новикова // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы 5-ой Международной научно-практической конференции. – Орёл: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева. - 2020. – С. 154-158.
10. Пугачев И.Н., Капский Д.В., Навой Д.В. и др. Синергия подходов к совершенствованию интеллектуальных транспортных систем городов в России и Белоруссии. – Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет. - 2020. – 230 с.
11. Евтюков С.А., Лукашов Б.В. Исследование подсистемы выявления инцидентов интеллектуальной транспортной системы // Вестник гражданских инженеров. – 2022. – №1(90). – С. 136-142.
12. Трофименко Ю.В., Григорьева Т.Ю., Шашина Е.В. Транспортная интеллектуальная система и надежность водителя // Автотранспортное предприятие. – 2010. – №10. – С. 16-19.
13. Дорохин С.В., Азарова Н.А., Рудь В.А. Роль интеллектуальных транспортных систем в развитии процесса цифровизации мегаполисов // Энергоэффективность автотранспортных средств: нанотехнологии, информационно-коммуникационные системы, альтернативные источники энергии: Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет. - 2019. – С. 440-445.
14. Шадрин С.С. Методология создания систем управления движением автономных колесных транспортных средств, интегрированных в интеллектуальную транспортную среду: Автореф. дис. … докт. техн. наук. – Москва, 2017. – 22 с.
15. Кущенко Л.Е., Камбур А.С., Пехов А.А. Совершенствование организации дорожного движения посредством применения интеллектуальных транспортных систем // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – №3(74). – С. 80-86.
16. Камбур А.С., Демченко А.А., Кущенко Л.Е. Мировой опыт развития интеллектуальных транспортных систем // Наука и образование: актуальные вопросы теории и практики: материалы Международной научно-методической конференции. - Оренбург: Оренбургский институт путей сообщения – филиал ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет путей сообщения». - 2021. – С. 696-700.

17. Клачкова А.В., Кущенко Л.Е., Медведев Д.В. Элементы интеллектуальных транспортных систем, применяемые в г. Белгороде / Отв. редактор Н.С. Захаров // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Международной научно-технической конференции. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет. - 2020. – С. 163-166.

18. Воля А.П., Кущенко С.В. Применение интеллектуальных транспортных систем в г. Белгороде // Логистический аудит транспорта и цепей поставок: Материалы IV Международной научно-практической конференции. - В 2-х томах. – Т. 1. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет. - 2021. – С. 31-33.

19. Шевцова А.Г., Бурлуцкая А.Г., Васильева В.В. Внедрение интеллектуальной транспортной системы RAMPMETERING на примере г. Белгород // Мир транспорта и технологических машин. – 2018. – №4(63). – С. 42-48.

20. Шевцова, А.Г. Методология управления городскими транспортными потоками на основе обеспечения безопасности дорожного движения: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. - Орел, 2022. - 43 с.

Новиков Александр Николаевич
Орловский государственный университет
имени И.С.Тургенева
Адрес: 302026, Россия, г. Орел, ул. Московская, д. 77
Д.т.н., профессор, зав. кафедрой сервиса и ремонта машин
E-mail: srmostu@mail.ru

Мирошников Евгений Владимирович
Правительство Белгородской области
Адрес: 308005, Россия, г. Белгород, Соборная пл., 4
К.т.н., Первый заместитель Губернатора Белгородской области – министр цифрового развития Белгородской области
E-mail: emiroshnikov@belregion.ru

Кулев Андрей Владимирович
Орловский государственный университет
имени И.С.Тургенева
Адрес: 302026, Россия, г. Орел, ул. Московская, д. 77
К.т.н., доцент кафедры сервиса и ремонта машин
E-mail: andrew.ka@mail.ru

Кулев Максим Владимирович
Орловский государственный университет
имени И.С.Тургенева
Адрес: 302026, Россия, г. Орел, ул. Московская, д. 77
К.т.н., доцент кафедры сервиса и ремонта машин
E-mail: maxim.ka@mail.ru

A.N. NOVIKOV, E.V. MIROSHNIKOV, A.V. KULEV, M.V. KULEV

IMPROVING ROAD SAFETY BASED ON INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS

Abstract. *The paper discusses the use of subsystems of intelligent transport systems to improve road safety. The composition and functionality of ITS modules and subsystems of the Belgorod region are analyzed. Data were obtained on the reduction of the number of accidents and the severity of their consequences after the deployment of ITS Belgorod region. The results of this study can be used by the administrations of the constituent entities of the Russian Federation to implement ITS in their territories and reduce the level of accidents.*

Keywords: *transport network, planning, prospective territorial development, passenger transport*

BIBLIOGRAPHY

1. Bakanov, K.S. Dorozhno-transportnaya avariynost` v Rossiyskoy Federatsii za 6 mesyatsev 2021 goda: Informatsionno-analiticheskiy obzor - Moskva: Nauchnyy tsentr bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya Ministerstva vnutrennikh del Rossiyskoy Federatsii, 2021. - 41 s.

2. Zhankaziev S.V. Nauchnye osnovy i metodologiya formirovaniya intellektual`nykh transportnykh sistem v avtomobil`no-dorozhnykh kompleksakh gorodov i regionov: Dis. … dokt. tekhn. nauk / Zhankaziev Sultan Vladimirovich. - Moskva, 2012. - 451 s.

3. Sil`yanov V.V., Kapitanov V.T., Monina O.Yu., Chubukov A.B. Intellektual`nye transportnye si-stemy: istoriya, sostoyanie i puti razvitiya / Pod redaktsiey A.N. Novikova // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy 4-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Orel: Or-lovskiy gosudarstvennyy universitet imeni I.S. Turgeneva. - 2019. - S. 138-145.

4. Vlasov V.M., Bogumil V.N., Zhankaziev S.V., Smirnov A.B. Primenenie intellektual`nykh telematicheskikh sistem dlya operativnoy otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya avtotransportnykh sredstv // Avtotransportnoe predpriyatie. - 2007. - №9. - S. 50-53.

5. Zyryanov V.V. Podgotovka spetsialistov po intellektual`nym transportnym sistemam // Bezopas-nost`, doroga, deti: praktika, opyt, perspektivy i tekhnologii: Materialy foruma. - Novocherkassk: Lik. - 2015. - S. 192-196.

6. Kapskiy, D.V. Osnovy avtomatizatsii intellektual`nykh transportnykh sistem: Uchebnik - Vologda: Infra-Inzheneriya, 2022. - 412 s.

7. Solodkiy A.I. O razvitii sistemy podgotovki i povysheniya kvalifikatsii spetsialistov po intel-lektual`nym transportnym sistemam // Avtotransportnoe predpriyatie. - 2014. - №1. - S. 37-38.

8. Kocherga V.G. Osnovy funktsionirovaniya intellektual`nykh transportnykh sistem v organizatsii dvizheniya i perevozok: dis. … dokt. tekhn. nauk / Kocherga Viktor Grigor`evich. - Moskva, 2001. - 345 s.

9. Rizaeva Yu.N., Lyapin S.A., Kadasev D.A., Sukhaterina S.N. Strukturnaya model` intellektual`noy transportno-logisticheskoy sistemy regiona / Pod obshchey redaktsiey A.N. Novikova // Informatsionnye tekh-nologii i innovatsii na transporte: Materialy 5-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Oriol: Orlovskiy gosudarstvennyy universitet im. I.S. Turgeneva. - 2020. - S. 154-158.

10. Pugachev I.N., Kapskiy D.V., Navoy D.V. i dr. Sinergiya podkhodov k sovershenstvovaniyu intellektual`nykh transportnykh sistem gorodov v Rossii i Belorussii. - Habarovsk: Tikhookeanskiy gosudarstvennyy universitet. - 2020. - 230 s.

11. Evtyukov S.A., Lukashov B.V. Issledovanie podsistemy vyyavleniya intsidentov intellektual`noy transportnoy sistemy // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2022. - №1(90). - S. 136-142.

12. Trofimenko Yu.V., Grigor`eva T.Yu., Shashina E.V. Transportnaya intellektual`naya sistema i nadezhnost` voditelya // Avtotransportnoe predpriyatie. - 2010. - №10. - S. 16-19.

13. Dorokhin S.V., Azarova N.A., Rud` V.A. Rol` intellektual`nykh transportnykh sistem v razvitii protsessa tsifrovizatsii megapolisov // Energoeffektivnost` avtotransportnykh sredstv: nanotekhnologii, informatsionno-kommunikatsionnye sistemy, al`ternativnye istochniki energii: Materialy Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. - Voronezh: Voronezhskiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskiy universitet. - 2019. - S. 440-445.

14. Shadrin S.S. Metodologiya sozdaniya sistem upravleniya dvizheniem avtonomnykh kolesnykh transportnykh sredstv, integrirovannykh v intellektual`nuyu transportnuyu sredu: Avtoref. dis. … dokt. tekhn. nauk. - Moskva, 2017. - 22 s.

15. Kushchenko L.E., Kambur A.S., Pekhov A.A. Sovershenstvovanie organizatsii dorozhnogo dvizheniya posredstvom primeneniya intellektual`nykh transportnykh sistem // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2021. - №3(74). - S. 80-86.

16. Kambur A.S., Demchenko A.A., Kushchenko L.E. Mirovoy opyt razvitiya intellektual`nykh transportnykh sistem // Nauka i obrazovanie: aktual`nye voprosy teorii i praktiki: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii. - Orenburg: Orenburgskiy institut putey soobshcheniya - filial FGBOU VO «Samarskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya». - 2021. - S. 696-700.

17. Klachkova A.V., Kushchenko L.E., Medvedev D.V. Elementy intellektual`nykh transportnykh sistem, primenyaemye v g. Belgorode / Otv. redaktor N.S. Zakharov // Transportnye i transportno-tekhnologicheskie sistemy: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. - Tyumen`: Tyumenskiy industrial`nyy universitet. - 2020. - S. 163-166.

18. Volya A.P., Kushchenko S.V. Primenenie intellektual`nykh transportnykh sistem v g. Belgorode // Logisticheskiy audit transporta i tsepey postavok: Materialy IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konfe-rentsii. - V 2-kh tomakh. - T. 1. - Tyumen`: Tyumenskiy industrial`nyy universitet. - 2021. - S. 31-33.

19. Shevtsova A.G., Burlutskaya A.G., Vasil`eva V.V. Vnedrenie intellektual`noy transportnoy sistemy RAMPMETERING na primere g. Belgorod // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2018. - №4(63). - S. 42-48.

20. Shevtsova, A.G. Metodologiya upravleniya gorodskimi transportnymi potokami na osnove obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya: Avtoref. dis. ... dokt. tekhn. nauk. - Orel, 2022. - 43 s.

Novikov Alexander Nikolaevich
Orel State University
Address: 302026, Russia, Orel, Moscovskaya str., 77
Doctor of technical sciences
E-mail: srmostu@mail.ru

Miroshnikov Evgeny Vladimirovich
Government of the Belgorod region
Address: Belgorod, 308005, Russia, Sobornaya pl., 4
Candidate of technical sciences
E-mail: emiroshnikov@belregion.ru

Kulev Andrey Vladimirovich
Orel State University
Address: 302026, Russia, Orel, Moscovskaya str., 77
Candidate of technical sciences
E-mail: andrew.ka@mail.ru

Kulev Maksim Vladimirovich
Orel State University
Address: 302026, Russia, Orel, Moscovskaya str., 77
Candidate of technical sciences
E-mail: maxim.ka@mail.ru

Научная статья
УДК 656.09
doi:10.33979/2073-7432-2022-1(79)-4-94-101

Л.Е. КУЩЕНКО

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ, ПРЕДУПРЕЖДАЮЩЕЙ ВОДИТЕЛЯ О ДВИЖЕНИИ ПО ОПАСНОМУ УЧАСТКУ УДС

Аннотация. *Проведен анализ статистики дорожно-транспортных происшествий на одном из участков УДС, примыкающих к ядру городской агломерации, а также с помощью социологического опроса определено процентное соотношение используемого вида транспорта и количества транспортных средств в семье. По результатам документального изучения было определено, что вторник и воскресенье являются самыми опасными днями недели с наибольшим количеством дорожно-транспортных происшествий, а также наиболее распространенными и часто возникающими видами аварий являются столкновение и наезд на пешехода. На основе математической статистики и теории вероятностей установлена корреляционная зависимость между предложенными диапазонами времени. Разработана информационная модель, позволяющая предупреждать водителя о движении по опасному участку УДС и с помощью предложенных методов повышать безопасность дорожного движения.*

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

Введение

Дорожно-транспортные происшествия (ДТП) на сегодняшний день относятся к главной причине смертности молодых людей до 29 лет по всему миру. По статистике в России в 2021 году 133 тысячи автомобильных аварий было с пострадавшими. В них погибло почти 15 тысяч человек и ещё порядка 168 тысяч пострадало. Экономическое развитие агломераций, областей и страны в целом зависит от показателей статистики ДТП.

Автомобильный транспорт является главной составляющей повседневной жизни человека. Мировая автомобильная промышленность ежегодно выпускает более 50 млн. автомобилей [1]. Невозможно представить современный мир без перевозок, которые обеспечивают нормальное функционирование промышленности, строительной индустрии, торговли и других сфер деятельности [2].

Транспорт оказывает влияние на множество различных видов услуг. Главным вопросом на протяжении многих лет является вопрос повышения безопасности дорожного движения (БДД). Вопросу обеспечения и повышения БДД выделена особая ячейка, так как развитие страны тесно связано с успешной жизнью граждан.

Материал и методы

Сегодня практически все крупные населенные пункты (НП) срастаются в единую, многокомпонентную и динамическую структуру, играющую огромную роль в принципах формирования целого государства. Такие модули обрастают интенсивными производственными, экономическими, транспортными и культурными связями, создавая выгоду, скажем, за счет снижения издержек из-за близкого территориального расположения всевозможных предприятий.

В радиусе 30 километров от города Белгорода были сформированы участки под индивидуальное жилищное строительство, также следствием этого стало то, что пригород и части муниципальных территорий стали спальными районами Белгорода (рис. 1).

Жители, переехавшие за город в индивидуальные дома, остались активными участниками экономической и социальной жизни Белгорода.

© **Кущенко Л.Е., 2022**

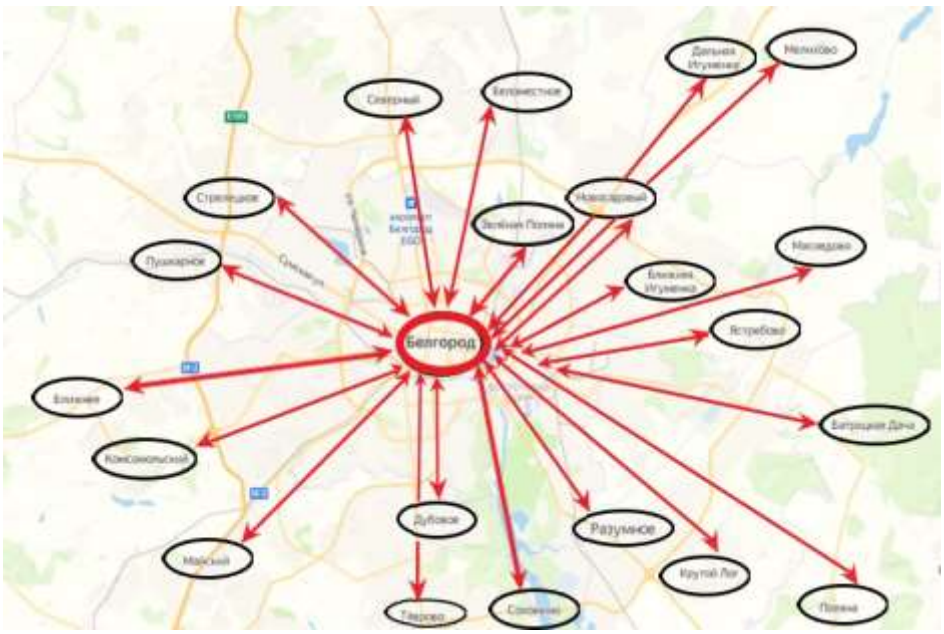


Рисунок 1 – Схема населенных пунктов Белгородской агломерации

В связи с этим, согласно исследованию Белгородского НИИ градостроительства, ежедневно в город въезжают и выезжают из него около 93 000 человек, из них - около 52 тысяч на личном транспорте, ещё 41 тысяча - на общественном. Такая ситуация на дорогах побуждает возникновение заторов, ухудшение экологической ситуации и вероятности возникновения ДТП (рис. 2) [4, 5, 15, 16].

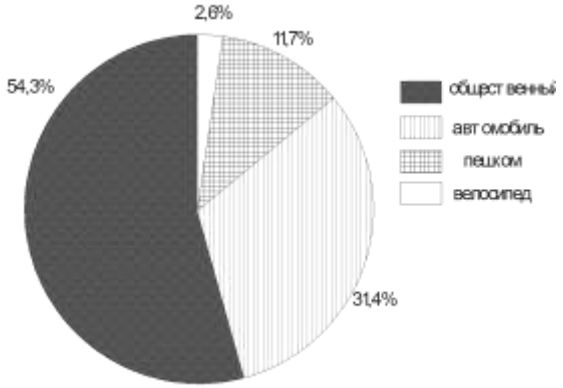


Рисунок 2 – Соотношение по виду используемого транспорта

Представленные цифры оказывают огромное влияние на вероятность возникновения ДТП. Практически в каждом доме имеется по два автомобиля, в некоторых три (рис. 3) [19, 20].

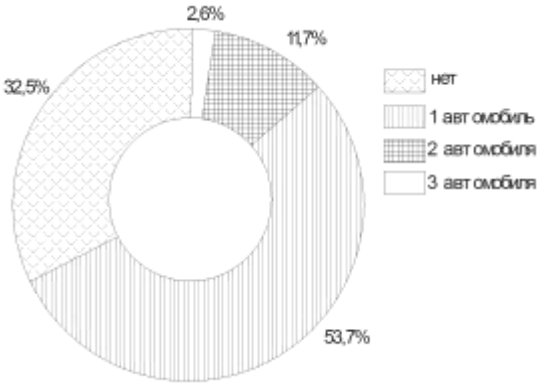


Рисунок 3 – Соотношение количества транспорта в семье

Каждое третье ДТП на российских дорогах связано с наездом на пешеходов, причем причина большого числа таких аварий, а именно, каждой восьмой — отсутствие, плохая видимость или неправильное применение дорожных знаков в зоне пешеходного перехода.

Водители их не замечают и сбивают людей прямо на «зебре».

Пешеходы (независимо от наличия или отсутствия у них водительского удостоверения) обязаны знать и соблюдать относящиеся к ним требования Правил дорожного движения, сигналов светофоров, дорожных знаков и разметки, а также выполнять распоряжения регулировщиков.

Такие участники дорожного движения как пешеходы являются незащищенными по сравнению с водителями. В результате, именно, ДТП с участием пешеходов имеют тяжкие последствия, порой несовместимые с жизнью.

В большинстве случаев виновным в совершении аварий является пешеход. Задачей Госавтоинспекции и специалистов в области организации дорожного движения становится нахождение причин возникновения ДТП и в дальнейшем изменение схемы движения, применение технических средств организации дорожного движения, а также мероприятий, совершенствующих качество и повышающих безопасность дорожного движения, которые позволят предотвратить вероятность возникновения ДТП.

С 2011 года Госавтоинспекция и волонтерское движение ежегодно проводят акцию, направленную на снижение количества ДТП с участием пешеходов, уделяя особое внимание эксплуатационному состоянию переходов. При проведении такого рода мероприятий выявляется неправильная установка знаков или их отсутствие, что не дает возможности вовремя проинформировать водителя для своевременного принятия решений, в то время как пешеход определяет неверно место для перехода дороги. Все эти обстоятельства приводят к трагедии [10-14]. На сегодняшний день проведено обследование 90 % пешеходных переходов. На каждом третьем выявлены недостатки в организации, нарушения, противоречащие нормативно-правовым требованиям и ГОСТам. 62 % приведены в надлежащий вид [6-9].

Итак, анализ по организации движения пешеходов и правильным схемам пешеходных переходов показал, что действующие нормативы оказались не соответствующими сегодняшним условиям и ситуации. Таким образом, Госавтоинспекция разрабатывает предложения и мероприятия, имеющие новые стандарты, которые отлично себя показали с практической точки зрения в странах с высоким показателем уровня автомобилизации [3].

Теория / Расчет

Для проведения анализа видов, места и времени всех ДТП, произошедших за последние четыре года с 2018 по 2021 годы, была собрана подробная информация по всему Белгородскому району, а именно, примыкающим участкам УДС к границам города Белгорода. В данной статье представлены данные, полученные с помощью документального изучения (табл. 1, 2) и расчеты для одного из таких участков городской агломерации по направлению Никольское-Таврово-Дубовое. Проанализировав статистику ДТП по исследуемому участку УДС, было выявлено, что большая часть аварий практически из года в год возникает в одних и тех же местах и имеют одинаковый вид ДТП (табл. 1, рис. 4).

Таблица 1 - Количество ДТП по дням недели за 2018-2021 годы, произошедшие в различные временные интервалы

диапазоны времени	дни недели							Итого
	понедельник	вторник	среда	четверг	пятница	суббота	воскресенье	
06.00-10.00(1)	5	3	3	2	1	1	4	19
10.01-14.00(2)	3	3	1	1	1	0	3	12
14.01-18.00(3)	3	7	3	2	6	3	3	27
18.01-22.00(4)	3	4	4	6	4	7	8	36
22.01-02.00(5)	3	2	0	2	2	1	5	15
Итого	17	19	11	13	14	12	23	109

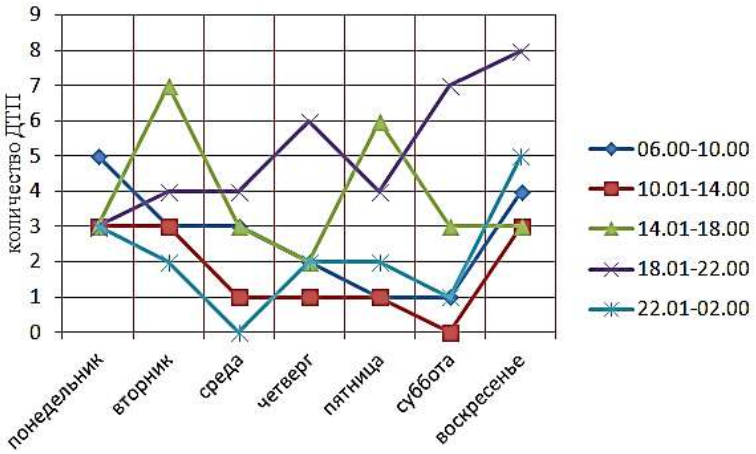


Рисунок 4 – Количество ДТП за различные сечения времени

Полученные результаты свидетельствуют о том, что на исследуемом участке за последние четыре года произошло 109 ДТП, из которые 51 столкновение, 35 наездов на пешехода, 7 наездов на велосипедиста, 6 наездов на препятствие, 3 наезда на стоящее ТС, 6 съездов с дороги (табл. 2, рис. 5).

Таблица 2 - Количество ДТП по дням недели за 2018-2021 годы, произошедшие в различные временные интервалы

вид ДТП	дни недели						
	понедельник	вторник	среда	четверг	пятница	суббота	воскресенье
	количество ДТП/погибшие						
столкновение	7	10	4/1	6	7/1	4/2	13/2
съезд с дороги	1	1	0	0	1	0	3
наезд на пешехода	6	7/3	5	3/1	5	4	5/2
наезд на велосипедиста	2	0	2	2	0	0	1
наезд на препятствие	1/1	0	0	1	1	2/1	1/1
наезд на стоящее ТС	0	1	0	1/1	0	1	0
опрокидывание	0	0	0	0	0	1	0

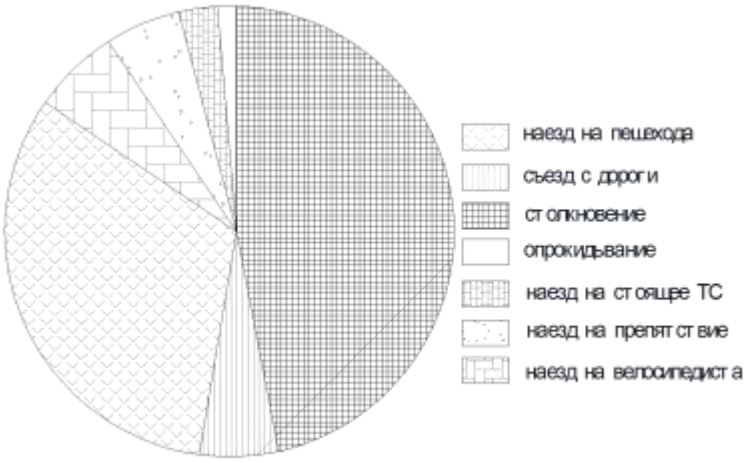


Рисунок 5 – Соотношение количества видов ДТП на исследуемом участке УДС

Таким образом, чаще всего на рассматриваемом участке УДС происходят столкновения и наезды на пешеходов. По таблице 1 видно, что с 10.01 ч. до 14.00 ч. происходит меньше всего аварий, а в промежуток времени с 18.01 ч. до 22.00 ч. больше всего. Наиболее пиковым будним днем является вторник с 14.01 ч. до 18.00 ч., а выходным днем – воскресенье с 18.01 ч. до 22.00 ч.

Результаты и обсуждение

Далее с помощью математической статистики и теории вероятностей были рассчитаны следующие показатели: математическое ожидание, дисперсия, корреляционный коэффициент, что позволило определить наиболее сильную корреляционную зависимость событий случайного процесса.

В таблице 1 каждая строка соответствует конкретному опыту, то есть реализации процесса, каждый столбец – конкретному значению времени, то есть сечению процесса. Значит, математическое ожидание будет рассчитано по формуле [17, 18]:

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

Дисперсия для сечения t_k рассчитана по формуле (2):

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

Корреляционный коэффициент для сечений t_k и t_t

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

По формулам (1)-(3) произведены расчеты, представленные ниже. Рассматривая аварийность как случайный процесс, можно предсказать в какой промежуток времени будет наблюдаться наибольшая аварийность.

$$M_1 = \frac{5+3+3+2+1+1+4}{7} = 2{,}71.$$

Вычислим дисперсии по формуле (2) и получим:

$$D_1 = \frac{(5-2{,}71)^2+(3-2{,}71)^2+(3-2{,}71)^2+(2-2{,}71)^2+(1-2{,}71)^2+(1-2{,}71)^2+(4-2{,}71)^2}{(7-1)} = 2{,}238.$$

Найдем коэффициенты корреляции согласно формуле (3):

$$\rho_{12} = 0{,}838;\ \rho_{15} = 0{,}516;\ \rho_{25} = 0{,}7.$$

Аналогично производятся все остальные расчеты.

Таким образом, наиболее сильная корреляционная зависимость имеет место между 1 и 2, 1 и 5, 2 и 5 сечениями.

Если во втором сечении произошло 3 аварии, то найдем математическое ожидание по формуле (4) количество аварий, произошедших в пятом сечении.

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

где a и δ_ε – математическое ожидание и стандартное отклонение величины ε;

b и δ_η - математическое ожидание и стандартное отклонение величины η.

$$M_{P2}(P_5) = \rho_{25}\left(\frac{\delta_5}{\delta_2}\right)(3-1{,}71) + 2{,}14 = 0{,}7\left(\frac{1{,}574}{1{,}254}\right)(3-1{,}71) + 2{,}14 = 3{,}2.$$

В Белгородской городской агломерации существуют участки УДС, прилегающие к городским дорогам. В результате проведенного анализа статистических данных на одном из рассмотренных в данной статье участке УДС в Белгородской агломерации по направлению Никольское-Таврово-Дубовое были выявлены повторяющиеся сюжеты ДТП, а именно, наезд на пешехода, столкновение, наезд на препятствие, съезд с дороги и т.д. Отметим, что одни и те же виды ДТП происходили в одно и тоже время года и одинаковые диапазоны времени суток и тому подобное.

В связи с этим была необходимость в разработке информационной модели, позволяющей предупредить водителя о движении по опасному участку УДС городской агломерации. Модель включает в себя предупреждающие меры, позволяющие привлечь внимание водителя, как следствие снизить скорость движения транспортного средства, а также уменьшить тяжесть последствий от ДТП и предотвратить вероятность возникновения ДТП (рис. 6).

Данные меры осуществляются при помощи следующих устройств и организационно-технических мероприятий, позволяющих повысить БДД:

1) устройство, находящееся в транспортном средстве и информирующее водителя об определенном ряде мер, приближаясь и проезжая по опасному участку УДС (вычисляет GPS координаты автомобиля и оповещает голосовым сопровождением о: снижении скорости движения, концентрации внимания; частости возникновения ДТП на участке (перечисляя

виды ДТП); погодных условиях; движении велосипедистов; движении пешеходов; имеющихся неподвижных препятствиях;

2) об установке знаков со светодиодными элементами в начале и конце опасных участков УДС;

3) об устройстве складывающейся искусственной дорожной неровности;

4) об установке информационных табло со светодиодными элементами, на которых будут представлены схемы видов ДТП (столкновение, опрокидывание, наезд на пешехода и т.д.)

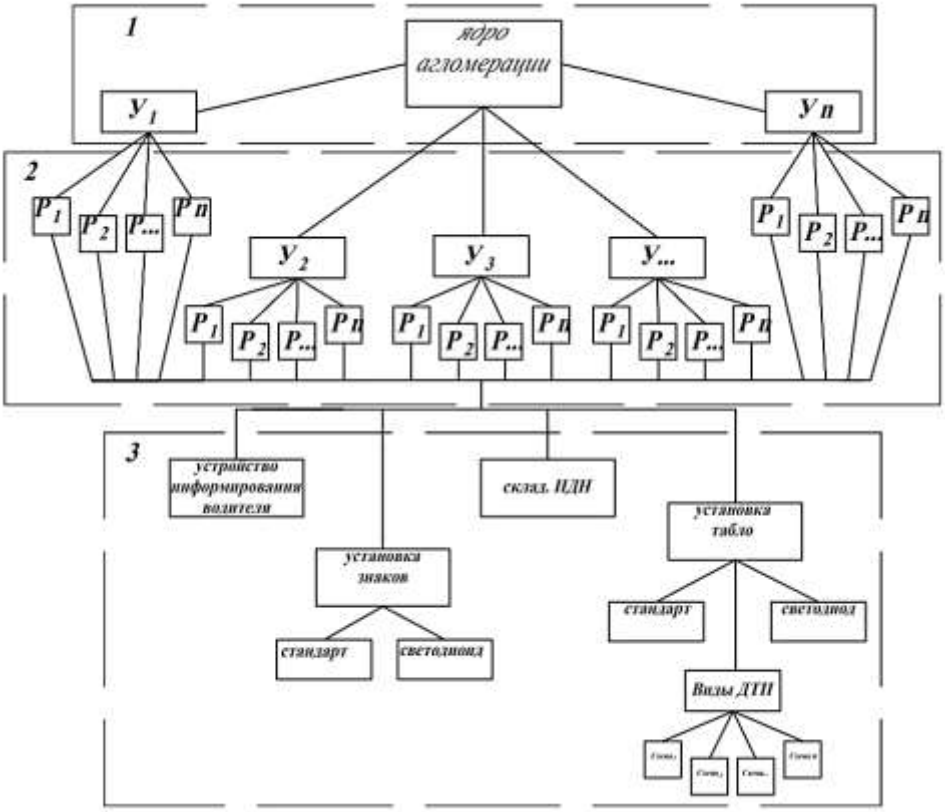


Рисунок 6 – Графическая схема информационной модели, позволяющей предупредить водителя о движении по опасному участку УДС: *1-исходые данные (условия); 2 – причины, воздействующие на водителя и его транспортное средство; 3 – мероприятия, повышающие БДД*

Выводы

Итак, чаще всего на рассматриваемом участке УДС происходят столкновения и наезды на пешеходов. По приведенным результатам в таблице видно, что с 10.01 ч. до 14.00 ч. происходит меньше всего аварий, а в промежуток времени с 18.01 ч. до 22.00 ч. больше всего. Наиболее пиковым будним днем является вторник с 14.01 ч. до 18.00 ч., а выходным днем – воскресенье с 18.01 ч. до 22.00 ч.

По результатам математических вычислений установлена корреляционная зависимость между ДТП и сечениями временных интервалов. Наиболее сильная корреляционная связь прослеживается между первым и вторым, первым и пятым, вторым и пятым сечениями.

Таким образом, благодаря разработанной информационной модели, количество ДТП будет снижено за счет достижения дисциплинированности водителя и его выбором безопасной скорости движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пеньшин, Н.В. Методология обеспечения безопасности дорожного движения на автомобильном транспорте: Учебное пособие - Тамбов: ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. - С. 15.

2. Власов, А.А. Теория транспортных потоков: Монография - Пенза: ПГУАС, 2014. - С. 124.

3. Новости Госавтоинспекции [Электронный ресурс] / Режим доступа: www.gibdd.ru

4. Kushchenko L.E., Kushchenko S.V. The solving of optimizing the structure of a transport node problem by the fuzzy set method // information technologies and management of transport systems: MATEC Web of conferences the VII international scientific and practical conference. - 2021.

5. Гай Л.Е., Шутов А.И., Воля П.А., Кущенко С.В. Заторовые явления. Возможности предупреждения // Белгород: Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2013. - №3.- С. 166-169.

6. Кущенко, Л.Е. Организация дорожного движения: учебное пособие - Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2020. - 196 с.

7. Кущенко Л.Е., Кравченко А.А., Рыжкин П.П., Королева Л.А. Влияние состояния качества автомобильных дорог на ДТП // Мир транспорта и технологических машин. – 2020. - №1(68). – С. 49-58.

8. Зырянов В.В., Кочерга В.Г., Поздняков М.Н. Современные подходы к разработке комплексных схем организации дорожного движения // Транспорт Российской Федерации. - СПб. – №1. - 2011. – С. 28-33.

9. Новиков, И.А. Технические средства организации движения - Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2009. - 302 с.

10. Podoprigora N.V., Marusin A.V., Pegin P.A., Karelina E.A., Akulov A.A. Systematic approach in information support of the «Road user-vehicle-road-external environment» system // Systems of signals generating and processing in the field of on board communications, SOSG: Conference Proceedings. – 2022.

11. Novikov A., Shevtsova A., Evtyukov S., Marusin A. Establishment of causal relationships of the occurrence of road accidents // International conference on engineering management of communication and technology (EMCTECH). – 2022. – P. 1-5.

12. Сильянов, В.В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог - М.: Транспорт, 1984. - 287 с.

13. Podoprigora N.V., Marusin A.V., Pegin P.A., Karelina E.A., Akulov A.A. Systematic approach in information support of the «Road user-vehicle-road-external environment» system // Systems of signals generating and processing in the field of on board communications:Conference proceedings. - 2022.

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

15. Кущенко Л.Е., Кущенко С.В., Кравченко А.А., Давыдова Е.В. Исследование эколого-экономических показателей автомобильного транспорта в городской агломерации Белгородской области // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. - №1(72). – С. 79-87.

16. Кущенко Л.Е., Кущенко С.В., Глаголев С.Н., Новиков И.А. Улучшение экологической обстановки посредством изменения режимов работы светофорного объекта // Мир транспорта и технологических машин. – 2016. - №3(54). – С. 116-121.

17. Румшинский, Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента - М.: Наука, 1971. – 352 с.

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

19. Kushchenko L., Kushchenko S., Novikov A., Novikov I. The planning and conducting transport and transport-sociological surveys for the development of a local project of the Belgorod urban agglomeration // Journal of applied engineering science. – 2021. - Vol. 19 (3). – P. 706-711.

20. Kushchenko L., Kushchenko S., Kambur A., Novikov A. The analizing of personal and public transport traffic flows in Belgorod agglomeration // Journal of applied engineering science. – 2022. - Vol. 20 (3). - P. 700-706.

Кущенко Лилия Евгеньевна
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46
К.т.н., доцент кафедры «Эксплуатации и организации движения автотранспорта»
E-mail: lily-041288@mail.ru

L.E. KUSHCHENKO

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

***Abstract**. The analysis of the statistics of road accidents on one of the sections of the road network adjacent to the core of the urban agglomeration was carried out, and the percentage ratio of the type of transport used and the number of vehicles in the family was determined using a sociological survey. According to the results of the documentary study, it was determined that Tuesday and Sunday are the most dangerous days of the week with the largest number of road accidents, as well as the most common and frequently occurring types of accidents are collisions and hitting pedestrians. On the basis of mathematical statistics and theory of probability, the correlation dependence between the proposed time ranges is established. The information model has been developed that allows warning the driver about driving on a dangerous section of the road network and using the proposed methods to improve road safety.*

***Keywords:** traffic accident, urban agglomeration, vehicles, mathematical statistics, correlation, information model*

BIBLIOGRAPHY

1. Pen`shin, N.V. Metodologiya obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya na avtomobil`nom transporte: Uchebnoe posobie - Tambov: FGBOU VPO «TGTU», 2013. - S. 15.

2. Vlasov, A.A. Teoriya transportnykh potokov: Monografiya - Penza: PGUAS, 2014. - C. 124.

3. Novosti Gosavtoinspektsii [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: www.gibdd.ru

4. Kushchenko L.E., Kushchenko S.V. The solving of optimizing the structure of a transport node problem by the fuzzy set method // information technologies and management of transport systems: MATEC Web of conferences the VII international scientific and practical conference. - 2021.

5. Gay L.E., Shutov A.I., Volya P.A., Kushchenko S.V. Zatorovye yavleniya. Vozmozhnosti preduprezhdeniya // Belgorod: Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova. - 2013. - №3.- S. 166-169.

6. Kushchenko, L.E. Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya: uchebnoe posobie - Belgorod: BGTU im. V.G. Shukhova, 2020. - 196 s.

7. Kushchenko L.E., Kravchenko A.A., Ryzhkin P.P., Koroleva L.A. Vliyanie sostoyaniya kachestva avtomobil`nykh dorog na DTP // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2020. - №1(68). - S. 49-58.

8. Zyryanov V.V., Kocherga V.G., Pozdnyakov M.N. Sovremennye podkhody k razrabotke kompleksnykh skhem organizatsii dorozhnogo dvizheniya // Transport Rossiyskoy Federatsii. - SPb. - №1. - 2011. - S. 28-33.

9. Novikov, I.A. Tekhnicheskie sredstva organizatsii dvizheniya - Belgorod: BGTU im. V.G. Shukhova, 2009. - 302 s.

10. Podoprigora N.V., Marusin A.V., Pegin P.A., Karelina E.A., Akulov A.A. Systematic approach in information support of the «Road user-vehicle-road-external environment» system // Systems of signals generating and processing in the field of on board communications, SOSG: Conference Proceedings. - 2022.

11. Novikov A., Shevtsova A., Evtyukov S., Marusin A. Establishment of causal relationships of the occurrence of road accidents // International conference on engineering management of communication and technology (EMCTECH). - 2022. - R. 1-5.

12. Sil`yanov, V.V. Transportno-ekspluatatsionnye kachestva avtomobil`nykh dorog - M.: Transport, 1984. - 287 s.

13. Podoprigora N.V., Marusin A.V., Pegin P.A., Karelina E.A., Akulov A.A. Systematic approach in information support of the «Road user-vehicle-road-external environment» system // Systems of signals generating and processing in the field of on board communications: Conference proceedings. - 2022.

14. Vasil`ev, A.P. Ekspluatatsiya avtomobil`nykh dorog: uchebnik dlya stud. vysshikh ucheb. zavedeniy - M.: Izdatel`skiy tsentr «Akademiya». - v 2 t., 2010. - 320 s.

15. Kushchenko L.E., Kushchenko S.V., Kravchenko A.A., Davydova E.V. Issledovanie ekologo-ekonomicheskikh pokazateley avtomobil`nogo transporta v gorodskoy aglomeratsii Belgorodskoy oblasti // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2021. - №1(72). - S. 79-87.

16. Kushchenko L.E., Kushchenko S.V., Glagolev S.N., Novikov I.A. Uluchshenie ekologicheskoy obstanovki posredstvom izmeneniya rezhimov raboty svetofornogo ob"ekta // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2016. - №3(54). - S. 116-121.

17. Rumshinskiy, L.Z. Matematicheskaya obrabotka rezul`tatov eksperimenta - M.: Nauka, 1971. - 352 s.

18. Venttsel`, E.S. Teoriya veroyatnosti - M.: FM, 1966. - 442 s.

19. Kushchenko L., Kushchenko S., Novikov A., Novikov I. The planning and conducting transport and transport-sociological surveys for the development of a local project of the Belgorod urban agglomeration // Journal of applied engineering science. - 2021. - Vol. 19 (3). - R. 706-711.

20. Kushchenko L., Kushchenko S., Kambur A., Novikov A. The analizing of personal and public transport traffic flows in Belgorod agglomeration // Journal of applied engineering science. - 2022. - Vol. 20 (3). - R. 700-706.

Kushchenko Liliya Evgen'evna
Belgorod state technological university
Candidate of technical science
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46
E-mail: lily-041288@mail.ru

ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ

Научная статья
УДК 656.13
doi:10.33979/2073-7432-2022-1(79)-4-102-110

С.А. ГУСЕВ, А.С. ТЕРЕНТЬЕВ

ОПТИМИЗАЦИЯ УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ГРУЗОПЕРЕВОЗКЕ И ПЕРЕРАБОТКЕ НЕФТИ

Аннотация. *В статье предпринята попытка систематизации подходов по оптимизации уровня экологической безопасности на нефтеперерабатывающих предприятиях. Рассматривается структура экоинформационной системы, анализируются методы оценки неблагоприятных событий. Затрагивается вопрос нормативного регулирования деятельности нефтеперерабатывающих предприятий по оптимизации управления уровнем экологической безопасности. Также приводятся программные решения, способствующие автоматизации соответствующих процессов по оптимизации уровня экологической безопасности.*

Ключевые слова: *оптимизация, экологическая безопасности, грузоперевозка, транспортировка, переработка, нефть, структура, критерии, инфраструктура*

Введение

Экологическая безопасность является одним из ключевых и определяющих факторов работы практически любого предприятия. Экологическая безопасность представляет собой один из аспектов социальной ответственности предприятия, который тесно связан с минимизацией количества выбросов в окружающую среду.

Увеличение числа промышленных предприятий, объектов транспорта, а также интенсификация других направлений функционирования народного хозяйства повышают градус экологической напряженности и определяют необходимость и актуальность исследований в сфере защиты окружающей среды [3]. В качестве объекта исследования в данной работе мы анализируем взаимосвязь перевозок нефти и продуктов ее переработки с параметрами экологической безопасности.

Обеспечение заданного уровня экологической безопасности выступает основным показателем достижения приемлемого уровня баланса между экономикой данного процесса с вопросами безопасной эксплуатации подвижного состава в процессе перевозки [2]. Оптимизация функции минимизации затрат, сохранение параметров качества процесса перевозки, снижения потерь при организации грузоперевозок сырья и продуктов переработки нефти в настоящее время базируется на использовании информационных систем постоянного мониторинга осуществления исследуемого процесса. Система оценки и снижения уровня риска в исследуемой системе должна обеспечить заданный уровень логистики, особенно в части влияния на окружающую среду [9].

С учетом тотального проникновения современных информационных технологий в человеческую деятельность, включая грузоперевозку и переработку нефти, очевидно, что качественная система обеспечения экологической безопасности должна выстраиваться как интеллектуальная управляющая система с мотивированным целевым выбором и координацией организационного, координационного и исполнительского уровней [21].

Нефтедобывающая и нефтеперерабатывающая промышленность в отечественной хозяйственной системе имеет основополагающую общественную и производственную значимость. Использование новейших IT-технологий, организационных логистических способов и механизмов транспортировки нефти и готовых продуктов переработки, комплексов мониторинга целостности товара и организации безопасных транспортных процессов могут значительно повысить качественные показатели действующих комплексов обеспечения топливом и другой продукцией нефтепереработки [16].

© Гусев С.А., Терентьев А.С., 2022

Таким образом, актуальной проблемой является оснащение нефтеперерабатывающих и транспортирующих предприятий спутниковыми навигационными приемниками и реализация эффективного использования навигационных данных.

Задача исследования: предложить эффективный вариант по оптимизации процесса обеспечения заданного уровня экологической безопасности при грузоперевозке и переработке нефти.

У каждого бизнес-процесса (грузоперевозка и переработка нефти не являются исключением) выходные величины должны превышать по качеству входные – в этом и состоит суть оптимизации любого процесса [14].

При оптимизации уровня экологической безопасности важнейшим показателем является релевантный объем информационного обеспечения. Зная все входные данные и условия реализации бизнес-процесса, можно эффективным образом оптимизировать конкретный показатель.

Для оптимизации трудоемкости эксплуатации информационных ресурсов применяются информационные технологии, представляющие собой комплекс методов, программно-технологических и производственных средств, формирующих технологическую цепочку. Такая цепочка способна осуществлять сбор, хранение, обработку, вывод, распространение информации. Соответственно, актуализируется цепочка вращения информации по типу «внешняя среда – технологическое оборудование – сотрудники» [13].

Данные мониторинга уровня экологической безопасности при грузоперевозке и переработке нефти не должны удаляться. Необходимо накапливать и обновлять архив данных, по которому в дальнейшем можно будет формировать интересующие тренды. Это поможет выработке эффективных управленческих решений, снижению издержек по достижению приемлемого уровня экологической безопасности.

На рисунке 1 представлена структура экоинформационной системы.

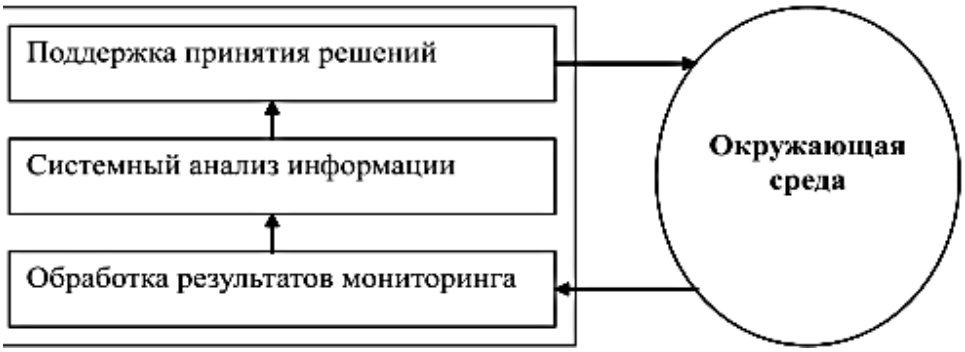


Рисунок 1 – Структура экоинформационной системы

Как видно из рисунка 1, в структуре экоинформационной системы выделяются три уровня.

На нижнем уровне находятся модули обработки первичной информации результатов проведенного мониторинга. Средний уровень формирует программное обеспечение, дающее возможность проанализировать информацию о состоянии внешней среды комплексно, структурировано. Верхний уровень представлен программными модулями для реализации поддержки принятия решений [1]. На верхнем уровне необходимо оценить рисковые негативные воздействия.

Материал и методы

Целесообразно использовать следующие методы оценки подобных воздействий:

- экспертный – оценка негативных последствий путем обработки результатов экспертных опросов. Также может использовать метод Дельфи для согласования экспертных оценок. Экспертный метод используется, если нет объективных данных о частоте появления негативных событий, а также не ясна логика их формирования [6]. Например, одно и то же нефтеперерабатывающее предприятие уже давно оптимизировало уровень экологической

безопасности, что подтверждается статистикой, однако, периодически (раз в год) в разных местах перемещения нефтяных барж остаются нефтяные пятна. При реализации данного метода эксперты используют определенные подходы к решению задачи;

- аналитический – исследование причинно-следственных связей в системе, позволяющее оценить вероятность появления негативного события как сложного и структурированного явления, возникшего ввиду определенной цепочки локальных событий;
- статистический – изучение накопленных статистических сведений по аналогичным событиям, имеющим место на объектах, где производится грузоперевозка и переработка нефти. Используется, если появление негативного события не всегда известно. Однако, подобному событию присуща некоторая доля вероятности, а также присутствует накопленная информация. Таким образом, можно сделать выводы о частоте и силе появления негативного события [8].

Зачастую рассмотренные методы используются в комплексе, поскольку в совокупности они могут дать более полную картину для оптимизации уровня экологической безопасности при грузоперевозке и переработке нефти, чем каждый из них в отдельности. Завершающим этапом оценки являются исследования, чьей целью представляется определение количественных критериев экологической безопасности.

Здесь определяется список методов и механизмов достижения экологической безопасности, делящийся на группы методов:

- инструментарий, использование которого позволяет не допустить распространение негативных воздействий;
- методы, снижающие ущерб от негативного события при грузоперевозке и переработке нефти, а также усиливающие степень защиты объекта;
- методы, которые снижают вероятность появления негативного события, измеряют количественные и качественные характеристики условий работы объекта, не воздействуя на процесс его функционирования;
- методы, которые дают возможность избежать негативного влияния со стороны нефтеперерабатывающих и транспортирующих нефть предприятий на окружающую среду. Подобные методы подразумевают регулирование поведения объекта, где имеет место грузоперевозка и переработка нефти, при помощи изменения направленности его работы, а также избежание ситуаций, способных нанести ущерб экологической системе [7].

Теория

Важное значение при оптимизации уровня экологической безопасности при грузоперевозке и транспортировке нефти имеет нормативное регулирование деятельности предприятий. Их функционирование должно учитывать модель, определенную стандартом МС ISO 14001:2004. По стандарту система экологического менеджмента, включающая оптимизацию уровня экологической безопасности, должна работать с учетом следующих регламентов:

- термины и определения;
- ресурсы, полномочия, ответственность;
- экологическая политика;
- компетентность и осведомленность;
- управление операциями;
- мониторинг изменений;
- аудит системы экологического менеджмента;
- подготовленность к аварийным ситуациям и пр. [20]

Программы Oncontact Software, Worldtrak Corporation, Lowson Software, SAP AG и прочие решения дают возможность формировать интегрированные гибкие структуры под потребности определенных предприятий [4]. Поэтому важную роль играют соответственные правила, методологии, а также последовательность этапов, дающих возможность оптимизировать уровень экологической безопасности при грузоперевозке и переработке нефти.

Оптимизация процесса обеспечения заданного уровня экологической безопасности при грузоперевозке и переработке нефти должна носить систематический и обоснованный

характер. Уровень экологической безопасности должен оцениваться с учетом достижения значений показателей в заданных пределах, как качественно, так и количественно. Необходимо постоянно анализировать показатели, оказывающие воздействие на состояние экологического фона. Каждое предприятие, реализуя социально ответственную стратегию, должно защищать среду обитания, как людей, так и прочих организмов [12]. Экологическая безопасность является основополагающим фундаментом на пути комплексного безопасного функционирования предприятия при грузоперевозке и переработки нефти. Каждое предприятие, стремящееся расширить свою деятельность или же диверсифицировать бизнес-направления, должно учитывать уровень выбросов, сбросов, предельно допустимых концентраций, которое выделяют отходы от их деятельности [19]. Приемлемый уровень экологической безопасности гарантирует дальнейшую эффективность деятельности большинства предприятия вне зависимости от направления их деятельности [5].

Грузоперевозка и переработка нефти может иметь необратимые экологические последствия, вследствие чего необходимо контролировать данный процесс. Предприятия должны соблюдать и придерживаться значений предельно установленных концентраций.

Для более точного понимания конкретного мероприятия по оптимизации уровня экологической безопасности при грузоперевозке и переработке нефти на рисунке 2 представлена модель влияния входных условий на риск возникновения чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС).

Ввиду важнейшего значения грузоперевозки и переработки нефти нужно современные технологии для оптимизации уровня экологической безопасности. Самыми перспективными являются спутниковые системы навигации и контроля.

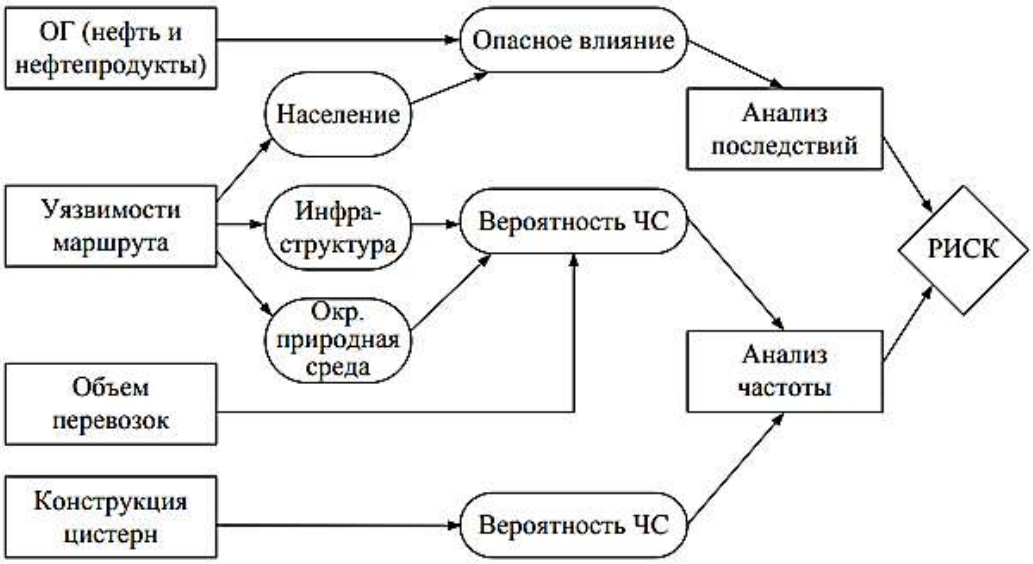


Рисунок 2 – Модель влияния входных условий на риск ЧС при грузоперевозке и переработке нефти

Если раньше в нефтеперерабатывающей и транспортной отрасли использовались максимально примитивные устройства, отслеживающие местоположение, например, танкера, но теперь с учетом научно-технического прогресса целесообразно применять сложные программно-аппаратные комплексы [15]. Одним из подобных комплексов является ГЛОНАСС-трекер. Таким образом, при современном уровне развития спутниковых навигационных систем и относительно дешевой стоимости услуг операторов можно реализовать эффективный онлайн контроль.

Предлагаемый вариант решения для оптимизации процесса обеспечения заданного уровня экологической безопасности заключается в том, что предлагается использовать систему мониторинга подвижных объектов, схема которой представлена на рисунке 3.

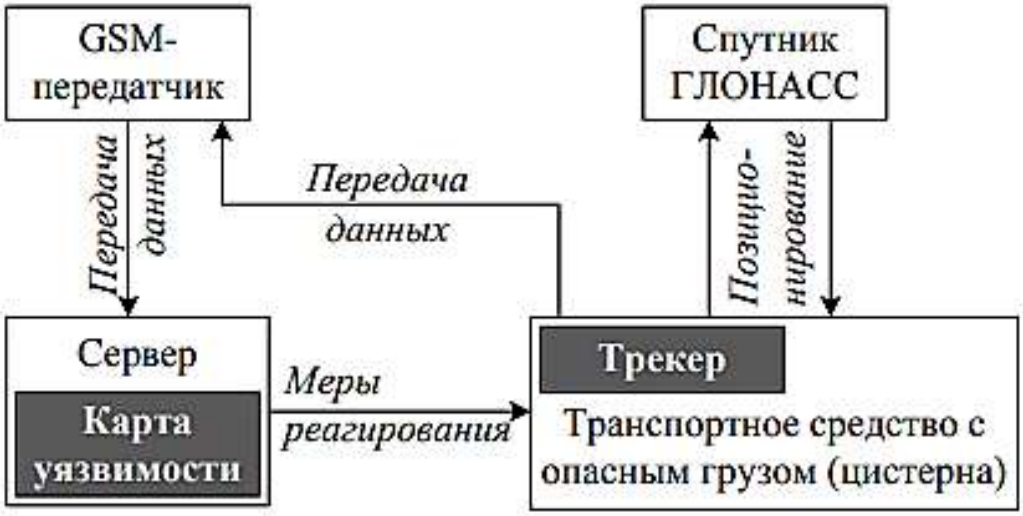


Рисунок 3 – Схема системы мониторинга подвижных объектов с нефтью

В предлагаемом варианте на транспортирующее судно устанавливается ГЛОНАСС-трекер, определяющий с помощью спутникового приемника координаты, а также собирающий нужную информацию с датчиков и по каналам GSM-связи в виде пакета системы автоопределения расположения транспортирующего судна, передающего данные на сервер для дальнейшей обработки и пользования [10].

На сервере осуществляется автоматизированная аналитическая обработка данных. Если возникают критические события, то появляется соответствующее уведомление. Ответственные службы снабжаются информацией с помощью клиентской части ПО или веб-интерфейса. ГЛОНАСС-модули дают возможность фиксировать координаты почти в любых условиях. Трекеры оснащаются интерфейсами RS-232 для того, чтобы к ним можно было подключить периферийные устройства [8].

Предлагаемое решение использования трекеров позволяет оптимизировать уровень экологической безопасности при грузоперевозке и переработке нефти, минимизировать последствия ЧС. При оперативной идентификации мест утечки нефти и принятии необходимых мер можно избежать возникновения экологических катастроф.

Важным моментом представляется ранжирование уязвимостей территории, где осуществляется грузоперевозка и переработка нефти, на базе метода кластерного анализа.

Ранжирование требуется для оптимизации реагирования при появлении происшествия или ЧС при грузоперевозке или переработке нефти, зафиксированного ГЛОНАСС-трекером.

Расчет

Кластерный анализ применяется для разбиения множества исследуемых объектов или признаков на группы, которые объединены по критерию. Данные в каждом кластере имеют общую черту – сходство между объектами или эквивалентное расстояние между ними.

Цель кластерного анализа – разделить анализируемые объекты на целое количество кластеров так, чтобы объекты одного кластера были сходными, а разных кластеров – разнородными, и каждый объект принадлежал бы исключительно одному подмножеству разбиения [11].

Целевой функцией является внутригрупповая сумма квадратов отклонения:

$$W = \sum_{j=1}^{n}(x_j - \bar{x})^2 = \sum_{j=1}^{n} x_j^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{j=1}^{n} x_j\right)^2, \quad (1)$$

где x_j – значения *j*-го объекта.

Расстояние между одноэлементными кластерами рассчитывается по формуле:

$$d_{i+j,k} = A(w)\min\left(d_{ik,}d_{jk}\right) + B(w)max\left(d_{ik,}d_{jk}\right), \quad (2)$$

где w – параметр, определяющий алгоритм кластеризации.

Если w=1, то получается алгоритм средней связи. В таком случае:

$$d_{i+j,k} = \frac{n_i}{n_i+n_j} d_{ik} + \frac{n_j}{n_i+n_j} d_{jk}. \quad (3)$$

Соответственно, один элементы пары кластера принадлежит M, второй – N. Если w стремится к бесконечности, то алгоритм ближайшего соседа равен:

$$d_{i+j,k} = \min(d_{ik}, d_{jk}). \quad (4)$$

Весовой учет признаков рассчитывается следующим образом:

$$\delta_{ij}^2 = \sum_{h=1}^{m} w_h (x_{ih} - x_{jh})^2. \quad (5)$$

Мерой сходства характеристик является коэффициент корреляции (формула 6):

$$r_{ij} = \frac{\sum_{h=1}^{N}(x_{hi}-m_i)(x_{hj}-m_j)}{\delta_i \delta_j}, \quad (6)$$

где m_i, m_j – средние отклонения;

$\delta_i \delta_j$ – среднеквадратичные отклонения для i и j.

Сумма квадратов отклонений в данном случае представляет собой критерий объединения:

$$E_j = \sum_{i=1}^{n} r_{ij}^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} r_{ij}\right)^2. \quad (7)$$

Здесь процессу объединения кластеров соответствует постепенное возрастание критерия E.

В случае построения карты кластеризации уязвимостей используется метод K-средних, базирующийся на минимизации суммы квадратов расстояний между каждым компонентом начальных данных и центров его кластера. Это помогает достигнуть необходимой плотности в процессе создания карты кластеризации.

Алгоритмы кластеризации преимущественно берут в расчет, что внутри каждого кластера данные распределены по унимодальному закону, приближенному к нормальному распределению. Предполагается, что каждый кластер на карте описывается исключительно одним центром, представляющим собой моду распределения [17].

Исходными данными при кластерном анализе являются единичные матрицы уязвимостей, представляющие собой некие совокупности простейших точек, полученные с помощью разбиения зоны маршрута нефтеперевозки сеткой.

Для эффективной реализации типологии анализируемых ячеек нужно выявить комплекс характеристик, подразумевающий: выбор показателей, весовых коэффициентов, метода обработки исходных данных, последовательности визуализации [18].

При выборе характеристик на матрицах отображаются весовые показатели уязвимости в виде коэффициентов вероятного ущерба в результате разлива нефти. Кроме того, принимается во внимание восприимчивость территории и способность реагировать на инцидент с ущербом (разливом нефти, ущерба населению, простою транспорта и пр.).

По итогам рассчитанного анализа методом объединения можно идентифицировать кластеры и распределить их по рангам. В завершении осуществляется кластерная интерпретация, которая предполагает оценку размеров и состава кластеров, а также их содержательный анализ, требуемый для реализации ответных мероприятий.

Для оптимизации рассматриваемого процесса можно пользоваться программными средствами, например, инструментом Explorer Clustering, где используется иерархический алгоритм кластеризации. Подобный подход позволяет сгруппировать данные с учетом обратной связи и динамическим управлением запроса. Весовые характеристики единичных ячеек объединяются в кластеры и отображаются цветной мозаикой [20].

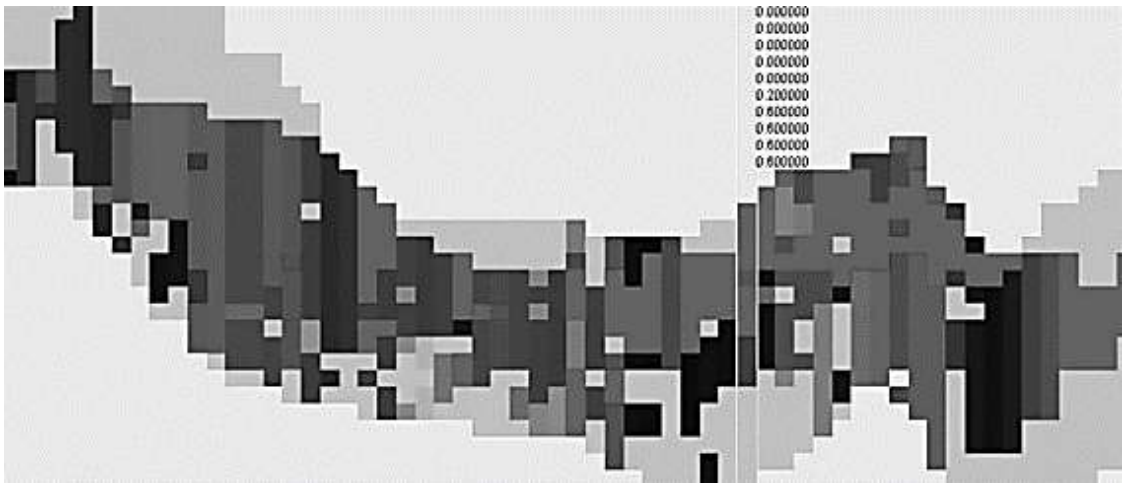


Рисунок 4 – Карта кластеризации уязвимостей

Рисунок 5 – Алгоритм принятия решения по реагированию на ЧС с использованием комплекса «ГИС–электронная карта уязвимостей»

С учетом визуализации уязвимостей можно сформировать карту уязвимостей зоны влияния, позволяющую планировать проведение мероприятий по оптимизации экологической безопасности (рис. 5).

При желании на дисплей можно вывести карту каждой единичной уязвимости для выявления сил реагирования. Карта дает возможность быстро выявить ответные функции для устранения возникших последствий.

Результаты

В современных условиях работы транспортных систем важным фактором, обеспечивающим эффективность их функционирования является использование информационно-коммуникативных технологий, что снижает риски возникновения внештатных ситуаций и позволяет адаптивно реагировать на произошедшие события. Рассматриваемые риски хранения и перевозки образуют совокупность задач, для решения которых предложено использование трекеров, как технического инструмента в процессе оптимизации перевозочного процесса и снижают итоговые показатели уровня экологической безопасности при грузоперевозке и переработке нефти.

Обсуждение

Исходя из понимания терминологии методов кластеризации, как инструментария объединения объектов сходных по признаку, мы стремимся к пониманию общих тенденций и поиску для данных исследуемых групп тех решений, которые могут быть применены на практике. В частности, применение метода кластеризации уязвимостей, позволяет планировать те мероприятия, которые направлены на снижение вероятности возникновения ЧС и снижения степени влияния на экологическую безопасность на нефтеперерабатывающих предприятиях при транспортировке нефтепродуктов. Подобная референтность формирует пространство эффективных решений и может найти применение в других направлениях исследования процессов функционирования транспортных систем.

Выводы

Таким образом, в результате выполненного исследования были получены теоретические положения и практические результаты применения метода кластерного анализа с использованием информационных технологий на основе ГЛОНАСС для оптимизации режимов управления и эффективного функционирования транспортных систем при транспортировке нефтепродуктов. Возможность в онлайн-режиме получать достоверные данные о показателях, характеризующих места происшествия в сочетании с инструментарием пространственного анализа и обмена данных, дают возможность совместной работы со средствами графической визуализации категорированной территории, что в результате снижает вероятность возникновения ЧС и повышает надежность исследуемой системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абросимов, А.А. Экология переработки углеводородных систем - М.: Химия, 2018. – 256 с.
2. Акимов, В.А. Природные и техногенные чрезвычайные ситуации: опасности, угрозы, риски – М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2020. – 344 с.
3. Багров, А.И. Техногенные системы и теория риска – Рязань: РГУ им. С.А. Есенина, 2018. – 205 с.
4. Васильев С.Н. От классических задач регулирования к интеллектуальному управлению // Изв. РАН. ТиСУ. - 2019. - №2. - С. 5-21.
5. Гринин, А.С. Экологическая безопасность. Защита территории и населения при чрезвычайных ситуациях – М.: Фаир-Пресс, 2018. – 336 с.
6. Джексон, П. Введение в экспертные системы - М.: Изд. дом «Вильямс», 2018. – 250 с.
7. Елохин А.Н. Анализ управления рисками - М.: ООО «Полимедиа», 2020. – 340 с.
8. Геловани, В.А. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды - М.: Эдиториал УРСС, 2017. – 110 с.
9. Калайджан В.М., Бабушкин А.Г., Ядрышников И.Н. Построение прикладных информационных систем с использованием интегрированной картографии // Вестниккибернетики. - Тюмень: ИПОС СО РАН. - 2014. - Вып. 3. - С. 60-63.
10. Карлащук, В.И. Спутниковая навигация. Методы и средства – М.: СОЛОН-Пресс. - Изд. 2-е, перераб. и доп., 2019. – 288 с.
11. Ким, Д.О. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ – М.: Финансы и статистика, 2019. – 215 с.
12. Костиков, В.А. Надежность технических систем и техногенные риски - М. : МГТУГА, 2018. - 136 с.
13. Крапивин, В.Ф. Методы экоинформатики - М.: ВИНИТИ РАН, 2019. - 305 с.
14. Мастрюков, Б.С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях – М.: Академия, 2014. – 332 с.
15. Бурков, В.Н. Модели и механизмы управления безопасностью - М.: СИНТЕГ, 2016. – 243 с.
16. Гусев С.А., Терентьев А.С. Оптимизация существующей технологии перевозок грузов с нефтеперерабатывающих предприятий и структуры взаимодействия участников логистической системы // Мир транспорта и технологических машин. - 2022. - №3-5(78). - С. 88-97.
17. Воробьев Д.С. и др. Опыт применения инновационных технологий биоремедиации природных сред, загрязненных нефтью и нефтепродуктами // Исследования и разработки по предупреждению аварийных разливов нефти и ликвидация их последствий: Материалы науч.-практ. конф. – М.: Экспорт-Импорт. - 2017. – С. 197-202.
18. Серебровский А.Н. Об одном методе вероятностного анализа безопасности потенциально опасных объектов // Математические машины и системы. – 2017. – №1. – С. 41.
19. Вылкован, А.И. Современные методы и средства борьбы с разливами нефти – СПб.: Центр–Техинформ, 2020. – 208 с.
20. Трахтенгерц Э.А. Возможности и реализация компьютерных систем поддержки принятия решений // Известия РАН. Теория и способы управления. - 2018. - № 3. - С. 86-113.
21. Яковлев В.В. Экологическая безопасность, оценка риска - СПб.: СПбГПУ, 2017. – 122 с.

Гусев Сергей Александрович
Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина
Адрес: 410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77
Д.э.н., зав. кафедрой организации перевозок, безопасности движения и сервиса автомобилей
E-mail: o051nm@yandex.ru

Терентьев Антон Сергеевич
Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина
Адрес: 410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77
Аспирант
E-mail: anforcey@yandex.ru

S.A. GUSEV, A.S. TERENTYEV

OPTIMIZATION OF THE LEVEL OF ENVIRONMENTAL SAFETY DURING CARGO TRANSPORTATION AND OIL REFINING

Abstract. *The article attempts to systematize and analyze information about optimizing the level of environmental safety at oil refineries. The structure of the eco-information system is considered, methods for assessing adverse events are analyzed. The issue of regulatory regulation of the activities of oil refineries to optimize the management of the level of environmental safety is touched upon. Software solutions that contribute to the automation of relevant processes to optimize the level of environmental safety are also provided.*

Keywords: *optimization, environmental safety, cargo transportation, transportation, refining, oil, structure, criteria, infrastructure.*

BIBLIOGRAPHY

1. Abrosimov, A.A. Ekologiya pererabotki uglevodorodnykh sistem - M.: Himiya, 2018. - 256 s.
2. Akimov, V.A. Prirodnye i tekhnogennye chrezvychaynye situatsii: opasnosti, ugrozy, riski - M.: ZAO FID «Delovoy ekspress», 2020. - 344 s.
3. Bagrov, A.I. Tekhnogennye sistemy i teoriya riska - Ryazan`: RGU im. S.A. Esenina, 2018. - 205 c.
4. Vasil`ev S.N. Ot klassicheskikh zadach regulirovaniya k intellektual`nomu upravleniyu // Izv. RAN. TiSU. - 2019. - №2. - S. 5-21.
5. Grinin, A.S. Ekologicheskaya bezopasnost`. Zashchita territorii i naseleniya pri chrezvychaynykh situatsiyakh - M.: Fair-Press, 2018. - 336 s.
6. Dzhekson, P. Vvedenie v ekspertnye sistemy - M.: Izd. dom «Vil`yams», 2018. - 250 s.
7. Elokhin A.N. Analiz upravleniya riskami - M.: OOO «Polimedia», 2020. - 340 s.
8. Gelovani, V.A. Intellektual`nye sistemy podderzhki prinyatiya resheniy v neshtatnykh situatsiyakh s ispol`zovaniem informatsii o sostoyanii prirodnoy sredy - M.: Editorial URSS, 2017. - 110 s.
9. Kalaydzhan V.M., Babushkin A.G., Yadryshnikov I.N. Postroenie prikladnykh informatsionnykh sistem s ispol`zovaniem integrirovannoy kartografii // Vestnikkibernetiki. - Tyumen`: IPOS SO RAN. - 2014. - Vyp. 3. - S. 60-63.
10. Karlashchuk, V.I. Sputnikovaya navigatsiya. Metody i sredstva - M.: SOLON-Press. - Izd. 2-e, pererab. i dop., 2019. - 288 s.
11. Kim, D.O. Faktornyy, diskriminantnyy i klasternyy analiz - M.: Finansy i statistika, 2019. - 215 s.
12. Kostikov, V.A. Nadezhnost` tekhnicheskikh sistem i tekhnogennye riski - M.: MGTUGA, 2018. - 136 c.
13. Krapivin, V.F. Metody ekoinformatiki - M.: VINITI RAN, 2019. - 305 s.
14. Mastryukov, B.S. Bezopasnost` v chrezvychaynykh situatsiyakh - M.: Akademiya, 2014. - 332 s.
15. Burkov, V.N. Modeli i mekhanizmy upravleniya bezopasnost`yu - M.: SINTEG, 2016. - 243 s.
16. Gusev S.A., Terent`ev A.S. Optimizatsiya sushchestvuyushchey tekhnologii perevozok gruzov s neftepererabatyvayushchikh predpriyatiy i struktury vzaimodeystviya uchastnikov logisticheskoy sistemy // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2022. - №3-5(78). - S. 88-97.
17. Vorob`ev D.S. i dr. Opyt primeneniya innovatsionnykh tekhnologiy bioremediatsii prirodnykh sred, zagryaznennykh neft`yu i nefteproduktami // Issledovaniya i razrabotki po preduprezhdeniyu avariynykh razlivov nefti i likvidatsiya ikh posledstviy: Materialy nauch.-prakt. konf. - M.: Eksport-Import. - 2017. - C. 197-202.
18. Serebrovskiy A.N. Ob odnom metode veroyatnostnogo analiza bezopasnosti potentsial`no opasnykh ob"ektov // Matematicheskie mashiny i sistemy. - 2017. - №1. - S. 41.
19. Vylkovan, A.I. Sovremennye metody i sredstva bor`by s razlivami nefti - SPb.: Tsentr-Tekhinform, 2020. - 208 s.
20. Trakhtengerts E.A. Vozmozhnosti i realizatsiya komp`yuternykh sistem podderzhki prinyatiya resheniy // Izvestiya RAN. Teoriya i sposoby upravleniya. - 2018. - № 3. - S. 86-113.
21. Yakovlev V.V. Ekologicheskaya bezopasnost`, otsenka riska - SPb.: SPbGPU, 2017. - 122 s.

Gusev Sergey Alexandrovich
Saratov State Technical University named after Gagarin Y.A.
Address: 410054, Russia, Saratov, Polytechnic str., 77
Doctor of economics sciences
Email: o051nm@yandex.ru

Terentyev Anton Sergeevich
Saratov State Technical University named after Gagarin Y.A.
Address: 410054, Russia, Saratov, Polytechnic str., 77
Graduate student
E-mail: anforcey@yandex.ru

Научная статья
УДК 656.13
doi:10.33979/2073-7432-2022-1(79)-4-111-118

О.Ю. БУЛАТОВА, В.С. БУЛАТОВ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ПУТЁМ ВНЕДРЕНИЯ ОСНОВНЫХ ТРЕНДОВ МОБИЛЬНОСТИ В УСЛОВИЯХ ПРОВЕДЕНИЯ МАССОВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Аннотация. *В данной статье рассматриваются основные направления развития транспортной инфраструктуры, позволяющие создать устойчивую транспортную систему для обеспечения эффективного управления транспортной инфраструктуры в условиях проведения мегасобытий.*

Ключевые слова: *интеллектуальные транспортные системы, мобильность, бесшовная мобильность, зеленый транспорт, цифровые транспортные услуги, устойчивая транспортная система*

Введение

Мегасобытие – яркое, масштабное, массовое, краткосрочное мероприятие, приводящееся на конкретной территории, привлекающие большое количество посетителей (например, Олимпийские игры, всемирные выставки) [1]. В современном мире такие мероприятия имеют высокое значение – в условиях проведения массовых мероприятий, страны имеют возможность демонстрации государственной политики, как например, проведение Летних Олимпийских игр в Москве в 1980 году, накопление капитала, решение существующих проблем в различных городских инфраструктурах. Мегасобытия тесно связаны с реорганизацией городской территории: возведение зданий, парков, гостиничных комплексов. К чемпионату мира по футболу было построено или реконструировано двенадцать стадионов в одиннадцати городах России. Особенно ярким примером является обширная застройка городской набережной в Барселоне к Летним Олимпийским играм в 1992. Таким образом, несмотря на краткосрочность проведения мегасобытия, оно имеет высокое влияние на городскую инфраструктуру принимающего города за пределами самого мероприятия [2].

Рассмотрим организацию мобильности населения во время проведения массовых мероприятий. Организация эффективной и безопасной городской мобильности является сложной задачей. На настоящий момент многие города сталкиваются с различными сложностями в сфере организации дорожного движения. Например, с 2010 по 2019 год транспортные заторы в Лондоне выросли на 14 %, в Лос-Анджелесе – на 36 %, в Нью-Йорке - на 30 %, а в Париже - на 9 % [3]. Высокий уровень плотности транспортного потока имеет негативные последствия для здоровья и окружающей среды. Многие города имеют качество воздуха ниже установленных всемирной организацией здравоохранения норм [4].

Применение интеллектуальных транспортных систем позволяет решить вопросы организации и планирования перевозочного процесса, оптимизировать условия дорожного движения, повысить уровень безопасности движения транспортных потоков и снизить количество выбросов от движения транспортных средств [3, 4]. Исследования в области интеллектуальных транспортных систем (ИТС) показывают, что на данный момент развития они включают в себя широкий спектр различных элементов:

- цифровые услуги в логистике;
- приложения для осуществления мобильности населения;
- высокоавтоматизированные транспортные средства (ВАТС);
- дроны;
- большие данные;
- управление транспортными и пешеходными потоками;

© Булатова О.Ю., Булатов В.С., 2022

- искусственный интеллект;
- мобильность-как-услуга;
- навигационные системы;
- электромобили;
- кооперативные ИТС;
- электронные платежные системы;
- бесшовную мобильность;
- безопасность.

Перечисленные выше элементы относятся к умной мобильности.

Материал и методы

Проведение массовых мероприятий (мегасобытий) для принимающей является катализатором развития городской инфраструктуры как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе. Правительство и органы власти принимающей стороны стремятся использовать ресурсы, направленные на организацию и проведения массовых мероприятий, с целью привлечения инвестиций и создания новых возможностей экономического развития территории.

На настоящий момент городские транспортные системы, в том числе имеющие высокий уровень качества городского пассажирского транспортного обслуживания, по-прежнему имеют высокую долю личных автомобилей в транспортном потоке относительно других видов транспортных средств. Полностью автономные транспортные средства не используются в значительном количестве, электромобили составляют лишь небольшой процент мирового автопарка [5].

Мегасобытия (массовые мероприятия) представляют собой возможность реализовать функциональные изменения не только в структуре транспортной системы, но и в ее оперативном управлении. Исследования в области проведения массовых мероприятий (мегасобытий) показывают, что подобные мероприятия позволяют добиться следующих результатов:

- реализация новых инфраструктур (в том числе тех проектов, которые были разработаны задолго до подтверждения проведения массового мероприятия, но внедрение которых было отложено из-за нехватки финансирования) за счет притока денежных инвестиций;
- изменения в осуществлении управленческих функций, возникновение сотрудничества между всеми участниками проведения массовых мероприятий;
- повышение качества предоставляемых услуг;
- изменение предпочтений местных пассажиров и водителей в выборе видов транспортных средств [6].

Массовые мероприятия оказывают сильное воздействие на функционирование транспортной инфраструктуры. Допустим, Олимпийский парк вмещает в себя 500 000 посетителей. При условии транспортировки зрителей на личных автомобилях по 4 человека, в Олимпийский парк приедет 125 000 автомобилей. Для организации парковочного пространства понадобиться площадь размером 2,5 км^2. Система метро имеет пропускную способность около 50 000 пассажиров в час в каждом направлении. Т.е. 100 % наполненность Олимпийского парка будет достигнута за 10 часов работы метро. Для удовлетворения транспортного спроса участников и зрителей массовых мероприятий выделяются крупные суммы и привлекаются наиболее компетентные специалисты. Требуются новые подходы к организации мобильности, предоставление различных шеренговых услуг, альтернативных видов транспорта, бесшовной логистики и т.д.

Возрастающие требования к услугам городской мобильности вовлекают в тесное сотрудничество частный сектор экономики и органов власти. Решение задачи организации умной городской мобильности предполагает использование инструментов, оптимизирующих транспортные спрос и предложение и повышающих устойчивость транспортной системы, а также широкий спектр бизнес-моделей, инноваций и технологий [7].

Взаимосвязь и взаимодействие элементов умной мобильности представляет собой сложную экосистему, включающую в себя следующих участников: частный сектор, органов

власти, транспортных операторов, телекоммуникационных провайдеров, мобильность-как-услугу, городскую инфраструктуру (рис. 1):

Рисунок 1 – Взаимосвязь участников умной мобильности

Понимание потребностей и требований конкретного города в оптимизации функционирования существующей транспортной инфраструктуры даёт фундамент для создания умной мобильности и устойчивой транспортной системы [8].

При комплексном подходе к организации умной городской мобильности границы между личным, общественным и шеренговым транспортом размываются, и пользователи получают возможность планирования индивидуальных маршрутов с эффективным и комфортным использованием различных видов транспорта [9].

Расчет

Исследования в области трендов развития транспортных инфраструктур позволяют выделить четыре основных направления городской мобильности:

1) кооперативные ИТС и высокоавтоматизированные транспортные средства;
2) «Зеленый» транспорт;
3) услуги городской мобильности населения;
4) цифровая логистика.

Рассмотрим подробнее функции каждого из выше перечисленных трендов в таблице 1.

Таблица 1 – Функции основных трендов мобильности

Направление	Кооперативные ИТС и ВАТС	Зеленый транспорт	Услуги мобильности	Логистика
Функции	Умное и безопасное дорожное движение	Снижение уровня выбросов загрязняющих веществ	Бесшовная мобильность	Создание цифровой инфраструктуры для осуществления перевозки грузов и логистический операций

Как отмечалось выше, умная мобильность направлена на предоставление услуг мобильности, безопасное вождение, логистику и защиту окружающей среды. Рассмотрим подробнее каждое из направлений [10].

Предоставление услуг мобильности включает в себя:

1) реализация шеренговых услуг (каршеринг, байкшеринг, кикшеринг и т.д.);

2) предоставление услуг с учётом пользователей с особенными потребностями;

3) исследование и реализация решений в области первой и последней мили в оказании транспортных услуг.

Безопасное вождение включает в себя:

1) CCAM (cooperative, connected and automated mobility – кооперативная, подключенная и автоматизированная мобильность) услуги и приложения;

2) предоставление услуг на основе использования больших данных;

3) управление данными (безопасность, доступ и т.д.);

4) данные как услуга;

Логистика как мобильность включает в себя:

1) подключенные транспортные средства;

2) платунинг;

3) логистика как услуга;

4) динамический контроль логистического цикла с учетом чувствительности транспортного потока;

5) своевременная диагностика неисправностей;

6) цифровое управление логистической цепочкой.

Для осуществления перечисленных выше направлений возрастают требования к процессу обмена данными [11-14]. Необходимо создание экосистемы данных, стандартизация данных, регулирование рынка данных и разработка дополнительных необходимых для реализации конкретных функций приложений (рис. 2):

Рисунок 2 – Экосистема умной мобильности

Таким образом, умная городская мобильность может улучшить ряд основных показателей качества организации дорожного движения. Рассмотрим некоторые из них, такие как: удобство организации работы транспортно-пересадочных узлов, доступность услуг мобильности, снижение временных затрат на совершение поездки, снижение финансовых затрат на

совершение поездки, сокращение выбросов загрязняющих веществ от движения транспорта [15, 16] (рис. 3):

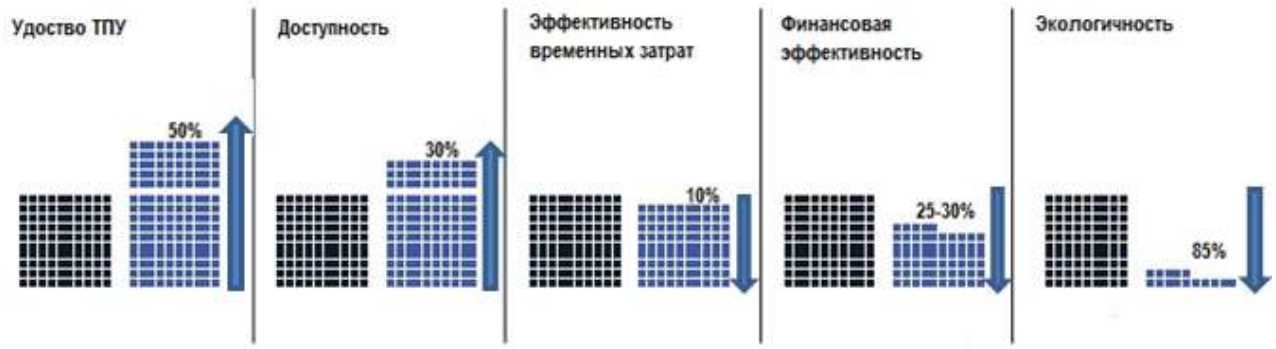


Рисунок 3 – Оптимизация показателей функционирования улично-дорожной сети за счет внедрения умной мобильности (источник McKinsey.com)

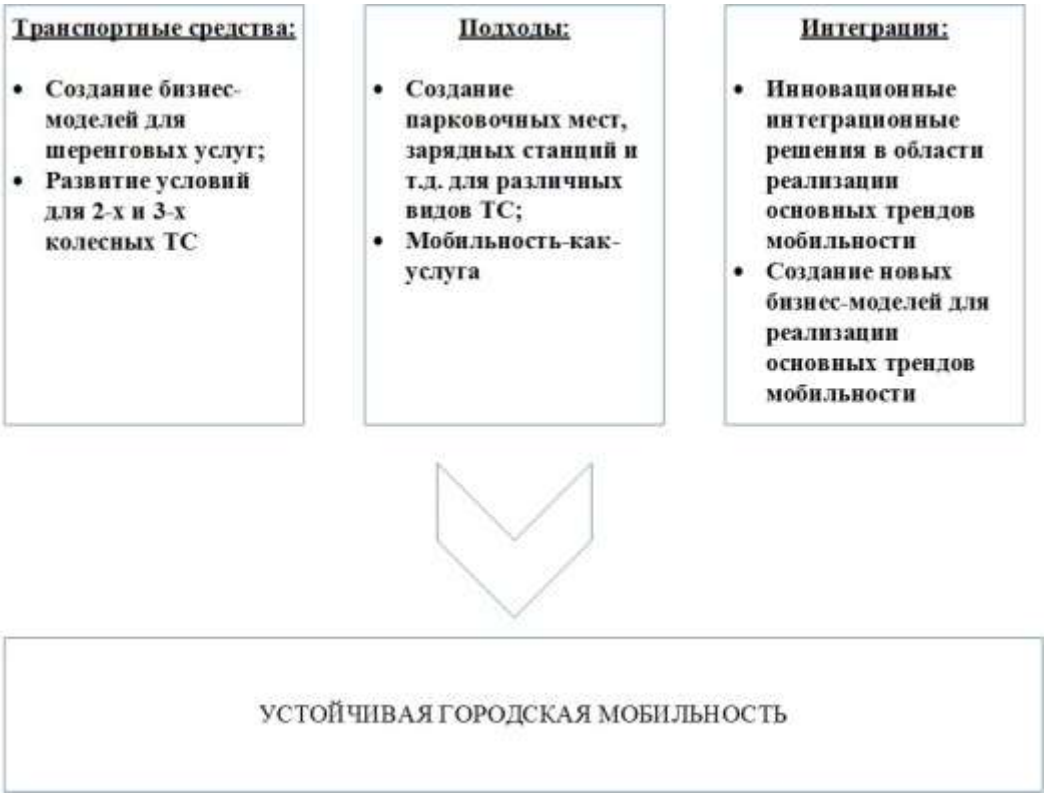


Рисунок 4 – Реализация устойчивой городской мобильности

Реализация устойчивой мобильности (рис. 4) требует решения ряда задач всеми участниками и заинтересованными сторонами [17-20]. Эти задачи связаны с созданием новых бизнес-моделей поддерживающих производство и эксплуатацию экологичных вдов транспорта; предприятий, предоставляющих шеренговые услуги; развитие условий для пользования 2-х и 3-х колесными видами транспорта, стимулирование роста их популярности. Также необходимы инновационные интеграционные решения в сфере мобильности, объединяющие различных поставщиков услуг, в том числе конкурирующих между собой. Решение обозначенных задач обеспечит реализацию основных трендов современной мобильности и, соответственно, устойчивую транспортную систему.

Результаты и обсуждение

Современные города сталкиваются с большим количеством проблем, связанных с транспортным обслуживанием населения: неспособность удовлетворить существующий

спрос на перевозки, обеспечить необходимый уровень безопасности дорожного движения, загрязнение окружающей среды и многими другими. Умная мобильность позволяет решить обозначенные выше проблемы и значительно повысить качество жизни в городской среде. Для достижения этой цели потребуются значительные финансовые вложения, продуманная политика и активное сотрудничество с частным сектором.

Проведение массовых мероприятий (мегасобытий) подразумевает реализацию большого спектра логистических функций. Различные технологии, которые применяются в настоящее время для эффективного проведения массового мероприятия должны быть интегрированы в единую, умную экосистемы по предоставлению мобильности посетителям и участникам мероприятия, а также обслуживающим сервисам. Массовые мероприятия, за счет привлекаемых ресурсов, позволяют осуществить реализацию проектов по обеспечению умной мобильности как на время проведения мероприятий, так и на долгосрочную перспективу.

Выводы

Города, на территории которых проводятся массовые мероприятия, имеют возможность использования средств, выделенных для проведения мероприятия, на реорганизацию городской среды. Проведение массовых мероприятий (мегасобытий) включает в себя планирование использования наследия и решения существующих проблем городской инфраструктуры. Благодаря своему масштабу и стимулирующему эффекту массовые мероприятия (мегасобытия) предоставляют городам возможность дополнительного притока финансирования, туристов, развития сервисов и т.д. Таким образом, проведение массовых мероприятий даёт возможность организации умной мобильности на территории проведения мероприятия.

Организация умной городской мобильности создаёт новые возможности для многих отраслей промышленности. К 2030 году 40 процентов сегодняшних доходов от оказания транспортных услуг могут быть достигнуты от оказания услуг мобильности теми видами транспорта, которых сейчас ещё даже не существует. Стоит отметить, что современные тренды мобильности делают вызов устоявшимся бизнес-моделям, частному и государственному сектору необходимо адаптироваться к новым продуктам и технологиям. Например, для автопроизводителей это может означать переход от простой продажи автомобилей к более широкой продаже мобильности. Инженерным, строительным, дорожным компаниям необходимо расширять спектр своих услуг в оснащении дорожного комплекса с учетом появления новых видов транспортных средств и соответствующих требований. Умная мобильность даёт ряд преимуществ городским инфраструктурам, пользователям и представителям бизнеса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Deakin M., Al Waer H. From intelligent to smart cities. Intelligent Buildings International // 2011. - №3(3). – P. 140-152.
2. Булатова О.Ю. Принципы функционирования транспортной инфраструктуры в умных городах // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – №3-1(78). – С. 73-78.
3. Булатова О.Ю. Определение основных функций ИТС при организации дорожного движения во время проведения городских массовых мероприятий // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – №3-2(78). – С. 63-68.
4. Шевцова А.Г., Бурлуцкая А.Г., Юнг А.А. Оценка влияния параметров автомобилей на значение потока насыщения // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – №1. – С. 126-134.
5. Зырянов В.В., Загидуллин Р.Р. Методика оценки и выбора варианта организации движения транспорта при проведении масштабных массовых мероприятий // Интеллект. Инновации. Инвестиции. - 2017. - №2. - 43-47 с.
6. Catalano G., Kotenoff C. Long term effects of major events on urban transport systems // Anno Accademico. – 2010.
7. Подопригора Н.В. Структура и функционирование системы «водитель-автомобиль-дорога-внешняя среда» // Вестник гражданских инженеров. – 2022. – №2(91). – С. 154-159.
8. Athanasios K. Ziliaskopoulos, S.Travis Waller. Aninternet-based geographic information system that integrates data, models and users for transportation applica-tions // Transportation Research. - Part C: Emerging Technologies. - 2000. - №8(1-6). – P. 427-444.

9. Криволапова О.Ю. Метод определения участков перераспределения транспортной нагрузки на сети // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: наземные транспортные системы. - 2013. - №21(124). – Т. 7.

10. Amini S., Busch F. Traffic management for major events radontime-effects of countdown timers on bicycle traffic view project CITY-AF-Automated driving functions view project [Электронный ресурс] / 2016. – Режим доступа: https://doi.org/10.14459/2016md1324021

11. Агеев Е.В., Новиков А.Н., Виноградов Е.С. Методика определения оптимального времени тренажерной подготовки кандидатов в водители // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – №3(74). – С. 94-101.

12. Степина П.А., Подопригора Н.В. Определение времени реакции водителя при реконструкции ДТП с помощью программно-аппаратного комплекса // Мир транспорта и технологических машин. – 2018. – №3(62). – С. 82-87.

13. Mobility improvement checklist // Increasing system efficiency. - Vol.2. - Texas Transportation Institute, College Station. - 2004.

14. Новиков А.Н., Кущенко Л.Е., Кущенко С.В., Новиков И.А. Анализ существующих методов оценки вероятности возникновения ДТП на участках улично-дорожной сети города // Вестник гражданских инженеров. – 2021. – №2(85). – С. 222-231.

15. Булатова, О.Ю. Применение элементов интеллектуальных транспортных систем при организации транспортно-логистического обслуживания во время проведения массовых городских мероприятий // Дороги и мосты. – 2022. – №1(47). – С. 294-304.

16. Novikov A., Zyryanov V., Feofilova A. Dynamic traffic re-routing as a method of reducing the congestion level of road network elements // Journal of applied engineering science. – 2018. – Vol. 16. – №1. – P. 70-74.

17. An integrated perspective on the future of mobility // McKinsey for future mobility. - Part 3: setting the direction toward seamless mobility. - 2019

18. Jason Snead. Taxicab medallion systems: Time for a change // The right way to handle congestion: Capping the number of for-hire vehicles will do little to alleviate the problem. – Economist. - 2018.

19. Hannon E., Mc Kerracher C., Orlandi I., Ramkumar S. An integrated perspective on the future of mobility // 2016.

20. Wolshon, B., Zhang, Z., Parr, S., Mitchell, B., Pardue, J. Agent-based modeling for evacuation traffic analysis in megaregion road networks [Электронный ресурс] / Procedia Computer Science. – 2015. - №52(1). – P. 908-913. – Режим доступа: https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.05.164

Булатова Ольга Юрьевна
Донской государственный технический университет
Адрес: 344002, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162
К.т.н., доцент кафедры организации перевозок и дорожного движения
E-mail: mip.rnd@yandex.ru

Булатов Вячеслав Сергеевич
Донской государственный технический университет
Адрес: 344002, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162
Магистр
E-mail: rosconsalting@gmail.com

O.YU. BULATOVA, V.S. BULATOV

URBAN TRANSPORT SYSTEM IMPROVEMENT BY THE MAIN TRENDS OF MOBILITY INTRODUCTION IN THE MASS EVENTS CONDITIONS

Abstract. *This article discusses the main directions of development of transport infrastructure, allowing to create a sustainable transport system.*

Keywords: *green transport, digital transport services, intelligent transport systems, mobility, seamless mobility, sustainable transport system*

BIBLIOGRAPHY

1. Deakin M., Al Waer H. From intelligent to smart cities. Intelligent Buildings International // 2011. - №3(3). - R. 140-152.

2. Bulatova O.Yu. Printsipy funktsionirovaniya transportnoy infrastruktury v umnykh gorodakh // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2022. - №3-1(78). - S. 73-78.

3. Bulatova O.Yu. Opredelenie osnovnykh funktsiy ITS pri organizatsii dorozhnogo dvizheniya vo vremya provedeniya gorodskikh massovykh meropriyatiy // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2022. - №3-2(78). - S. 63-68.

4. Shevtsova A.G., Burlutskaya A.G., Yung A.A. Otsenka vliyaniya parametrov avtomobiley na znachenie poto-ka nasyshcheniya // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. - 2022. - №1. - S. 126-134.

5. Zyryanov V.V., Zagidullin R.R. Metodika otsenki i vybora varianta organizatsii dvizheniya trans-porta pri provedenii masshtabnykh massovykh meropriyatiy // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. - 2017. - №2. - 43-47 s.

6. Catalano G., Kotenoff C. Long term effects of major events on urban transport systems // Anno Accademi-co. - 2010.

7. Podoprigora N.V. Struktura i funktsionirovanie sistemy «voditel`-avtomobil`-doroga-vneshnyaya sreda» // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2022. - №2(91). - S. 154-159.

8. Athanasios K. Ziliaskopoulos, S.Travis Waller. Aninternet-based geographic information system that integrates data, models and users for transportation applications // Transportation Research. - Part C: Emerging Technologies. - 2000. - №8(1-6). - R. 427-444.

9. Krivolapova O.Yu. Metod opredeleniya uchastkov pereraspredeleniya transportnoy nagruzki na seti // Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: nazemnye transportnye sistemy. - 2013. - №21(124). - T. 7.

10. Amini S., Busch F. Traffic management for major events radontime-effects of countdown timers on bicycle traffic view project CITY-AF-Automated driving functions view project [Elektronnyy resurs] / 2016. - Rezhim dostupa: https://doi.org/10.14459/2016md1324021

11. Ageev E.V., Novikov A.N., Vinogradov E.S. Metodika opredeleniya optimal`nogo vremeni trenazhernoy podgotovki kandidatov v voditeli // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2021. - №3(74). - S. 94-101.

12. Stepina P.A., Podoprigora N.V. Opredelenie vremeni reaktsii voditelya pri rekonstruktsii DTP s pomoshch`yu programmno-apparatnogo kompleksa // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2018. - №3(62). - S. 82-87.

13. Mobility improvement checklist // Increasing system efficiency. - Vol.2. - Texas Transportation Institute, College Station. - 2004.

14. Novikov A.N., Kushchenko L.E., Kushchenko S.V., Novikov I.A. Analiz sushchestvuyushchikh metodov otsenki veroyatnosti vozniknoveniya DTP na uchastkakh ulichno-dorozhnoy seti goroda // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2021. - №2(85). - S. 222-231.

15. Bulatova, O.Yu. Primenenie elementov intellektual`nykh transportnykh sistem pri organizatsii transportno-logisticheskogo obsluzhivaniya vo vremya provedeniya massovykh gorodskikh meropriyatiy // Dorogi i mosty. - 2022. - №1(47). - S. 294-304.

16. Novikov A., Zyryanov V., Feofilova A. Dynamic traffic re-routing as a method of reducing the congestion level of road network elements // Journal of applied engineering science. - 2018. - Vol. 16. - №1. - P. 70-74.

17. An integrated perspective on the future of mobility // McKinsey for future mobility. - Part 3: setting the direc-tion toward seamless mobility. - 2019

18. Jason Snead. Taxicab medallion systems: Time for a change // The right way to handle congestion: Capping the number of forhire vehicles will do little to alleviate the problem. - Economist. - 2018.

19. Hannon E., Mc Kerracher C., Orlandi I., Ramkumar S. An integrated perspective on the future of mobility // 2016.

20. Wolshon, B., Zhang, Z., Parr, S., Mitchell, B., Pardue, J. Agent-based modeling for evacuation traffic analysis in megaregion road networks [Elektronnyy resurs] / Procedia Computer Science. - 2015. - №52(1). - R. 908-913. - Rezhim dostupa: https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.05.164

Bulatova Olga Yurievna
Don State Technical University
Address: 344011, Russia, Rostov-on-Don, Sotsialisticheskaya str., 162
Candidate of technical sciences
E-mail: mip.rnd@yandex.ru

Bulatov Viacheslav Sergeevich
Don State Technical University
Address: 344011, Russia, Rostov-on-Don, Sotsialisticheskaya str., 162
Master
E-mail: rosconsalting@gmail.com

Научная статья
УДК 656.1
doi:10.33979/2073-7432-2022-1(79)-4-119-124

А.В. КУЛЕВ, М.В. КУЛЕВ

АНАЛИЗ УРОВНЯ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ KNIME ANALYTICS PLATFORM

Аннотация. *Целью работы является анализ данных и визуализация результатов соответствия требований работодателей и знаний студентов транспортных направлений в ОГУ имени И.С. Тургенева в программной среде KNIME Analytics Platform. Для достижения поставленной цели в статье был разработан рабочий проект в KNIME Analytics Platform; выявлены основные требования работодателей к соискателям на должность логиста; выполнен анализ содержания рабочей программы дисциплины «Транспортная логистика»; сделано заключение о соответствии уровня подготовки студентов транспортных направлений в Орловском государственном университете имени И.С. Тургенева требованиям работодателей.*

Ключевые слова: *KNIME Analytics Platform, автоматизированный анализ, работодатели, студенты, выпускники*

Введение

В условиях рыночной экономики на первый план выходят интересы работодателя как потребителя так называемого вузовского «продукт», которым является дипломированный специалист, бакалавр, магистр или аспирант с квалификацией «преподаватель исследователь». Работодатели все активнее взаимодействуют с учебными заведениями [1, 2], участвуя как в формировании заказа на подготовку специалистов нужного им профиля и квалификации, так и оценке качества содержания и подготовки выпускников. Однако, до сих пор имеет место мнение, что качество профессионального образования не отвечает запросам рынка. Многие выпускники ВУЗов при поиске работы испытывают «шок от реальности», вызванный несоответствием реальной и требуемой компетентности. Поэтому в рамках данного исследования предлагается создать рабочий проект в KNIME Analytics Platform для анализа данных при поиске вакансий для модернизации образовательных курсов транспортных направлений в ОГУ имени И.С. Тургенева.

Материал и методы

Программный продукт KNIME Analytics Platform от компании KNIME предназначена для исследования данных с использованием обширного инструментария аналитических инструментов: прогнозной аналитики, администрирования баз данных, импорта/экспорта данных, совместной работы с информацией и другого. Программный продукт может использоваться отдельными исследователями и организациями любых размеров.

Аналитическая платформа KNIME предоставляет пользователям возможности визуально создавать потоки данных (конвейеры), выборочно выполнять отдельные или все шаги анализа, а затем проверять результаты, модели, используя интерактивные виджеты и представления [3, 4].

В Knime процесс программирования логики осуществляется через создание Workflow. Workflow состоит из узлов которые выполняют ту или иную функцию (например чтение данных из БД, трансформация, визуализация). Узлы, соответственно, соединяются между собой стрелочками которые показывают направление движение данных [5-7].

Теория / Расчет

HeadHunter – один из самых крупных сайтов по поиску работы и сотрудников в мире (по данным рейтинга Similarweb). Он создает передовые технологии на всех доступных платформах для того, чтобы работодатели могли быстро найти подходящего сотрудника, а

© Кулев А.В., Кулев М.В., 2022

соискатели – хорошую работу. С помощью поискового запроса возможно найти требуемые вакансии с отображением предъявляемых требований к кандидатам.

Однако, ручной метод поиска и сбора информации о требованиях является довольно трудоемким, поэтому в рамках настоящей итоговой аттестационной работы предлагается использовать технологию API для автоматизации данного процесса.

На рисунке 1 представлен общий вид разработанного проекта для автоматизированного анализа требований работодателей и формируемых компетенций выпускников транспортных направлений в ОГУ имени И.С. Тургенева в программной среде KNIME Analytics Platform.

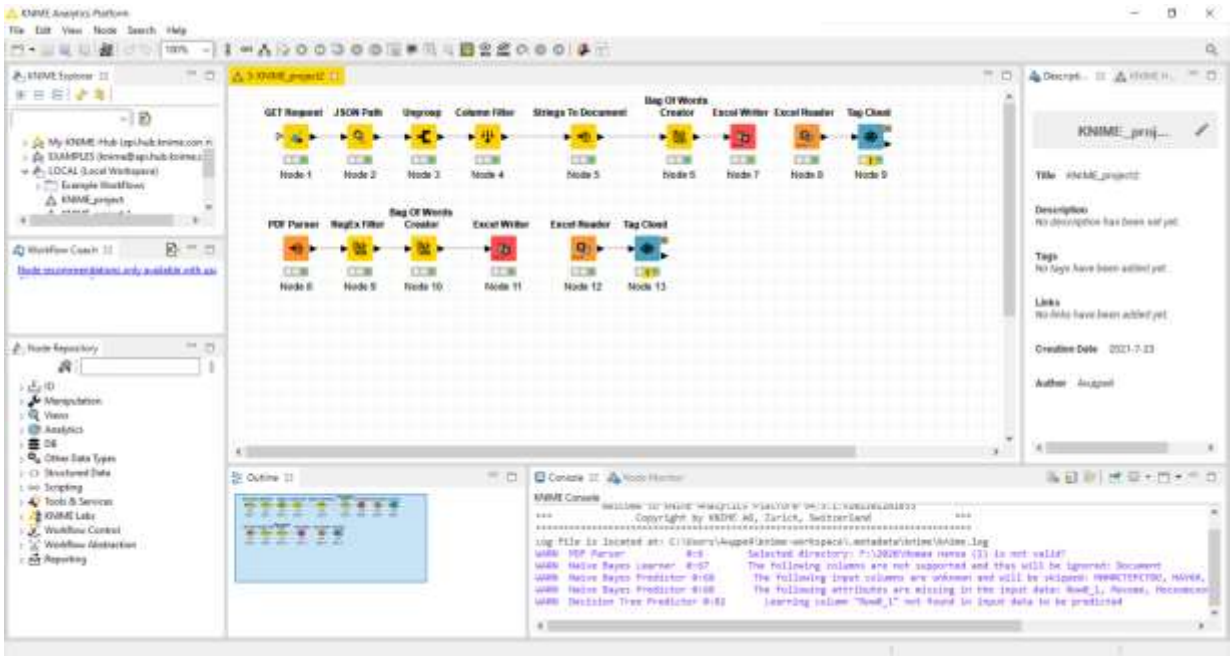


Рисунок 1 – Рабочее окно разработанного проекта в KNIME Analytics Platform

Для создания проекта были задействованы следующие узлы, взаимодействующие в соответствии со схемой рисунка 1:

- GET Request;
- JSON Path;
- Ungroup;
- Column Filter;
- Strings To Document;
- Bag Of Words Creator;
- Excel Writer;
- Excel Reader;
- Tag Cloud;
- PDF Parser;
- RegEx Filter.

Результатом работы является два облака слов, одно из которых формирует требования работодателя к соискателям должности логиста. Другое – анализ компетенций формируемых рабочей программой «Транспортная логистика», которая преподается в ОГУ имени И.С. Тургенева. Сравнение данных облаков слов позволит сделать выводы о соответствии содержания рабочей программы и процесса обучения требованиям работодателей.

Результаты и обсуждение

Результаты анализа формируются в виде облака слов. Tag Cloud – это узел для представления облака тегов с использованием библиотек JavaScript. Доступ к представлению можно получить либо в платформе KNIME Analytics, щелкнув правой кнопкой мыши на выполняемом узле и выбрав «Интерактивное представление: представление облака тегов JavaScript», либо на веб-портале.

Анализ основных требований представленных в облаке слов (рис. 2) позволяет сделать вывод о том, что работодателям важно, чтобы соискатели должности логиста могли:

- организовывать работу подвижного состава;
- осуществлять поиск наемного транспорта и клиентов;
- осуществлять документооборот на предприятии;
- осуществлять контроль выполнения заявок;
- осуществлять взаимодействие с водителями;
- разрабатывать маршруты грузовых перевозок;
- уметь работать с сайтом АТИ;
- уметь работать с программным продуктом 1С.

Рисунок 2 – Результаты работы узла Tag Cloud при определении требований работодателей к соискателям должности логист

Основными знаниями (рис. 3), которыми будут обладать студенты после изучения курса «Транспортная логистика» будут являться:

- знания в области предоставления логистических услуг;
- знания в области организации перевозок;
- знания в области составления маршрутов;
- знания в области законодательства.

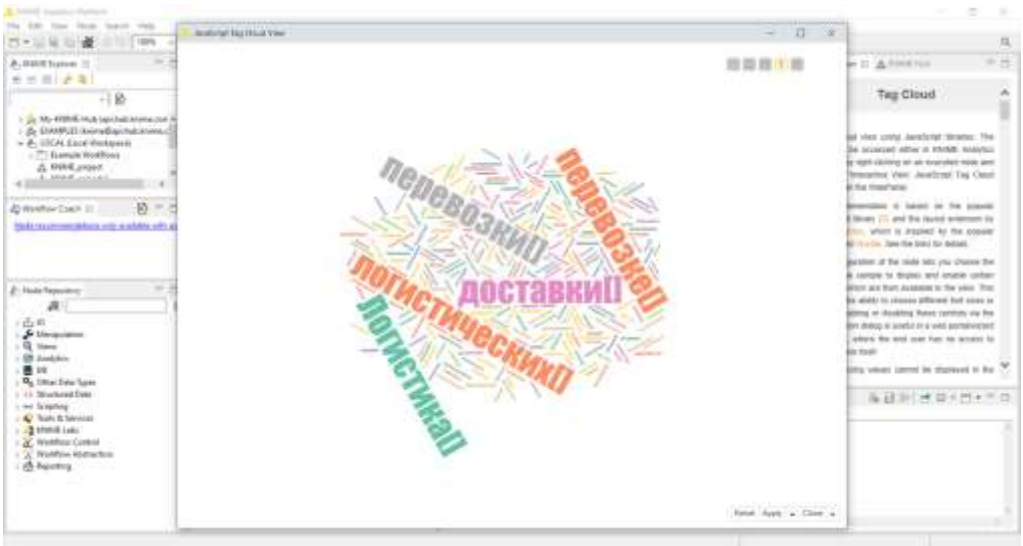


Рисунок 3 – Результаты работы узла Tag Cloud при анализе рабочей программы по дисциплине «Транспортная логистика»

Выводы

Проведенный анализ показал явное соответствие уровня подготовки студентов транспортного направления в ОГУ имени И.С. Тургенева и требований работодателей, так как ключевые слова двух облаков тегов формируют один и тот же смысловой контент (в рабочей программе используется более широкий термин логистика, который редко встречается в требованиях вакансий и был заменен более простыми понятиями, такими как поиск наемного транспорта, поиск клиентов, разработка маршрутов и т.д.). Однако следует отметить, что у довольно часто в требованиях вакансий встречается знание программного продукта 1С и умение работать с сайтом АТИ.

Поэтому как одна из рекомендаций данной итоговой аттестационной работы является введение 2 практических занятий:

- практическое применение 1С в логистической деятельности;
- поиск клиентов и наемного транспорта посредством сайта АТИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lomakin D., Bodrov A., Kulev M., Kulev A. Improvement of road traffic management system on the basis of mathematical and simulation modeling // MATEC Web of Conferences. – 2019. - Vol. 298. - P. 00045.
2. Novikov A., Eremin S., Kulev A. Formation of recommendations for the selection of types of connections for different types of crossroads based on the generalized imitation model // MATEC Web of Conferences. – 2019. - Vol. 298. - P. 00047.
3. Sinha A., Rastogi S., Kaur G. Mining anomalies in large ISCX dataset using machine learning algorithms in KNIME // SSRN Electronic Journal. - 2018.
4. Chauhan C., Sehgal S. Sentiment classification for mobile reviews using KNIME // International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON). - 2018.
5. Pu X., Qi N., Huang J. Data analysis and application of retail enterprises based on knime // IOP Conference Series: Materials science and engineering. – 2020. - Vol. 782. - P. 052030.
6. Muenzberg A., Sauer J., Hein A., Roesch N. Checking the plausibility of nutrient data in food datasets using knime and big data // International conference on wireless and mobile computing, networking and communications (WiMob). - 2019.
7. Abualkibash M. Machine learning in network security using knime analytics // International journal of network security & ITS applications. – 2019. - Vol. 11. - №5. - P. 1-14.
8. Сильянов В.В., Капитанов В.Т., Монина О.Ю., Чубуков А.Б. Интеллектуальные транспортные системы: история, состояние и пути развития / Под редакцией А.Н. Новикова // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы 4-ой Международной научно-практической конференции. – Орел: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева. - 2019. – С. 138-145.
9. Зырянов В.В. Подготовка специалистов по интеллектуальным транспортным системам // Безопасность, дорога, дети: практика, опыт, перспективы и технологии: материалы форума. – Новочеркасск: Лик. - 2015. – С. 192-196.
10. Солодкий А.И. О развитии системы подготовки и повышения квалификации специалистов по интеллектуальным транспортным системам // Автотранспортное предприятие. – 2014. – №1. – С. 37-38.
11. Дорохин С.В., Азарова Н.А, Рудь В.А. Роль интеллектуальных транспортных систем в развитии процесса цифровизации мегаполисов // Энергоэффективность автотранспортных средств: нанотехнологии, информационно-коммуникационные системы, альтернативные источники энергии: Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет. - 2019. – С. 440-445.
12. Еремеева Л.Э. Совершенствование подготовки специалистов в области автомобильного транспорта // Юбилейные февральские чтения: Сборник материалов научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава Сыктывкарского лесного института по итогам научно-исследовательской работы в 2011 году. - 2012. - С. 116-119.
13. Марущак, Т. Б. Организационно-методическое обеспечение профессиональной подготовки специалистов транспорта: Дис. … канд. экон. наук / Сибирский государственный университет путей сообщения. - Новосибирск, 2009.
14. Климова Е.В. Качественные изменения требований в области подготовки специалистов экономики и управления на транспорте // Цифровая трансформация в экономике транспортного комплекса. – Москва. - 2021. -С. 164-166.
15. Суденко В.Е. Подготовка специалистов в сфере безопасности на транспорте // Транспортное право и безопасность. - 2019. - №1(29). - С. 174-180.

16. Андрюхина Т.Н. Проектирование и реализация компетентностной модели профессиональной подготовки специалистов автомобильного транспорта // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Психолого-педагогические науки. - 2008. - №1(9). - С. 4-9.

17. Гулый И.М., Сиверцева Е.С. Современные тренды подготовки специалистов для инновационных направлений развития транспорта // Транспортные системы и технологии. - 2018. - Т. 4. - №4.- С. 64-76.

18. Головкин А.В., Трубеев В.Я. Качественные показатели подготовки специалистов автомобильного транспорта // Проблемы эксплуатации систем транспорта: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. - Тюменский государственный нефтегазовый университет, Институт транспорта. - 2009. - С. 64-73.

19. Любимов И.И., Якунин Н.Н., Рассоха В.И. Модернизация методологии подготовки специалистов автомобильного транспорта на основе опыта работы над проектом «ERASMUS+» // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры. материалы Всероссийской научно-методической конференции. – Оренбург: ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет». - 2018. - С. 1470-1474.

20. Третьякова Л.Р., Рогалева Е.В. Особенности формирования цифровых компетенций при подготовке специалистов для работы в области автомобильного транспорта Общество. - 2021. - №2-2(21). - С. 59-61.

Кулев Андрей Владимирович
Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева
Адрес: 302030, Россия, г. Орел, ул. Московская, 77
К.т.н., доцент кафедры сервиса и ремонта машин
E-mail: andrew.ka@mail.ru

Кулев Максим Владимирович
Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева
Адрес: 302030, Россия, г. Орел, ул. Московская, 77
К.т.н., доцент кафедры сервиса и ремонта машин
E-mail: maxim.ka@mail.ru

A.V. KULEV, M.V. KULEV

ANALYSIS OF THE LEVEL OF TRAINING OF STUDENTS OF TRANSPORT DIRECTIONS IN THE KNIME ANALYTICS PLATFORM SOFTWARE ENVIRONMENT

Abstract. *The aim of the work is to analyze the data and visualize the results of compliance with the requirements of employers and students' knowledge of transport areas at OSU named after I.S. Turgenev in the KNIME Analytics Platform software environment. To achieve the goal in the article, a working project was developed in the KNIME Analytics Platform; the main requirements of employers to applicants for the position of a logistician were identified; the analysis of the content of the work program of the discipline «Transport logistics» was carried out; a conclusion was made on the conformity of the level of training of students in transport areas at the Oryol State University named after I.S. Turgenev to the requirements of employers.*

Keywords: *KNIME Analytics Platform, automated analysis, employers, students, graduates.*

BIBLIOGRAPHY

1. Lomakin D., Bodrov A., Kulev M., Kulev A. Improvement of road traffic management system on the basis of mathematical and simulation modeling // MATEC Web of Conferences. - 2019. - Vol. 298. - P. 00045.

2. Novikov A., Eremin S., Kulev A. Formation of recommendations for the selection of types of connections for different types of crossroads based on the generalized imitation model // MATEC Web of Conferences. - 2019. - Vol. 298. - P. 00047.

3. Sinha A., Rastogi S., Kaur G. Mining anomalies in large ISCX dataset using machine learning algorithms in KNIME // SSRN Electronic Journal. - 2018.

4. Chauhan C., Sehgal S. Sentiment classification for mobile reviews using KNIME // International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON). - 2018.

5. Pu X., Qi N., Huang J. Data analysis and application of retail enterprises based on knime // IOP Conference Series: Materials science and engineering. - 2020. - Vol. 782. - P. 052030.

6. Muenzberg A., Sauer J., Hein A., Roesch N. Checking the plausibility of nutrient data in food datasets using knime and big data // International conference on wireless and mobile computing, networking and communications (WiMob). - 2019.

7. Abualkibash M. Machine learning in network security using knime analytics // International journal of network security & ITS applications. - 2019. - Vol. 11. - №5. - R. 1-14.

8. Sil`yanov V.V., Kapitanov V.T., Monina O.YU., Chubukov A.B. Intellektual`nye transportnye sistemy: istoriya, sostoyanie i puti razvitiya / Pod redaktsiey A.N. Novikova // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na trans-

porte: Materialy 4-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Orel: Orlovskiy gosudarstvennyy universitet imeni I.S. Turgeneva. - 2019. - S. 138-145.

9. Zyryanov V.V. Podgotovka spetsialistov po intellektual`nym transportnym sistemam // Bezopasnost`, doroga, deti: praktika, opyt, perspektivy i tekhnologii: materialy foruma. - Novocherkassk: Lik. - 2015. - S. 192-196.

10. Solodkiy A.I. O razvitii sistemy podgotovki i povysheniya kvalifikatsii spetsialistov po intellektual`nym transportnym sistemam // Avtotransportnoe predpriyatie. - 2014. - №1. - S. 37-38.

11. Dorokhin S.V., Azarova N.A, Rud` V.A. Rol` intellektual`nykh transportnykh sistem v razvitii protsessa tsifrovizatsii megapolisov // Energoeffektivnost` avtotransportnykh sredstv: nanotekhnologii, informatsionno-kommunikatsionnye sistemy, al`ternativnye istochniki energii: Materialy Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. - Voronezh: Voronezhskiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskiy universitet. - 2019. - S. 440-445.

12. Eremeeva L.E. Sovershenstvovanie podgotovki spetsialistov v oblasti avtomobil`nogo transporta // Yubileynye fevral`skie chteniya: Sbornik materialov nauchno-prakticheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel`skogo sostava Syktyvkarskogo lesnogo instituta po itogam nauchno-issledovatel`skoy raboty v 2011 godu. - 2012. - S. 116-119.

13. Marushchak, T. B. Organizatsionno-metodicheskoe obespechenie professional`noy podgotovki spetsia-listov transporta: Dis. … kand. ekon. nauk / Sibirskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya. - Novosibirsk, 2009.

14. Klimova E.V. Kachestvennye izmeneniya trebovaniy v oblasti podgotovki spetsialistov ekonomiki i upravleniya na transporte // Tsifrovaya transformatsiya v ekonomike transportnogo kompleksa. - Moskva. - 2021. -S. 164-166.

15. Sudenko V.E. Podgotovka spetsialistov v sfere bezopasnosti na transporte // Transportnoe pravo i bezopasnost`. - 2019. - №1(29). - S. 174-180.

16. Andryukhina T.N. Proektirovanie i realizatsiya kompetentnostnoy modeli professional`noy podgotovki spetsialistov avtomobil`nogo transporta // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Psikhologo-pedagogicheskie nauki. - 2008. - №1(9). - S. 4-9.

17. Gulyy I.M., Sivertseva E.S. Sovremennye trendy podgotovki spetsialistov dlya innovatsionnykh napravleniy razvitiya transporta // Transportnye sistemy i tekhnologii. - 2018. - T. 4. - №4.- S. 64-76.

18. Golovkin A.V., Trubeev V.Ya. Kachestvennye pokazateli podgotovki spetsialistov avtomobil`nogo transporta // Problemy ekspluatatsii sistem transporta: Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Tyumenskiy gosudarstvennyy neftegazovyy universitet, Institut transporta. - 2009. - S. 64-73.

19. Lyubimov I.I., Yakunin N.N., Rassokha V.I. Modernizatsiya metodologii podgotovki spetsialistov avtomobil`nogo transporta na osnove opyta raboty nad proektom «ERASMUS+» // Universitetskiy kompleks kak regional`nyy tsentr obrazovaniya, nauki i kul`tury. materialy Vserossiyskoy nauchno-metodicheskoy konferentsii. - Orenburg: FGBOU VO «Orenburgskiy gosudarstvennyy universitet». - 2018. - S. 1470-1474.

20. Tret`yakova L.R., Rogaleva E.V. Osobennosti formirovaniya tsifrovykh kompetentsiy pri podgotovke spetsialistov dlya raboty v oblasti avtomobil`nogo transporta Obshchestvo. - 2021. - №2-2(21). - S. 59-61.

Kulev Andrey Vladimirovich
Orel State University
Address: 302030, Russia, Orel, Moscovskaya str., 77
Candidate of technical sciences
E-mail: srmostu@mail.ru

Kulev Maxim Vladimirovich
Orel State University
Address: 302030, Russia, Orel, Moscovskaya str., 77
Candidate of technical sciences
E-mail: srmostu@mail.ru

Научная статья
УДК 378.663:37.018.43:004.9:37.016:5
doi:10.33979/2073-7432-2022-1(79)-4-125-132

С.Ю. ГРИШИНА, М.Н. УВАРОВА, Е.В. МИЩЕНКО, Н.В. ПОЛЬШАКОВА

АСПЕКТ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СТУДЕНТОВ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Аннотация. *В настоящей статье рассмотрен аспект инженерного образования в условиях цифровизации экономики. Раскрыто понятие цифровизации в целом и, в частности, в образовании. Представлены результаты исследований и опыт использования цифровых технологий при обучении физике студентов инженерных направлений в Вузе. Рассмотрены некоторые методы и методики. Отмечены недостатки и предложены пути их решения.*

Ключевые слова: *инженерное образование, физика, студенты, цифровизация, технологии, методы*

Введение

На сегодняшний день современное общество находиться на этапе новой технологической революции – цифровой. В мире прослеживается тенденция развития новой области знаний – цифровизации экономики. Распространение цифровых технологий ведет к качественным изменениям во всех сферах экономического развития страны [1].

Материал и методы

Одной из первых отраслей, вступивших в цифровую трансформацию, оказалась сфера транспорта, которая нуждалась в автоматизации управления и повышения надежности транспортной системы. В настоящее время осуществляется проект цифровизации транспортной отрасли, включающий следующие направления:

- создание беспилотников и инфраструктуры для их движения, роботов в транспортно-логистических хабах;
- создание единого биометрического цифрового инструмента оплаты проезда и сервиса оптимизации маршрута поездки в городском общественном транспорте;
- «Бесшовная грузовая логистика»;
- «Цифровое управление транспортной системой РФ»;
- «Цифровизация для транспортной безопасности»;
- «Цифровые двойники объектов транспортной инфраструктуры».

Завершение проекта планируется до 2030 года. Аналогичные изменения происходят и в других отраслевых структурах экономики.

Теория

Известно, под понятием цифровизации подразумевают переход к новым процессам, моделям и подходам, в основе которых лежат информационные технологии. В результате цифровой трансформации предполагается масштабное проникновение цифровых технологий на управленческом и технологическом уровнях [1-7].

Цифровая трансформация на производстве предопределяет значительное повышение производительности труда. И от работников требуется не только владение компетенциями в профессиональной области, но и умение пользоваться цифровыми инструментами, источниками, сервисами, своими знаниями в быстроразвивающейся цифровой среде. Это обстоятельство является одним из решающих факторов при конкуренции на рынке труда [1-7].

В этой связи, в рамках инновационного развития страны расставляются новые приоритеты в поддержку цифровизации в образовании на государственном уровне [2].

Подготовка высококвалифицированных инженеров требует создания и реализации подходов в освоении цифровой грамотности и компетенций цифровой экономики.

В процессе цифровой трансформации образования изменяется как подход к организации обучения, так и ее структура. Предполагается использование новейших технологий для

© Гришина С.Ю., Уварова М.Н., Мищенко Е.В., Польшакова Н.В., 2022

перехода к персонализированному и ориентированному на результат процессу образования. Для решения проблемы перед государством ставятся и решаются следующие задачи: развитие материальной инфраструктуры; внедрение цифровых программ; развитие онлайн-обучения; разработка новых цифровых систем управления обучением; развитие системы универсальной идентификации студента; создание моделей работы Вузов; повышение навыков преподавателей и студентов в сфере цифровых технологий [2-20].

Цифровизация образования формирует новые модели работы Вузов, в основе которых лежит синтезированный подход некоторых составляющих. К ним относят реализацию условий организации и инфраструктуры при их изменении, в частности, поддержка на государственном и вузовском уровне всему педагогическому составу при освоении новых методов работы, создание благоприятных условий работы; создание новых педагогических практик, реализуемых в образовательной цифровой среде и использующих цифровые технологии; непрерывное развитие профессионализма преподавателей; использование в работе цифровых инструментов, сервисов, цифрового контента [2-20].

Зарождающиеся в настоящее время цифровые инструменты имеют отличительные свойства, а именно: гибкость, связанная с их использованием в необходимом месте в заданное время; воспроизводимость, обусловленная неограниченностью (копии); изменчивость, характеризующаяся быстротой обновления и корректировки; избирательность, предполагающая свободный выбор из поиска вариаций; персонализированный подход. Новые цифровые инструменты решают многие технические задачи, однако требуют профессионализма в данной области [2-20].

Электронное обучение (дистанционное) и информационные технологии в Вузе используются при реализации общеобразовательных программ и программ дополнительного образования. В последнее время, как показала практика в условиях пандемии, актуальность работы с информационными технологиями, электронным обучением и дистанционными образовательными технологиями возросла [3, 5, 8, 16].

Обеспечение современного качества образования на основе сохранения его фундаментальности и соответствия актуальным и перспективным потребностям личности, общества и государства является главной задачей российской образовательной политики. Для достижения нового качества профессионального образования в сложившихся современных условиях предлагается осуществить информатизацию образования и оптимизацию методов обучения, соединение их с прорывными высокими технологиями [2], в частности, цифровыми.

Как известно, информационные технологии в вузе используются в следующих направлениях: обучение использованию компьютерной техники и информационных технологий в направлении специализации профессиональной подготовки; совершенствование самой системы обучения; улучшение способа организации управления процессом обучения [16, 17].

К цифровым технологиям обучения, по дисциплине физика, в вузе, относят: обучающие программы по физике; электронные учебники по физике; виртуальные лабораторные практикумы по физике; лабораторные работы с использованием цифровых датчиков; мультимедиа; контролирующие программы; использование компьютерных сетей для реализации образовательного процесса по физике, а также использование методик с дидактическими приемами цифрового контента [2-20].

Для эффективного использования цифровых технологий применяют различные программные средства. В настоящее время в России достаточный выбор различных обучающих цифровых программ по физике для школьников, однако, для вузовского образования их единицы, и некоторые ориентированы на узкие направления. В частности, учебная система инженерного расчета и моделирования: «ELCUT студенческий», который является программой для инженерного анализа и двумерного моделирования физических процессов в промышленности; «GROMACS (GROningen Machine for Chemical Simulations)», представляет собой пакет программ по моделированию физико-химических процессов в молекулярной динамике (рис. 1).

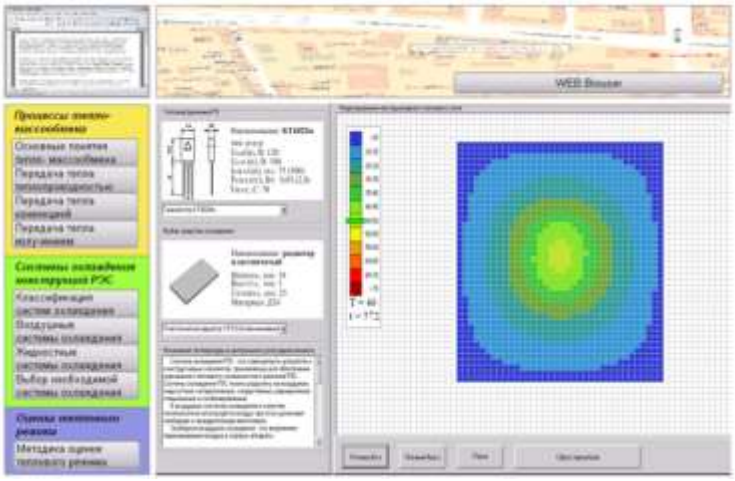


Рисунок1 - Моделирование физико-химических процессов в молекулярной динамике (GROMACS)

К использованию в учебном процессе предлагаются онлайн ресурсы: «Профессиональная группа», включающая более 100 виртуальных лабораторий и симуляторов [7]; виртуальные лаборатории Томского политехнического университета (рис. 2); Phet (University of Colorado Boulder) – симуляторы по физике.

Рисунок 2 - Виртуальные лаборатории Томского политехнического университета

В процессе инженерного образования по дисциплине физика нами используется компьютерный виртуальный лабораторный практикум, который позволяет изучать и наблюдать физические явления и процессы в их динамике. Он выполняется с использованием программы НЦ «ФИЗИКОН».

Для подготовки к лабораторному практикуму преподавателем формулируется задание, заключающееся в анализе и решении поставленной задачи. В ходе решения этой задачи студенту необходимо самостоятельно изучить учебный материал по данной теме. На этом этапе выполнения работы обучающийся приобретает умения и навыки работы с учебной и научной литературой, выделяет и накапливает потенциально полезную информацию из большого объема источников.

В домашней работе к лабораторному практикуму, задаются параметры, необходимые для определения указанной величины. При контактной работе на занятиях осуществляется виртуальный компьютерный эксперимент с теми параметрами, которые использовались при выполнении домашней работы, и устанавливается результат. При визуализации эксперимента студенты наблюдают физические явления и процессы в их динамике. Эта визуализация способствует более глубокому пониманию сути самого явления или процесса. Визуализированный эксперимент на компьютере необходим и обусловлен, в частности, из-за затруднений

в реализации некоторых физических явлений и процессов на практике («опытным путем»), связанных с использованием дорогостоящего экспериментального оборудования или невозможности их визуального наблюдения, только как непосредственно через результаты измерений. После проведения компьютерного эксперимента, и получения показаний, студенты производят анализ сравнения результатов эксперимента и выполненного домашнего задания, делаются соответствующие выводы.

На компьютере с целью закрепления изученного материала в контрольном режиме студентам предлагается для решения дополнительная задача. Система контролирует правильность ответов. Также, при выполнении лабораторного практикума у студента есть возможность ознакомления с кратким теоретическим материалом к эксперименту с помощью компьютера в заданном режиме.

Занимательность, заложенная в цели решения, побуждает интерес к задаче, желание ее решить сразу после ознакомления с условием. Давая задание, основной акцент ставится не на запоминании студентами учебной информации, а на ее глубокое понимание, сознательное и активное усвоение, на формирование у студентов умения самостоятельно и творчески применять эту информацию в рамках учебной практики, на развитие теоретического мышления и познавательной потребности обучающегося.

Компьютерные виртуальные лабораторные занятия отличаются своей наглядностью, красочностью, простотой выполнения. Они значительно активизируют работу студентов. Дают им возможность творчески отнестись к эксперименту. Сами занятия по физике становятся для студентов более увлекательными. А у преподавателя возникает дополнительная возможность добиться от студентов хороших результатов по усвоению основ физики.

Однако, следует отметить, излишнее увлечение наглядностью является интенсификацией познавательной потребности на элементарном стимулирующем уровне.

Она неэффективна для студенческого возраста, способствует прямой задержке их интеллектуально-личностного развития [3-7]. И для развития познавательной потребности, а именно, перерастания любознательности в целенаправленную познавательную деятельность необходимо формировать теоретическое мышление. Активизация теоретического мышления поднимает над непосредственной информацией, преодолевая реактивную впечатлительность. Для решения этой проблемы нами в компьютерный лабораторный практикум и включаются элементы способствующие развитию теоретического мышления, в частности: постановка задачи, домашнее задание, задание при выполнении эксперимента на компьютере, анализ результатов.

Кроме виртуальных лабораторных работ на компьютере, с той же целью, нами проводятся традиционные лабораторные работы, а также лабораторные работы с использованием датчиков цифровой лаборатории (рис. 3). Применение цифровых датчиков на лабораторных занятиях в лабораторных установках сочетает методы искусственного интеллекта и интернет – вещей (IoT). В связи с новыми тенденциями, а именно цифровизацией, планируется расширение тем лабораторных работ с использованием цифровых датчиков.

Рисунок 3 - Датчики цифровой лаборатории по физике

Результаты и обсуждение

Комплексный подход к процессу обучения при выполнении лабораторных занятий по физике, сочетание традиционных и инновационных форм, безусловно, обеспечивает повышение качества учебного процесса.

В ходе реализации цифровизации образования также планируются и реализуются следующие технологии, а именно: искусственный интеллект, большие данные для анализа значительного объема информации, системы распределенного реестра, облачные технологии, интернет – вещей, технологии виртуальной реальности.

Существующие интеллектуальные компьютерные обучающие системы, программы в основном предназначены только для отработки отдельных составляющих процесса обучения: знать, или уметь, или владеть.

На сегодняшний день, на рынке цифровых образовательных ресурсов предлагается интеллектуальная компьютерная обучающая система «Москит», предназначенная для организации процесса обучения. Эта структурная модель интеллектуальной компьютерной обучающей системы содержит программные и аппаратные средства обучения для комплексной передачи профессиональных знаний, формирования умений и навыков. Она учитывает возможности быстрой адаптации к изменениям в конкретной предметной области. В основе методики лежит теория поэтапного формирования умственных действий и понятий П.Я. Гальперина.

К достоинствам интеллектуальных компьютерных обучающих систем относят: персонализированный подход; возможность использования образовательной среды при дистанционном образовании, дополнительном самостоятельном обучении и консультационной работы; неограниченность во времени; автоматизированное оценивание результатов; использование образовательной аналитики; виртуализация [1].

Цифровизация в образовании служит приоритетным направлением, позволяющим осуществлять трансформацию образовательного процесса с использованием современных технологий обучения. Решение этой комплексной задачи позволяет эффективно использовать на основе ранее используемых дидактических приемов введение новых цифровых образовательных технологий [2].

Своевременный контроль, за процессом обучения, позволяет адаптировать теоретический материал для практического применения, разработать различного уровня сложности задания, направленные на проверку изучаемого материала, снизить время на проверку работ [5-14].

Развитие познавательного интереса у обучающегося, в частности, возможно при составлении кроссворда по изученной тематике. Для удобства составления кроссворда используется сайт «Фабрика кроссвордов»: http://puzzlecup.com/crossword-ru/.

Представление учебного материала в виде презентации студенту привычно. А к одному из неординарных предоставлений информации, относят ее показ в виде облака слов. Работа с «облаком слов» - это один из дидактических приемов, применяемых в учебном процессе. Для активизации познавательной активности обучающимся предлагается создание своих «облаков слов», с использованием сайта: https://wordart.com/**.** Особенность данного контента состоит в том, что ключевые понятия, законы можно выделить или заменить определенным символом, предлагая студенту отгадать значение этого символа.

Благодаря такому приему преподнесения знаний по физике, образы восприятий отличаются от образов представлений меньшей яркостью, большей обобщенностью и символизмом. Происходит сжатие информации, и ее схематизация. На данном этапе формируются образы физических понятий, явлений, процессов в качестве эталонов. Включаются процессы развития более высокого уровня познавательной потребности.

При изучении физики особый интерес вызывает использование перспективных технологий виртуальной реальности. Различают три базовые системы: обычную виртуальную реальность(VR), в виде компьютерной программы; компьютерно-опосредованную реальность (AR), накладывающую информацию реального мира на виртуальную; смешанную реальность (MR). В основе технологии смешанной реальности лежит распознание объектов реального мира, построение ее трехмерной модели и совмещение с виртуальным миром. Например, визуализация собранных компьютером данных о звуковых колебаниях или электромагнитном излучении вокруг исследуемого объекта. С помощью очков виртуальной реальности появляется возможность наблюдения и проведения реалистичных виртуальных экспериментов, взаимодействия с микрообъектами и нанооъектами и т.д. Безусловны перспективы ис-

пользования технологий MR на лабораторных занятиях при проведении экспериментов, не доступных на обычном оборудовании.

Выводы

В заключении следует отметить, основополагающим фактором качества профессионального образования является глубокая фундаментальная подготовка и обучение на основе последних достижений науки и техники. Использование цифровизации в обучении физике, только в сочетании с традиционными технологиями, методами и методиками, несомненно, ведет к повышению уровня образования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдрахманова Г.И., Быховский К.Б., Веселитская Н.Н., Вишневский К.О., Гохберг Л.М. и др. Цифровая трансформация отраслей: стартовые условия и приоритеты // докл. к XXII Апр. междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества. - М.: Изд. дом Высшей школы экономики. - 2021. - 239 с.
2. Уваров, А.Ю. Трудности и перспективы цифровой трансформации образования / под ред. А.Ю. Уварова, И.Д. Фрумина. - М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2019. - 343 с.
3. Гришина, С.Ю. Аспект адаптивного обучения в условиях цифровизации // Инновационные подходы образовательной деятельности в условиях цифровой трансформации отраслей АПК: Материалы всероссийской (национальной) научной конференции. – Орел: Орел ГАУ. - 2022. - С. 257-262.
4. Гришина С.Ю. Особенности условий для формирования познавательной потребности // Актуальные вопросы профессиональной ориентации сельских школьников в современных условиях развития агробизнеса: Сборник статей материалов Всероссийской научно-практической конференции. - Орел: ОГУ. - 2017. - С. 28-32.
5. Денесенко С.И., Пахомова Т.Е. Особенности цифрового образовательного контента при организации дистанционного обучения в профессиональном образовании // Ученые записки Забайкальского государственного университета. - Изд-во: ЗабГУ, 2020. - Т.15. - №5. - С. 6-14.
6. Карташова Е.В., Савина Е.Ю., Тихонова А.А. Разработка цифрового образовательного контента // Приложение к журналу «Среднее профессиональное образование». - М.: Среднее профессиональное образование. - 2022. - №3. - С. 35-46.
7. Носков, В.А. Использование цифрового образовательного контента реализации основных направлений национальной безопасности в цифровой информационно-образовательной среде / Под редакцией А.Э. Еремеева // Национальные тенденции в современном образовании: Сборник статей IV Всероссийская научно-практическая конференция. – Омск. - 2022. - С. 114-121.
8. Гришина С.Ю. Аспект влияния самостоятельной работы на процесс инженерного образования студентов // Мир транспорта и технологических машин. – Орел: ОГУ. - 2018. - №4(63). - С. 125-130.
9. Павлова Т.А., Уварова М.Н. Компетентностный подход в математической подготовке //Академический журнал Западной Сибири. – Тюмень. - 2016. - Т.12. - №2(63). – С. 53-54.
10. Павлова Т.А., Уварова М.Н. К вопросу о подготовке к олимпиаде по математике // Образование: традиции и инновации: Материалы IX международной научно-практической конференции. - Орел: Орел ГАУ. - 2015. - С. 364-365.
11. Прохорова М.П., Макарова Н.В., Краева И.А. Особенности вовлекающего контента для цифровых образовательных ресурсов // Проблемы современного педагогического образования. – Ялта. - 2021. - №72-4. - С. 230-232.
12. Соляник Ю.Н. Опыт использования цифрового информационного контента в образовательном процессе // Сахалинское образование XXI век. - 2022. - №1. - С. 16-19.
13. Тарасова М.А., Гришина С.Ю. Междисциплинарная интеграция – эффективная технология формирования профессионально-деятельного компонента компетенций // Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Гуманитарные и социальные науки. - Орел: ОГУ. – 2014. - №5(61). - С. 409-412.
14. Шерстникова К.А. Цифровая дидактика. Принципы повышения эффективности электронного образовательного контента // Общество и экономическая мысль в XXI: пути развития и инновации: Материалы VIII Международной научно-практической конференции. – Воронеж. - 2020. - С. 665-669.
15. Гришина С.Ю., Зубова И.И. Уровень сформированности познавательной потребности студентов первых курсов // Ученые записки Орловского государственного университета. – Орел: ОГУ. - 2019. - №1(82). - С. 189-193.
16. Гришина С.Ю., Зубова, И.И. Особенности дистанционного обучения при изучении физики в современных условиях // Физика и современные технологии в АПК: Материалы XII Всероссийской (с международным участием) молодежной конференции молодых ученых, студентов и школьников. – Орел: Орел ГАУ. - 2021. - С. 445-448.
17. Гришина С.Ю., Зубова И.И. Аспект образования цифровым технологиям в сельском хозяйстве // Физика и современные технологии в АПК: Материалы XII Всероссийской (с международным участием) молодежной конференции молодых ученых, студентов и школьников. – Орел: Орел ГАУ, 2021. - С. 505-508.

18. Гришина С.Ю. Формирование личности агроинженера при обучении физике в вузе // Материалы Международной научно-практической конференции. – Тюмень: ГАУ Северного Зауралья. - 2014. – С. 79-80.

19. Гришина С.Ю., Тарасова М.А. Оценка качества профессионального образования при изучении физики в вузе // Инновации в образовании: Материалы Международной научно-практической конференции. – Орел: Модуль-К. - 2014. – С. 79-80.

20. Астратова, Г.В. Инновационные решения финансовых, социальных, технологических проблем цифрового общества: Монография - Орел, 2021. - 200 с.

Гришина Светлана Юрьевна
Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина
Адрес: 302019, Россия, г. Орел, ул. Генерала Родина, 69
К.ф.-м.н., доцент кафедры цифровой экономики и информационных технологий,
E-mail: Svetlana.Grischina@rambler.ru

Уварова Марина Николаевна
Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина
Адрес: 302019, Россия, г. Орел, ул. Генерала Родина, 69
К.э.н., доцент кафедры цифровой экономики и информационных технологий
E-mail: uvarovamn@mail.ru

Мищенко Елена Владимировна
Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина
Адрес: 302019, Россия, г. Орел, ул. Генерала Родина, 69
К.т.н., доцент кафедры техносферной безопасности
E-mail: art_lena@inbox.ru

Польшакова Наталья Викторовна
Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина
Адрес: 302019, Россия, г. Орел, ул. Генерала Родина, 69
К.э.н., доцент кафедры цифровой экономики и информационных технологий
E-mail: srmostu@mail.ru

S.YU. GRISHINA, M.N. UVAROVA, E.V. MISHCHENKO, N.V. POLSHAKOVA

ASPECT OF ENGINEERING EDUCATION OF STUDENTS IN CONDITIONS OF DIGITALIZATION

Abstract. *This article considers the aspect of engineering education in the context of the digitalization of the economy. The concept of digitalization in general and in education is disclosed. The results of research and the experience of using digital technologies in teaching physics to engineering students at the university are presented. Methods and techniques are proposed.*

Keywords: *engineering education, physics, students, digitalization, technologies, methods*

BIBLIOGRAPHY

1. Abdrakhmanova G.I., Bykhovskiy K.B., Veselitskaya N.N., Vishnevskiy K.O., Gokhberg L.M. i dr. Tsifrovaya transformatsiya otrasley: startovye usloviya i prioritety // dokl. k XXII Apr. mezhdunar. nauch. konf. po problemam razvitiya ekonomiki i obshchestva. - M.: Izd. dom Vysshey shkoly ekonomiki. - 2021. - 239 s.

2. Uvarov, A.Yu. Trudnosti i perspektivy tsifrovoy transformatsii obrazovaniya / pod red. A.Yu. Uvarova, I.D. Frumina. - M.: Izd. dom Vysshey shkoly ekonomiki, 2019. - 343 s.

3. Grishina, S.Yu. Aspekt adaptivnogo obucheniya v usloviyakh tsifrovizatsii // Innovatsionnye podkhody obrazovatel`noy deyatel`nosti v usloviyakh tsifrovoy transformatsii otrasley APK: Materialy vserossiyskoy (natsional`noy) nauchnoy konferentsii. - Orel: Orel GAU. - 2022. - S. 257-262.

4. Grishina S.Yu. Osobennosti usloviy dlya formirovaniya poznavatel`noy potrebnosti // Aktual`nye voprosy professional`noy orientatsii sel`skikh shkol`nikov v sovremennykh usloviyakh razvitiya agrobiznesa: Sbornik statey materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Orel: OGU. - 2017. - S. 28-32.

5. Denesenko S.I., Pakhomova T.E. Osobennosti tsifrovogo obrazovatel`nogo kontenta pri organizatsii distantsionnogo obucheniya v professional`nom obrazovanii // Uchenye zapiski Zabaykal`skogo gosudarstvennogo universiteta. - Izd-vo: ZabGU, 2020. - T.15. - №5. - S. 6-14.

6. Kartashova E.V., Savina E.Yu., Tikhonova A.A. Razrabotka tsifrovogo obrazovatel`nogo kontenta // Prilozhenie k zhurnalu «Srednee professional`noe obrazovanie». - M.: Srednee professional`noe obrazovanie. - 2022. - №3. - S. 35-46.

7. Noskov, V.A. Ispol`zovanie tsifrovogo obrazovatel`nogo kontenta realizatsii osnovnykh napravleniy natsional`noy bezopasnosti v tsifrovoy informatsionno-obrazovatel`noy srede / Pod redaktsiey A.E. Eremeeva // Natsional`nye tendentsii v sovremennom obrazovanii: Sbornik statey IV Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya. - Omsk. - 2022. - S. 114-121.

8. Grishina S.Yu. Aspekt vliyaniya samostoyatel`noy raboty na protsess inzhenernogo obrazovaniya studentov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - Orel: OGU. - 2018. - №4(63). - S. 125-130.

9. Pavlova T.A., Uvarova M.N. Kompetentnostnyy podkhod v matematicheskoy podgotovke //Akademicheskiy zhurnal Zapadnoy Sibiri. - Tyumen`. - 2016. - T.12. - №2(63). - S. 53-54.

10. Pavlova T.A., Uvarova M.N. K voprosu o podgotovke k olimpiade po matematike // Obrazovanie: traditsii i innovatsii: Materialy IX mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Orel: Orel GAU. - 2015. - S. 364-365.

11. Prokhorova M.P., Makarova N.V., Kraeva I.A. Osobennosti vovlekayushchego kontenta dlya tsifrovykh obrazovatel`nykh resursov // Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya. - Yalta. - 2021. - №72-4. - S. 230-232.

12. Solyanik Yu.N. Opyt ispol`zovaniya tsifrovogo informatsionnogo kontenta v obrazovatel`nom protsesse // Sakhalinskoe obrazovanie XXI vek. - 2022. - №1. - S. 16-19.

13. Tarasova M.A., Grishina S.YU. Mezhdistsiplinarnaya integratsiya - effektivnaya tekhnologiya formirovaniya professional`no-deyatel`nogo komponenta kompetentsiy // Uchenye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Gumanitarnye i sotsial`nye nauki. - Orel: OGU. - 2014. - №5(61). - S. 409-412.

14. Sherstnikova K.A. Tsifrovaya didaktika. Printsipy povysheniya effektivnosti elektronnogo obrazovatel`nogo kontenta // Obshchestvo i ekonomicheskaya mysl` v XXI: puti razvitiya i innovatsii: Materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Voronezh. - 2020. - S. 665-669.

15. Grishina S.Yu., Zubova I.I. Uroven` sformirovannosti poznavatel`noy potrebnosti studentov pervykh kursov // Uchenye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta. - Orel: OGU. - 2019. - №1(82). - S. 189-193.

16. Grishina S.Yu., Zubova, I.I. Osobennosti distantsionnogo obucheniya pri izuchenii fiziki v sovremennykh usloviyakh // Fizika i sovremennye tekhnologii v APK: Materialy HII Vserossiyskoy (s mezhdunarod-nym uchastiem) molodezhnoy konferentsii molodykh uchenykh, studentov i shkol`nikov. - Orel: Orel GAU. - 2021. - S. 445-448.

17. Grishina S.Yu., Zubova I.I. Aspekt obrazovaniya tsifrovym tekhnologiyam v sel`skom khozyaystve // Fizika i sovremennye tekhnologii v APK: Materialy HII Vserossiyskoy (s mezhdunarodnym uchastiem) molodezhnoy konferentsii molodykh uchenykh, studentov i shkol`nikov. - Orel: Orel GAU, 2021. - S. 505-508.

18. Grishina S.Yu. Formirovanie lichnosti agroinzhenera pri obuchenii fizike v vuze // Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Tyumen`: GAU Severnogo Zaural`ya. - 2014. - S. 79-80.

19. Grishina S.Yu., Tarasova M.A. Otsenka kachestva professional`nogo obrazovaniya pri izuchenii fiziki v vuze // Innovatsii v obrazovanii: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Orel: Modul`-K. - 2014. - S. 79-80.

20. Astratova, G.V. Innovatsionnye resheniya finansovykh, sotsial`nykh, tekhnologicheskikh problem tsifrovogo obshchestva: Monografiya - Orel, 2021. - 200 s.

Grishina Svetlana Yurievna
Orel State Agrarian University
Address: 302019, Russia, Orel, General Rodina str., 69
Candidate of physical and mathematical sciences
E-mail: Svetlana.Grischina@rambler.ru

Uvarova Marina Nikolaevna
Orel State Agrarian University
Address: 302019, Russia, Orel, General Rodina str., 69
Candidate of economic sciences
E-mail: uvarovamn@mail.ru

Mishchenko Elena Vladimirovna
Orel State Agrarian University
Address: 302019, Russia, Orel, General Rodina str., 69
Candidate of Technical Sciences
E-mail: art_lena@inbox.ru

Polshakova Natalya Viktorovna
Orel State Agrarian University
Address: 302019, Russia, Orel, General Rodina str., 69
Candidate of economic sciences
E-mail: srmostu@mail.ru

Научная статья
УДК 656.1
doi:10.33979/2073-7432-2022-1(79)-4-133-138

Д.О. ЛОМАКИН, А.В. СИМУШКИН

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ТРАНСПОРТНОЙ ДОСТУПНОСТИ РЕГИОНА

Аннотация. *В статье дано понятие транспортной доступности, предложено использование транспортной доступности в качестве критерия развития транспортной инфраструктуры региона, перечислены параметры, определяющие транспортную доступность, а также существующие показатели транспортной доступности. Также предложена методика комплексной оценки транспортной доступности региона.*

Ключевые слова: *транспортная доступность, транспортная инфраструктура региона, показатели транспортной доступности*

Введение

В современных условиях одним из ключевых факторов развития регионов становится эффективно функционирующая транспортная инфраструктура, представляющая собой важный элемент их жизнеобеспечения и определяющая качество жизни населения. Поэтому одним из ключевых направлений развития является повышение эффективности функционирования транспортной инфраструктуры с целью предоставления качественных транспортных услуг [1-3].

В регионах с более развитой транспортной инфраструктурой, обеспечивающей доступность материальных, природных ресурсов и рынков сбыта, как правило, более высокий уровень развития, поэтому в Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года одним из главных приоритетов развития транспорта является обеспечение доступности транспортных услуг для грузовладельцев и населения [6].

Повышение транспортной доступности – задача, декларируемая в социально-экономической концепции развития Российской Федерации, федеральных и региональных экономических программах.

В настоящее время в регионах лишь в ограниченных случаях обеспечивается сбалансированное развитие всех доступных видов транспорта. Однако, когда инвестиционные ресурсы становятся менее доступными, а стоимость прочих ресурсов достаточно нестабильна, проблемы регионального развития в решающей степени зависят от активизации потенциала всех видов транспорта на принципах реализации их конкурентных преимуществ.

Существенно изменить практику планирования развития транспортной инфраструктуры способно применение многокритериального подхода на основе имитационного моделирования. Оптимизация решений на основе группы количественных и качественных показателей позволит рассматривать региональные программные документы в области транспорта более комплексно [3-5].

Материал и методы

Транспортную инфраструктуру можно рассматривать как подсистему региональной экономической системы, устанавливающую институциональные связи и оказывающую транспортные услуги как отраслям экономики региона, так и населению. Транспортная инфраструктура является связующим звеном в региональных процессах производства, распределения, обмена и потребления, упорядочивая материальные потоки и влияя на значительную часть затрат на производство и реализацию, обеспечивая, тем самым, устойчивый рост региональной экономики [3].

Транспортная доступность – один из определяющих параметров системы, затрагивающий не только транспортную инфраструктуру, но и всю социально-экономическую сферу. В зарубежной специальной литературе представлен ряд специфических понятий транспортной доступности. Наиболее распространенные это [6-9]:

- потенциальная транспортная доступность;
- выборочная транспортная доступность (до заранее намеченных точек);

© Ломакин Д.О., Симушкин А.В., 2022

- транспортная доступность при фиксированных затратах на перемещение;
- внутрирегиональная транспортная доступность;
- многомодальная транспортная доступность;
- мультимодальная транспортная доступность.

Использование транспортной доступности в качестве критерия развития транспортной инфраструктуры региона способствует сочетанию отраслевого и территориального планирования, позволяет принять во внимание как эффективность коммерческой деятельности самого транспортного комплекса, его количественные и качественные характеристики, так и влияние транспорта на экономические и демографические процессы, уровень жизни населения региона, территориальное экономическое развитие.

Теория

В то же время единого мнения, что такое транспортная доступность, в настоящее время не существует. Как не существует и единой методики оценки транспортной доступности [3].

Принято разделять параметры, определяющие транспортную доступность, на две группы: экономические (транспортная обеспеченность территории; доступность транспортных услуг для субъектов экономической деятельности и т.п.) и социальные (мобильность населения; доступность транспортных услуг для населения; транспортная обеспеченность населения и т.п.).

Таким образом, можно сделать вывод, что транспортная доступность связана как с транспортными, так и с нетранспортными факторами, определяющими развитие региона, следовательно, выбор показателей, определяющих транспортную доступность очень важен. Используемые показатели должны как можно точнее обеспечивать взаимосвязь между развитием транспортной инфраструктуры и региональным экономическим ростом и должны быть понятными и сопоставимыми с показателями качества жизни в регионе, а также быть совместимыми с теоретическими положениями и практическим знанием.

В рамках пространственного планирования и организации сферы общественного обслуживания следует отметить такой важный показатель как «интегральная транспортная доступность» (ИТД), показывающий возможность поездки из любой точки территории в любую другую ее точку.

$$ИТД_i=\frac{S_i(1+k_i)+(1-T_i)}{V_n}, \quad (1)$$

где S_i – среднее или кратчайшее расстояние, приведенное от данной точки i до всех прочих точек транспортной региональной сети (n);

k_i – коэффициент, отражающий возможную вариацию кратчайших маршрутов;

T_i – коэффициент, определяющий вероятность цикличности в сети для точки i;

V_n – скорость движения ТС на маршрутах.

В отечественной и зарубежной литературе уровень транспортной доступности справедливо связывают с состоянием транспортной сети, о чем свидетельствует значительное количество показателей транспортной обеспеченности территорий.

Густота транспортной сети территории в расчете на 100 км^2:

$$d_s=\frac{L_э}{S}, \quad (2)$$

где $L_э$ – общая протяженность транспортной сети территории, км;

S – общая площадь территории, 100 км^2.

Транспортная обеспеченность территории, рассчитываемая на 10 тысяч человек населения:

$$d_н=\frac{L_э}{H}, \quad (3)$$

где H – общее количество населения, 10000 чел.

Формула Энгеля – Юдзуру Като:

$$d_э=\frac{L_э}{\sqrt{SH}}. \quad (4)$$

Обобщенный коэффициент Успенского:

$$d_у=\frac{L_э}{\sqrt[3]{SHQ}}, \quad (5)$$

где Q – годовой объем грузов, тыс. т.

Транспортная обеспеченность с приведением различных видов транспорта:

$$d_к = \frac{L_{привед}}{\sqrt[3]{S_o HQ}}, \quad (6)$$

где $L_{привед}$ – протяженность транспортных коммуникаций различных видов транспорта, приведенных к одному их них, км;

S_o – общий размер территории, км2.

В зарубежной практике различают простые и сложные показатели транспортной доступности. Простые показатели отражают внутрирегиональную транспортную инфраструктуру и измеряются такими величинами, как общая протяженность автомобильных дорог, количество железнодорожных станций в регионе, время в пути до ближайшего транспортного узла и т.п. Сложные показатели транспортной доступности учитывают как региональную транспортную инфраструктуру, так и ее связи (или их возможности) с внешними транспортными системами по отношению к региону.

Результаты и обсуждение

Вычисление внутрирегиональных показателей транспортной доступности требует данных высокой точности для оптимизации пространственного распределения транспортно-логистических операций в регионе. В противном случае, т.е. когда внутрирегиональная транспортная доступность не имеет точного измерения через такие параметры, как время, расстояния, расходы и т.п., возможно появление конфликтных ситуаций в транспортных узлах.

Конечная цель показателей транспортной доступности – использование при принятии решений, в том числе и хозяйственных, физических лиц, домохозяйств и фирм. Все они имеют различные требования и чувствительность по времени и стоимости передвижения, из-за чего недостаточного одного единственного показателя транспортной доступности.

Из этого можно сделать вывод о необходимости при выборе показателей транспортной доступности учитывать как факторы прямого, так и косвенного влияния.

Сопоставление факторов и направлений развития транспортной инфраструктуры показывает, что в большинстве случаев речь идет о принятии решений организационно-экономического характера, следовательно, и приоритеты как в части факторов, так и в части направлений развития носят организационно-экономическую направленность.

Схема организационно-экономического развития транспортной инфраструктуры региона на основе критерия транспортной доступности представлена на рисунке 1.

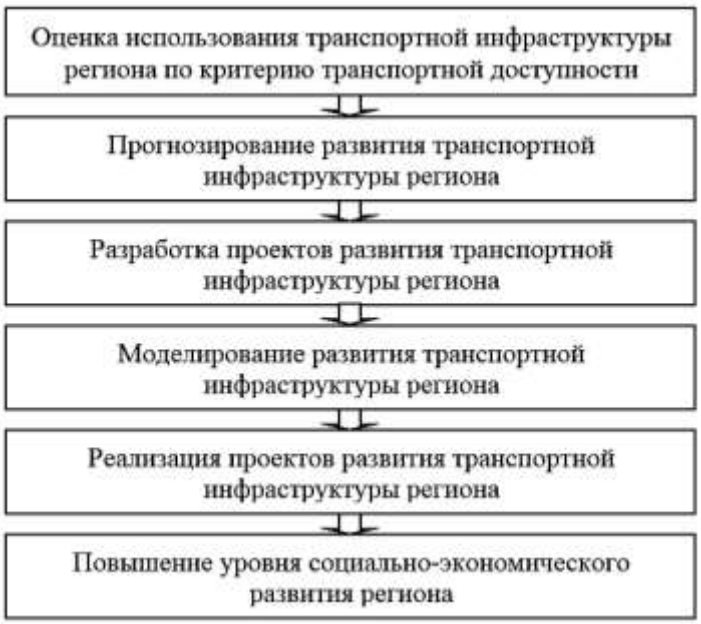


Рисунок 1 – Схема организационно-экономического развития транспортной инфраструктуры

В блоке «оценка использования транспортной инфраструктуры региона по критерию транспортной доступности» производится оценка функционирования транспортной инфраструктуры по критерию транспортной доступности. На данном этапе происходит первичное выявление проблемных зон функционирования транспорта.

В блоке «прогнозирование развития транспортной инфраструктуры региона» определяются стратегические направления развития транспортной инфраструктуры региона, формируются рекомендации по дальнейшему развитию транспортной инфраструктуры региона.

В блоке «разработка проектов развития транспортной инфраструктуры региона» на региональном и муниципальном уровне разрабатываются решения по повышению эффективности транспортных систем. Именно на этом уровне находятся проблемные места транспортной инфраструктуры, исключение которых позволит получить наиболее ощутимый эффект.

В блоке «моделирование развития транспортной инфраструктуры региона» проводится имитационное моделирование реализации предложенных проектов развития транспортной инфраструктуры региона.

Рассмотрим детально блок «оценка использования транспортной инфраструктуры региона». С учетом множественности показателей транспортной доступности, наиболее подходящей для выполнения поставленных в блоке целей, авторами предлагается комплексная оценка (многокритериальная) транспортной доступности как наиболее универсальная и широко применяемая. Алгоритм многокритериальной оценки в данном случае будет состоять из пяти этапов:

1) выбор показателей транспортной доступности региона;
2) определение значений показателей транспортной доступности региона;
3) определение рангов показателей (их весовых коэффициентов);
4) выбор метода свертывания показателей;
5) расчет комплексного показателя уровня транспортной доступности региона.

Необходимым условием при выполнении этапа 3, является соблюдение следующего условия:

$$\left(\sum_{i=1}^{\infty} K_{Bi} \right) = 1 . \qquad (7)$$

На этапе 4 свертывание показателей (комплексирование) - их объединение (агрегирование), осуществляемое по тому или иному закону.

Во всех случаях, когда имеется возможность выявить характер взаимосвязей между учитываемыми показателями, следует определить функциональную зависимость, в наибольшей степени соответствующую объективной корреляции показателей.

$$Q = f\left(n, q_i, k_{Bi}\right), \qquad (8)$$

где Q – комплексный обобщенный показатель;

f – применяемая функция свертываниия;

n – число показателей;

q_i – i-й показатель транспортной доступности региона;

k_{Bi} – коэффициент весомости i-го показателя транспортной доступности региона.

Часто точную функциональную зависимость найти не удается, тогда используют одну из двух зависимостей:

а) комплексный средневзвешенный арифметический показатель (если для всех показателей справедливо qi > 0,5):

$$Q = \sum_{i=1}^{n} \left(k_{Bi} \cdot q_i \right); \qquad (9)$$

б) комплексный средневзвешенный геометрический показатель (если хотя бы один qi < 0,5):

$$Q = \prod_{i=1}^{n} q^{k_{Bi}} . \qquad (10)$$

Выводы

После выбора метода свертывания показателей переходят к вычислениям комплексного показателя транспортной доступности региона (Q), который в зависимости от примененных показателей может характеризовать транспортную доступность региона как с эко-

номико-организационной точки зрения, включая его экономические и многие специфические параметры, так и отдельные стороны оцениваемой транспортной инфраструктуры региона, например, ее технический уровень. Это зависит от целей исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бодров А.С., Ломакин Д.О., Батищев И.Н., Мосин А.В., Савостиков С.К. Комплексная оценка уровня качества транспортного обслуживания населения // Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта: Материалы Международной очно-заочной научно-технической конференции. – 2017. Тула: ТулГУ. – 2017. - С. 242-247.
2. Бодров А.С., Батищев И.Н., Ломакин Д.О., Мосин А.В., Фабричный Е.О. Оптимизация работы общественного транспорта // Мир транспорта и технологических машин. - 2016. - №4(55). - С. 74-81.
3. Иванов М.В. Развитие транспортной инфраструктуры региона: факторы, направления, инструментарий оценки: Дис. … канд. техн. наук. – Н.Новгород, 2016. – 196 с.
4. Ломакин Д.О. Методика комплексной оценки уровня качества автосервисных услуг // Мир транспорта и технологических машин. - 2010. - №1(28). - С. 33-36.
5. Транспортная стратегия Российской Федерации / Утв. Распоряжением Правительства РФ от 22.11.08. - №1734-р.
6. Kulev M.V., Kulev A.V., Kuleva N.S. Efficiency assessment in transport service provision for the population of orel city // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - №971. – 2020. - 052090.
7. Lomakin, Denis et al. improvement of road traffic management system on the basis of mathematical and simulation modeling // MATEC Web of Conferences. - №298. – 2019. - 00045.
8. Novikov A., Eremin S., Kulev A. Methodology of passenger public transport organization within the context of long-term territorial development of a city // MATEC Web of Conferences. - №341. - 2021. - 00064.
9. Kushchenko L., Kushchenko S., Novikov A. Analysis of congestion occurrence cycles // Transportation Research Procedia. – 2020. - №50. – P. 346-354.
10. Ваксман, С.А. Информационные технологии в управлении городским общественным пассажирским транспортом (задачи, опыт, проблемы) / под ред. С.А. Ваксмана - Екатеринбург: АМБ, 2012. - 260 с.
11. Володькин, П.П. Методология формирования и управления муниципальной автотранспортной системой: монография - Владивосток: Дальнаука, 2011. - 443 с.
12. Бодров А.С., Кулев М.В., Ломакин Д.О. Повышение эффективности функционирования муниципального пассажирского транспорта // Мир транспорта и технологических машин. - 2017. - №1(56). - С. 80-86.
13. Салютина Т.Ю., Кузовков А.Д. Анализ методов и подходов к измерению процессов информатизации и движения к информационному обществу // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. - 2016. - Т. 10. - №6. - С. 52-57.
14. Белов Ю.В., Полетайкин А.Н. Совершенствование системы управления транспортом на основе концепции интеллектуальной транспортной системы // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. - 2015. - №2. - С. 4-9.
15. Novikov A. Information technologies and management of transport systems development of the approach to assessing adaptation of the intersection transport model [Электронный ресурс] / IOP Conference series: materials science and engineering. - 2019. - №632. - P. 012052. - Режим доступа: http://dx.doi.org/10.1088/1757-899x/632/1/012052
16. Novikov A. Information technologies and management of transport systems development of the approach to assessing adaptation of the intersection transport model [Электронный ресурс] / IOP Conference series: materials science and engineering. - 2019. - №632. - P. 012052. - Режим доступа: http://dx.doi.org/10.1088/1757-899x/632/1/012052
17. Lomakin D., Fabrichnyi E., Novikov A. Improving the system of traffic management at crossings [Электронный ресурс] / Transportation Research Procedia. – 2018. - №36. - P. 446-452. - Режим доступа: http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.121
18. Вельможин, А.В. Эффективность городского пассажирского транспорта: Монография – Волгоград: Волгоград. гос. техн. ун-т., 2002. – 256 с.
19. Спирин, И.В. Теоретические основы учета стоимостной оценки затрат времени на транспортные передвижения: монография – М.: Каталог, 2007. – 112 с.
20. Максимов В.А., Крылов Г.А., Исмаилов Р.И., Максимов П.В., Рощак С.В. Рекомендации по оценке эффективности эксплуатации городских автобусов // Грузовик. - 2016. - №10. - С. 36-39.

Ломакин Денис Олегович
Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева
Адрес: 302030, Россия, г. Орел, ул. Московская, д. 77
К.т.н., доцент кафедры сервиса и ремонта машин
E-mail: srmostu@mail.ru

Симушкин Андрей Владиславович
Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева
Адрес: 302030, Россия, г. Орел, ул. Московская, д. 77
Магистрант
E-mail: srmostu@mail.ru

D.O. LOMAKIN, A.V. SIMUSHKIN

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE TRANSPORT ACCESSIBILITY OF THE REGION

Abstract. *The article gives the concept of transport accessibility, suggests the use of transport accessibility as a criterion for the development of the transport infrastructure of the region, lists the parameters that determine transport accessibility, as well as existing indicators of transport accessibility. A methodology for a comprehensive assessment of the transport accessibility of the region is also proposed.*

Keywords: *transport accessibility, transport infrastructure of the region, indicators of transport accessibility*

BIBLIOGRAPHY

1. Bodrov A.S., Lomakin D.O., Batishchev I.N., Mosin A.V., Savostikov S.K. Kompleksnaya otsenka urovnya kachestva transportnogo obsluzhivaniya naseleniya // Problemy issledovaniya sistem i sredstv avtomobil`nogo transporta: Materialy Mezhdunarodnoy ochno-zaochnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. - 2017. Tula: TulGU. - 2017. - S. 242-247.
2. Bodrov A.S., Batishchev I.N., Lomakin D.O., Mosin A.V., Fabrichnyy E.O. Optimizatsiya raboty obshchestvennogo transporta // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2016. - №4(55). - S. 74-81.
3. Ivanov M.V. Razvitie transportnoy infrastruktury regiona: faktory, napravleniya, instrumentariy otsenki: Dis. … kand. tekhn. nauk. - N. Novgorod, 2016. - 196 s.
4. Lomakin D.O. Metodika kompleksnoy otsenki urovnya kachestva avtoservisnykh uslug // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2010. - №1(28). - S. 33-36.
5. Transportnaya strategiya Rossiyskoy Federatsii / Utv. Rasporyazheniem Pravitel`stva RF ot 22.11.08. - №1734-r.
6. Kulev M.V., Kulev A.V., Kuleva N.S. Efficiency assessment in transport service provision for the population of orel city // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - №971. - 2020. - 052090.
7. Lomakin, Denis et al. improvement of road traffic management system on the basis of mathematical and simulation modeling // MATEC Web of Conferences. - №298. - 2019. - 00045.
8. Novikov A., Eremin S., Kulev A. Methodology of passenger public transport organization within the context of long-term territorial development of a city // MATEC Web of Conferences. - №341. - 2021. - 00064.
9. Kushchenko L., Kushchenko S., Novikov A. Analysis of congestion occurrence cycles // Transportation Research Procedia. - 2020. - №50. - R. 346-354.
10. Vaksman, S.A. Informatsionnye tekhnologii v upravlenii gorodskim obshchestvennym passazhirskim transportom (zadachi, opyt, problemy) / pod red. S.A. Vaksmana - Ekaterinburg: AMB, 2012. - 260 s.
11. Volod`kin, P.P. Metodologiya formirovaniya i upravleniya munitsipal`noy avtotransportnoy sistemoy: monografiya - Vladivostok: Dal`nauka, 2011. - 443 s.
12. Bodrov A.S., Kulev M.V., Lomakin D.O. Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya munitsipal`nogo passazhirskogo transporta // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2017. - №1(56). - S. 80-86.
13. Salyutina T.Yu., Kuzovkov A.D. Analiz metodov i podkhodov k izmereniyu protsessov informatizatsii i dvizheniya k informatsionnomu obshchestvu // T-Comm: Telekommunikatsii i transport. - 2016. - T. 10. - №6. - S. 52-57.
14. Belov Yu.V., Poletaykin A.N. Sovershenstvovanie sistemy upravleniya transportom na osnove kontseptsii intellektual`noy transportnoy sistemy // Vestnik Donetskoy akademii avtomobil`nogo transporta. - 2015. - №2. - S. 4-9.
15. Novikov A. Information technologies and management of transport systems development of the approach to assessing adaptation of the intersection transport model [Elektronnyy resurs] / IOP Conference series: materials science and engineering. - 2019. - №632. - R. 012052. - Rezhim dostupa: http://dx.doi.org/10.1088/1757-899x/632/1/012052
16. Novikov A. Information technologies and management of transport systems development of the approach to assessing adaptation of the intersection transport model [Elektronnyy resurs] / IOP Conference series: materials science and engineering. - 2019. - №632. - R. 012052. - Rezhim dostupa: http://dx.doi.org/10.1088/1757-899x/632/1/012052
17. Lomakin D., Fabrichnyi E., Novikov A. Improving the system of traffic management at crossings [Elektronnyy resurs] / Transportation Research Procedia. - 2018. - №36. - R. 446-452. - Rezhim dostupa: http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.121
18. Vel`mozhin, A.V. Effektivnost` gorodskogo passazhirskogo transporta: Monografiya - Volgograd: Volgograd. gos. tekhn. un-t., 2002. - 256 s.
19. Spirin, I.V. Teoreticheskie osnovy ucheta stoimostnoy otsenki zatrat vremeni na transportnye peredvizheniya: monografiya - M.: Katalog, 2007. - 112 s.
20. Maksimov V.A., Krylov G.A., Ismailov R.I., Maksimov P.V., Roshchak S.V. Rekomendatsii po otsenke effektivnosti ekspluatatsii gorodskikh avtobusov // Gruzovik. - 2016. - №10. - S. 36-39.

Lomakin Denis Olegovich
Orel State University
Address: 302030, Russia, Orel, Moscow str., d. 77
Candidate of technical sciences
E-mail: srmostu@mail.ru

Simushkin Andrey Vladislavovich
Orel State University
Address: 302030, Russia, Orel, Moscow str., d. 77
Master student
E-mail: srmostu@mail.ru

Уважаемые авторы!
Просим Вас ознакомиться с требованиями к оформлению научных статей.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

- Представляемый материал должен быть оригинальным (оригинальность не менее 70%), не опубликованным ранее в других печатных изданиях.
- объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах формата А4 и содержит от 4 до 9 страниц; 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 прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи;
- аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки - РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Научная статья, предоставляемая в журнал, должна иметь следующие **обязательные элементы**:

Введение

Укажите цели работы и предоставьте достаточный накопленный опыт, избегая подробного обзора литературы или обобщенных результатов.

Материал и методы

Предоставьте достаточно подробных сведений, чтобы можно было воспроизвести работу независимым исследователем. Методы, которые уже опубликованы, должны быть обобщены и указаны ссылкой. Если вы цитируете непосредственно из ранее опубликованного метода, используйте кавычки и также ссылайтесь на источник. Любые изменения существующих методов также должны быть описаны.

Теория / расчет

Раздел «Теория» должен продлить, а не повторять предысторию статьи, уже рассмотренную во введении, и заложить основу для дальнейшей работы. Напротив, раздел «Расчет» представляет собой практическое развитие с теоретической основы.

Результаты

Результаты должны быть четкими и краткими.

Обсуждение

Здесь необходимо рассмотреть значимость результатов работы, а не повторять их. Часто целесообразен комбинированный раздел «Результаты и обсуждение». Избегайте подробных цитат и обсуждений опубликованной литературы.

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 расположенное 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 строки, расположенный по ширине страницы.

- Список литературы, набранный обычным шрифтом прямого начертания 10 pt, помещается в конце статьи. Заголовок «**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**» набирается полужирным шрифтом 12 pt прописными буквами с выравниванием по центру.

- После списка литературы, с абзацного отступа, приводятся набранные обычным шрифтом 10 pt сведения об авторах (на русском языке) в такой последовательности:

Фамилия, имя, отчество (полужирный шрифт)

Учреждение или организация

Адрес

Ученая степень, ученое звание, должность

Электронная почта (обычный шрифт), не может повторяться у двух и более авторов

- С пропуском одной строки - выровненные по центру страницы, без абзацного отступа и набранные прописными буквами светлым шрифтом 12 pt инициалы и фамилии авторов (на английском языке).

- С пропуском одной строки - название статьи, набранное без абзацного отступа прописными буквами полужирным шрифтом 14 pt и расположенное 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

$$q_1 = (\alpha - 1)^2 (1 + \frac{1}{2\alpha})/d, \qquad (1)$$

где $\alpha = 1+2\alpha/b$- коэффициент концентрации напряжений;

$d = 2\alpha$ - размер эллиптического отверстия вдоль опасного сечения.

Рисунки и другие иллюстрации (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые. Рисунки, число которых должно быть логически оправданным, представляются в виде отдельных файлов в формате *.eps (Encapsulated PostScript) или TIF размером не менее 300 dpi.

Если рисунок небольшого размера, желательно его обтекание текстом.

Подписи к рисункам (полужирный шрифт курсивного начертания 10 pt) выравнивают по центру страницы, в конце подписи точка не ставится, например:

Рисунок 1 - Текст подписи

Пояснительные данные набираются светлым шрифтом курсивного начертания 10 pt и ставят после наименования рисунка.

Таблицы должны сопровождаться ссылками в тексте.

Заголовки граф и строк таблицы пишутся с прописной буквы, а подзаголовки - со строчной, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставятся. Текст внутри таблицы в зависимости от объема размещаемого материала может быть набран шрифтом меньшего кегля, но не менее 10 pt. Текст в столбцах располагают от левого края либо центрируют.

Слово «Таблица» размещается по левому краю, после него через тире располагается название таблицы, например: Таблица 1 - Текст названия

Если в конце страницы таблица прерывается и ее продолжение будет на следующей странице, нижнюю горизонтальную линию в первой части таблицы не проводят. При переносе части таблицы на другую страницу над ней пишут слово «Продолжение» и указывают номер таблицы: Пример: Продолжение таблицы 1

Нумерация граф таблицы арабскими цифрами необходима только в тех случаях, когда в тексте имеются ссылки на них, при делении таблицы на части, а также при переносе части таблицы на следующую страницу.

Адрес издателя:
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302026, Орловская обл., г. Орёл, ул. Комсомольская, 95
Тел.: (4862) 75-13-18
www.oreluniver.ru.
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 08.12.2022 г.
Дата выхода в свет 23.12.22 г.
Формат 70х108/16. Усл. печ. л. 8,8
Цена свободная. Тираж 500 экз.
Заказ № 208

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95