

На правах рукописи



ДОТКУЛОВА АНАСТАСИЯ СЕРГЕЕВНА

**ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА
ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ПОВЕДЕНИЯ ВОДИТЕЛЯ**

05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2022

Работа выполнена на кафедре «Высшая математика» ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)».

Научный руководитель:	Яшина Марина Викторовна доктор технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», заведующий кафедрой «Высшая математика»
Официальные оппоненты:	Евтюков Станислав Сергеевич доктор технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ)», заведующий кафедрой транспортных систем Юров Александр Павлович кандидат технических наук, доцент АО «Нейроком», заместитель генерального директора
Ведущая организация:	Открытое акционерное общество «Научно- исследовательский институт автомобильного транспорта» (ОАО «НИИАТ»)

Защита состоится «27» сентября 2022 г. в 12.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.126.04 при ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», по адресу: 125319, г. Москва, Ленинградский просп., д.64, ауд. 42.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)» и на официальном сайте: www.madi.ru

Отзывы на автореферат в одном экземпляре с подписью, заверенной печатью организации, просим направлять в адрес диссертационного совета и на эл. почту: uchsovet@madi.ru. Телефон для справок: (499) 155-93-24.

Автореферат разослан «___» _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук,
доцент



Виталий Валентинович Гаевский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Работа связана с анализом классических моделей транспортных потоков, выявлением методов, учитывающих человеческий фактор, и исследованием влияния поведенческих характеристик водителя на безопасность дорожного движения. Решаемые задачи связаны с совершенствованием и уточнением качественных характеристик транспортных потоков на многополосных магистралях с учетом влияния человеческого фактора.

Главной задачей является исследование поведения и влияния манеры вождения участника автотранспортного потока на характеристики транспортных потоков, а также выявление основных психофизиологических особенностей водителей, необходимых при разработке методик подготовки и тестирования водителей.

Несмотря на существующие меры по обеспечению безопасности дорожного движения, уровень ДТП довольно высок во всем мире, при этом на первый план выходит человеческий фактор, а именно, поведение водителя на дороге. В настоящее время предрейсовый контроль за состоянием водителя общественного транспорта и грузовых автомобилей регламентируется соответствующими нормативными документами. При этом аналогичные меры предрейсового контроля водителей как частных, так и коммерческих легковых автомобилей почти отсутствуют. В связи с этим возникает необходимость в разработке методик и требований к подготовке и проверке состояния водителей личных и арендованных транспортных средств как перед осуществлением поездки, так и во время самой поездки. Особенно остро проблема детектирования состояния водителей возникает в сфере каршеринговых услуг, которые активно развиваются.

Актуальным остается и вопрос исследования структуры и характеристик автотранспортных потоков. При моделировании и их оценки возникает необходимость в анализе влияния человеческого фактора на безопасность дорожного движения. С развитием электроники и систем помощи водителям ADAS управление автомобилем облегчается. Все более широкие слои населения стали способны к управлению транспортными средствами различных категорий, поэтому поведенческие аспекты вносят изменения в общую картину. Те классические модели транспортных потоков, которые включают в себя параметры, зависящие от поведения водителя, чаще всего рассматривают эту характеристику как время реакции водителя. При этом в модель включается лишь усредненная оценка, без личностной и категорной дифференциации, тогда как реальная характеристика зависит от многих факторов.

Степень разработанности темы исследования. Увеличивается количество автомобилей на улично-дорожной сети, возрастают грузопассажирские потоки, появляются высоко автоматизированные транспортные средства — все это влечет за собой задачу исследования и совершенствования технологий для организации безопасности дорожного движения. С развитием информационных технологий появилась возможность отслеживать движение водителя на дороге, исследовать манеры его поведения в потоке и оценивать физические характеристики водителя во время управления транспортным средством.

Влияние человеческого фактора на автотранспортные перевозки глубоко исследовано в работах Лобанова Е.М., Котика М.А., Жанказиева С.В., Дементиенко В.В., Власова В.М., Юрова А.П., Трофименко Ю.В. и др. Начиная с 1930 годов проводились исследования в области транспортных потоков и выявления их характеристик. Большой вклад в классификацию и моделирование транспортных потоков внесли: Б.Д. Гриншильдс, К. Даганзо, К. Нагель, М. Шрекенберг, М.Л. Бланк, В.Ф. Бабков и др.

Существенный вклад в развитие методов математического моделирования транспортного потока внесли современные отечественные и зарубежные учёные: Козлов В.В., Тишкин В.Ф., Приходько В.М., Сильянов В.В., Бугаёв А.С., Буслаев А.П., Яшина М.В., Таташев А.Г., Четверушкин Б.Н., Чурбанова Н.Г., Агуреев И.Е., Михайлов А.Ю., Витвицкий Е.Е., Клявин В.Э., Корниенко А.А., Хейт Ф. и др.

Целью диссертационного исследования является разработка системы сбора и анализа данных на основе оценки поведенческих характеристик водителя, влияющих на безопасность дорожного движения.

Основные задачи исследования:

1. Анализ классических моделей транспортных потоков и выявление моделей, учитывающих влияние человеческого фактора;
2. Развитие и совершенствование детерминированно-стохастической модели автотранспортных потоков с учетом физиологических и психофизиологических характеристик водителя;
3. Разработка инфокоммуникационных технологий сбора и анализа поведенческих характеристик водителей, влияющих на безопасность дорожного движения;
4. Апробация и оценка адекватности полученных результатов при исследовании влияния человеческого фактора на безопасность дорожного движения.

Объектом исследования является безопасность дорожного движения, рассматриваемая с точки зрения влияния человеческого фактора на основные характеристики автотранспортных потоков.

Предметом исследования является информационная система, оценивающая характеристики водителя, влияющие на безопасность дорожного движения.

Научная новизна работы заключается в:

1. Разработке информационной системы сбора и обработки физиологических, психофизических и эмоциональных характеристик водителей, влияющих на безопасность движения, основанной на игровых технологиях;
2. Развитии математического аппарата детерминированно-стохастической модели автотранспортных потоков с учетом поведенческих характеристик водителя;
3. Создании методики оценки состояния водителя перед выпуском автомобиля в рейс и прогноза его поведения в потоке на основе имитационного моделирования.

Теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования состоит в следующем:

1. Исследование личностных и психологических характеристик водителя, влияющих на обработку информации и принятие решений;
2. Совершенствование математической модели транспортного потока с учетом влияния поведения водителя на основные характеристики автотранспортных потоков;
3. Создание, проектирование и разработка программной реализации клиент-серверной системы Analyzer of Driver Emotional State (ADES) для диагностики и анализа характеристик водителей;
4. Выявление с помощью информационной системы ADES физических и психофизиологических характеристик водителя, влияющих на безопасность дорожного движения;
5. Разработка методики оценки состояния водителя и прогноза его поведения в потоке на основе имитационного моделирования.

Положения, выносимые на защиту:

1. Разработка информационной системы ADES для сбора и оценки поведенческих характеристик водителя, влияющих на безопасность движения;
2. Дифференцирование транспортного потока на базе детерминированно-стохастической модели автотранспортных потоков с учетом поведенческих характеристик водителя;
3. Создание методики оценки поведенческих характеристик водителя и ее применение для повышения безопасности дорожного движения на основе имитационного моделирования.

Соответствие паспорту специальности. Содержание выполненных исследований отвечает формуле паспорта научной специальности 05.22.10 – «Эксплуатация автомобильного транспорта» и области исследования по п. «б.

Организация безопасности перевозок и движения, обоснование и разработка требований и рекомендаций по методам подбора, подготовки, контроля состояния и режимам труда и отдыха водителей»; п. «15. Развитие новых информационных технологий при перевозках, технической эксплуатации и сервиса».

Степень достоверности и реализация результатов. Обоснованность и достоверность результатов обеспечена корректным применением методов статистического анализа, подтверждением теоретических моделей экспериментальными данными, отсутствием противоречий полученных результатов и выводов с результатами ранее выполненных исследований.

Результаты работы были внедрены и проверены в ходе теоретических и экспериментальных исследований транспортных потоков на реальных магистралях:

в рамках выполнения проектов Минобрнауки:

— НИР, выполняемой в рамках Государственного Задания по теме FSFM-2020-0010, «Разработка новых материалов и цифровых, интеллектуальных технологий в области автомобильного транспорта для обеспечения безопасности и работоспособности перспективных высокоавтоматизированных колесных транспортных средств» (2020-2023), МАДИ, рук. Иванов А.М.;

в рамках выполнения проектов РФФИ:

— 20-01-00222 «Исследование качественных свойств динамических систем массопереноса на регулярных цепочках и кольчугах с конкурентными узлами», (2020 - 2022), МАДИ, рук. Яшина М.В.;

— 19-29-06036 «Разработка распределенной системы мониторинга, управления и прогнозирования движения беспилотных транспортных средств», (2019 - 2021), МТУСИ, рук. Городничев М.Г.;

— 17-29-03419 «Алгоритмы и технология on-line распознавания на мобильных устройствах движущихся объектов и характеристик потоков», (2017-2019), МАДИ, рук. Яшина М.В.;

— 17-07-01358 «Исследование качественных свойств потоков информации на линейно-кольцевых сетях», (2017 - 2019), МТУСИ, рук. Яшина М.В.;

— 17-01-00821 «О качественных теоремах в задаче моделирования движения многочастичных систем по дискретным решеткам», (2017- 2019), МАДИ, рук. Таташев А.Г.;

— 13-07-12055 «Клиент - серверная система SSSR для мониторинга, моделирования и управления распределенными социально-техническими объектами», (2013-2015), МТУСИ, рук. академик Бугаев А.С.;

— 13-01-12064 «Модели, математические задачи и теоремы о насыщенных потоках на сложных сетях - кольчугах», (2013-2015), МИАН, рук. академик Козлов В.В.;

в актах о внедрении:

— АО «Нейроком»;

в учебном процессе:

— при подготовке студентов, обучающихся по программе бакалавриата по направлению «Прикладная математика» и программам магистратуры по направлениям «Прикладная математика» и «Информатика и вычислительная техника» в Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете (МАДИ);

— при подготовке студентов, обучающихся по программе бакалавриата по направлению «Информатика и вычислительная техника» в Московском техническом университете связи и информатики (МТУСИ).

Апробация результатов работы. Основные положения работы докладывались и обсуждались на российских и международных конференциях: Основные положения работы докладывались и обсуждались на российских и международных конференциях:

— Международная конференция по инженерному менеджменту связи и технологий 2020 г. (EMSTECH 2020). Вена, Австрия, 20-22 октября 2020 г. (получен диплом Best Paper);

— Международная конференция «Интеллектуальные технологии в дорожно-транспортном комплексе», приуроченная к 90-летию университета, 14 декабря 2020 г., МАДИ, г. Москва;

— Международная конференция по вычислительным и математическим методам в науке и технике (СММСЕ 2016, СММСЕ 2019), Рота, Испания, 30 июня - 6 июля 2019;

— Международная конференция «Управление качеством, транспорт и информационная безопасность, информационные технологии» (IEEE IT & QM & IS), Санкт-Петербург, 24-28 сентября 2018;

— Системы формирования и развития сигналов в области инфокоммуникаций (IEEE Conference N46544), Москва, МТУСИ, 20-21 марта 2019;

— IV Международная научно-практическая конференция «Информационные технологии и инновации на транспорте», Орел, 23-24 мая 2019;

— V Международная научно-практическая конференция «Информационные технологии и инновации на транспорте», Орел, 19-20 мая 2020;

— Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов в инфокоммуникациях (Синхроинфо 2019), Ярославль, 1-3 июля 2019;

— 8 Международная конференция «Образование, исследования и развитие», Еленити, Болгария, 4-8 сентября 2017;

— Международная научно-методическая дистанционная конференция-конкурс молодых ученых, аспирантов и студентов «Эвристика и дидактика математики», Донецк, Украина, 2018;

— Научно-методических и научно-исследовательских конференциях МАДИ в 2017-2021 гг.;

— Международные отраслевые научно-технические конференции «Технологии информационного общества» МТУСИ в 2016-2019 гг.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 печатных работ, из них 4 статьи опубликовано в изданиях, входящих в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук и доктора наук», 5 работ опубликованы в изданиях, входящих в базы цитирований Web of Science и Scopus. По результатам работы получены 6 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ. В опубликованных работах автору принадлежит разработка программного обеспечения, экспериментальные результаты и выводы.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, основных выводов, списка использованных источников из 91 наименования отечественных и зарубежных авторов. Работа изложена на 154 страницах печатного текста и включает 60 рисунков, 7 таблиц и 2 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, обозначена цель, обоснован выбор рассматриваемых задач и методов исследования, показаны научная новизна и практическая значимость работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, а также представление результатов работы научной общественности на научных конференциях и семинарах.

В первой главе проводится обзор литературы по теме исследования, описана общая постановка первой задачи исследования. Проведен анализ современного состояния автотранспортных потоков, выделены математические модели, учитывающие человеческий фактор. Описаны физиологические, психологические и психофизиологические характеристики водителя. Проведена оценка рисков возникновения ДТП и конфликтных ситуаций по вине водителя. Рассмотрены системы сбора данных о состоянии водителя.

История автомобильной промышленности начинается с конца XIX века, а уже в тридцатых годах XX века с работ Брюс Дуглас Гриншильдса (1933), который с помощью фотокамеры статистически исследовал зависимость расстояния между последовательными автомобилями от скорости передвижения и получил экспериментально обоснованную зависимость между скоростью и плотностью автотранспортного потока, начинается развитие теории транспортных потоков. В результате этих исследований получена фундаментальная диаграмма - зависимость интенсивности потока от плотности -

которая на долгие годы оставалась верификационным эталоном качества математических моделей транспортного потока. Простейший вариант функции состояния автотранспортных потоков по Гриншильдсу имеет вид (формула 1):

$$v = v_0 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_{max}}\right), \quad (1)$$

где v – средняя скорость потока, v_0 – максимально разрешенная скорость на данной автомагистрали, ρ – плотность потока, ρ_{max} – максимально возможная плотность потока.

По масштабам исследования модели транспортных потоков можно разделить на два больших класса: макроскопические и микроскопические.

Классической макроскопической моделью является гидродинамическая модель однополосного движения, предложенная в 1955 г. Лайтхилла – Уизема – Ричардсом (LWR), в которой поток рассматривался в виде одномерной несжимаемой жидкости. В качестве функции состояния модели используется взаимно-однозначной зависимостью между скоростью $v(t,x)$ и плотностью $\rho(t,x)$ потока Гриншильдса, в которой присутствует коэффициент, учитывающий скорость реакции водителя в усредненном по потоку виде.

Следует отметить, что LWR-модель дает адекватные результаты для исследования потоков на протяженных магистралях, но неэффективна при учете светофорного регулирования, а также имеет низкую точность при малых и высоких плотностях.

Микроскопические модели описывают поведение отдельного транспортного средства в зависимости от дорожной обстановки, и эти модели являются разностным или дифференциально – разностным аналогом макроскопической модели. Таким образом, корректность микроскопического подхода к определению $\rho(t,x)$, $v(t,x)$ основывается на устойчивой аппроксимации макроскопической модели микроскопической.

В основе микроскопического подхода лежит модель следования за лидером, в которой впереди идущее транспортное средство выступает в качестве лидера, а другие транспортные средства - в роли ведомых. В таких моделях можно изучить взаимодействие транспортных средств, движущихся в одной группе, а также получить качественные характеристики транспортных потоков. Так появились модели типа следования за лидером, среди которых следует отметить модели А. Ньюэла, «Дженерал Моторс», К. Танака, М. Трайбера – модели разумного водителя IDM, и др., в которых движение потока рассматривалось как суммарное взаимодействие составляющих его автомобилей и описывалось системой дифференциальных уравнений на линейном однополосном участке дороги. В таких моделях попытки учесть поведение водителя также сводятся к учету времени реакции. Среди отечественных работ в данном направлении следует отметить работы Буслаева А.П., Городничева М.Г.,

Чурбановой Н.Г. и Чечиной А.А., в которых подходы к микромоделированию с применением дифференциальных уравнений сочетаются с разработкой имитационных моделей на многополосных носителях, позволяющих учесть поведенческие параметры водителя в виде сценарных тактик при смене полос движения.

Современные производители транспортных средств встраивают различные системы помощи водителя ADAS. Отдельно выделяются системы, действующие на общественном транспорте: MontransDVR, MovonPro, SafeDrive (CityPoint), Streamax, «Антисон».

Актуальным направлением в исследовании безопасности дорожного движения является транспортная психология, занимающаяся вопросами изучения взаимодействия системы «Водитель-Автомобиль-Дорога-Среда» (ВАДС). Особое внимание уделяется водителю и его поведению на дороге.

По результатам анализа статистических данных в Москве за последние годы из-за нарушений ПДД водителями произошло более 87% ДТП. Каждое 7-е ДТП происходит с водителями такси и каршеринга, что доказывает актуальность введения предрейсового контроля состояния водителя. Отвлечение водителя на экран смартфона, еду или т.п. во время движения становится свойственным всем участниками дорожного движения. Как показывают исследования, проведенные в Германии: во время движения - 30% водителей используют смартфоны: 20% - пишут сообщения и 10% говорят по телефону без использования функции «свободные руки», данные 2021 г. Такие тенденции создают предаварийные ситуации и требуют проведения дополнительных мероприятий воспитательного, информационного и тестирующего характера.

В научно-производственной отрасли появились системы, обеспечивающие транспортную безопасность за счет снижения отрицательного влияния человеческого фактора. Следует отметить российскую компанию Нейроком, которая разрабатывает и производит электронные приборы для комплексного обеспечения безопасности транспортных предприятий при оценке профессионально важных качеств работников, в том числе при осуществлении профотбора, предрейсового контроля и т.п.

Но в связи с продолжающимся ростом автомобилизации и возрастанием влияния человеческого фактора на аварийность требуется разработка новых методов оценки поведенческих и психофизических свойств участников дорожного движения, в том числе с применением новейших достижений микроэлектроники и технологии информационных систем.

Во второй главе описана и модифицирована детерминированно-стохастическая модель с различными типами поведения водителей и разработана имитационная модель транспортного потока, учитывающая различные типы водителей и особенности их движения.

Рассмотрена модель композитного транспортного потока с различными целевыми установками на участке магистрали перед съездом. Белые квадраты - пустые ячейки; цвет ячейки показывает тип водителя; цифры в кружках указывают на направление движения (рис. 1).

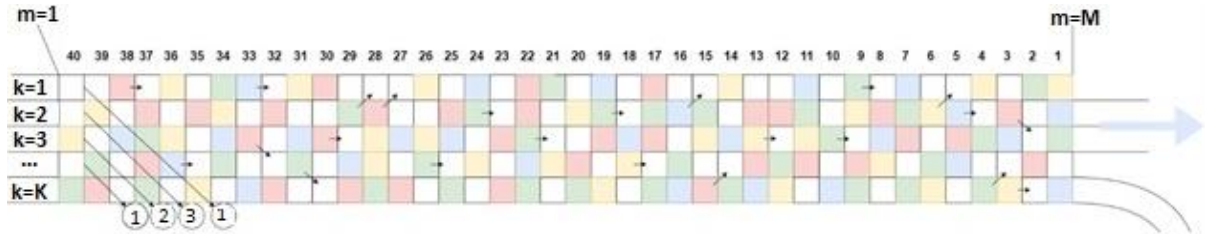


Рисунок 1 – Модель участка магистрали перед съездом

Участок разбит на m зон определенной длины L_m . Каждая полоса разбита на клетки так, что в одной клетке не может находиться более одного автомобиля. В любой момент времени каждая клетка независимо от состояния других клеток занята с вероятностью $r(k, m) = \rho(k, m)d(k, m)$, где $d(k, m)$ - размер клетки для k -й полосы и m -й зоны, $\rho(k, m)$ - плотности транспортного потока для k -й полосы и m -й зоны. Имеются $I+1$ типов частиц, $i=1, \dots, I+1$. Частица $(I+1)$ -го типа проходит участок, оставаясь на той же полосе, на которой она начала движение по участку.

Если время перехода с k -й полосы на $(k+1)$ -ю частицы i -го типа, движущейся в неограниченной m -й зоне, имеет экспоненциальное распределение со средним значением, то оно определяется по формуле (2):

$$s_{det}(k, m) + s_{st}(i, k, m) = \frac{v_{det}(k, m) + (\mu(i, k, m) - \kappa(i, k, m))(1 - r(k, m))d(k, m)}{\lambda(i, k, m)(1 - r(k+1, m))}, \quad k \leq K-1, \quad (2)$$

$v_{det}(k, m)$ - динамический габарит, $\mu_i(i, k, m)$ - вероятность перемещения вперед, $\kappa_i(i, k, m)$ - вероятность перемещения «назад» (соответствует движению транспортного средства со скоростью, меньшей скорости детерминированной составляющей), $\lambda(i, k, m)$ - вероятность совершения попытки перестроения, $1 - r(k, m+1)$ - вероятность перестроения.

Тогда вероятность того, что транспортное средство, i -го типа, начавшее движение по участку на k_1 -й полосе, успешно перестроится, находится по формуле (3):

$$\gamma(i, k_1) = \frac{q(i, k_1, K, M) + q(i, k_1, K-1, M)\beta(i, K-1, M)}{q(i, k_1, 1)}, \quad i \leq I, k_1 \leq K-1, \quad (3)$$

где $q(i, k_1, k, m)$ - интенсивность потока транспортных средств i -го типа, начавших движение на k_1 -й полосе, на K -й полосе в M -й зоне, $\beta(i, k, m)$ -

вероятность того, что, начав движение в m -й зоне на k -й полосе, частица i -го типа успеет перейти на $(k+1)$ -ю полосу.

Пример применения алгоритма расчета. Пусть число полос $K=5$, число зон $M=4$. Приведены зависимости вероятности успешного перестроения $\gamma(i,k)$ при соответствующих заданных параметрах и суммарных интенсивностях $Q(k,m)$ при длине участка $C=1,5$ (рис. 2):

$$\begin{aligned} Q(k,m)1/c: Q(1,1) &= 0.07 * C; Q(2,1) = 0.16 * C; Q(3,1) = 0.207 * C; \\ Q(4,1) &= 0.209 * C; Q(5,1) = 0.16 * C(Q(k,m)1/c: Q(1,1) = 252 * C; \\ & Q(2,1) = 576 * C; Q(3,1) = 745 * C; Q(4,1) = 752 * C; Q(5,1) = 576 * C). \end{aligned} \quad (4)$$

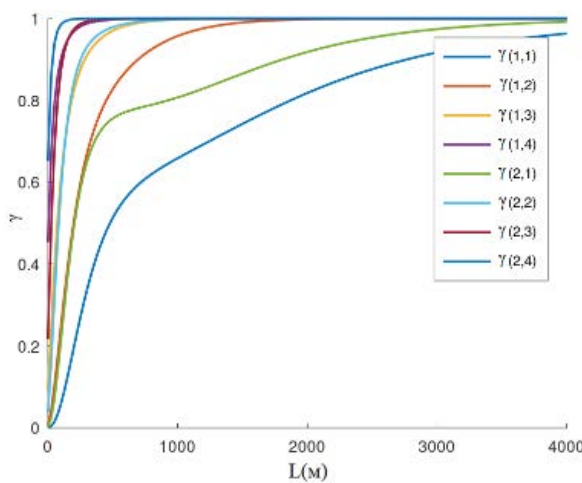


Рисунок 2 – Зависимость $\gamma(i,k)$ от длины участка при заданном $C=1.5$

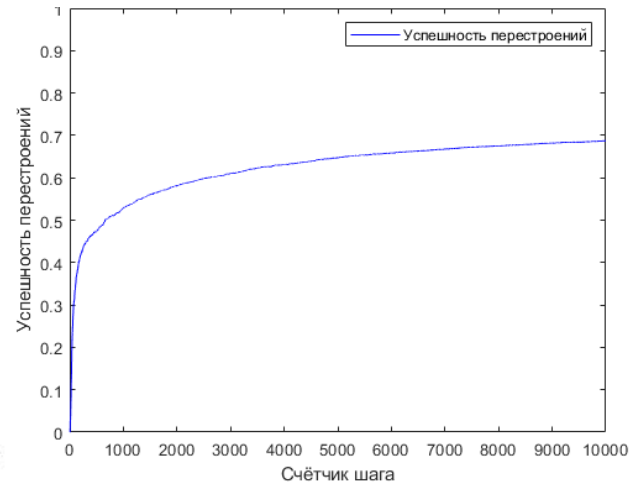


Рисунок 3 – Графики успешного перестроения транспортных средств в зависимости от типа поведения водителя

Таким образом, для прогноза, наблюдения и оценки за поведением водителя на дороге была разработана имитационная модель.

В модели различные виды транспортных средств соответствуют различным типам водителей, отличающихся поведенческими характеристиками. В зависимости от времени реакции, желания осуществить маневр перестроения и расстояния дистанции для его осуществления получаются различные графики перестроений (рис. 3).

Для каждого транспортного средства записан его уникальный номер, тип ТС и время до попытки перестроения, определяемое по формуле (5):

$$\tau_z = -\frac{1}{\mu} \ln r_i, i = 1, 2, \dots, z, \quad (5)$$

где z – номер автомобиля, параметр μ – средняя длительность интервала времени между двумя последовательными попытками переместиться (вводится пользователем), τ_z – независимая случайная величина, принадлежащая отрезку $[0,1]$.

Третья глава посвящена выявлению характеристик человека, отвечающих за надежность водителя (рис. 4) и отражающих психофизическое состояние, которое отражает реакцию водителя как на внешние факторы, так и на внутренние личное состояния.

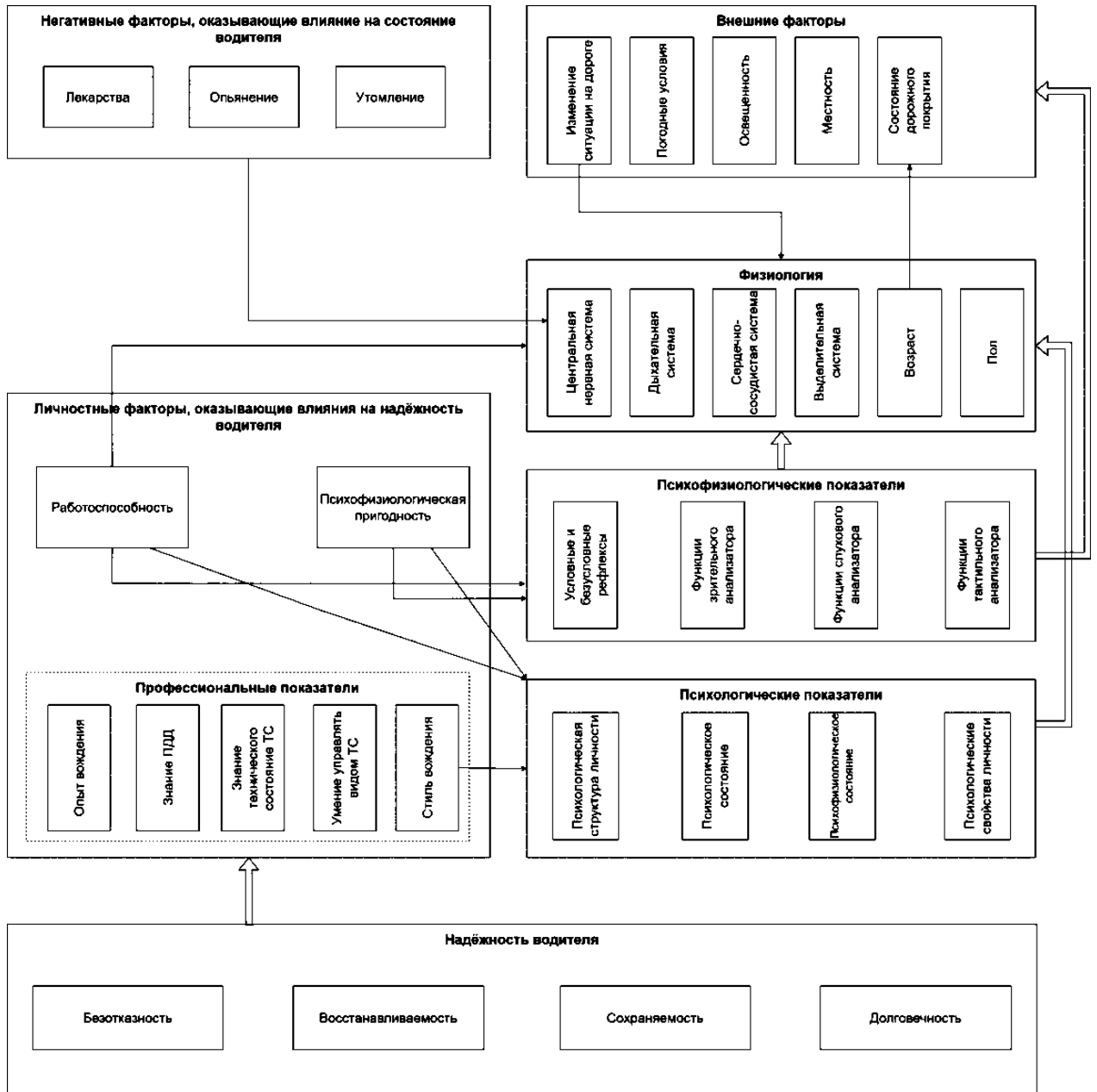


Рисунок 4 – Факторы, определяющие надежность водителя

Разработана и спроектирована собственная информационная система Analyzer of Driver Emotional State (ADES) (рис. 5), на которую получено 3 свидетельства о регистрации программы ЭВМ.

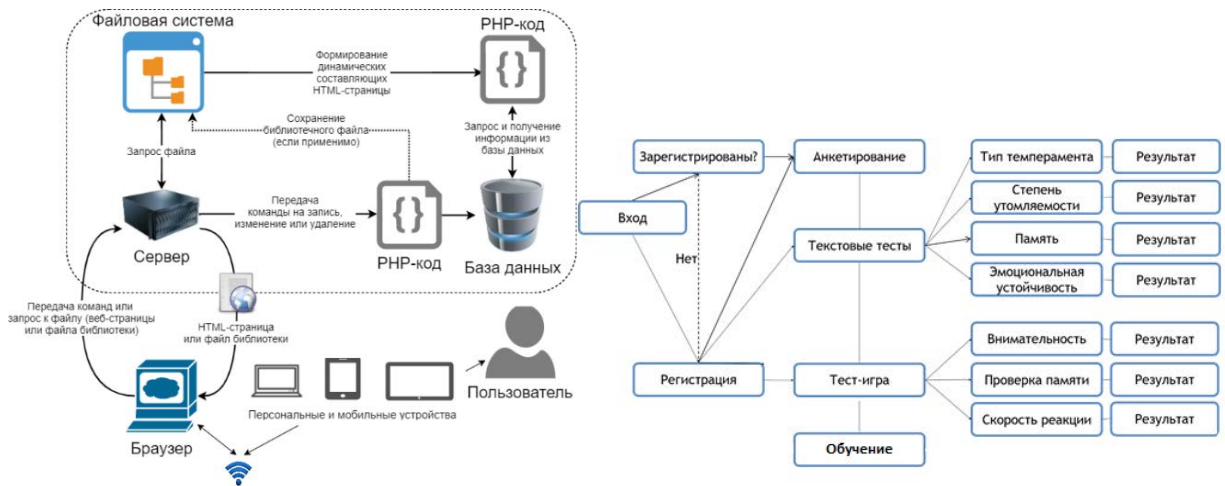


Рисунок 5 – Архитектура информационной системы ADES и схема взаимодействия с ней

Цель разработки системы ADES заключалась в предоставлении помощи отдельному владельцу автотранспортного средства информационного ресурса для личностной диагностики и оценки своего влияния на безопасность в транспортном потоке. Главной задачей системы является предоставление возможности водителю провести самотестирование современными методами без использования дополнительного программного обеспечения.

Информационная система ADES состоит из нескольких блоков: обучающего блока Study-Lib и блока тестирования Test. Блок Study-Lib включает в себя библиотечные модуль Lib и модуль для самостоятельного обучения Study. Блок Test разделен на два подблока: AutoTest и GameTest. Подблок AutoTest включает в себя систему тестирования, определяющую состояние водителя по ответам на вопросы. Подблок GameTest состоит из набора мини-игр, помогающих определить характеристики водителя. В системе предусмотрен анализ результатов испытаний, на основе которого можно выдавать рекомендации по текущему состоянию водителя.

Результаты экспериментов обрабатываются на основе методов статистического анализа для установления зависимости результатов теста от состояния и настроения участника экспериментов. В исследовании использован критерий Вилкоксона.

Алгоритм обработки результатов с помощью критерия Вилкоксона.

Рассматриваются два состояния A и B . Для каждого состояния выписываются множество $x_1 \dots x_n$ - значения доли правильных ответов состояния A и множество $y_1 \dots y_n$ - значение доли правильных ответов состояния B . Из них составляется вариационный ряд W по возрастанию, причем смешиваются x и y . Для подтверждения гипотезы, нужно выполнение неравенства $W_{\text{нижняя крит.}} < W_{\text{набл.}} < W_{\text{верхняя крит.}}$

Методика 1. Оценка влияния физического состояния на правильность ответов. Рассмотрим число экспериментов, в которых участник экспериментов охарактеризовал свое состояние как «уставшее» (состояние А), равно $n_1=12$. В $n_2=24$ экспериментах состояние было охарактеризовано как «расслабленное» (состояние В).

Результаты $n_1+n_2=36$ экспериментов представляются в виде вариационного ряда (дроби, где числитель - число правильных ответов, знаменатель - количество всех ответов). В составленном вариационном ряду подчеркиваются результаты, относящиеся к состоянию А: $\frac{0}{99}, \frac{0}{95}, \frac{1}{103}, \frac{1}{102}, \frac{1}{102}, \dots, \frac{6}{85}$. Наблюдаемое значение

критерия равно $W=256$. При уровне значимости 0.1 нижняя критическая точка равна 172, а верхняя критическая точка равна 272. Таким образом, при уровне значимости 0.1 нет оснований отвергнуть нулевую гипотезу, состоящую в том, что доля ошибочных ответов не зависит от того, находится ли участник экспериментов в состоянии А («уставшее») или в состоянии В («расслабленное»).

Методика 2. Оценки времени реакции водителя от физического состояния. Составляется по этим же экспериментам вариационный ряд для времени реакции водителя эксперимента (в секундах). Снова подчеркиваются значения, соответствующие состоянию А: 0.077; 0.506; 0.540; 0.552 ... 0.851.

Наблюдаемое значение критерия равно $W=256$. При уровне значимости 0.1 это значение превышает верхнюю критическую точку, равную 272. Таким образом, при уровне значимости 0.1 статистически установлено, что если участник экспериментов находится в состоянии А («уставшем» состоянии), то время реакции в вероятностном смысле больше, чем при нахождении участника в состоянии В («расслабленном» состоянии).

Данные исследования могут быть использованы при подготовке водителей перед выпуском автомобиля на маршрут, а также в исследованиях влияния дорожных ситуаций на состояние и характеристики водителя. Разработанная система ADES может быть внедрена в эко-систему транспортной отрасли (рис. 6).

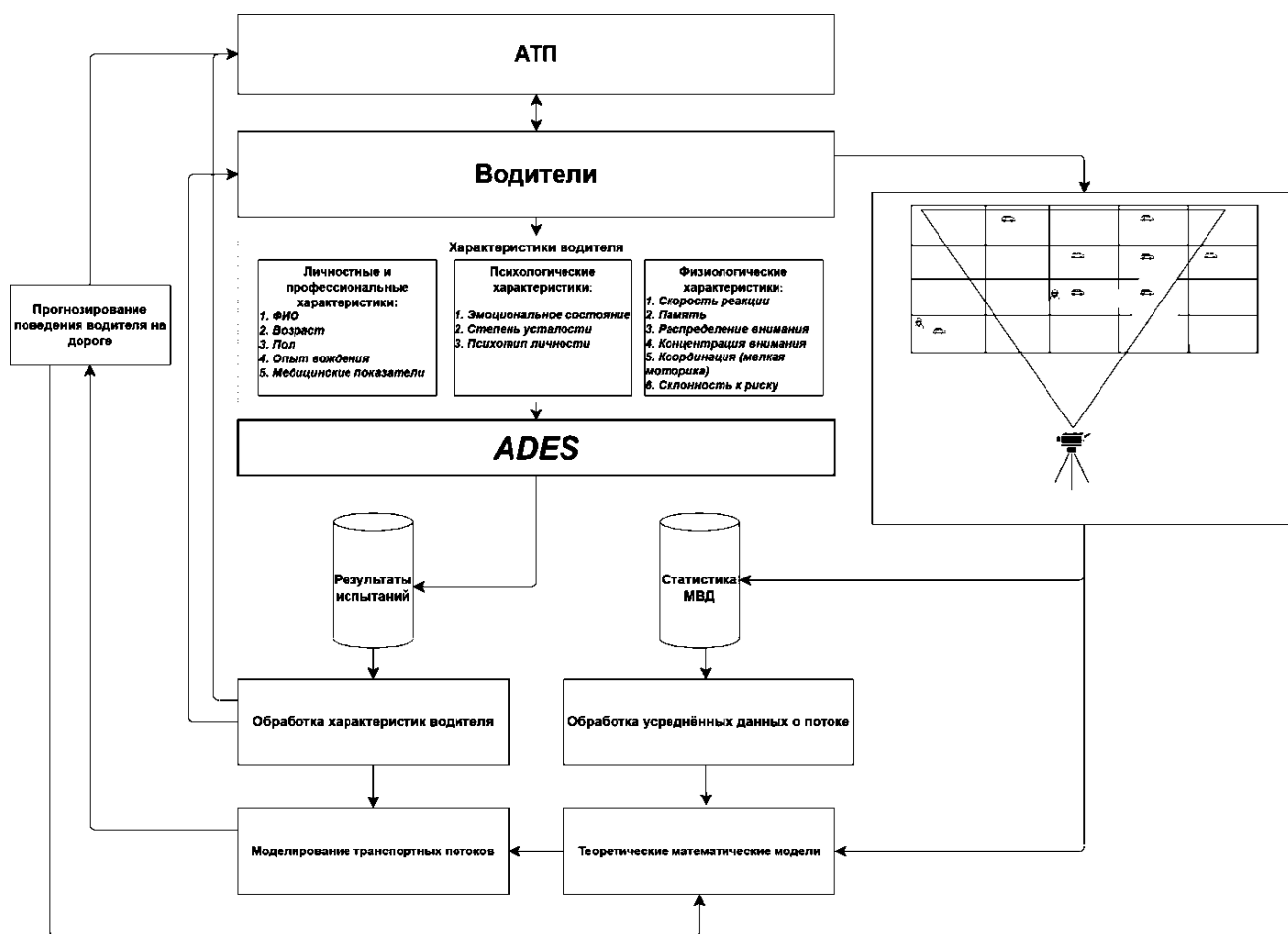
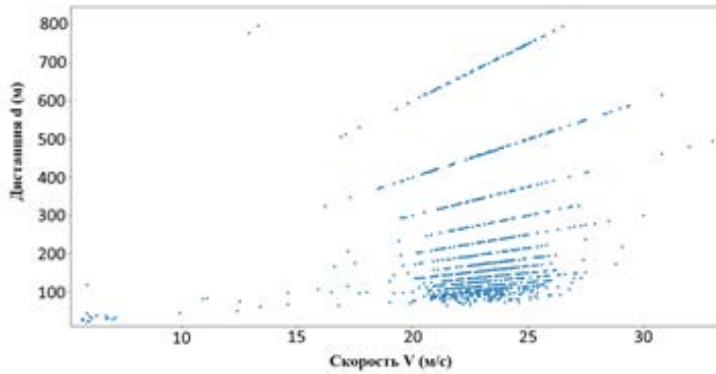


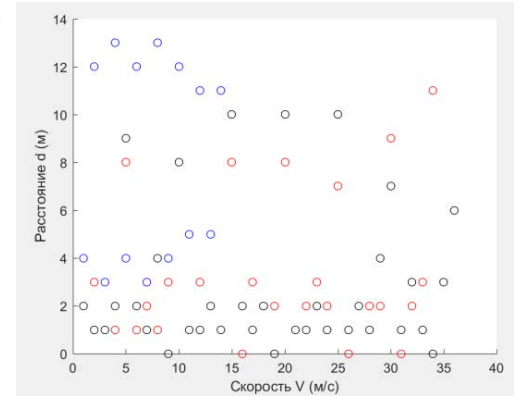
Рисунок 6 – Схема внедрения ИС АДЕС в транспортную отрасль

В четвертой главе создана валидация оценки экспериментальных исследований поведенческих характеристик водителя и предложена методика повышения безопасности дорожного движения на основе оценки характеристик водителя.

Методы наблюдения за состоянием транспортных потоков можно разделить на активные и пассивные. Оценка характеристик транспортного потока пассивным методом проводилась с помощью микроволнового радара SmartSensor HD (SSHD) (производитель Wavetronix, USA). Радар фиксировал транспортные средства в детектируемой области определенного размера на каждой из 10 наблюдаемых полос. Радар SSHD позволяет определять скорости движения транспортных средств, расстояние между автомобилями, направление движения, класс автомобиля, загруженность по полосам. В результате эксперимента были собраны и обработаны данные. После обработки было замечено, что это получившиеся поле значений не хаотично, а имеет ярко выраженную структуру. В результате исследования получились прямые статистически устойчивые линии. Одна линия соответствует одной психологической группе водителей, а не полосе движения (рис. 7 а)).



а) Дневной транспортный поток транспортных средств по одной полосе движения



б) Поле d-v по данным детерминированно-стохастической модели с перестроениями

Рисунок 7 – Обработка данных с SSHD

Таким образом, на разных полосах наблюдается схожее поведение водителей, но при этом на одной и той же полосе наблюдается присутствие различных психотипов водителей. В результате эксперимента наблюдается возникновение закономерностей скорости и расстояния между парами автомобилей с течением времени (рис. 7 б)).

На основе приведенных исследований разработана методика повышения безопасности дорожного движения на основе оценки характеристик водителя. С помощью имитационного моделирования сделано предположение об изменении предполагаемой метрики в зависимости от психологических портретов водителей, участвующих в потоке.

Описание методики. Пусть n – количество совершенных маневров (перемещений или перестроений) всеми участниками движения за выбранное время, S_a – сумма произошедших аварийных ситуаций за выбранное время, S_{pa} – сумма произошедших предаварийной ситуации за выбранное время, тогда вероятность опасной ситуации θ_1 будет вычисляться по формуле $\theta_1 = \frac{S_a + S_{pa}}{n}$.

Аналогично находится скорректированная вероятность опасной ситуации θ_2 , полученная после исключения из имитационной модели водителей с рискованной моделью поведения. Рискованной моделью поведения считается такая, при которой риск возникновения опасных ситуаций более 50%. Находится разница между полученными вероятностями: $\Delta = \theta_1 - \theta_2$. Суммы произошедших аварийных ситуаций S_a и S_{pa} складывается из количества небезопасных ситуаций

для каждого типа водителей и определяться формулами: $S_a = \sum_{i=1}^l S_{ai}$ и $S_{pa} = \sum_{i=1}^l S_{pai}$.

Вводим нулевую гипотезу H_0 и альтернативную гипотезу H_1 .

Нулевая гипотеза состоит в том, что вероятности при разных параметрах психологического портрета водителя согласованы. Альтернативная гипотеза – отклонения в частотах выходят за рамки случайных колебаний, расхождения статистически значимы. Подтверждение альтернативной гипотезы будет означать, что характеристики психологического портрета водителя, оцененные с помощью разработанной системы ADES, оказывают влияние на безопасность дорожного движения.

Гипотеза $H_0: \theta_1 = \theta_2$. Гипотеза $H_1: \theta_1 > \theta_2$. Проверяем гипотезы по критерию

$$\text{Пирсона: } \chi_n^2 = \sum_{j=1}^n \frac{(\theta_1 - \theta_2)^2}{\theta_2}$$

Типы водителей характеризуются физиологическими, психологическими и психофизическими показателями.

Оптимальный объём выборки водителей M , для которого наша оценка повышения безопасности может считаться верной, определяется по формуле:

$$M = \log \frac{(1-\alpha)}{(1-\rho)}, \text{ где } \alpha - \text{ величина ошибки, равная квадратному корню из } \chi, \rho -$$

доверительная вероятность.

Эксперимент проверки методики. Было выбрано 4 типа водителя с разными типами темперамента. Из водителей, проходивших тестирование в системе, случайным образом было отобрано M водителей, равномерно распределенных по каждому из типов. Для каждого водителя был собран с помощью системы ADES и построен его психологический портрет (рис. 8).

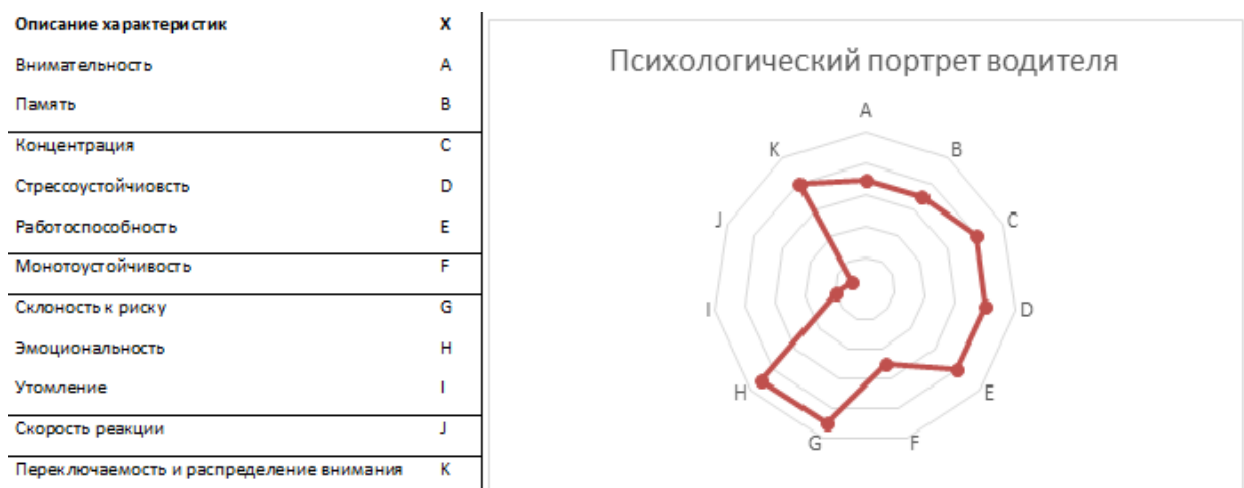
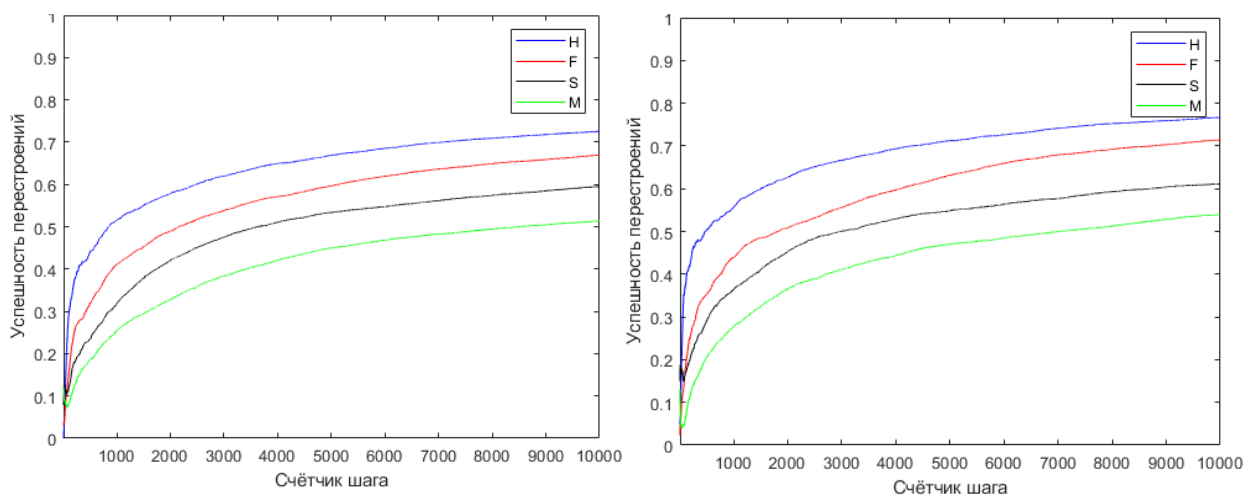


Рисунок 8 – Пример психологического портрета водителей

Геометрическая форма изображения портрета дает возможность для принятия решений о психологическом портрете водителя, для анализа которого в дальнейшем можно разработать нейронную сеть.

Ввод параметров эксперимента. Пусть $M = 40$ – количество выбранных водителей, тогда $M_H = 10$ – количество водителей типа H, $M_S = 10$ – количество водителей типа S, $M_M = 10$ – количество водителей типа M, $M_F = 10$ – количество водителей типа F. Количество полос = 5. Длина дороги = 100 клеток. Общая плотность потока = 0,4. Количество шагов симуляции = 10000. После проведения эксперимента построены графики вероятности успешных перестроений для каждого типа водителей до исключения водителей с рискованной моделью поведения и после исключения (рис. 9).



а) до исключения водителей

б) после исключения водителей

Рисунок 9– Вероятность перестроений водителей разного типа

После исключения из имитационной модели водителей с рискованной моделью поведения (тех, кто чаще всего попадают в опасные ситуации), вероятность перемещений для каждого типа водителей повысилась.

Вероятность уменьшения риска возникновения ДТП получилась равная $\Delta = \theta_1 - \theta_2 = 0,027$, проверяя гипотезу, получаем $\chi_n^2 = 19,44$, что больше, чем отклонение от доверительного интервала по правилу трёх сигм, а значит подтверждает гипотезу H_1 .

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Основные выводы и результаты заключаются в следующем:

1. В результате выполнения диссертационного исследования был проведен анализ классических моделей транспортных потоков. Большинство рассмотренных макроскопических, микроскопических и вероятностных моделей не рассматривают человеческий фактор, а поведение человека оказывает большое влияние на основные характеристики автотранспортных потоков. Среди всех рассмотренных моделей была выделена детерминированно-стохастическая модель, как наиболее гибкая, позволяющая учитывать поведенческие

характеристики водителя, с помощью которых можно спрогнозировать поведение водителя на дороге.

2. Разработаны математические модели дифференцирования транспортного потока на базе детерминированно-стохастической модели, позволяющие предсказать поведение водителя на дороге в зависимости от его психофизиологических качеств. В основе исследования лежит детерминированно-стохастический подход, который позволяет настраивать математическую модель более гибко, учитывая необходимые характеристики. В ДТС введены дополнительные параметры: вероятность передвижения на дороге в зависимости от стиля вождения, физиологических характеристик и дорожной ситуации вокруг.

3. Разработана информационная система ADES для сбора и анализа поведенческих характеристик водителей. Система ADES помогает быстро и без дополнительного ПО и приборов с помощью тестирования и мини-игр определить физиологические характеристики водителя: простую скорость реакции (как можно более быстро нажать на кнопку), сложную скорость реакции (продержаться как можно дольше в игре, уворачиваясь или ловя предметы, меняющие направление движения), координацию и отсутствие тремора в руках (пройти лабиринт без отрыва руки), переключаемость и распределение внимание (как можно более быстро и безошибочно реагировать на появляющиеся предметы, нажимая нужные кнопки), внимательность и память (открыть все элементы матрицы, найдя одинаковые), концентрацию внимания (посчитать количество машин определенного цвета, проезжающих по магистрали, за ограниченное время), склонность к риску (перестроиться за минимальное время на другую полосу, не создав ДТП); и психофизиологические характеристики водителя по результатам прохождения тестирования: психотип личности, степень утомляемости, эмоциональная устойчивость и уровень памяти.

4. Разработанная система ADES состоит из двух модулей. Первый модуль заключается в прохождении тестирования. Тестирование может заключаться как в личностном самоанализе при управлении личным автомобилем, а также при аренде транспортного средства или перевозке пассажиров и грузов. Вторым модулем – обучающий. Помогает при обучении водителя, проверке знаний ПДД или умения реагировать в той или иной дорожной ситуации. Накопление результатов взаимодействия с системой хранится в базе данных. На основе этих данных можно составить психологический портрет водителя и посмотреть как он изменяется со временем.

5. Рассмотрены два метода наблюдения за состоянием автотранспортного потока: активный и пассивный. Установлено, что при активном методе наблюдения хорошо анализировать отдельные транспортные средства и при возможности корректировать их поведение в потоке при наличии единой

информационной системы “коллективного разума”, а при пассивном методе происходит оценка транспортного потока и его основных характеристик. С помощью обработки данных, полученных при пассивном мониторинге, была составлена зависимость между скоростью и дистанцией между автомобилями, зависящая от типа водителя.

6. Произведен сравнительный анализ влияния человеческого фактора на безопасность дорожного движения. Установлено, что время реакции водителя – это комплексный параметр, складывающийся из физиологических, психофизиологических и психологических характеристик, а также эмоционального состояния водителя. Детерминированно-стохастическая модель, которая гибко настраивается и корректируется как в зависимости от многофакторной оценки времени реакции водителя, так и типа транспортного средства, а также экспериментальных данных, отражающих основные характеристики транспортного потока, описывает транспортные потоки в современном мире. До настоящего времени технологии геймификации в автотранспортной отрасли не применялись.

7. Разработана методика повышения безопасности дорожного движения на основе оценки поведенческих характеристик водителя с помощью разработанной системы ADES. Внедрение методики позволяет оценить влияние поведенческого портрета водителя на его поведение на дороге. С помощью имитационного моделирования получилось проследить не только возникновение ДТП, но и возникновение предаварийных ситуаций. Проведя цикл испытаний имитационной модели с рискованной моделью поведения водителей и с менее рискованной моделью поведения и сравнив результаты, была получена оценка степени влияния человеческого фактора на вероятность возникновения ДТП с их участием. Если экстраполировать полученные результаты, система ADES может быть использована для повышения точности оценки рисков.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

Публикации в рецензируемых научных изданиях:

1. Доткулова, А. С. Программная реализация мониторинга психофизических свойств водителя с использованием гейминг–технологий / А. С. Доткулова // ТРУДЫ МФТИ. Труды Московского физико–технического института (национального исследовательского университета), 2021. – 13 т. – № 1. – 5–15 с.
2. Доткулова, А.С. Детерминировано–стохастическая модель трафика с вариацией психофизиологических свойств водителей / М.В. Яшина, А.Г. Таташев, А.С. Доткулова, Н.П. Сусоев // СИНХРОИНФО, 2019. – №6 – 74–79 с.

3. Доткулова, А.С. Функция состояния транспортного потока с учетом влияния человеческого фактора / М.В. Яшина, А.Г. Таташев, А.С. Доткулова // Информационные технологии и инновации на транспорте. Материалы 5-ой Межд. научно-практ. конф, 2020. – 52–57 с.

4. Dotkulova, A. S. A method for estimating the potential of the physiological and emotional characteristics of a driver in a changing traffic situation using the ADES information system / A.S. Dotkulova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021. – №. 1.

Публикации в журналах, индексируемых в базе данных Web of Science и Scopus:

5. Dotkulova, A.S. Analysis of the influence of the driver's reaction on the properties of the transport flow status functions. / A.S. Dotkulova – T-Comm Telecommunications and Transport, 2019. – vol. 3. – № 7. –65–70 p.

6. Dotkulova, A.S. Attention driver evaluation in collective traffic behavior via gaming technology / A.S. Dotkulova, M.V. Yashina, Y.V. Trofimenko, A.G. Tatashev //2020 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology (EMCTECH). – IEEE, 2020. – 1–6 p.

7. Dotkulova, A.S.. Infocommunication measurements for model validation of the follow the leader model / M.V. Yashina, A.S. Dotkulova, N.P. Susoev, M.Ju. Fomina // Int. conf. Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, 2019. – 1–7 p.

8. Dotkulova, A.S. Accounting Psycho-Physiological Types of Drivers in the Deterministic-Stochastic Traffic Model / M.M. Yashina, A.G. Tatashev, A.S. Dotkulova, N.P. Susoev // SYNCHROINFO, 2019. – 1–4 p.

9. Dotkulova, A.S. The Study of the Applicability of Clustering Methods to Identify Patterns in Traffic Flows / M.G. Gorodnichev, A.S. Dotkulova, Kh.A. Dhabrailov, A.A. Izotova, R.A. Gematudinov // conf. WECNF, 2020. – 1–5 p.

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ:

10. Доткулова, А.С. Поисковый модуль в интерактивной системе обучения и контроля сотрудников транспортного предприятия / А.С. Доткулова, М.В. Яшина, И.А. Кутейников, 04.12.2020. – №202066676.

11. Доткулова, А.С. Модуль к ИС ADES для определения степени концентрации внимания водителя с помощью игровых технологий в области автомобильного транспорта / А.С. Доткулова, М.В. Яшина, Д.В. Дубенская, 30.11.2020. – № 2020665718.

12. Доткулова, А.С. Программа-анализатор эмоционального состояния водителя – Analyzer of Driver Emotional State / А.С. Доткулова, М.В. Яшина, 09.01.2020. – №2020610102.

13. Доткулова, А.С. Программа для хранения конфиденциальной информации на основе технологии Blockchain / М.Г. Городничев, А.С. Доткулова, А.Д. Липатова, М.С. Мосева, А.М. Кухаренко, 13.12.2019. – №2019666807.
14. Доткулова, А.С. Программа синхронизации данных распределенной вычислительной системы с клиент–серверной архитектурой – серверная часть /, М.Г. Городничев, А.С. Доткулова, А.Е. Кочупалов, М.С. Мосева, 24.06.2019. – №2019617870.
15. Доткулова, А.С. Программа синхронизации данных распределенной вычислительной системы с клиент–серверной архитектурой – клиентская часть / А.С. Доткулова, М.Г. Городничев, А.Е. Кочупалов, М.С. Мосева, 17.06.2019. – №2019617535.

Подписано в печать 08.07.2022 г. Формат 60x84/16
Печать офсетная. Усл. печ. 1,4. Тираж 100 экз.
Заказ № 105 МАДИ, 125319, Москва, Ленинградский
проспект, 64