

**Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

Донской государственный технический университет

На правах рукописи

金子明

ЦЗИНЬ ЦЗЫМИН

**МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ДОРОЖНОГО
ДВИЖЕНИЯ В КИТАЙСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКЕ**

Специальность 2.9.5. – Эксплуатация автомобильного транспорта

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
Доктор технических наук, профессор
Зырянов Владимир Васильевич

Ростов-на-Дону-2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Анализ современных тенденций обеспечения безопасности дорожного движения	9
1.1 Анализ изменения дорожно-транспортных происшествий	9
1.2 Современные стратегии управления безопасностью дорожного движения	17
1.3 Анализ тенденций изменения дорожной аварийности в Китае	30
1.4 Система управления безопасностью дорожного движения	38
Глава 2. Оценка факторов, влияющих на безопасность дорожного движения	47
2.1 Общие проблемы аварийности в Китае и провинции Шаньдун	47
2.2 Сбор данных о ДТП	52
2.3 Факторы, связанные с поведением человека	56
2.4 Факторы, связанные с состоянием транспортных средств	67
2.5 Факторы, связанные с состоянием дороги	71
2.6 Факторы, связанные с состоянием окружающей среды	80
Глава 3. Математические методы реализаций системного подхода при анализе дорожной аварийности	85
3.1 Основные методологии анализа и характерные проблемы данных	85
3.2 Анализ математических методов при исследованиях безопасности дорожного движения	105
3.3 Интерпретация результатов факторного анализа для фактических данных	111
Глава 4. Методы исследования и применение управленческих решений в области безопасности дорожного движения на основе анализа дорожно-транспортных происшествий	121
4.1 Система поддержки принятия решений в управлении безопасностью дорожного движения	121
4.2 Принцип работы и основные функции подсистемы	127
Заключение	151
Список литературы	153
Приложение	163

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования.

В Китайской Народной Республике достигнуты существенные успехи в управлении безопасностью дорожного движения (БДД), включая применение интеллектуальных систем управления дорожным движением. Такие экономически развитые города, как Шанхай, Шэньчжэнь и Чунцин, внедрив технологии больших данных, искусственного интеллекта и другие решения, повысили эффективность управления дорожным движением. Однако по сравнению со странами, поставившими целью достижение показателей «Vision Zero», меры Китая в сфере БДД всё ещё имеют существенный разрыв. Программа «Vision Zero» подчёркивает важность комплексных мер, включающих технологии, законодательство, проектирование дорог и просветительскую работу с населением, с целью вовлечения всего общества для достижения задачи «Zero Deaths, Zero Injuries». Практика показывает, что полагаться исключительно на технологии недостаточно для полного решения проблем в сфере БДД. В то же время управление БДД в Китае по-прежнему в большей степени основывается на локальной оптимизации технических средств.

В связи с этим, в рамках «Национального плана по обеспечению безопасности дорожного движения на 2020–2025 годы», включённого в положения «14-й пятилетки», Китай поставил перед собой задачу модернизации механизма управления БДД. Среди приоритетных направлений обозначены: активизация участия общественных и частных структур, углубление межведомственного взаимодействия, организация эффективного обмена данными между участниками транспортной системы, расширение спектра превентивных и оперативных мероприятий, а также повышение уровня правового регулирования.

Современные вызовы требуют разработки системы поддержки принятия решений в области БДД, способной обеспечить участие различных социальных групп и ориентированной на долгосрочную комплексную

безопасность. Это, в свою очередь, предполагает необходимость глубокого анализа многофакторных взаимосвязей, определяющих уровень БДД в городах КНР. Кроме того, необходимо формирование единой информационной платформы, интегрирующей разнородные потоки больших данных, поддерживающей их обработку в реальном времени, прогнозирование и адаптивное реагирование на потенциальные угрозы. При этом важно, чтобы система обеспечивала эффективную обратную связь с подразделениями дорожной полиции и способствовала оперативному принятию корректирующих решений.

Степень разработанности проблемы.

Проблема обеспечения БДД и оптимизации транспортных потоков является объектом активных научных исследований на международном уровне. Российские ученые, такие как Бабков В.Ф., Блинкин М.Я., Горев А.Э., Власов В.М., Донченко В.В., Дорохин С.В., Евтюков С.А., Жанказиев С.В., Зырянов В.В., Клиновштейн Г.И., Клявин В.Э., Кравченко П.А., Новиков А.Н., Новиков И.А., Пугачев И.Н., Рассоха В.И., Сильянов В.В., Трофименко Ю.В. внесли значительный вклад в развитие данной научной области. Китайские специалисты, включая профессора Цзяна Мина, докторов Хэ Жана и Хэ Чуана, а также профессора Лю Бина также имеют существенные достижения в исследовании безопасности дорожного движения.

Результаты данных исследований формируют теоретическую основу для разработки новых методологических подходов к обеспечению БДД и оптимизации управления транспортными потоками. Современные научные исследования не только углубляют понимание принципов организации БДД, но и создают доказательную базу для разработки эффективных транспортных стратегий. Внедрение инновационных решений и стратегических разработок способствует существенному снижению аварийности, оптимизации условий дорожного движения и устойчивому развитию урбанизированных территорий.

Целью исследования является повышение уровня управления

безопасностью дорожного движения в городах Китайской Народной Республики

Задачи исследования.

- выполнить сравнительный анализ систем управления дорожным движением в различных странах, установить различия в подходах КНР с другими странами, обосновать основные направления совершенствования методов управления безопасностью дорожного движения;
- провести сбор и первичную обработку статистических данных о дорожно-транспортных происшествиях в г. Цзинань (КНР), обосновать применение математических методов для конкретных задач анализа и прогнозирования показателей безопасности дорожного движения;
- на основе экспериментальных данных создать многофакторную модель, описывающую взаимосвязи между факторами, характеризующими дорожно-транспортные происшествия;
- разработать структуру и формализовать содержание деятельности системы поддержки принятия решений по управлению безопасностью дорожного движения.

Объект исследования: дорожно-транспортные происшествия.

Предмет исследования: факторы, оказывающие влияние на дорожно-транспортные происшествия.

Гипотеза исследования: применение разработанных теоретических и методических положений позволит обеспечить принятие решений по обеспечению безопасности дорожного движения соответствующих реальной ситуации.

Научная новизна работы.

- усовершенствованы методы управления безопасностью дорожного движения, основанные на комплексном многомерном анализе данных, преодолевающие ограничения практики КНР, ориентированной преимущественно на технические средства контроля;
- систематизированы и классифицированы недостатки исходных

данных о ДТП, а также научно обосновано применение интеллектуальных методов анализа данных, что создает методическую базу для повышения достоверности анализа дорожно-транспортных происшествий;

- на основании факторного анализа доказано существование интегрированных факторов, включающих совокупность показателей безопасности движения, характеризующих дорожные условия, поведение водителя, транспортную нагрузку, получены статистически достоверные факторные модели системного анализа показателей аварийности;

- разработаны структура и функционал системы поддержки принятия решений по управлению безопасностью дорожного движения как комбинированной системы, управляемой знаниями и моделями обеспечивающая постоянную адаптацию к изменяющимся условиям и новым ситуациям.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке научных положений совершенствования управления безопасностью дорожного движения на основе методов взвешенного интегрирования признаков при анализе показателей ДТП, рекомендаций по применению математических методов оценки уровня аварийности, факторного анализа показателей безопасности дорожного движения и методики создания системы поддержки принятия решений.

Практическая значимость работы заключается в разработке методики создания системы поддержки принятия решений в сфере обеспечения БДД. Полученные результаты нашли применение при решении актуальных задач организации и безопасности дорожного движения в городском округе Цзинань (КНР), что подтверждает их практическую ценность и эффективность предложенных решений.

Методы исследования: методы исследования включают в себя сбор экспериментальных данных, комплексные теоретические и эмпирические методы анализа, обработку статистических данных о ДТП, применение методов многомерного анализа.

Положения, выносимые на защиту:

- метод управления БДД, направленный на устранение фрагментации экспериментальных проектов в данной области на территории КНР. Метод решает проблему изолированности данных и преодолевает чрезмерную зависимость малых и средних городов от традиционных систем мониторинга, которые не учитывают антропогенные факторы дорожной безопасности.

- корреляционные зависимости между параметрами, характеризующими ДТП, а также доказана эффективность использования факторного анализа для выявления скрытых закономерностей, объясняющих вариативность изучаемых показателей.

- результаты факторного анализа совокупности показателей, влияющих на ДТП, и факторная модель с выделением двух интегрированных факторов, характеризующих уровень водительской квалификации, поведение участников движения, дорожные условия и транспортную нагрузку;

- система поддержки принятия решений по управлению безопасностью дорожного движения как комбинированная система, основанная на знаниях и моделях с описанием ее структуры и функционала.

Степень достоверности и апробация результатов: Основные научные положения и результаты диссертационного исследования прошли апробацию на ряде международных научных мероприятий: IX Международной научно-практической конференции "Информационные технологии и инновации на транспорте" (Орёл, 2023), Международном научном форуме "Наука и инновации - современные концепции" (Москва, 2023), IV Международной конференции "Устойчивое и инновационное развитие в цифровом глобальном пространстве" (Ростов-на-Дону, 2024), Международной конференции по интеллектуальному транспорту и умным городам "ICITSC 2024" (Ухань, Китай, 2024), X Международной научно-практической конференции "Информационные технологии и инновации на транспорте" (Орёл, 2024), Международной

научно-практической конференции "Интеллектуальные транспортные системы в дорожном комплексе" (Ростов-на-Дону, 2024).

Личный вклад автора. Все научные результаты, представленные в данной работе, были получены автором самостоятельно в рамках проведенного исследования.

Соответствие диссертационной работы паспорту специальности.

Выполненные исследования соответствуют формуле паспорта научной специальности 2.9.5 – Эксплуатация автомобильного транспорта по пунктам: 6. Обеспечение экологической и дорожной безопасности автотранспортного комплекса; совершенствование методов автодорожной и экологической экспертизы, методов экологического мониторинга автотранспортных потоков; 9. Исследования в области безопасности движения с учетом технического состояния автомобиля, дорожной сети, организации движения автомобилей, качеств водителей; проведение дорожно-транспортной экспертизы, разработка мероприятий по снижению аварийности.

Публикации. Результаты диссертационного исследования были опубликованы в 10 научных статьях, общий объем которых составляет 4,9 печатных листа. Среди них 3 статьи были размещены в ведущих рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, а также 4 работы проиндексированы в международной базе данных Scopus.

Структура и объем диссертации. Диссертационное исследование структурно включает введение, четыре содержательные главы, заключение с обобщением основных результатов и выводов. Общий объем работы составляет 155 страниц, включая 22 таблицы, 30 рисунков. Библиографический раздел содержит 103 источника научной литературы.

Глава 1. Анализ современных тенденций обеспечения безопасности дорожного движения

1.1 Анализ изменения дорожно-транспортных происшествий

Глобальные тенденции в области дорожно-транспортных происшествий (ДТП) и автомобильного парка за последнее десятилетие

Безопасность дорожного движения (БДД) традиционно занимает центральное место в транспортных исследованиях с момента формирования системы дорожного движения. С ускорением процессов урбанизации и моторизации ДТП стали острой социальной проблемой, нуждающейся в комплексном подходе к решению.

По данным Организации Объединённых Наций (ООН), ежегодно около 1,19 миллиона человек погибают в результате ДТП, что соответствует показателю 15 летальных исходов на 100 тысяч жителей; кроме того, 50 миллионов человек получают травмы [84]. Оценки свидетельствуют, что каждые 24 секунды в результате ДТП гибнет один человек, что существенно превосходит показатели смертности от пожаров, наводнений, взрывов и прочих несчастных случаев.

Последствия ДТП проявляются не только в человеческих потерях, но и в существенном материально-экономическом ущербе. Согласно статистике ООН за 2022 год, экономические потери, связанные с ДТП, оцениваются в порядка 3% мирового валового внутреннего продукта большинства стран.

ДТП представляют собой основной источник человеческих потерь и экономического ущерба среди всех видов транспортных инцидентов, составляя более 80% от общего. Данные показатели значительно превосходят аналогичные параметры по другим видам транспорта. Существенные потери для отдельных лиц, семей и государств, обусловленные ДТП, актуализируют необходимость их

предотвращения и требуют разработки комплексного подхода к решению проблемы на международной арене.

На рисунке 1.1 представлена тенденция к сокращению общего числа ДТП со смертельным исходом в мировом масштабе за период 2011–2021 гг. за данный период число людских потерь от ДТП сократилось с 1,25 до 1,19 млн человек. несмотря на отдельные колебания, фиксируется устойчивая положительная динамика, наиболее выраженная в 2020 году — тогда количество жертв снизилось до минимума (1,15 млн человек).

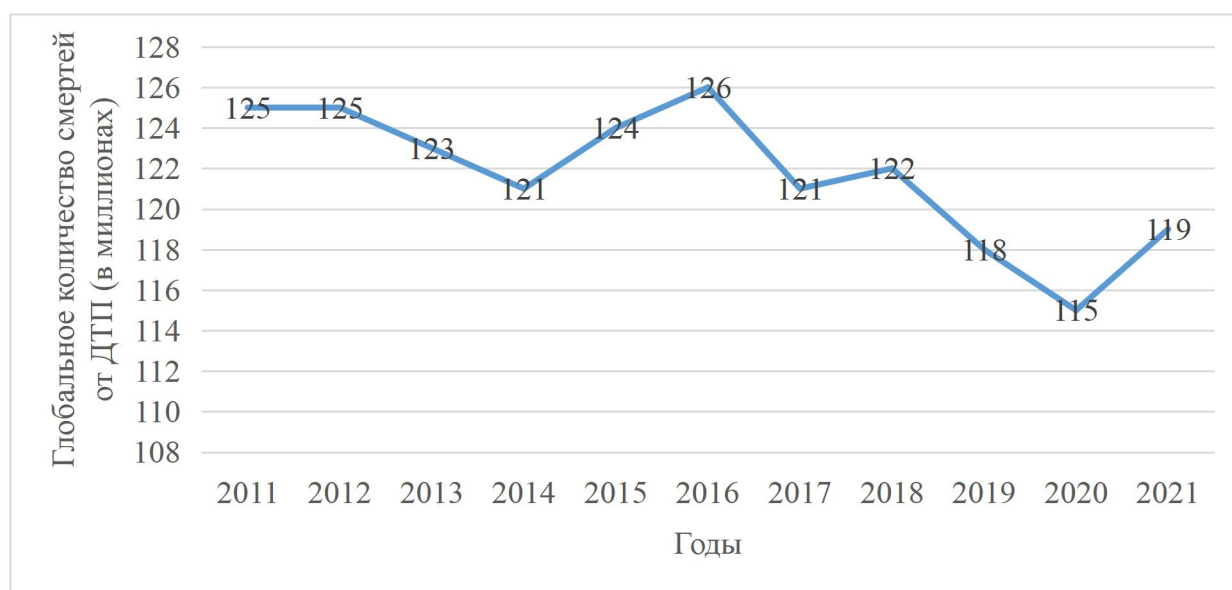


Рис. 1.1 - Оценки числа смертей от ДТП в мире с 2011 по 2021 год

Данный положительный эффект стал возможен благодаря реализации комплекса мер, включенных в программу Десятилетия действий по обеспечению БДД (2011–2020 гг.). меры охватывали ужесточение законодательства и усиление правоприменительных мер в отношении правонарушений, включая управление ТС в состоянии опьянения, превышение скоростного режима и не применение ремней безопасности. помимо этого, были реализованы масштабные информационно-просветительские кампании, направленные на повышение осведомленности населения о правилах дорожного движения (ПДД) [82].

Этого удастся достичь за счет внедрения пассивных систем безопасности, таких как усиление конструкции кузова и расширение применения подушек безопасности, а также активных систем

безопасности — антиблокировочной системы тормозов и электронной системы стабилизации.

Комплексное улучшение дорожной инфраструктуры, охватывающее оптимизацию планировки и проектирования дорог, а также модернизацию систем знаков и сигналов дорожного движения, способствует повышению уровня общей БДД и оптимизации транспортных потоков.

Развитие системы экстренной медицинской помощи и совершенствование медицинской помощи пострадавшим в ДТП обеспечивают оперативное оказание неотложной медицинской помощи, что увеличивает вероятность их выживаемости.

Глобальное снижение уровня смертности от ДТП в 2020 году частично обусловлено введением строгих карантинных мер и ограничений на передвижение, обусловленных пандемией COVID-19 [23]. Сокращение транспортных потоков стало прямой причиной сокращения числа ДТП. Однако в 2021 году зафиксирован рост числа погибших в ДТП, что обусловлено восстановлением экономической активности, ростом транспортного трафика и изменениями в поведении водителей. Таким образом, несмотря на глобальное снижение уровня смертности от ДТП, этот показатель остаётся высоким и требует дальнейшего изучения.

Анализ графических данных на рисунке 1.2 демонстрирует тенденцию к росту глобального автопарка в период 2010–2020 гг. В 2010–2011 гг. число зарегистрированных ТС составило 1,017 млрд единиц. С 2012 года отмечался устойчивый рост парка: число ТС выросло с 1,115 млрд в 2012 году до 1,491 млрд в 2020 году.

Что касается процентного роста, наиболее значительный темп был отмечен в 2012 году — тогда он составил 9,64%. Позднее динамика темпов роста менялась: в 2014 году также зафиксирован высокий темп — 7,2%. Между тем наименьший темп роста был отмечен в 2016 году — 1,17%. Глобальный автопарк сохраняет устойчивый рост, однако отмечается тенденция к замедлению ежегодных темпов.

Участие различных типов транспортных средств в ДТП

В условиях устойчивого роста автомобильного парка фиксируется положительная тенденция к снижению числа ДТП на 100 тысяч ТС. В период 2010–2021 гг. этот показатель сократился с 79 до 47 ДТП на 100 тысяч ТС, что эквивалентно снижению на 41% [84]. Такая динамика подтверждает эффективность принимаемых мер в сфере БДД на глобальном уровне.

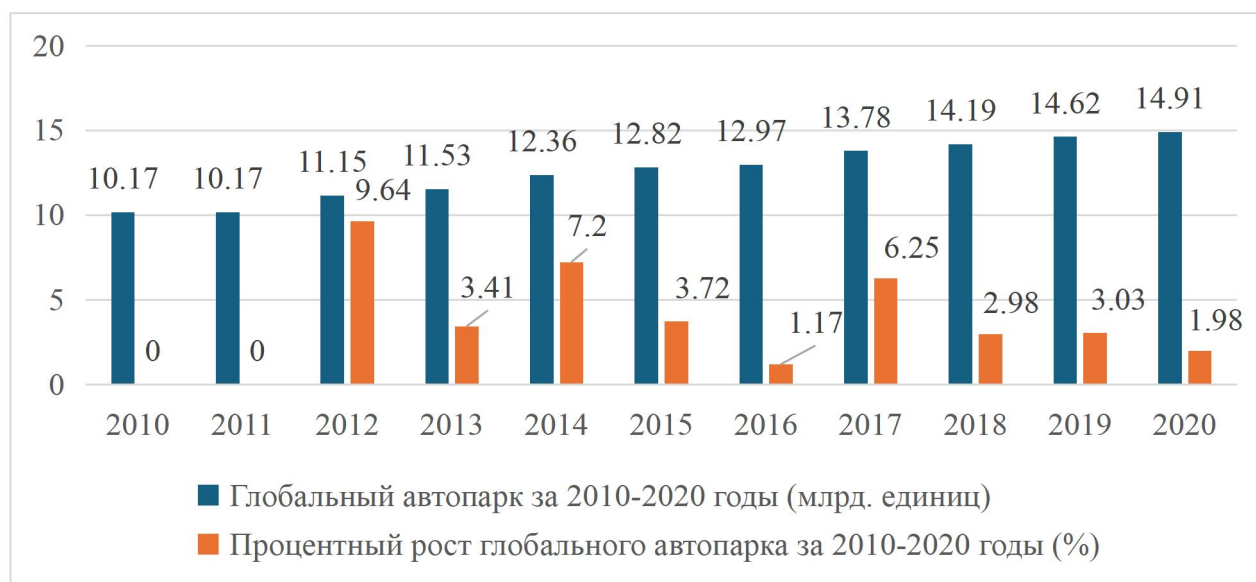


Рис. 1.2 - Динамика глобального автопарка и его роста с 2010 по 2020 год

Динамика смертности от ДТП отражает гетерогенность по регионам и категориям участников дорожного движения. Несмотря на незначительное общее снижение глобальной смертности от ДТП, уязвимые участники дорожного движения — а именно мотоциклисты, пешеходы и велосипедисты — составляют растущую долю среди погибших. Присутствуют выраженные межрегиональные диспропорции: в то время как в Европейском регионе ВОЗ зафиксировано наибольшее относительное снижение смертности от ДТП (на 36% с 2010 года), в Африканском регионе ВОЗ этот показатель остаётся самым высоким в мире, несмотря на незначительный прогресс.

Согласно статистическим данным, категория уязвимых участников дорожного движения — пешеходы, велосипедисты, мотоциклисты и водители малогабаритных ТС — на них приходится около 50% от общего числа погибших в ДТП. Сравнительный анализ с данными Глобального отчёта

показал: смертность от ДТП среди пользователей мотоциклов и трёхколёсных ТС выросла на 30%, в то время как смертность среди пассажиров легковых автомобилей сократилась на 19% [84]. Полученные результаты указывают на повышение относительных рисков для участников дорожного движения, не защищённых конструктивными элементами ТС, и пользующихся малогабаритными ТС.

Ключевые факторы водительского поведения, обуславливающие ДТП

На глобальном уровне девиантное поведение водителей остаётся одним из ключевых факторов, обуславливающих ДТП. В рамках настоящего исследования анализируются основные типы нарушений ПДД: превышение скоростного режима, управление ТС в состоянии опьянения, неиспользование мотоциклетных шлемов и ремней безопасности, а также неправильное использование детских удерживающих систем (ДУС) [84]. Полученные результаты подтверждаются данными современных научных исследований.

Согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), превышение скоростного режима остаётся одним из ключевых факторов риска для возникновения тяжёлых ДТП. Научные исследования подтверждают: при увеличении скорости на 1 км/ч риск смертельного исхода возрастает на 4%. Таким образом, превышение скорости не только повышает вероятность возникновения ДТП, но и существенно усугубляет тяжесть их последствий.

Управление транспортным средством в состоянии алкогольного опьянения:

Управление транспортным средством в состоянии алкогольного опьянения остаётся одной из системных угроз для БДД. Алкоголь негативно влияет на скорость психомоторных реакций водителя, что приводит к снижению когнитивных способностей — включая способность принимать обоснованные решения. Согласно статистическим данным, от 15% до 39%

тяжёлых и смертельных ДТП обусловлены управлением ТС в состоянии алкогольного опьянения. Например, в США доля ДТП, связанных с вождением в состоянии опьянения, составляет примерно 29% [15].

Применение мотоциклетных шлемов:

Применение мотоциклетных шлемов значительно снижает риск черепно-мозговых травм и летальных исходов. Согласно научным исследованиям, использование шлемов снижает риск травматических повреждений головы и летальных исходов на 40–70%. Однако в ряде регионов мира остаётся проблема недостаточного соблюдения требований к использованию средств индивидуальной защиты.

Применение ремней безопасности:

Научные исследования подтверждают, что использование ремней безопасности существенно снижает риск летального исхода и тяжелых травм в ДТП. Согласно статистическим данным, использование ремней безопасности снижает риск гибели водителей и пассажиров на передних сиденьях примерно на 45%, а на задних — около 25%.

Применение детских удерживающих устройств:

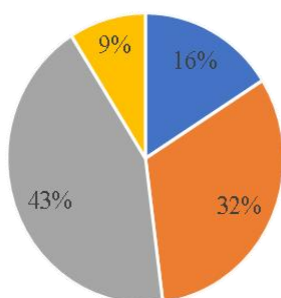
Надлежащее использование детских удерживающих устройств остаётся ключевым фактором безопасности детей в ДТП, существенно снижая риск летального исхода примерно на 70%. Однако в ряде стран мира сохраняется недостаточный уровень использования данных устройств.

БДД в странах с разными уровнями дохода

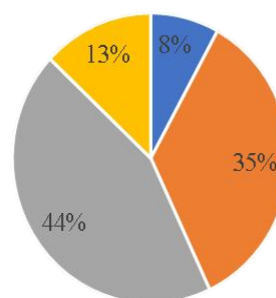
В рамках настоящего исследования данные о ДТП за 2021 год были систематизированы по уровню экономического развития стран. Анализ включил четыре ключевых показателя: долю населения стран в мире, число смертей от ДТП, долю асфальтированных городских дорог и численность зарегистрированных транспортных средств. Цель данного анализа (представленного на рисунке 1.3) — оценить эффективность управления БДД в странах с разным уровнем экономического развития и выявить существующие проблемы в этой сфере.

Согласно рисунку 1.3, страны с высоким уровнем дохода — на которые приходится лишь 16% мирового населения — несут всего 8% смертей от ДТП. Этот показатель существенно ниже их доли в мировом населении, что отражает три ключевых фактора: высокую эффективность системы управления БДД, высокий уровень соблюдения ПДД и развитость дорожной инфраструктуры. Кроме того, на эти страны приходится 88% всех мировых асфальтированных дорог, а доля их зарегистрированных транспортных средств в мире — 28%. Эти показатели подтверждают высокое качество дорожной инфраструктуры и значительный уровень автомобилизации в этих странах.

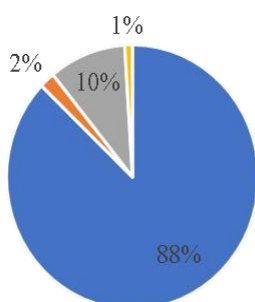
2021 год, распределение населения мира по уровню доходов стран



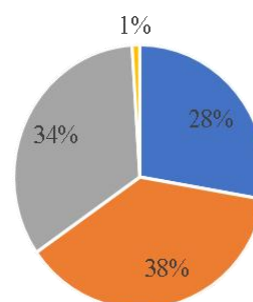
2021 год, распределение смертей в ДТП по уровню доходов стран



2021 год, распределение проложенных дорог между городами по уровню доходов стран



2021 год, распределение проложенных дорог между городами по уровню доходов стран



■ Высокий доход ■ Выше среднего дохода ■ Ниже среднего дохода ■ Низкий доход

Рис. 1.3 - Распределение мирового населения по уровню дохода стран в 2021 году, количество смертей на дорогах, доля асфальтированных дорог между городами и количество зарегистрированных транспортных средств

В странах с доходом выше среднего, население которых составляет 32% мирового, доля смертей от ДТП — 35% — является явно непропорциональным показателем. Это свидетельствует о глубоких структурных проблемах в системе управления БДД. Особенно показательным, что, хотя они обеспечивают 38% зарегистрированных транспортных средств в мире, доля асфальтированных дорог — всего 2% [68]. Это наглядно демонстрирует крайнюю несбалансированность развития дорожной инфраструктуры и парка транспортных средств, что выступает основным фактором риска.

Страны с доходом ниже среднего, население которых составляет 43% мирового, несут 44% смертей от ДТП. Это свидетельствует о крайне острых проблемах в сфере БДД. Они обеспечивают 34% зарегистрированного мирового автопарка, а доля асфальтированных дорог — всего 10%, что существенно усугубляет риски ДТП [44].

Страны с низким уровнем доходов, население которых составляет приблизительно 9% мирового, сталкиваются с наиболее острыми проблемами в сфере БДД. В этих странах доля смертей от ДТП достигает 13%, что существенно превышает средний мировой показатель. Недостаточное развитие дорожной инфраструктуры выражается в крайне низкой доле (менее 1%) асфальтированных междугородних дорог. Кроме того, уровень автомобилизации крайне низок — менее 1% от общего числа зарегистрированных ТС. Эти факторы указывают на критический дефицит ресурсов и компетенций в системе управления БДД стран с низким уровнем дохода.

Таким образом, результаты настоящего исследования свидетельствуют о значительной корреляции между уровнем дохода страны и показателями безопасности дорожного движения. Страны с высоким уровнем дохода, как правило, демонстрируют более высокие показатели в этой сфере. В то же время страны с низким уровнем дохода сталкиваются с многочисленными вызовами в улучшении положения дел. Полученные данные подчеркивают

необходимость реализации эффективных мер управления БДД и развития транспортной инфраструктуры в странах с низким уровнем дохода, что позволит снизить количество ДТП и уровень смертности от них.

1.2 Современные стратегии управления безопасностью дорожного движения

Анализ статистических данных о БДД в странах ЕС, приведённых на рисунке 1.4, демонстрирует значительно более низкие показатели смертности от ДТП по сравнению с другими регионами мира. В условиях глобального роста автомобилизации и урбанизации проблема обеспечения безопасности дорожного движения приобрела особую актуальность, что требует разработки и внедрения эффективных управленческих решений как на международном, так и на национальном уровнях. ЕС реализует комплексную стратегию по снижению смертности от ДТП на 50%. Изначально цель планировалось достичь к 2020 году, но позже срок перенесли на 2030 год, что позволяет последовательно совершенствовать систему дорожной безопасности [44].



Рис. 1.4 - Число смертей в результате ДТП в 2021 году по регионам и уровню доходов стран

В рамках настоящего диссертационного исследования проведен комплексный анализ стратегий и мер по обеспечению БДД в европейских

странах. Исследование охватывает шесть ключевых направлений: контроль скорости, модернизацию дорожной инфраструктуры, совершенствование нормативно-правовой базы и правоприменительной практики, координацию государственных действий, повышение безопасности транспортных средств и меры по снижению последствий ДТП. На основе анализа практического опыта различных стран и статистических данных сформулированы рекомендации по совершенствованию политики в области БДД и разработке эффективных практических мер.

Анализ интеллектуальных систем контроля скорости и зон с ограничением скоростного режима в ЕС

В ЕС интеллектуальные системы контроля скорости и создание зон с ограниченным скоростным режимом в городской среде выступают важными элементами стратегии улучшения БДД. Эти меры осуществляются в рамках комплексного подхода, охватывающего технологическую модернизацию, нормативное регулирование и образовательные программы. Главная цель этих инициатив — снижение числа нарушений скоростного режима и повышение безопасности уязвимых участников дорожного движения, что имеет особое значение в условиях высокой плотности населения городских агломераций [35].

Тормозной путь — расстояние, пройденное транспортным средством от начала торможения до полной остановки. Этот параметр критически важен для оценки эффективности тормозных систем в контексте обеспечения БДД. На рисунке 1.5 представлено сравнение тормозных путей при скоростях движения 50–80 км/ч и стандартном времени реакции водителя (1 секунда).

Анализ результатов показал значительную зависимость тормозного пути от скорости транспортного средства, что подтверждает необходимость внедрения интеллектуальных систем контроля скорости и организации зон с ограниченным скоростным режимом в условиях городской среды.

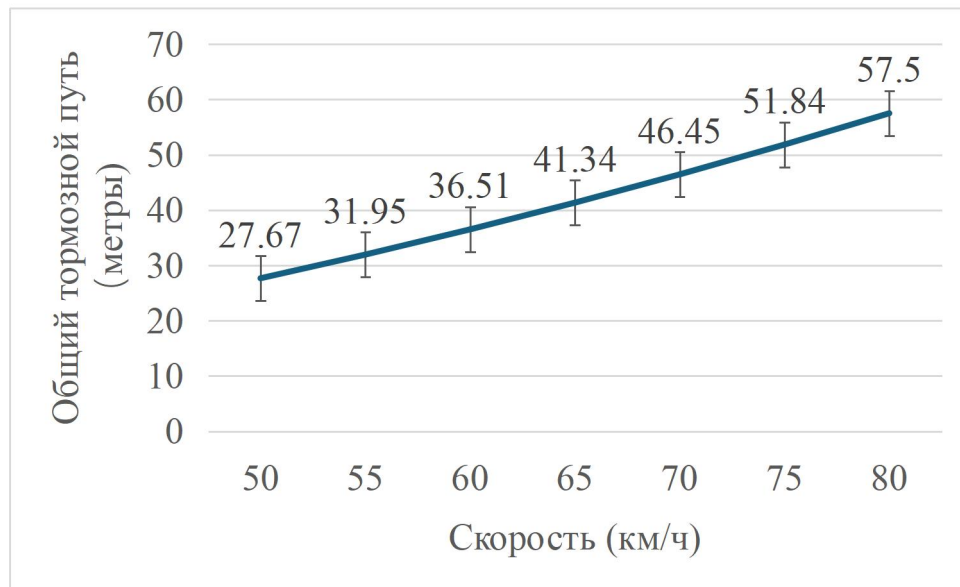


Рис. 1.5 - Тормозной путь при различных скоростях движения

В качестве практического примера рассмотрим следующие расчетные данные: при скорости движения 60 км/ч (16,67 м/с) и стандартном времени реакции водителя 1 секунда расстояние реакции составляет 16,67 м. На сухом бетонном покрытии тормозной путь достигает приблизительно 20 м, что дает суммарное расстояние до остановки 36,67 м. При увеличении скорости до 80 км/ч (22,22 м/с) тормозной путь увеличивается до 57 м, а общее расстояние до остановки — до 79,22 м (расчет: $22,22 \text{ м/с} \times 1 \text{ с} + 57 \text{ м}$). Это подтверждает нелинейную зависимость как тормозного пути, так и общего расстояния до остановки от скорости движения.

Технико-организационные особенности реализации интеллектуальных систем контроля скорости в ЕС

Интеллектуальные системы контроля скорости осуществляют управление скоростным режимом ТС через интеграцию современных датчиков, спутниковой навигации и цифровых картографических данных. Эти системы обеспечивают непрерывный мониторинг действующих скоростных ограничений, позволяя автоматически корректировать скорость или посылать предупреждающие сигналы водителю [28]. Техническая реализация предполагает распознавание дорожных знаков фронтальной камерой ТС с последующей верификацией этих данных бортовой

навигационной системой, что обеспечивает достоверность и актуальность получаемых данных.

Европейская стратегия внедрения ISA основывается на комплексном подходе. В частности, Европейская комиссия разработала нормативно-правовые акты, обязывающие оснащать системой ISA все новые ТС. Параллельно реализуются меры по стимулированию коммерциализации интеллектуальных технологий контроля скорости, включая финансовую поддержку НИОКР-проектов [28].

Для обеспечения общественного принятия технологии проводятся информационно-просветительские кампании в партнерстве с государствами-членами ЕС, направленные на повышение осведомленности участников дорожного движения о преимуществах и специфике применения интеллектуальных систем контроля скорости.

Шведский пилотный проект по внедрению интеллектуальных систем контроля скорости (ISA) в Стокгольме, охвативший свыше 1000 ТС, продемонстрировал выраженное сокращение нарушений скоростного режима — на 15% — а также снижение степени тяжести последствий ДТП. В Нидерландах, напротив, применен комплексный подход, интегрирующий ISA с системами мониторинга трафика: это позволило сократить количество ДТП в целевых зонах на 20%, особенно ДТП с участием пешеходов [28].

Результативность этих проектов обусловлена не только высокими технологическими параметрами систем, но и их бесшовной интеграцией в существующую транспортную инфраструктуру. Не менее важным аспектом является комплекс мер по культивированию общественной поддержки, включающий целевые образовательные программы и государственную политическую поддержку. Таким образом, результаты убедительно подтверждают значительный потенциал таких систем для существенного улучшения БДД — при условии их последовательного и систематического внедрения.

Эффективность зон с ограничением скорости в городской среде

Внедрение зон с пониженным скоростным (до 30 км/ч) является стратегически значимой мерой по повышению БДД в крупных городах Европейского союза. Данный подход направлен на защиту уязвимых участников дорожного движения, включая пешеходов и велосипедистов, в районах с высокой социальной активностью, таких как жилые зоны, образовательные учреждения и деловые центры.

Практический опыт Барселоны (Испания) демонстрирует эффективность данной стратегии: после введения ограничения скорости до 30 км/ч в центральных районах города было зафиксировано снижение смертности в ДТП с участием пешеходов более чем на 40% [24].

Аналогичные меры, реализованные в Берлине (Германия) вблизи школ и детских садов, привели к значительному снижению скорости транспортных средств и сокращению количества тяжелых ДТП.

Внедрение зон с пониженным скоростным режимом сопровождалось комплексными информационно-просветительскими мероприятиями: оптимизацией размещения и видимости дорожных знаков, общественными кампаниями и усилением контроля за соблюдением скоростных режимов. Одновременно посредством образовательных учреждений, общественных инициатив и СМИ велась целенаправленная работа по формированию общественного сознания о преимуществах таких зон для БДД. Помимо ключевого эффекта — повышения безопасности — эти меры способствовали сокращению уровня шумового загрязнения, улучшению экологического состояния и повышению качества городской среды.

Практический опыт убедительно подтвердил эффективность зон с пониженным скоростным режимом как инструмента улучшения безопасности на городских дорогах. Последующее совершенствование нормативной базы и продолжение просветительской работы с населением являются критически важными условиями для обеспечения устойчивой результативности этой стратегии.

Современные европейские стратегии проектирования и модернизации дорожной инфраструктуры ориентированы на обеспечение безопасных условий для всех категорий участников дорожного движения. Данная политика осуществляется посредством комплекса мер, охватывающих активные и пассивные элементы системы безопасности.

Особый акцент делается на разработке специализированной инфраструктуры для велосипедистов и пешеходов, включая такие меры, как чёткое зонирование пространства и применение открытых и скрытых разделительных конструкций. Ключевым аспектом выступает улучшение городской среды, что способствует снижению рисков конфликтов между ТС и уязвимыми участниками движения [28].

Оптимизация организации транспортных узлов как элемент безопасности дорожной инфраструктуры

Эффективная организация транспортных узлов — критически важный элемент обеспечения БДД. В европейских странах широко применяются кольцевые развязки, подтвердившие высокую эффективность в снижении тяжести ДТП. Безопасная организация транспортных узлов включает совершенствование разметки, четкое обозначение пешеходных переходов и оптимизацию транспортных потоков для минимизации конфликтных ситуаций.

Особое внимание уделяется функциональному разграничению магистральных и городских дорог. Четкое разделение транспортных артерий различных категорий — достигаемое посредством специализированных стандартов проектирования и строительных материалов — способствует повышению эффективности управления потоками и уровню БДД.

Модернизация транспортной инфраструктуры включает внедрение комплекса мер по повышению безопасности объектов общественного транспорта. К ним относятся организация выделенных полос, обустройство безопасных остановочных пунктов и интеграция транспортных систем для

приоритетного обслуживания общественного транспорта. Эти решения способствуют минимизации временных задержек и снижению аварийности.

ЕС провёл ревизию Директивы по управлению безопасностью дорожной инфраструктуры, распространив её действие на транспортные сети всех категорий. В соответствии с новыми требованиями, государства-члены обязаны проводить регулярные оценки безопасности, аудиты безопасности и инспекционные проверки. Эти меры направлены на достижение стратегической цели ЕС — сокращение на 50% случаев смертельных и тяжёлых ДТП к 2030 году [28].

Реализация указанных инициатив продемонстрировала убедительную результативность в повышении уровня БДД. Системный подход, охватывающий периодические оценки, адресные мероприятия по модернизации инфраструктуры и оптимизацию направлений инвестирования, обеспечил достижение значительного сокращения как частоты, так и тяжести ДТП на дорогах ЕС.

Таким образом, в Европейском союзе были учреждены специализированные государственные органы, наделённые функциями осуществления контроля и обеспечения БДД. Основными задачами этих структур предусмотрено проведение комплексной оценки и сертификации, а также постоянный мониторинг соответствия транспортных средств и объектов дорожной инфраструктуры действующим нормативным требованиям.

Данный институциональный механизм обеспечивает поддержание высоких стандартов БДД, оперативно выявляя и устраняя потенциальные риски ДТП. Последовательный подход к оценке рисков ДТП и строгое соблюдение установленных нормативных регламентов способствуют не только разработке, но и формированию устойчивой системы обеспечения безопасности дорожного движения, охватывающей всех субъектов дорожного процесса.

Стратегическое планирование и финансирование мероприятий по повышению уровня безопасности дорожного движения в ЕС

Европейский союз разработал комплексные стратегии, направленные на улучшение дорожной безопасности, снижение количества ДТП и снижение уровня смертности в результате ДТП. Реализация этих стратегий реализуется посредством системы целенаправленных политик и инфраструктурных инициатив, обеспеченных адекватным финансовым обеспечением.

В рамках «Стратегической рамки ЕС по безопасности дорожного движения на 2021–2030 годы» определён ключевой показатель: снижение на 50% числа погибших и тяжело травмированных в ДТП к 2030 году. Данный документ формирует концептуальную основу для достижения долгосрочной цели – реализации подхода «Нулевое видение» (Vision Zero) к 2050 году [32].

Стратегические подходы к обеспечению безопасности дорожного движения в ЕС

Швеция приняла и внедрила в 1997 году революционную стратегию по обеспечению безопасности дорожного движения под названием «Нулевое видение» (Vision Zero). Данная концепция базируется на принципе абсолютной недопустимости смертельных исходов и тяжелых травм в результате ДТП. В рамках данной стратегии предполагается, что транспортная система должна проектироваться с учетом исключения риска смертельных исходов участников дорожного движения при любых условиях. Реализация концепции «Нулевое видение» осуществляется посредством комплексного подхода, включая улучшение принципов дорожного проектирования, ужесточение требований к безопасности транспортных средств, усиление контроля за соблюдением правил дорожного движения и проведение широкомасштабных образовательных кампаний.

*Нидерландский подход «Устойчивая безопасность» (Sustainable Safety):
развитие шведской модели*

Нидерландский подход «Устойчивая безопасность» (Sustainable Safety) несёт дальнейшее развитие принципов, заложенных в шведской стратегии, с акцентом на формирование дорожной инфраструктуры, устойчивой к ошибкам человека. Ключевой тезис данной концепции состоит в признании неизбежности ошибок участников дорожного движения и необходимости проектирования транспортной системы, минимизирующей негативные последствия таких ошибок. Практическая имплементация концепции «Устойчивая безопасность» включает оптимизацию планировочных решений в дорожной сети, обеспечение соответствия конструкции дорог их функциональному назначению, внедрение строгой системы контроля скоростного режима, совершенствование стандартов безопасности транспортных средств и активное использование передовых технологий в сфере транспортной безопасности.

Великобритания реализует стратегию «Безопасный системный подход» (Safe System Approach), концептуально близкую к шведской концепции «Нулевого видения». Данная стратегия основывается на интегрированном подходе, охватывающем четыре ключевых компонента: дорожную инфраструктуру, транспортные средства, управление скоростным режимом и поведение участников дорожного движения. Национальная программа предусматривает систематическую модернизацию дорожной сети, внедрение инновационных технологий для обеспечения активной и пассивной безопасности транспортных средств, последовательное принятие и внедрение нормативных актов, а также проведение масштабных образовательных кампаний.

Германская инициатива по повышению БДД основывается на трех фундаментальных принципах: высочайших стандартах проектирования дорожной инфраструктуры, комплексной системе подготовки водителей

и неуклонном соблюдении правил дорожного движения. Практическая имплементация данной инициативы включает разработку детализированных нормативных требований, существенные инвестиции в дорожное строительство, внедрение многоуровневой системы профессиональной подготовки водителей и проведение целевых информационных кампаний.

Таким образом, в Европейском союзе были сформированы/учреждены специализированные государственные органы, наделённые функциями осуществления контроля и обеспечения БДД. Основными задачами этих структур предусмотрено проведение комплексной оценки и сертификации, а также постоянный мониторинг соответствия транспортных средств и объектов дорожной инфраструктуры действующим нормативным требованиям.

Важным элементом стратегического управления является систематический анализ эффективности реализуемых мер. Европейские правительства регулярно проводят оценку воздействия стратегий БДД, охватывающую сбор и анализ статистических данных о ДТП, а также анализ практической эффективности реализованных мероприятий.

Эти результаты служат основой для своевременной корректировки политики, гарантируя ее научную обоснованность и практическую целесообразность.

Государственные органы обладают исключительной компетенцией в разработке и реализации нормативно-правовых актов, регулирующих дорожное движение. Формирование строгих требований к соблюдению правил дорожного движения, стандартам безопасности транспортных средств и разработка эффективной политики правоприменения позволяют государственным органам оказывать непосредственное влияние на поведенческие модели участников дорожного движения и повышать уровень безопасности дорожного движения [29]. Опыт Германии подтверждает эффективность этой стратегии: неукоснительное соблюдение

нормативных требований в сочетании с многоуровневой системой подготовки водителей привело к заметному прогрессу в области дорожной безопасности.

Координация межведомственного взаимодействия и мониторинг показателей БДД

Обеспечение уровня БДД требует согласованных действий различных государственных органов, что обуславливает ключевую роль этих органов в организации их эффективного сотрудничества. Формирование механизмов межведомственного взаимодействия позволяет объединить ресурсы транспортных, правоохранительных, образовательных и медицинских ведомств. Кроме того, осуществляется целенаправленное взаимодействие с общественными организациями, научно-исследовательскими институтами и коммерческими структурами, направленное на совместную разработку и реализацию мер повышения БДД [33].

Совершенствование системы сбора и анализа статистических данных является важным инструментом мониторинга состояния БДД в европейских странах. Применение современных аналитических технологий, таких как методы искусственного интеллекта, для обработки данных о транспортных потоках, характеристиках и причинах ДТП, позволяет получать достоверные сведения. Эти данные имеют принципиальное значение для выявления закономерностей возникновения ДТП, разработки профилактических мер и формирования научно обоснованных стратегий повышения безопасности [30].

Европейские страны демонстрируют передовой опыт в области БДД, применяя комплексный гуманистически ориентированный подход, основанный на системных решениях и междисциплинарном взаимодействии. Благодаря активной государственной политике и многоуровневым интервенциям удалось достичь существенного снижения показателей смертности и тяжелых травм от ДТП. Этот

успешный опыт имеет значительную ценность не только для европейских стран, но и может служить моделью для других стран мира.

Особое внимание уделяется цифровой трансформации дорожной инфраструктуры. Так, ЕС последовательно внедряет цифровые технологии — ИТС, адаптивные системы управления движением, технологии взаимодействия транспортных средств с инфраструктурой. Государственные органы ЕС играют ключевую роль в этом процессе, совершенствуя нормативно-правовую базу, обеспечивая целевое финансирование, реализуя стратегические программы и внедряя инновационные технологические решения.

Комплексность мер, охватывающая институциональные, технологические и нормативные аспекты, способствует последовательному повышению уровня БДД. Этот многофакторный подход обеспечивает европейским странам эффективное достижение стратегических целей: снижение аварийности и формирование безопасной дорожной среды для всех субъектов дорожного движения.

Реализация нормативных мер по обеспечению безопасности дорожного движения в ЕС

Государства-члены ЕС осуществляют строгий контроль за соблюдением транспортного законодательства. Особое внимание уделяется таким нарушениям, как вождение в состоянии опьянения, движение против направления движения, отвлечение внимания водителя и неиспользование средств пассивной безопасности [33].

В отношении вождения в состоянии опьянения европейские страны реализуют политику регулярных проверок, усиленного мониторинга и ужесточения санкций. Практический опыт Польши, Эстонии и Португалии демонстрирует эффективность стратегии массового тестирования на алкогольное опьянение среди водителей: это привело к значительному снижению числа ДТП, связанных с таким нарушением, а также к снижению уровня летальных исходов и тяжести травматизма.

Проблема движения против направления движения решается посредством внедрения интеллектуальных систем видеомониторинга и оптимизации дорожной разметки, что способствует снижению числа подобных ДТП.

Особое внимание уделяется проблеме отвлечения внимания водителей, особенно при использовании мобильных устройств. Европейские страны противодействуют этому риску через строгий контроль за соблюдением запрета на использование мобильных устройств при управлении транспортным средством, применение технологий автоматической фиксации нарушений и установление существенных штрафов. Дополнительные меры включают образовательные кампании и внедрение бортовых систем предупреждения в транспортных средствах [34].

Обязательное использование ремней безопасности, введенное нормами ЕС с 2006 года, остается одним из наиболее эффективных инструментов предотвращения травматизма. Несмотря на высокий уровень соблюдения этого требования водителями и передними пассажирами, уровень использования ремней безопасности среди задних пассажиров остается недостаточным. ЕС продолжает реализацию информационных кампаний и совершенствование нормативно-правовой базы для повышения культуры использования средств пассивной безопасности среди всех групп пассажиров.

Совершенствование системы помощи пострадавшим в ДТП в ЕС

В рамках стратегии повышения эффективности помощи пострадавшим в ДТП европейские страны реализуют комплекс взаимосвязанных мер. Ключевым элементом этой стратегии является проведение регулярных тренировок в медицинских учреждениях, имитирующих массовые ДТП [27]. Такие учения позволяют оценить и оптимизировать алгоритмы действий медицинского персонала и

экстренных служб, способствуя их готовности к оперативному реагированию при реальных чрезвычайных ситуациях.

Также ЕС реализует информационные кампании для повышения осведомлённости населения о правилах БДД и ключевых принципах оказания первой помощи. Особое внимание уделяется подготовке сотрудников экстренных служб — включая полицию и пожарную охрану — навыкам базовой медицинской помощи на месте ДТП. Обязательная программа подготовки включает обучение методикам сердечно-лёгочной реанимации, остановке кровотечений и безопасной транспортировке пострадавших [31]. Эти навыки позволяют оперативно стабилизировать состояние пострадавших до прибытия специализированных медицинских бригад, что существенно повышает вероятность благоприятного исхода.

Дополнительно проводится обучение населения основам экстренного реагирования. В рамках этих программ граждане осваивают применение автоматических наружных дефибрилляторов, навыки базовой поддержки жизненно важных функций и другие необходимые компетенции. Такие инициативы не только расширяют доступ к инструментам само- и взаимопомощи, но и способствуют формированию общества, более устойчивого к чрезвычайным ситуациям.

Реализуемые меры формируют единую комплексную систему, включающую образовательные программы, практические тренинги и информационные кампании. Все эти меры направлены на повышение эффективности помощи при ДТП и соответствуют стратегическим целям ЕС в сфере общественного здравоохранения и безопасности.

1.3 Анализ тенденций изменения дорожной аварийности в Китае

За период с 2016 по 2021 год в Китае зафиксирован устойчивый рост автопарка — с 290 до 400 миллионов единиц, что соответствует приросту в 37,93%. При этом количество легковых автомобилей — ключевого

компонента транспортного потока — увеличилось с 190 до 300 миллионов единиц, что отражает более высокую скорость роста (57,89%). Данная динамика свидетельствует о существенном увеличении плотности дорожного движения, что потенциально ведет к росту числа ДТП.

Среднегодовой темп прироста автопарка составил 7,85%, тогда как для легковых автомобилей этот показатель достиг 10,14%, что подчеркивает их доминирующую роль в структуре транспортного парка. Согласно прогнозам, к 2025 году объем автопарка в Китае превысит 460 миллионов единиц, численность водителей достигнет более 550 миллионов человек, а протяженность автомобильных дорог составит 5,5 миллионов километров (рис. 1.6) [76, 79].



Рис. 1.6 – Динамика роста парка автотранспортных средств и автомобилей в Китае за 2016–2021 годы

За период с 2016 по 2021 год количество водителей в Китае выросло с 360 до 481 миллиона человек, что соответствует общему росту на 33,61%. Такая устойчивая положительная динамика свидетельствует о продолжающейся автомобилизации общества, что неизбежно сказывается на интенсивности дорожного движения и БДД.

Одновременно наблюдалось сокращение выдачи новых водительских прав: их количество снизилось с 33,14 миллиона в 2016

году до 27,5 миллиона в 2021 году, что свидетельствует о волнообразном снижении показателей (рис. 1.7) [77].



Рис. 1.7 - Динамика численности водителей и выдачи новых водительских удостоверений в Китае (2016-2021 гг.)

В последние годы Китайская Народная Республика демонстрирует существенный рост дорожной инфраструктуры. Государственные инвестиции в эту сферу продолжают увеличиваться, при этом темпы роста городской дорожной сети опережают показатели развития автомагистральных дорог. По состоянию на конец 2020 года, общая протяжённость автодорог в стране составила 5,1981 млн км, что на 520 тыс. км (11,4 %) превышает уровень 2015 года и включает 161 тыс. км автомагистралей. Длина городских дорог достигла 478 тыс. км, увеличившись на 113 тыс. км (31 %) по сравнению с 2015 годом [60]. Эти данные свидетельствуют о масштабных государственных капиталовложениях в дорожное строительство и их существенных результатах. В условиях стремительной урбанизации и повышения уровня жизни населения спрос на транспортные услуги сохраняет тенденцию к росту, что обуславливает необходимость дальнейшего увеличения инвестиций в дорожную инфраструктуру.

Одновременно произошли существенные трансформации в структуре грузовых и пассажирских перевозок. Развитие автомобильной

промышленности и повышение уровня жизни населения стимулировали рост числа личных автомобилей. К 2020 году уровень автомобилизации достиг 209 автомобилей на 1000 жителей, при этом в 70 крупных городах количество автомобилей превысило 1 млн единиц. В то же время развитие высокоскоростного железнодорожного транспорта и авиации привело к снижению объёмов пассажирских перевозок. По сравнению с 2015 годом, к концу 2020 года пассажиропоток и пассажирооборот сократились на 19,7 % и 17,6 % соответственно. В сфере грузоперевозок наблюдается противоположная тенденция: объёмы автомобильных грузоперевозок демонстрируют устойчивый рост, увеличившись на 9,1 % по объёму перевозок и на 2,9 % по грузообороту [61].

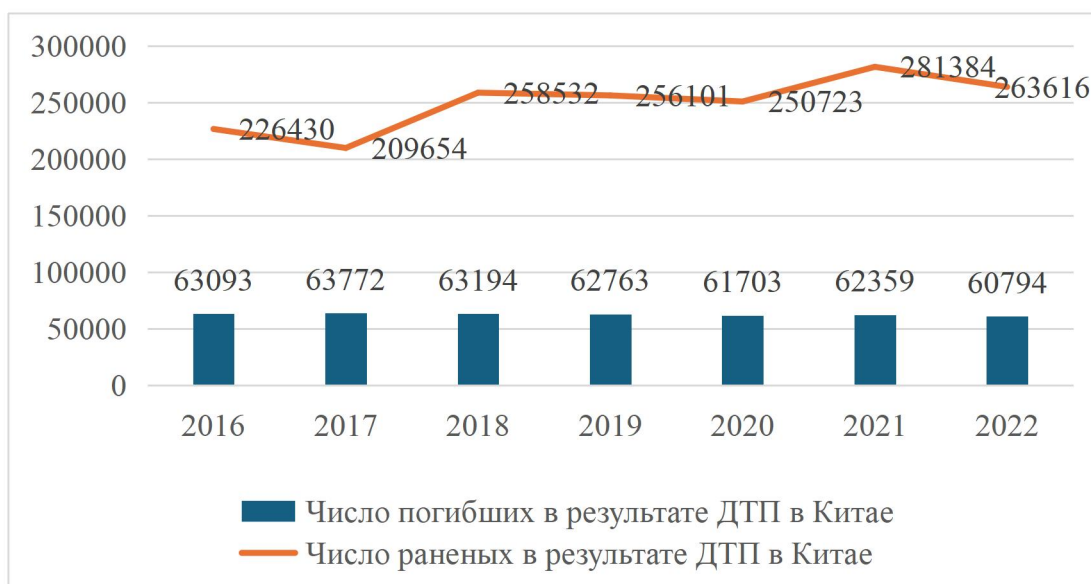


Рис. 1.8 - Динамика количества погибших и пострадавших в ДТП в КНР (2016-2022 гг.)

Статистика за 2016–2020 годы демонстрирует устойчивую тенденцию к снижению уровня аварийности на дорогах Китая. Согласно данным рисунка 1.8, количество погибших в ДТП сократилось с 63 093 в 2016 году до 58 022 в 2020-м, что соответствует снижению на 8,04 %. Аналогичная тенденция наблюдается и по числу пострадавших: за этот период этот показатель сократился с 226 430 до 203 049, что соответствует снижению на 10,32 % (рис. 1.8) [78].

Устойчивое снижение числа погибших и пострадавших в ДТП свидетельствует об эффективности мер по повышению БДД, реализуемых правительством Китая.

Проведённый анализ выявил существенный дисбаланс между ростом транспортных показателей и динамикой ДТП. Несмотря на существенное расширение автопарка и рост числа водителей, отмечается устойчивое снижение числа погибших и пострадавших в ДТП. Данная динамика свидетельствует об высокой эффективности предпринимаемых мер по повышению БДД и улучшению нормативно-правовой базы в транспортной сфере.

Однако продолжающийся рост автопарка и урбанизация создают новые вызовы для системы БДД. Эта ситуация требует постоянной адаптации управленческих стратегий и превентивных мер к изменениям в транспортной инфраструктуре, что предполагает разработку и внедрение гибких механизмов реагирования на потенциальные риски.

Анализ поведенческих факторов водителей как детерминант ДТП

Поведенческие характеристики участников движения являются важным фактором обеспечения БДД. Решения водителя, сформировавшиеся поведенческие модели и психофизиологическое состояние прямо коррелируют с вероятностью возникновения ДТП [90]. Таким образом, комплексное исследование поведенческих аспектов управления ТС и разработка мер по их коррекции являются приоритетными задачами для повышения БДД.

Эмпирические исследования выявляют ряд типичных форм девиантного поведения водителей. Так, молодые водители зачастую склонны к рискованному поведению, включая экстремальное ночное вождение, превышение скоростного режима и участие в несанкционированных автогонках — это существенно повышает риск ДТП.

Феномен отвлечения внимания водителя представляет не менее серьёзную угрозу. В условиях относительной свободы ночных дорог водители склонны пренебрегать базовыми нормами безопасности, распыляя внимание на посторонние действия: приём пищи, курение, разговоры по телефону или общение с пассажирами [90].

Практика необоснованных обгонов представляет особую угрозу БДД. Такие манёвры, совершаемые водителями из соревновательных побуждений в небезопасных условиях, делают невозможным завершение перестроения — это создаёт прямой риск лобового или бокового столкновения.

Утомление водителя выступает дополнительным фактором риска, особенно актуальным для ночных поездок. Физическая усталость снижает концентрацию внимания и замедляет реактивность. Ограниченная видимость в тёмное время суток усугубляет ситуацию: она затрудняет своевременное обнаружение потенциальных дорожных препятствий и принятие превентивных мер.

Анализ структуры ДТП по типам участвующих транспортных средств

Согласно данным, в 2020 году в Китае зафиксировано 211 074 ДТП с участием механических транспортных средств — это на 1,3 % меньше, чем в 2019 году. Число ДТП с участием немеханических транспортных средств составило 29 969, что на 3,2 % больше, чем в предыдущем году (таблица 1.1) [60].

Детальный анализ структуры аварийности выявил разнонаправленные тенденции: число ДТП с участием легковых автомобилей сократилось на 1,5 % (до 156 901), в то время как число ДТП с участием мотоциклов увеличилось на 0,3 % (до 45 789).

Наиболее существенные изменения зафиксированы в категориях спецтехники и немоторизованных участников дорожного движения: число ДТП с тракторами сократилось на 14,7 % (до 1 591), в то время как

число ДТП с велосипедистами возросло на 14,4 % (до 2 611), а число ДТП с пешеходами увеличилось на 1,4 % (до 3 480).

Табл. 1.1 – Динамика количества ДТП происшествий по типам транспортных средств в Китае за 2017–2020 годы

Год	Механические ТС	Немеханические ТС	Автомобили	Мотоциклы	Тракторы	Велосипеды	Пешеходы
2017	182343	18144	139412	39780	1890	1576	2470
2018	216178	25556	166906	45868	2120	1840	3045
2019	215009	29049	159335	45635	1865	2283	3432
2020	211074	29969	156901	45789	1591	2611	3480

Анализ статистики за 2017–2020 годы выявляет значительные сдвиги в структуре прямого материального ущерба от ДТП в Китае.

Основную долю экономического ущерба приносят аварии с участием механических транспортных средств (МТС) : в 2017 году его объем составил 115 5.562 млн юаней, увеличившись до 131 0.235 млн юаней в 2018-м. После этого зафиксировано незначительное снижение, однако в 2020 году ущерб остался на высоком уровне — 122 8.009 млн юаней (таблица 1.2).

Параллельно отмечается устойчивый рост ущерба от ДТП с участием немеханических транспортных средств. В 2017 году объем такого ущерба составил 39.737 млн юаней, а в 2020 году вырос до 62.714 млн юаней.

Эта динамика указывает на рост экономических последствий ДТП с участием указанных ТС.

Табл. 1.2 - Прямые имущественные потери от различных видов ДТП в Китае в 2017-2020 годах (млн юаней)

Год	Механические ТС	Немеханические ТС	Автомобили	Мотоциклы	Тракторы	Велосипеды	Пешеходы
2017	1155.562	39.737	1039.78	98.151	7.069	3.589	17.559
2018	1310.235	54.663	1186.716	106.82.8	6.623	3.766	19.049
2019	1258.009	62.122	1114.206	107.715	5.748	5.812	24.853
2020	1228.009	62.714	1077.694	117.422	5.152	5.856	22.127

Анализ распределения имущественного ущерба от ДТП демонстрирует доминирующую роль автотранспортных средств в структуре общих потерь. Несмотря на снижение показателя с максимального уровня 118 671,6 миллиона юаней в 2018 году до 107 7.694 миллиона юаней в 2020 году, ущерб от автомобильных аварий остается значительным. В то же время наблюдается устойчивый рост убытков от ДТП с участием мотоциклетного транспорта, который увеличился с 9 8.151 миллиона юаней в 2017 году до 11 7.422 миллиона юаней в 2020 году. Напротив, потери от аварий с участием сельскохозяйственной техники, в частности тракторов, последовательно сокращались в течение рассматриваемого периода, уменьшившись с 7.069 миллиона юаней до 5.152 миллиона юаней.

Среди участников дорожного движения, не использующих моторизованные транспортные средства, фиксируется устойчивый рост экономических последствий ДТП, однако абсолютные значения ущерба

остаются относительно низкими. Убытки от ДТП, связанных с участием велосипедистов, увеличились с 3.589 миллиона юаней в 2017 году до 5.856 миллиона юаней в 2020 году. Материальный ущерб от происшествий с участием пешеходов также продемонстрировал рост с 1 7.559 млн юаней до 22.127 млн юаней за указанный период. Данная динамика свидетельствует о необходимости разработки адресных мер по снижению ДТП с участием уязвимых участников дорожного движения.

1.4 Система управления безопасностью дорожного движения

Историческое развитие политики, технологических инноваций и нормативно-правовой базы в сфере БДД в Китайской Народной Республике характеризуется последовательной сменой нескольких ключевых этапов.

На начальном этапе развития БДД (1949–1978 гг.) обеспечение безопасности дорожного движения не являлось приоритетом государственной политики. Основное внимание уделялось восстановлению разрушенной транспортной инфраструктуры в послевоенный период и её дальнейшему развитию.

С начала экономических реформ 1978 года до 2000 года стремительный рост автомобилизации сделал необходимым решение проблем БДД, ставших значимыми социальными вопросами. В этот период заложены основы нормативно-правовой базы, включая принятие «Правил дорожного движения Китайской Народной Республики».

Современный этап (с 2001 года по настоящее время) характеризуется системным подходом к управлению БДД. Отмечается существенный рост инвестиций в эту сферу, внедрение электронных систем мониторинга и ИТС. Одновременно ведется работа по повышению уровня дорожной культуры населения [59].

В условиях цифровой трансформации применение технологий больших данных приобретает ключевое значение для прогнозирования ДТП и модернизации систем оперативного реагирования на них.

Согласно графикам на рис. 1.9 и 1.10, в 2017–2020 гг. в Китае проведен всесторонний анализ динамики ДТП с дифференциацией по категориям участников движения. Анализ включал количественные показатели жертв (пострадавших и погибших) ДТП с участием автомобилей, мотоциклов, сельхозтехники, велосипедистов и пешеходов. Результаты позволили выявить ключевые тенденции аварийности, определить потенциальные причинно-следственные связи и установить корреляцию с госпрограммами и нормативно-правовыми актами в сфере БДД.

Этапы развития системы безопасности дорожного движения в Китае

Анализ статистики ДТП в Китае за 2017–2020 гг. выявил тенденции в пяти ключевых группах участников движения: автомобили, мотоциклы, тракторы, велосипеды и пешеходы.

В сегменте автомобильных ДТП пик пострадавших пришелся на 2018 год — 169 046 человек, после чего их число снизилось до 152 276 в 2020 году. Количество летальных исходов также уменьшилось: с 46 817 в 2017 году до 43 098 в 2020 году. Эта позитивная тенденция объясняется комплексом факторов, включая рост интенсивности дорожного движения, модернизацию нормативно-правовой базы БДД, усиление контроля за соблюдением правил и повышение технических стандартов безопасности ТС. Важную роль сыграли инициативы, такие как пересмотр Закона КНР «О дорожном движении», реализация «Плана действий по продвижению цивилизованного движения», а также внедрение технологических инноваций в транспортную инфраструктуру.

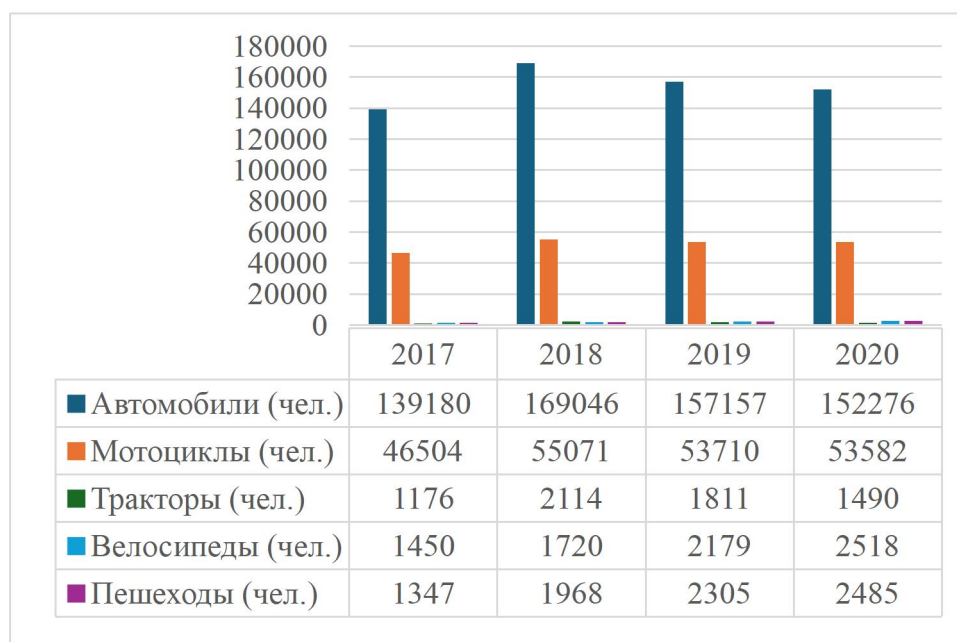


Рис. 1.9 - Динамика количества пострадавших в ДТП по видам транспортных средств в Китае (2017-2020 гг.)

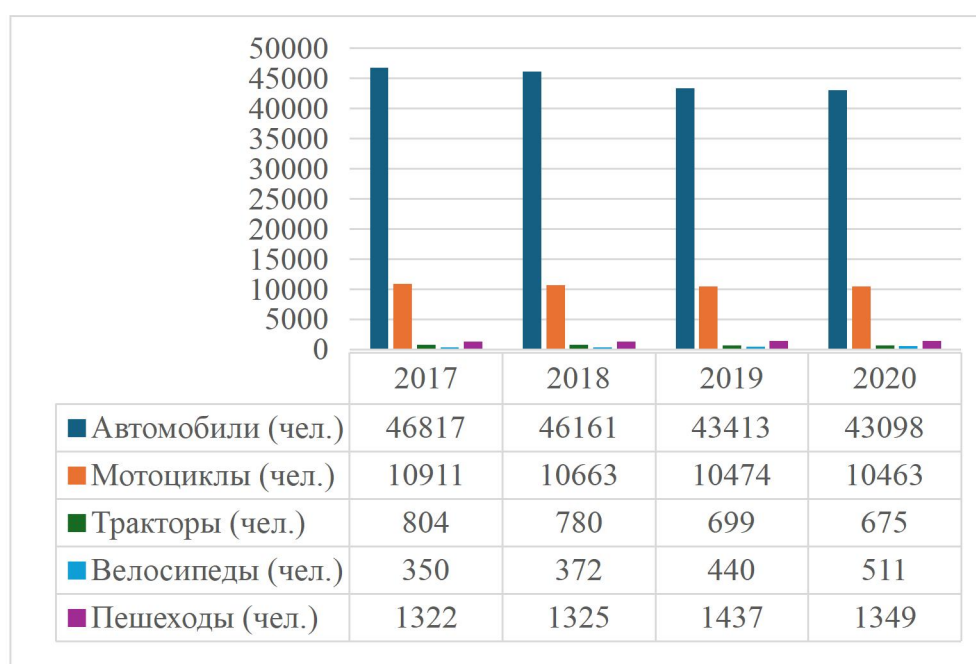


Рис. 1.10 - Динамика количества погибших в ДТП по видам транспортных средств в Китае (2017-2020 гг.)

В ДТП с участием мотоциклов также фиксируется умеренное снижение количественных показателей: число пострадавших сократилось с 55 071 в 2018 году до 53 582 в 2020-м, а количество погибших — с 10 911 до 10 463. Эта позитивная тенденция обусловлена успешной реализацией общенациональной кампании «Один

шлем — одна безопасность», направленной на повышение использования защитных шлемов мотоциклистами, усиление контроля за соблюдением ПДД и рост осведомленности населения о безопасных мерах [75, 81].

В сегменте ДТП с участием тракторов фиксируется устойчивое снижение показателей. Число пострадавших сократилось с 2 114 в 2018 году до 1 490 в 2020-м, а количество погибших — с 804 до 675 за тот же период. Эта позитивная динамика объясняется комплексом факторов, включая модернизацию сельскохозяйственной техники, улучшение состояния сельских дорог и усиление контроля за техническим состоянием спецтехники [54]. Важную роль сыграли внедрение систем мониторинга безопасности сельхозтехники и реализация целевых программ по повышению БДД в сельской местности.

В отличие от позитивной тенденции, зафиксированной для автомобилей, мотоциклов и тракторов, показатели аварийности с велосипедистами и пешеходами демонстрируют устойчивый рост. Количество пострадавших велосипедистов выросло с 1 450 в 2018 году до 2 518 в 2020-м, а число погибших — с 350 до 511 за тот же период. Аналогичная тенденция наблюдается у пешеходов: число пострадавших увеличилось с 1 347 в 2018 году до 2 485 в 2020 году, при этом смертность осталась высокой — 1 349 случаев в 2020 году. Эта динамика обусловлена в основном массовым распространением сервисов аренды велосипедов, активной урбанизацией, низким уровнем осведомленности уязвимых участников движения о правилах безопасности и недостатком специализированной инфраструктуры [58].

Для преодоления негативных тенденций необходимо реализовать комплексные меры государственной политики в сфере безопасности дорожного движения (БДД). Ключевыми направлениями являются: совершенствование нормативно-правовой базы, усиление контроля за соблюдением ПДД, развитие дорожной инфраструктуры с ориентацией на нужды уязвимых участников движения и проведение масштабной

просветительской кампании. Особое внимание следует уделить созданию безопасных условий для велосипедистов и пешеходов, в частности, через развитие специализированной дорожной инфраструктуры, регулирование рынка проката велосипедов и ужесточение мер ответственности за нарушения ПДД [57, 80].

Экономические, социальные и технологические факторы эффективности управления БДД в Китае

Экономическое развитие регионов оказывает существенное влияние на эффективность системы управления БДД. В менее экономически развитых регионах наблюдается дефицит финансирования и недостаток современных технологических ресурсов, что приводит к задержке в модернизации дорожной инфраструктуры и применению устаревших методов регулирования транспортного потока. Это становится серьезным барьером для внедрения современных интеллектуальных систем управления дорожным движением, что, в свою очередь, способствует росту числа ДТП и формированию транспортных заторов.

В отличие от менее развитых регионов, в экономически развитых достаточные финансовые ресурсы и доступ к передовым технологиям позволяют осуществлять масштабные инвестиции в систему управления БДД [62]. ключевыми направлениями таких инвестиций являются: внедрение интеллектуальных систем мониторинга и управления транспортным потоком, усиление контроля за соблюдением ПДД, а также реализация комплексных программ по повышению дорожной грамотности населения. Эти меры способствуют существенному улучшению состояния дорожной инфраструктуры и снижению аварийности. Таким образом, уровень экономического развития выступает ключевым фактором, определяющим как возможности, так и эффективность управления БДД [59].

Урбанизация и интенсификация внутренней миграции обуславливают существенный рост городского населения, что, в свою очередь, ведет к резкому увеличению спроса на транспортные услуги. Параллельно повышение уровня жизни и диверсификация доступного транспорта обуславливают усложнение и расширение спектра мобильных потребностей населения [55].

Эти социально-демографические трансформации ставят перед системой управления БДД новые вызовы, требуя совершенствования методов планирования городских транспортных систем, оптимизации дорожной сети и повышения пропускной способности транспортной инфраструктуры.

Нормативно-правовая база выступает основополагающим элементом системы регулирования БДД. Разработка и реализация государственной политики в этой сфере обеспечивают нормативное регулирование поведения участников дорожного движения и поддержание общественного порядка на транспортных артериях. Однако на региональном уровне недостаточность нормативно-правовой базы, сочетающаяся с низкой эффективностью правоприменительной практики, зачастую препятствует оперативному выявлению и пресечению нарушений ПДД [21].

Технологическое развитие играет ключевую роль в модернизации системы управления БДД. Внедрение современных информационных технологий, таких как ИТС и анализ больших данных, позволяет повысить эффективность управления транспортными потоками. Тем не менее, технологическое отставание отдельных регионов, обусловленное нехваткой финансирования и низким уровнем технической оснащенности, существенно снижает эффективность внедрения инновационных решений. Это негативно сказывается на качестве управления транспортным потоком, эффективности профилактики ДТП и оперативности реагирования на чрезвычайные ситуации [62, 56].

Государственная политика Китая в сфере безопасности дорожного движения (БДД)

В отличие от Японии, США и Великобритании, Китай с 1953 года следует системе пятилетнего планирования экономического и социального развития, советского образца. В рамках этих планов вопросы регулирования дорожного движения всё больше акцентируются. В 2020 году был принят «Четырнадцатый пятилетний план социально-экономического развития Китая и перспективные цели на 2035 год», который определяет стратегические направления развития на 2021–2025 годы. С целью перехода к новому качественному этапу развития системы БДД и устранения региональных диспропорций, в июле 2022 года Государственный совет Китая утвердил «Национальный план БДД на 14-ю пятилетку» [71].

Современная транспортная политика Китая отражает переход от приоритетного развития крупных мегаполисов к средним и малым городам и сельским территориям, вызванный урбанизацией и интеграцией городско-сельских пространств. Однако во многих развивающихся городах сохраняется острый дефицит инфраструктуры для обеспечения БДД. Особую проблему составляет несоответствие между развитой дорожной сетью и отстающей системой управления в 333 окружных и 395 уездных городах. Неэффективное использование имеющихся данных и ресурсов требует комплексных решений, включая применение современных технологий (большие данные, искусственный интеллект, сети 5G), совершенствование нормативно-правовой базы и развитие систем мониторинга, управления рисками и оперативного реагирования [70].

Эти меры направлены на формирование эффективной системы управления БДД на всех уровнях.

В настоящее время проявляется устойчивая тенденция к перераспределению транспортных потоков из крупных городских агломераций в средние и малые города, а также в сельские районы,

обусловленная урбанизацией и интеграцией городско-сельских территорий. Однако на этих территориях сохраняется значительный дефицит инфраструктуры для обеспечения БДД.

Проблема дефицита эффективных систем управления особенно актуальна для 333 окружных и 395 уездных городов. Несмотря на развитую дорожную сеть, в этих городах сохраняется недостаток современных механизмов управления транспортными потоками, что приводит к нерациональному использованию транспортных ресурсов.

Для решения указанных проблем требуется комплексный подход, включающий внедрение современных технологических решений (анализ больших данных, искусственный интеллект, сети 5G) и совершенствование нормативно-правовой базы. Особое внимание уделяется развитию межведомственного взаимодействия между структурами, ответственными за жилищное строительство, дорожное хозяйство, транспортное планирование, правоохранительную деятельность и благоустройство городов. Формируется система управления жизненным циклом дорожной инфраструктуры, охватывающая этапы проектирования, эксплуатации и реконструкции [70].

Не менее важным направлением является формирование единой системы обмена данными о ДТП, способной оперативно выявлять и устранять потенциально опасные участки дорожной сети. Совершенствуется методология оценки рисков через комплексный анализ данных о состоянии дорожного покрытия, характеристиках транспортных средств, поведении водителей и метеорологических условиях. Параллельно обновляется нормативная база, включая пересмотр «Закона Китайской Народной Республики о дорожном движении» и разработку сопутствующих технических стандартов и регламентов.

Выводы по главе

Проведенный анализ тенденций в сфере обеспечения БДД на глобальном уровне выявил устойчивую положительную динамику. Несмотря на значительный рост числа автотранспортных средств в последние десять лет, показатели смертности в результате ДТП демонстрируют тенденцию к снижению. Данный результат достигнут благодаря комплексному совершенствованию нормативно-правового регулирования, модернизации дорожной инфраструктуры и повышению осведомленности населения в вопросах БДД.

Сравнительный анализ международного опыта показал, что страны с низким уровнем экономического развития сталкиваются с существенными трудностями в обеспечении высокого уровня БДД. В то же время, стратегии, применяемые в европейских странах, такие как шведская "Концепция нулевой смертности", нидерландская система "Устойчивая безопасность" и британский "Подход к созданию безопасной системы", продемонстрировали свою эффективность в снижении ДТП.

Анализ практики Китайской народной Республики показал, что рост автомобильного парка сопровождается снижением показателей летальных исходов в ДТП. Однако вызывает беспокойство увеличение числа дорожно-транспортных травм среди уязвимых участников дорожного движения, включая пользователей немеханических транспортных средств и пешеходов. В рамках "Национального плана обеспечения БДД на 14-ю пятилетку" особое внимание уделяется внедрению инновационных технологических решений и межведомственной координации, что формирует методологическую основу для дальнейших исследований, представленных в следующей главе.

Глава 2. Оценка факторов, влияющих на безопасность дорожного движения

2.1 Общие проблемы аварийности в Китае и провинции Шаньдун

Комплексный анализ статистических данных о ДТП занимает центральное место в научных исследованиях в области управления БДД. Такой анализ позволяет выявлять скрытые факторы риска, оптимизировать распределение ресурсов, оценивать эффективность регулирующих мер и разрабатывать инновационные управленческие стратегии. Результаты подобных аналитических исследований служат органам госуправления и правоохранительным структурам научно обоснованной основой для разработки эффективных профилактических мероприятий, направленных на повышение уровня БДД.

В рамках данной работы объектом исследования выступает город Цзинань, являющийся административным центром провинции Шаньдун Китайской Народной Республики. Шаньдун, занимая одно из лидирующих положений в экономике КНР, стабильно удерживает ведущие позиции в национальном рейтинге по объему валового внутреннего продукта.

Интенсивное экономическое развитие региона обусловило экспоненциальный рост уровня автомобилизации. Стремительное увеличение числа легковых и коммерческих ТС вызвало существенное повышение нагрузки на дорожно-транспортную систему, что обусловило рост рисков ДТП.

Кроме того, сочетание демографических факторов — превышение численности постоянного населения 100 млн человек, неравномерное развитие городских и сельских дорожных сетей и неоднородность состава участников дорожного движения — формирует комплексные вызовы для системы управления БДД в провинции [92].

Согласно статистическим данным (табл. 2.1–2.2) , провинция Шаньдун демонстрирует высокий уровень аварийности на национальном уровне. В 2020 году здесь зафиксировано 3 407 случаев смертельного исхода от ДТП (5-е место среди административных единиц КНР) и 11 575 пострадавших (8-е место в общенациональном рейтинге) [87]. Данные свидетельствуют о критической ситуации с ДТП в регионе, что требует незамедлительного внедрения системных мер по повышению БДД.

Табл. 2.1 - Провинции Китая с наибольшим числом погибших в ДТП за 2020 г.

Регион	Число погибших (чел.)	Население (10 тыс. чел.)	Автомобильный парк (10 тыс. ед.)
Гуандун	4 678	12 600	2 497
Хубэй	4 258	5 744,8	1 006
Гуанси	3 882	5 018,7	688
Цзянсу	3 805	8 477,3	190,9
Шаньдун	3 407	11 575	3 085,6
Хунань	3 314	6 645,3	1 541,7
Чжэцзян	3 037	6 468,3	1 586
Гуйчжоу	2 957	3 856,21	1 022
Юньнань	2 525	4 720,9	803,4
Хэнань	2 452	12 643	1 605,9

Табл. 2.2 - Провинции Китая с наибольшим числом пострадавших в ДТП за 2020 г.

Регион	Число пострадавших (чел.)	Население (10 тыс. чел.)	Автопарк (10 тыс. ед.)
--------	---------------------------	--------------------------	------------------------

Регион	Число пострадавших (чел.)	Население (10 тыс. чел.)	Автопарк (10 тыс. ед.)
Хубэй	25 322	5 744,8	1 006
Гуандун	24 662	12 600	2 497
Гуанси	20 519	5 018,7	688
Гуйчжоу	16 216	3 856,21	1 022
Хэнань	12 643	9 941,1	1 605,9
Фуцзянь	12 274	4 161,4	632,7
Цзилинь	11 701	2 399,2	450,3
Шаньдун	11 575	10 200	3 085,6
Сычуань	11 082	8 367,5	1 192,8
Аньхой	10 732	6 104,8	1 474

Сравнительный анализ статистики провинции Шаньдун с другими регионами КНР, демонстрирующими высокие показатели смертности и травматизма в ДТП, указывает на относительно благоприятную ситуацию в провинции (рис. 2.1 -2.3). Графики ключевых относительных показателей — количества погибших на 10 тыс. ТС и на 100 тыс. населения — подтверждают, что показатели Шаньдуна ниже средне национального уровня. Аналогичная тенденция наблюдается в травматизме, что свидетельствует о более высокой эффективности системы контроля БДД по сравнению с аналогичными регионами [18].

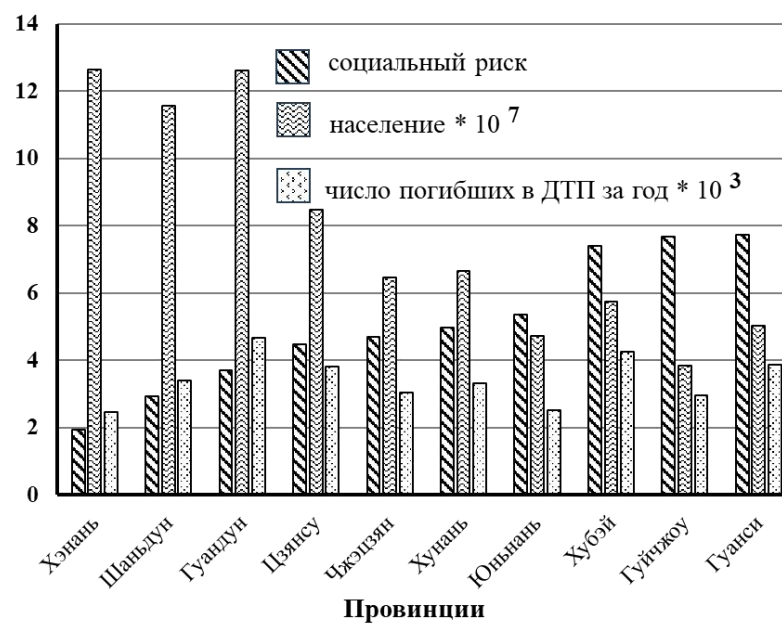


Рис. 2.1 – показатели аварийности в некоторых провинциях КНР

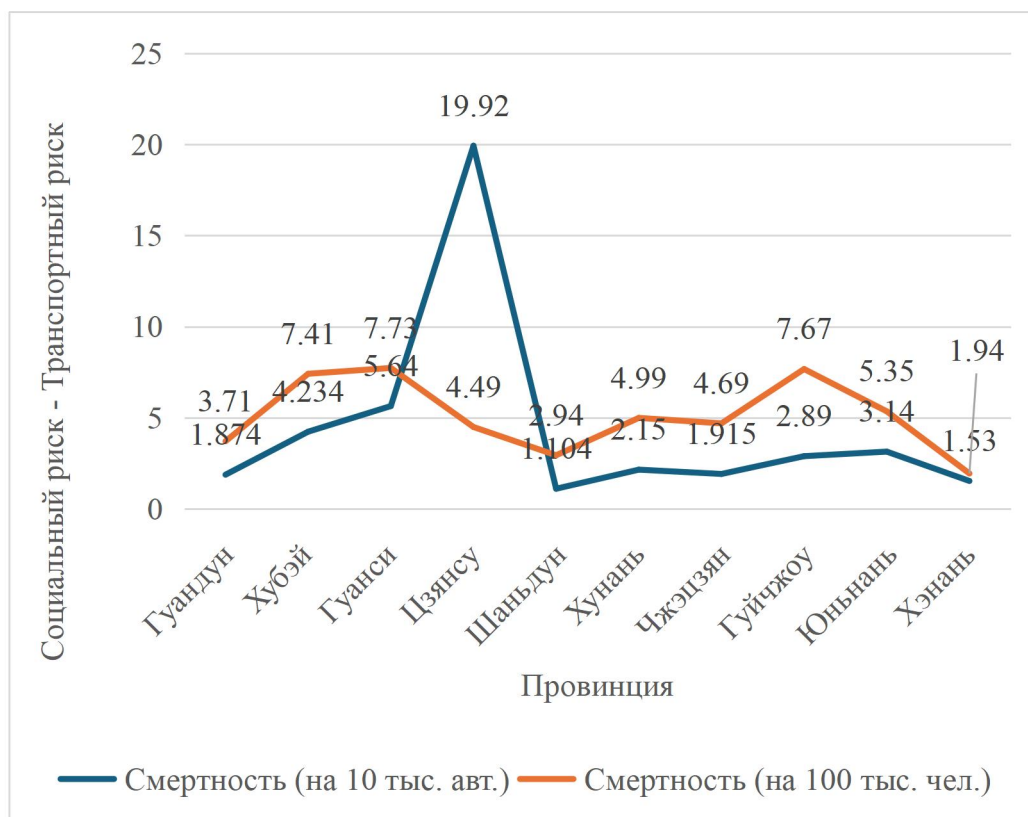


Рис. 2.2 - Коэффициент смертности на 10 000 транспортных средств и смертность на 100 000 населения в топ-10 провинций КНР по смертности в ДТП (2020 г.)

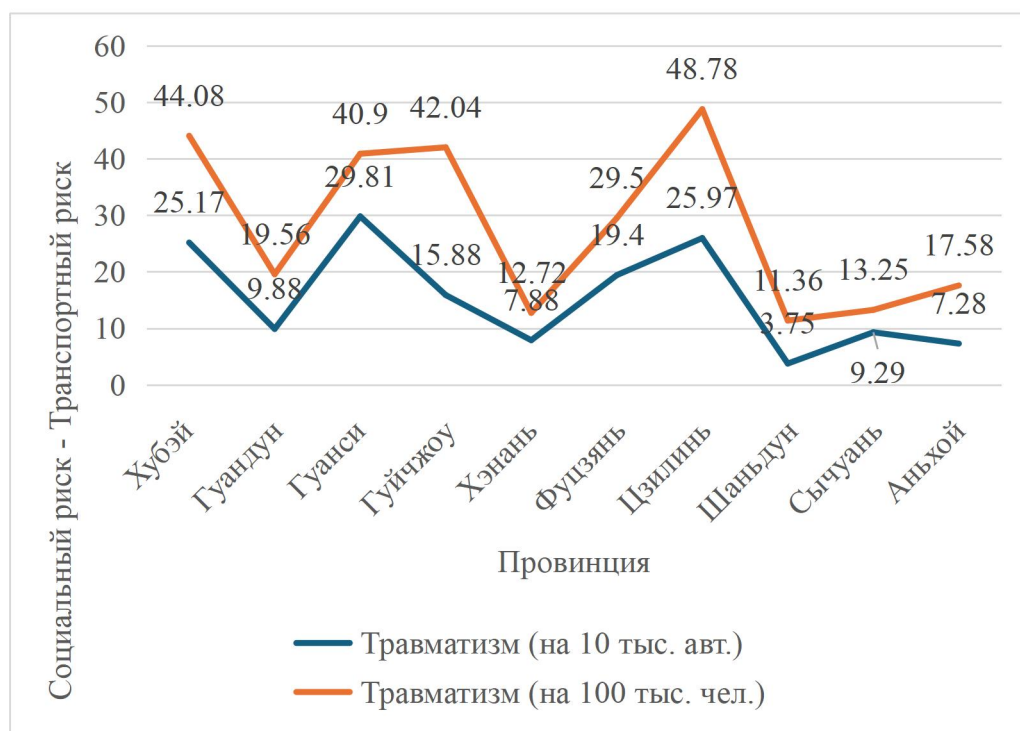


Рис. 2.3 - Коэффициент травматизма на 10 000 транспортных средств и травматизм на 100 000 населения в топ-10 провинций КНР по травматизму в ДТП (2020 г.)

Для более глубокого научного осмысления динамики безопасности дорожного движения были рассмотрены сравнительные показатели как для нескольких провинций, так и детально по городу Цзинань. Исследование охватило провинции с существенным разбросом численности населения — от 38 млн человек в Гуйчжоу до 126 млн в Гуандуне. Данные выявили интересную закономерность: в регионах с населением более 100 млн человек социальный риск оказался значительно ниже. Это ставит под сомнение распространённое представление о том, что социальный риск не зависит от численности населения — видимо, данный показатель испытывает смещение, обусловленное демографическим фактором. Поэтому на основании анализа отчетных данных была получена следующая зависимость со значимым коэффициентом корреляции $r_k = 0,951$:

$$S_r = 0,014 * p + 2,784 * kl - 0,0169 * p * kl, \quad (2.1)$$

Где: p – население региона, млн чел.;

kl – число погибших в ДТП за год, тыс. чел.;

S_r – социальный индекс.

Несмотря на объективно высокие риски, характерные для провинций с мегаполисами и крупным автопарком, Шаньдун демонстрирует успехи в совершенствовании управления БДД. Это подтверждает достижение значимых результатов в сфере БДД, даже при высокой транспортной загрузке и демографической плотности [98].

2.2 Сбор данных о ДТП

Согласно данным, представленным на рисунке 2.4, информационная база ДТП, формируемая дорожной полицией, включает исчерпывающие сведения по каждому зарегистрированному случаю. Перечень учитываемых параметров охватывает обстоятельства происшествия, факторы окружающей среды, тип и характер ДТП, данные об участниках, нарушения ПДД, установленную ответственность, административные аспекты, временные показатели, специальные пометки и еще 88 характеристик. Полный перечень параметров представлен в таблице 2.3.

В рамках данного исследования проанализированы данные о ДТП, зарегистрированных на территории городского округа Цзинань за период 2018–2020 гг.

Поскольку в исходных данных из отчетов о ДТП выявлены такие проблемы, как неполные записи, дублирование информации и ошибки, возникла необходимость в предварительной обработке данных. Эти дефекты существенно снижали пригодность исходного массива для углубленного анализа характеристик дорожных происшествий: некорректные, повторяющиеся или отсутствующие данные могли исказить результаты исследования [46]. Поэтому перед анализом была проведена очистка данных.

По итогам предварительной обработки была сформирована итоговая выборка, включающая 31 ключевой параметр — временные показатели,

место происшествия, метеорологические условия, уровень видимости, причины ДТП, освещенность и другие факторы. Перечень параметров представлен в таблице 2.4. Первоначально выборка составляла 7469 записей; после удаления нерелевантных, дублированных или ошибочных данных для последующего анализа осталось 7221 достоверно зафиксированное ДТП.

Рис. 2.4 - Данные о ДТП дорожной полиции города Цзинань провинции Шаньдун

	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ
1	开始时间	当事人总数	是否酒驾	是否超载	是否涉外事故	1.结束时间	2.车辆间碰撞	地形	出生年月	行政区划	3日内死亡人数	米数	道路线型	能见度	上事故路段公里数	是否典型	3日内受伤人数					7日内受伤人数			单车事故	7日内死亡人数
2	2020-07-22	否	2020年C	2020-07-22	2020-07-22	2020-07-22	2020-07-22	平原	1972-06-05	济阳县	0	700	01	200米以上	37012512194	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	2019-11-23	否	2019年11	2019-11-23	2019-11-23	2019-11-23	2019-11-23	平原	1983-04-17	高新技术	0	200	01	200米以上	3701971215514	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	2018-11-22	否	2018年11	2018-11-22	2018-11-22	2018-11-22	2018-11-22	丘陵	1970-10-26	历城区	0	100	07	50-100米	37011212122	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	2019-05-22	否	2019年5	2019-05-22	2019-05-22	2019-05-22	2019-05-22	平原	1971-12-27	370116	0	100	01	100-200米	370198121005	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	2019-03-22	否	杨廷清	2019-03-22	2019-03-22	2019-03-22	2019-03-22	平原	1977-03-23	商河县	0	100	01	200米以上	37012612165	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	2019-10-23	否	2019年10	2019-10-23	2019-10-23	2019-10-23	2019-10-23	平原	1971-10-01	德州市	1	300	01	200米以上	37018112121	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	2018-11-22	否	省道248线	2018-11-22	2018-11-22	2018-11-22	2018-11-22	平原	1988-12-07	商河县	0	600	01	100-200米	37012612173	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	2020-04-15	否	2020年4	2020-04-15	2020-04-15	2020-04-15	2020-04-15	平原	1974-03-22	天桥区	0	1	01	200米以上	370105121960	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	2020-03-14	否	2020年3	2020-03-14	2020-03-14	2020-03-14	2020-03-14	平原	1968-02-12	历城区	0	1	01	50-100米	370102121000	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	2019-03-13	否	2019年3	2019-03-13	2019-03-13	2019-03-13	2019-03-13	平原	1988-02-27	370116	0	10	02	50-100米	3701981219000	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	2020-08-12	否	商河县	2020-08-12	2020-08-12	2020-08-12	2020-08-12	平原	1987-05-07	商河县	0	1	01	50-100米	3701261219501	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	2020-10-12	否	2020年10	2020-10-12	2020-10-12	2020-10-12	2020-10-12	平原	1955-12-07	德州市	0	500	01	50-100米	370181121473	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	2018-08-12	否	2018年8	2018-08-12	2018-08-12	2018-08-12	2018-08-12	平原	1978-01-26	德州市	0	2	01	200米以上	37018112122	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	2018-07-22	否	2018年7	2018-07-22	2018-07-22	2018-07-22	2018-07-22	平原	1991-02-03	长清区	0	300	01	200米以上	37011312127	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	2018-06-13	否	2018年6	2018-06-13	2018-06-13	2018-06-13	2018-06-13	平原	1963-06-23	济阳县	1	500	01	200米以上	3701251219000	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	2019-05-11	否	2019年5	2019-05-11	2019-05-11	2019-05-11	2019-05-11	平原	1968-10-18	天桥区	1	250	01	100-200米	370105121450	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	2020-11-12	否	2020年11	2020-11-12	2020-11-12	2020-11-12	2020-11-12	平原	1963-07-12	济阳县	0	0	01	50-100米	370125121206	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	2018-08-14	否	2018年8	2018-08-14	2018-08-14	2018-08-14	2018-08-14	平原	1970-02-08	槐荫区	0	20	01	50-100米	3701041213001	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	2020-06-12	否	2020年6	2020-06-12	2020-06-12	2020-06-12	2020-06-12	平原	1945-08-13	天桥区	0	30	01	200米以上	3701051214004	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	2020-08-12	否	2020年8	2020-08-12	2020-08-12	2020-08-12	2020-08-12	平原	1992-07-14	德州市	0	100	01	200米以上	37018112122	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	2020-04-12	否	2020年4	2020-04-12	2020-04-12	2020-04-12	2020-04-12	平原	1970-03-17	德州市	0	500	01	100-200米	37018112193	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	2020-10-12	否	2020年10	2020-10-12	2020-10-12	2020-10-12	2020-10-12	平原	1956-06-10	370117	0	0	01	200米以上	3701171219000	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	2018-06-12	否	2018年6	2018-06-12	2018-06-12	2018-06-12	2018-06-12	平原	1972-08-12	商河县	1	50	01	200米以上	37012612126	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	2020-03-12	否	2020年3	2020-03-12	2020-03-12	2020-03-12	2020-03-12	平原	1978-10-20	德州市	1	300	01	200米以上	37018112125	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	2018-11-22	否	2018年11	2018-11-22	2018-11-22	2018-11-22	2018-11-22	平原	1965-12-03	济阳县	0	900	01	50-100米	37012512169	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
27	2020-05-12	否	2020年5	2020-05-12	2020-05-12	2020-05-12	2020-05-12	平原	1987-04-08	高新技术	0	0	01	200米以上	3701971215506	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	2020-10-19	否	2020年10	2020-10-19	2020-10-19	2020-10-19	2020-10-19	平原	1990-12-09	历城区	0	1	01	200米以上	370102121001	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	2020-12-12	否	2020年12	2020-12-12	2020-12-12	2020-12-12	2020-12-12	平原	1969-05-12	商河县	0	100	01	100-200米	37012612121	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30	2019-02-22	否	2019年2	2019-02-22	2019-02-22	2019-02-22	2019-02-22	平原	1949-04-01	槐荫区	0	100	01	100-200米	3701041213006	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
31	2018-08-12	否	2018年8	2018-08-12	2018-08-12	2018-08-12	2018-08-12	平原	1987-04-07	历城区	0	0	01	200米以上	37011212121	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
32	2018-07-12	否	2018年7	2018-07-12	2018-07-12	2018-07-12	2018-07-12	平原	1969-04-16	商河县	0	200	01	200米以上	37012612125	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
33	2018-04-12	否	2018年4	2018-04-12	2018-04-12	2018-04-12	2018-04-12	平原	1947-11-07	天桥区	1	500	01	200米以上	370124121496	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
34	2018-11-12	否	2018年11	2018-11-12	2018-11-12	2018-11-12	2018-11-12	平原	1982-06-01	天桥区	0	100	01	50米以下	3701051214000	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
35	2020-12-12	否	2020年12	2020-12-12	2020-12-12	2020-12-12	2020-12-12	平原	1980-06-02	天桥区	0	1	01	50-100米	3701031219000	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Табл. 2.3 - параметры данных ДТП

№ п/п	Наименование показателя в базе данных ДТП
	Информация о людях
1	Количество пострадавших
2	Количество погибших
3	Число тяжелораненых
4	Число легкораненых
5	Степень тяжести травм (3 дня)
6	Степень тяжести травм (24 часа)
7	Уровень травматизма
8	Число погибших на месте
9	Смертность в течение 3 дней
10	Смертность в течение 7 дней
11	Смертность в течение 30 дней
12	Травматизм в течение 30 дней
13	Травматизм в течение 3 дней
14	Травматизм в течение 7 дней

№ п/п	Наименование показателя в базе данных ДТП
15	Смертность за 24 часа
16	Травматизм за 24 часа
17	Число пропавших без вести
18	Смерти после неудачной реанимации
19	Время смерти
20	Тип участника
21	Возраст
22	Пол
23	Дата рождения
24	Место происхождения
25	Национальность
26	Гражданство
27	Уровень образования
28	Тип водителя
29	Категория водительского удостоверения
30	Разрешенная категория ТС
31	Общее число участников
32	Количество пешеходов
33	Состояние пешеходов
34	Скорость пешехода
Погодные условия	
1	Время происшествя ДТП
2	Место ДТП
3	Условия освещения
4	Конструкция дорожного покрытия
5	Состояние покрытия
6	Видимость
7	Тип дороги
8	Атрибуты безопасности дороги
9	Способ регулирования движения
10	Рельеф местности
11	Положение в поперечном сечении дороги
12	Тип перекрестка/участка
13	Геометрия дороги
14	Физическое разделение полос
15	Средства разделения проезжих частей
16	Тип обочинных защитных сооружений
17	Типичность ДТП
18	Тип внедорожного происшествия
19	Факт повторного ДТП
Административно-временные данные	
1	Административное деление

№ п/п	Наименование показателя в базе данных ДТП
2	Управляющая административная единица
3	Время начала осмотра
4	Время окончания осмотра
5	Номер дела
6	День недели
7	Название дороги
8	Номер дороги
9	Метраж
10	Километраж
11	Стартовый метраж
Тип и форма ДТП	
1	Классификация ДТП
2	Способ столкновения
3	Форма ДТП
4	ДТП с одним ТС
5	Столкновение ТС
6	Марка ТС
7	Модель ТС
8	Тип ТС
9	Назначение ТС
10	Назначение ТС (по данным регистрации)
Нарушения и ответственность	
1	Причина ДТП
2	Классификация причин ДТП
3	Ответственность за ДТП
4	Основное нарушение
5	Дополнительное нарушение 1
6	Дополнительное нарушение 2
7	Факт оставления места ДТП
Специальные отметки	
1	Перевозка опасных грузов
2	Иностранное участие
3	Прямой материальный ущерб
4	Номинальная грузоподъемность
5	Фактическая загрузка

Табл. 2.4 — Параметры окончательной выборки данных ДТП

№ п/п	Наименование показателя в базе данных ДТП
1	Смертность в течение 30 дней
2	Травматизм в течение 30 дней
3	Время происшествия
4	Время начала осмотра места происшествия
5	Краткое описание инцидента

6	ДТП с одним ТС
7	Прямой материальный ущерб
8	Тип ДТП
9	Смертность после реанимации
10	Форма ДТП
11	Количество пешеходов
12	Уровень травматизма
13	Время смерти
14	Стаж вождения
15	Уровень образования
16	Пол
17	Возраст
18	Столкновение ТС
19	Количество немоторизованных участников
20	Конструкция дорожного покрытия
21	Тип дороги
22	Способ регулирования движения
23	Рельеф местности
24	Геометрия дороги
25	Средства разделения проезжих частей
26	Физическое разделение полос
27	Положение в поперечном сечении дороги
28	Тип перекрестка/участка
29	Погодные условия
30	Тип обочинных защитных сооружений
31	Условия освещения

2.3 Факторы, связанные с поведением человека

Предварительный анализ взаимосвязи между стажем вождения и частотой ДТП в городском округе Цзинань выявил характерные закономерности, наглядно иллюстрируемые на рисунке 2.5. Наибольшую группу риска составляют лица с нулевым водительским стажем (1650 случаев), включая начинающих водителей (без годового опыта управления ТС), лиц без официальных водительских прав и пользователей немоторизованных средств передвижения. Эти данные указывают на серьёзную проблему: недостаточная подготовка значительной части

водителей, незрелость их практических навыков и низкий уровень осознания важности соблюдения ПДД .

При анализе статистики по другим категориям водительского стажа выявляется тенденция к повышенной частоте ДТП среди водителей с опытом 7–9 годами. Зарегистрировано 407, 358 и 456 случаев соответственно. Эта тенденция, вероятно, связана с периодом массовой выдачи водительских прав на фоне быстрого роста автомобильного парка города. Исследования показывают, что водители этой группы часто демонстрируют противоречие между наличными техническими навыками и недооценкой рисков.

Этот феномен усугубляется интенсивной эксплуатацией ТС (профессиональная деятельность, семейные и деловые поездки), частым управлением автомобиля в уставшем состоянии и склонностью к рискованным маневрам — в совокупности это повышает риск ДТП [22].

Анализ динамики ДТП выявил стабильную тенденцию к сокращению аварийности среди водителей с опытом управления транспортными средствами 10–15 лет. Это свидетельствует о постепенном улучшении их водительских навыков и формировании более ответственного отношения к БДД — в целом это снижает риск ДТП, но лишь в определённой степени. Вместе с тем, отмечены низкие уровни аварийности среди водителей со стажем более 20 лет. Это требует углублённого анализа с учётом ряда факторов: возрастная структура водителей, исторические особенности роста автомобилизации, специфика вождения пожилых участников дорожного движения и снижение их мобильности [22].

Таким образом, анализ распределения ДТП в зависимости от стажа вождения в городе Цзинань выявил характерную закономерность, включающую несколько ключевых аспектов: существенное количество ДТП среди начинающих водителей и лиц, не имеющих официального водительского удостоверения, стабильно высокий уровень ДТП среди водителей со средним стажем, а также относительное снижение количества ДТП в группах с длительным стажем вождения.

Данная тенденция обусловлена несколькими факторами. Во-первых, различия в уровне профессиональных компетенций и устойчивых поведенческих паттернов водителей на различных этапах их профессиональной деятельности играют ключевую роль. Во-вторых, дисбаланс в структуре численности различных возрастных групп водителей, возникающий вследствие активного роста автомобильного парка, оказывает влияние на общие статистические показатели ДТП. В-третьих, различия в транспортных потребностях и моделях эксплуатации ТС также влияют на уровень аварийности. Кроме того, потенциальное влияние методологии учета, охватывающей водителей немоторизованных ТС, также требует учета при анализе и интерпретации данных.

Влияние уровня образования водителей на особенности их вождения

Многочисленные научные исследования подтверждают статистически значимую взаимосвязь между уровнем образования водителей и особенностями их поведения при управлении транспортным средством. В настоящем исследовании все водители были классифицированы по уровню образования для проведения детального анализа:

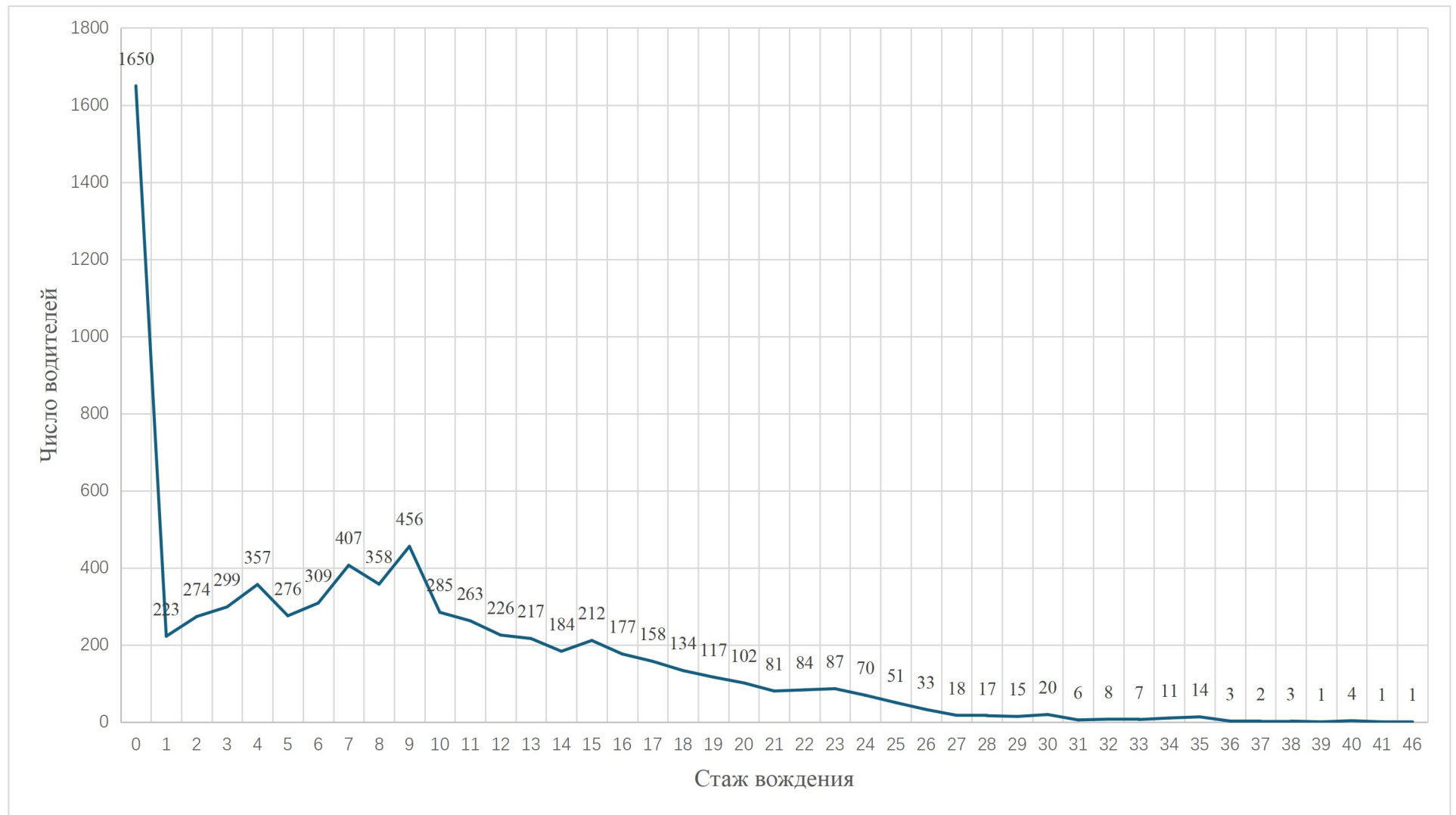


Рис. 2.5 - Количество ДТП, вызванных водителями с различным стажем вождения

Первая категория: водители без образования или с начальным/неполным средним образованием

Согласно «Закону КНР об обязательном образовании», принятому 12 апреля 1986 года на четвертой сессии Шестого Всекитайского собрания народных представителей, в Китае была введена единая девятилетняя система обязательного обучения. Данная законодательная инициатива гарантировала право на образование для детей и подростков соответствующего возраста, что привело к значительному повышению общего уровня образованности населения. В настоящее время подавляющее большинство граждан КНР младше 45 лет обладают как минимум начальным или неполным средним образованием. Примечательно, что водители в возрастной группе от 20 до 45 лет составляют приблизительно 70% от общего числа владельцев водительских удостоверений в стране.

Анализ данных, представленных на Рисунке 2.6, выявил следующие закономерности в поведении водителей, не имеющих образования или имеющих лишь начальное/неполное среднее образование.



Рис. 2.6 - Доля различных типов поведения водителей без образования или с начальным-неполным средним образованием в структуре ДТП

Наибольшее количество ДТП (1445 случаев) связано с нарушением, классифицируемым как «иные действия, влияющие на безопасность дорожного движения». К данной категории относятся различные второстепенные нарушения, включая невнимательность при управлении транспортным средством, использование мобильных устройств и ведение телефонных разговоров во время движения — это свидетельствует о систематическом пренебрежении правилами безопасности.

Вторым по распространённости нарушением является «несоблюдение правил приоритета» (969 ДТП), что указывает на низкий уровень кооперативного поведения водителей в дорожных ситуациях. В то же время нарушения, связанные с управлением транспортным средством в состоянии алкогольного опьянения и вождением без прав, привели к 308 и 307 ДТП соответственно — это нарушения с высоким риском для безопасности дорожного движения.

Впервые в исследовании выявлены существенные различия в уровне аварийности в зависимости от образования водителей. Статистический анализ распределения ДТП по образовательному уровню показал: наибольшее число инцидентов (3629 случаев) зафиксировано среди водителей с начальным образованием (не завершивших неполное среднее), 863 ДТП — среди водителей с неполным средним образованием, и 353 случая — среди тех, кто имеет только начальное образование. В совокупности эти группы (лица с начальным и средним образованием) стали виновниками 69,67% (5031 случай) всех ДТП. Основные нарушения в этой категории водителей напрямую коррелируют с ранее выявленными высокорисковыми типами поведения: отвлечение внимания (использование мобильных устройств) — перекликающееся с самой частой категорией «иные действия», несоблюдение правил приоритета (969 случаев) — второе по распространённости нарушение, и управление транспортным средством в состоянии алкогольного опьянения (308 случаев). Всё это указывает на недостаточное усвоение ПДД и неспособность адекватно оценивать дорожные риски.

Табл. 2.5 – результаты дисперсионного анализа для оценки различий для 15 видов нарушений ПДД при ДТП

Изменчивость	Средний квадрат	Число степеней свободы	Квадрат ошибки	Критерий Фишера
Между выборками для водителей с начальным, средним образованием и высшим образованием	1594283	15	106285,5	2,28969
Между видами нарушений ПДД при ДТП для данных категорий водителей	462769,2	1	462769,2	9,969352
Взаимодействие	696287,8	15	46419,19	

Представленные данные подтверждают статистически значимую связь между низким образовательным уровнем и повышенным риском ДТП.

Дисперсионный анализ 15 факторов, влияющих на аварийность, дополнительно подтверждает достоверность этих различий: причины ДТП в группах с разным образованием статистически не перекрываются (табл. 2.5). Это усиливает вывод о том, что низкий уровень образования — существенный предиктор вовлечения в ДТП, вероятно, из-за дефицита знаний о ПДД и сниженной когнитивной способности к оценке рисков [49].

Вторая категория: водители со средним общим или средним профессиональным образованием

Анализ ДТП, совершенных водителями со средним общим или средним профессиональным образованием, представленных в Рисунке 2.7, выявил, что доминирующей причиной ДТП (378 случаев) стало нарушение, отнесенное к категории «иные действия, влияющие на безопасность дорожного движения». Это свидетельствует о том, что даже наличие соответствующего образования не исключает риска совершения нарушений, связанных с незначительными отклонениями от ПДД.

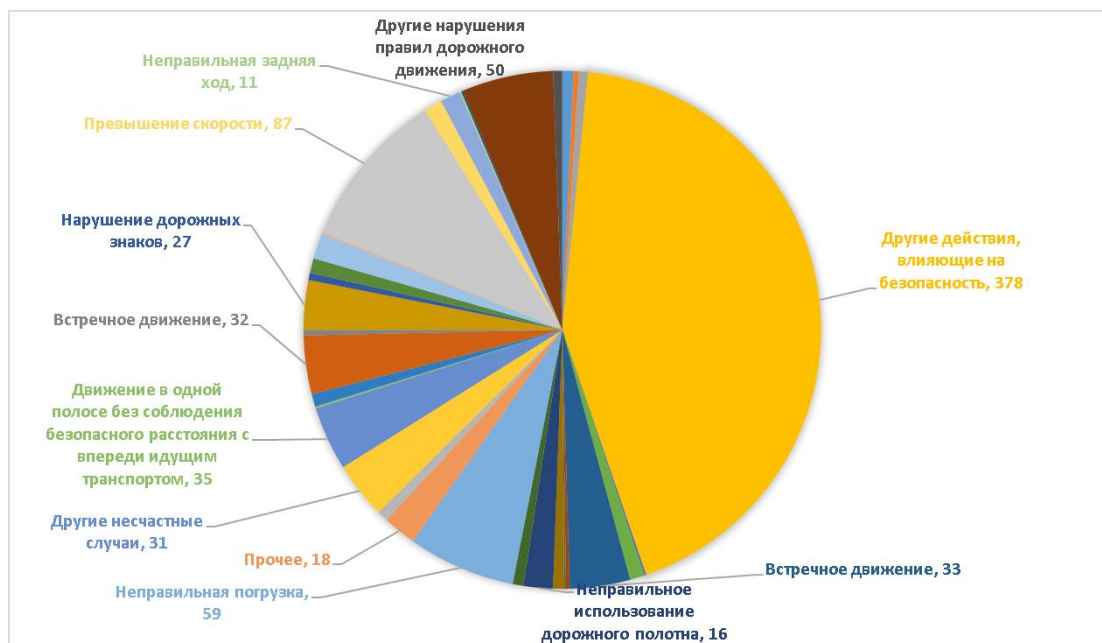


Рис. 2.7 - Количественное распределение и доля нарушений ПДД водителями с полным средним общим или профессиональным образованием в структуре ДТП

Согласно Рисунку 2.7, второе место по частоте регистрации ДТП заняло нарушение правил приоритета (181 случай). Особую опасность для БДД представляют грубые нарушения ПДД, такие как управление ТС в состоянии алкогольного опьянения (81 случай) и проезд на красный сигнал светофора (71 случай), которые относятся к категории грубых нарушений ПДД и создают прямую угрозу БДД [39].

Третья категория: водители с высшим образованием

Согласно Рисунку 2.8, анализ причин ДТП, совершенных данной категорией водителей, выявил, что доминирующей причиной (329 случаев) стали нарушения категории «иные действия, влияющие на безопасность дорожного движения». К ним относятся: отвлечение внимания при управлении ТС, игнорирование дорожной разметки и знаков, а также управление ТС в состоянии утомления. Второе место по частоте регистрации нарушений заняло несоблюдение правил очередности проезда (147 ДТП). Особую опасность для БДД представляют случаи управления ТС в состоянии алкогольного опьянения — грубые нарушения ПДД, ставшие причиной 87 ДТП.

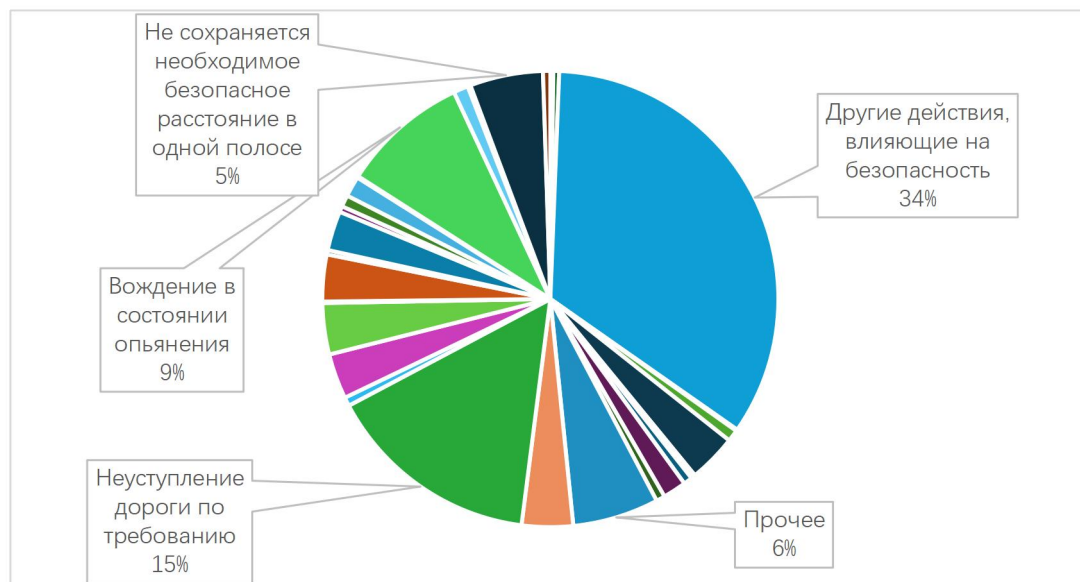


Рис. 2.8 - Доля различных моделей поведения водителей с образованием частных вузов, колледжей и университетов в структуре ДТП

Четвертая категория: водители с послевузовским образованием (магистры и доктора наук)

Анализ причин ДТП, совершенных водителями с учеными степенями (магистры и доктора наук), выявил следующую структуру нарушений.

Доминирующей причиной стали нарушения категории «иные действия, влияющие на безопасность дорожного движения» (13 случаев). Также зафиксировано 5 ДТП из-за несоблюдения правил очередности проезда. Особое внимание заслуживают специфические нарушения: выполнение запрещённого разворота и несоблюдение безопасной дистанции (по 2 случая каждое). Несмотря на ограниченный объём статистики по данной группе, результаты имеют важное научное значение: они позволяют выявить характерные поведенческие модели водителей с высшим образованием [39].

Общий анализ выявил значительные различия в структуре и причинах ДТП между группами водителей с разным уровнем образования. В частности, наблюдается тенденция к снижению абсолютных показателей грубых нарушений ПДД с ростом уровня образования: например, управление ТС без документов или вождение в

нетрезвом виде. Однако стабильно высокие показатели «мелких нарушений» и рассеянности при управлении ТС — такие нарушения классифицируются как «иные действия, влияющие на БДД».

Анализ влияния пола и возраста водителей на ДТП

Возраст и пол водителей являются значимыми факторами, влияющими на частоту и тяжесть ДТП. Молодые водители, в силу недостатка опыта и осознания рисков, чаще допускают ошибки в управлении ТС и склонны к рискованному поведению. В то время как водители старшего возраста, несмотря на богатый опыт, могут сталкиваться с возрастным снижением когнитивных функций и замедлением реакции, что затрудняет адаптацию к динамичным условиям дорожного движения. Кроме того, с возрастом меняются потребности и модели участия в дорожном движении [51.85].

Проведенный анализ выявил существенные различия в поведенческих моделях водителей в зависимости от гендерной принадлежности. Женщины-водители демонстрируют определенные трудности при оперативном реагировании на внезапные изменения дорожной ситуации, однако при этом проявляют более высокую склонность к использованию общественного транспорта, характеризующегося относительно низким уровнем аварийности. В противоположность этому, мужчины-водители статистически реже пользуются услугами общественного транспорта, что объективно повышает вероятность их вовлечения в ДТП.

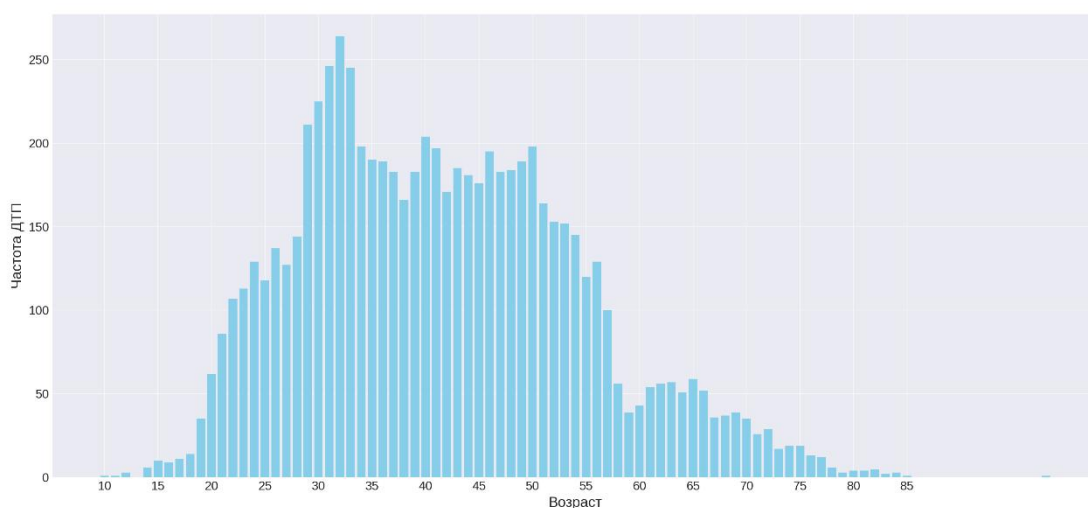


Рис. 2.9 - Количество ДТП по возрастным группам водителей

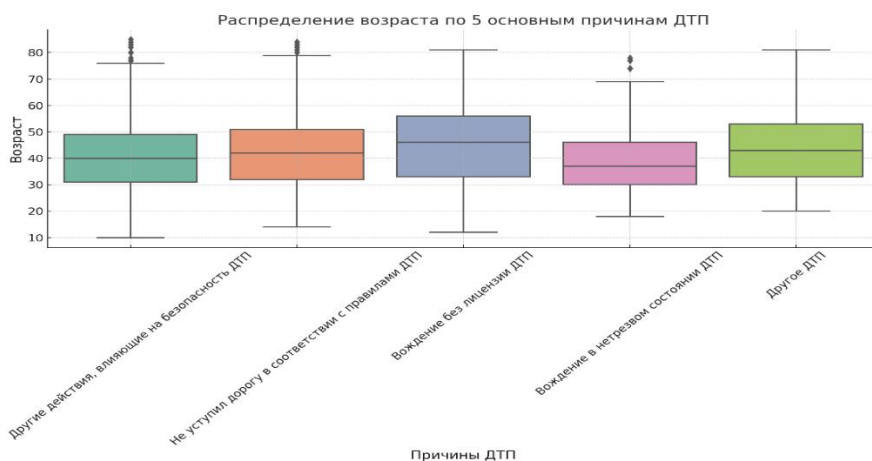


Рис. 2.10 - Возрастное распределение пяти основных нарушений ПДД, наиболее значимо влияющих на возникновение ДТП

Рисунки 2.9 и 2.10 соответственно демонстрируют возрастное распределение участников ДТП и пять основных причин аварийности. Прежде всего, выявляется закономерность: гистограмма Рисунка 2.8 отражает, что наибольшая доля вовлеченных в ДТП лиц (30–50 лет) приходится на возрастную группу с максимальной численностью населения. Эта корреляция может объясняться комплексом факторов: как объективными демографическими характеристиками, так и потенциально более высоким уровнем аварийности или частотой фиксации нарушений именно в этой группе [64].

Далее, анализ распределения возраста водителей по типам нарушений (данные представлены в отдельной визуализации) включает средние показатели, типичные диапазоны и редкие случаи. Результаты подтверждают: наиболее распространённой категорией нарушений остаются «иные действия, влияющие на безопасность дорожного движения», за которыми следуют «нарушение правил очередности проезда» и «управление ТС в состоянии алкогольного опьянения». Выявленные паттерны свидетельствуют о системных проблемах: сниженной концентрации внимания при управлении ТС, недостаточном соблюдении ПДД и склонности к рискованным моделям

поведения. Особого внимания заслуживает статистическая закономерность: случаи ДТП, связанные с алкогольным опьянением, достоверно чаще регистрируются среди молодых водителей.

Статистические данные выявляют значительную гендерную асимметрию среди участников ДТП. Мужчины-водители составляют 86,06% от общего числа зарегистрированных ДТП, тогда как женщины-водители — всего 13,93%. Эти показатели обладают высокой аналитической значимостью для анализа дифференцированных рисков ДТП с учетом социально-демографических характеристик.

2.4 Факторы, связанные с состоянием транспортных средств

Учитывая значительное разнообразие видов дорожного транспорта, первостепенной задачей является организация статистического учета численности ТС различных категорий с последующей их систематизацией. Малораспространенные типы ТС целесообразно агрегировать в более общие классификационные группы.

Классификация транспортных средств:

- Легковые автомобили — наиболее массовая категория, включающая стандартные пассажирские ТС;
- Мототранспортные средства — объединяющие традиционные двух- и трехколесные мотоциклы, а также облегченные двухколесные модели;
- Автобусный транспорт — охватывающий малогабаритные и стандартные автобусы различных модификаций;
- Грузовые автомобили — включающие тяжелые и легкие грузовики общего назначения, а также специализированную технику (тяжелые самосвалы);
- Грузовые фургоны — представляющие собой малогабаритные ТС для перевозки грузов;

- Сельскохозяйственная техника — представляющая собой тракторы и прочие специализированные транспортные средства аграрного назначения;
- Прочие транспортные средства — включающие технику, не подпадающую под четкие классификационные критерии.

Как показано в Таблице 2.6, на основе разработанной классификации проведена группировка дорожных ТС с учетом года их выпуска, проанализированы тенденции ДТП по различным категориям транспорта и изучена динамика их изменения за годы.

Табл.2.6 - Количество ДТП по типам транспортных средств

Категория	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Легковые автомобили	629	896	832
Мотоциклы	504	709	574
Автобусы	304	432	436
Грузовые автомобили	369	474	375
Малые фургоны	75	103	75
Тракторы и сельхозтехника	13	9	24
Прочие транспортные средства	119	138	131

Согласно статистике ДТП по категориям ТС, легковые автомобили в 2018–2020 гг. стабильно имели повышенный уровень аварийности относительно других видов транспорта. Их динамика характеризовалась первоначальным ростом, сменившимся незначительным снижением. Ключевыми факторами этой ситуации являются: стремительный рост числа личных автомобилей, постоянное увеличение нагрузки на городскую дорожную сеть, недостаточный уровень знаний о БДД у части водителей, а также типы ДТП, характерные для городского движения (столкновения, наезды), вызванные формированием пробок.

Статистика показывает, что по количеству ДТП мотоциклы уступают только легковым автомобилям. Например, в 2019 г. зафиксирован значительный рост числа ДТП с участием мотоциклов по сравнению с 2018 г., а в 2020 г., несмотря на некоторое снижение, уровень аварийности остался выше показателей 2018 г. Эта тенденция объясняется стремительным

развитием новых экономических секторов, особенно служб доставки еды и курьерских услуг в Китае, что привело к существенному росту интенсивности использования мототранспорта в центральных и окраинных городских районах. Характер работы с жесткими временными лимитами способствует формированию рискованного стиля вождения, включая постоянное отвлечение на смартфоны для контроля заказов и планирования маршрута. При этом относительно низкий уровень пассивной безопасности мотоциклов в сочетании с распространенными нарушениями ПДД (езда без шлема, хаотичные перестроения, проезд на красный свет, использование телефона за рулем) повышает риск ДТП [83, 86].

Статистика ДТП показывает существенный рост числа аварий с участием автобусов в 2019 г., при этом данная тенденция продолжила усиливаться и в 2020 г. Несмотря на то, что абсолютные значения аварийности автобусов оставались ниже показателей легковых автомобилей и мотоциклов, каждое такое происшествие связано с повышенным риском серьезных социальных последствий и значительного материального ущерба для пассажиров. Основной причиной роста аварийности стало расширение городских транспортных сетей и увеличение числа маршрутов, что привело к существенному росту общего пробега автобусов и, в свою очередь, повысило вероятность ДТП.

Дополнительными факторами риска выступают недостатки в системах планирования смен и организации труда водителей в ряде автопредприятий, а также сложные условия городского движения — особенно в часы пик, когда частые маневры автобусов (при подъезде к остановкам и отъезде от них) существенно увеличивают вероятность ДТП [96].

Статистика ДТП с участием грузового транспорта за 2018–2020 гг. показывает выраженную волнообразную динамику: сначала — значительный рост показателей, затем — существенное снижение. Рост аварийности в 2019 г. частично объясняется активизацией грузоперевозок, связанной с экономическим ростом и реализацией масштабных инфраструктурных проектов.

Однако в 2020 г. под влиянием ограничений из-за пандемии COVID-19 и иных макроэкономических факторов наблюдалось временное сокращение объемов перевозок, что привело к падению числа ДТП до уровней, сопоставимых с 2018 годом. Следует подчеркнуть: учитывая большую массу и высокую инерционность грузовиков, ДТП с их участием, как правило, приводят к более тяжелым последствиям для БДД.

Проведенный комплексный анализ эксплуатационных характеристик и условий использования грузового транспорта обосновал необходимость усиления контроля за ключевыми факторами риска: перегрузом ТС, утомляемостью водителей и неисправностями тормозных систем. Перспективными направлениями снижения аварийности являются внедрение систем интеллектуального мониторинга, введение временных и территориальных ограничений движения, а также реализация технологий динамического управления опасными участками дороги и периодами повышенной аварийности [41].

Согласно статистике ДТП, общее количество аварий с участием малотоннажных грузовиков, тракторов, сельскохозяйственной техники и прочих ТС сохранялось на относительно низком уровне. Однако за период 2018–2020 гг. отмечались значительные колебания показателей. Наибольший рост числа ДТП зафиксирован в 2019 г. в сегменте малотоннажных грузовиков, после чего в 2020 г. значения вернулись к уровням 2018 года. При этом в 2020 г. количество ДТП с участием тракторов и сельхозтехники продемонстрировало резкий скачок, практически удвоившись по сравнению с совокупными показателями за предыдущие два года. В категории «прочие ТС» статистические показатели имели незначительные колебания без выраженных межгодовых различий [89].

Общей характеристикой упомянутых категорий ТС является их относительно скромная доля в общем числе ДТП по сравнению с основными видами транспорта (легковыми автомобилями, мотоциклами). Однако они способны демонстрировать повышенную аварийность и иметь

специфические эксплуатационные сложности в определенных условиях или регионах.

В частности, малотоннажные грузовики, широко применяемые для городских поставок и коротких перевозок, подвержены повышенному риску ДТП из-за вынужденных остановок в неотведенных местах или столкновений, обусловленных ограниченной видимостью при городских пробках и необходимостью соблюдать жесткий график доставки. Тракторы и сельхозтехника в основном используются на сельских дорогах с низкими проектными стандартами и сложными покрытиями — здесь недостаточная квалификация водителей или их незнание ПДД повышают риск тяжелых ДТП с пострадавшими. Категория «прочие ТС» объединяет разнообразный парк специализированных, зачастую модифицированных ТС — контроль за такими ТС затруднен, что создает дополнительные барьеры для внедрения мер по предотвращению ДТП.

2.5 Факторы, связанные с состоянием дороги

Город Цзинань занимает стратегически важное географическое положение — перекресток северных и восточных регионов Китая. Он выполняет роль ключевого транспортного узла, связывающего столичный экономический пояс (на севере) с дельтой реки Янцзы (на юге). В широтном направлении Цзинань обеспечивает транспортную связь между Шаньдунским полуостровом и центральными районами страны, что позиционирует его как ключевой логистический центр в рамках Бохайского экономического кольца и экономического коридора Пекин–Шанхай. Провинция Шаньдун характеризуется высоким уровнем развития транспортной инфраструктуры, что проявляется в высокой плотности сети скоростных автомагистралей, эффективной интеграции дорог различных категорий и высоком качестве дорожного покрытия [20].

Как показывает Рисунок 2.11, Цзинань, будучи административным центром провинции Шаньдун, располагает развитой дорожной сетью,

обеспечивающей транспортную связность как внутри провинции, так и с другими регионами страны. Основу транспортной инфраструктуры города формируют национальные автомагистрали, такие как G3, G35, G22 и G20. Кроме того, Цзинань имеет выход на ключевые скоростные магистрали: Пекин–Шанхай, Цзинань–Циндао, кольцевую автодорогу Цзинань и трассу Цзинань–Дуньин.

На уровне городской дорожной инфраструктуры Цзинань последовательно совершенствует внутригородскую транспортную систему за счет строительства и модернизации магистральных/второстепенных дорог, реконструкции развязочных узлов, скоростных артерий и кольцевых эстакад. Эти меры дополняются внедрением многоуровневой системы управления транспортными потоками — что в совокупности повышает пропускную способность дорожной сети и уровень БДД. Тем не менее, в отдаленных сельских районах и на городской периферии сохраняется недостаточный уровень организации дорожного движения: эти участки фактически нерегулируемы, перекрестки не оборудованы необходимой инфраструктурой (светофорами, дорожными знаками, разметкой). Все это существенно снижает эффективность транспортного сообщения и показатели БДД в данных территориях.



Рис. 2.11 - Карта скоростных шоссе в окрестностях Цзинаня

Ввиду масштабов дорожной сети Цзинаня и существующего дефицита современных средств управления транспортными потоками, в настоящем исследовании анализируется корреляция между используемыми техническими методами регулирования движения и уровнем аварийности. Организация дорожного движения оказывает существенное влияние на показатели безопасности: эффективные методы регулирования способствуют снижению числа ДТП, тогда как недостаточный контроль на перекрестках и магистралях повышает требования к квалификации водителей, способствует рассеиванию их внимания и, как следствие, увеличивает вероятность аварийных ситуаций. Количественные данные о ДТП на участках с различными техническими решениями по организации движения представлены в таблицах 2.7–2.9 [19, 40].

Табл. 2.7 - ДТП на участках с одним элементом технических средств

ДТП при различных методах организации дорожного движения	Прямые материальные убытки (Юань)	Количество погибших (Чел.)	Количество пострадавших (Чел.)
Без технических средств организации дорожного	7815148	314	2680

движения			
Ручное управление	10000	0	0
Светофор	1930110	108	626
Дорожный знак	182100	9	73
Дорожная разметка	6119200	257	1383
Другие средства безопасности	175050	8	117

Табл. 2.8 -ДТП на участках с двумя элементами технических средств

ДТП при различных методах организации дорожного движения	Прямые материальные убытки (Юань)	Количество погибших (Чел.)	Количество пострадавших (Чел.)
Ручное управление+ Дорожная разметка	5000	0	4
Светофор+ Дорожный знак+	13800	2	7
Светофор+ Дорожная разметка	195700	14	50
Светофор+ Другие средства безопасности	11900	0	5
Дорожный знак+ Дорожная разметка	3649580	140	1112
Дорожный знак+ Другие средства безопасности	4000	0	6
Дорожная разметка+ Другие средства безопасности	540000	3	69

Табл. 2.9 -Более двух элементов технических средств

ДТП при различных методах организации дорожного движения	Прямые материальные убытки (Юань)	Количество погибших (Чел.)	Количество пострадавших (Чел.)
Ручное управление+ Дорожный знак+ Дорожная разметка	17000	0	4
Светофор+ Дорожный знак + Дорожная разметка	1025870	42	378
Светофор+ Дорожный знак+ Другие средства безопасности	10200	0	0
Светофор+ Дорожная разметка+ Другие средства безопасности	39900	3	32

ДТП при различных методах организации дорожного движения	Прямые материальные убытки (Юань)	Количество погибших (Чел.)	Количество пострадавших (Чел.)
Дорожный знак+ Дорожная разметка+ Другие средства безопасности	267780	10	148
Ручное управление+ Светофор+ Дорожный знак+ Дорожная разметка	4000	1	3
Светофор+ Дорожный знак+ Дорожная разметка+ Другие средства безопасности	63770	10	45
Ручное управление+ Светофор+ Дорожный знак	4000	0	2

Проведенный анализ основан на трех представленных таблицах, включающих данные о ДТП для различных сценариев организации дорожного движения: от полного отсутствия технических средств регулирования до использования одного, двух, а также трех и более средств контроля транспортных потоков.

Анализ данных Таблицы 2.7 выявляет существенные различия в тяжести последствий ДТП в зависимости от применяемых технических решений. Наиболее высокие показатели материального ущерба и числа пострадавших в дорожно-транспортных происшествиях отмечены на участках, полностью лишенных инженерных решений для регулирования транспортных потоков. Это подтверждает, что отсутствие необходимых средств контроля и безопасности существенно усугубляет исходы ДТП.

Следует отметить, что применение ручного регулирования (осуществляемого силами сотрудников дорожно-патрульной службы или вспомогательного персонала на необорудованных перекрестках и участках дорог) демонстрирует сравнительно низкие значения показателей материального ущерба и числа пострадавших, что свидетельствует о снижении уровня дорожно-транспортных рисков даже при минимальных мерах контроля. Наибольшую эффективность в снижении негативных

последствий ДТП продемонстрировали светофорные объекты, что подтверждает их ключевую роль в упорядочивании поведения участников дорожного движения и организации транспортных потоков [53].

Применение дорожных знаков обеспечивает более благоприятные показатели по сравнению с полным отсутствием регулирования или использованием исключительно дорожной разметки. При этом участки, оборудованные только разметкой, демонстрируют высокие показатели аварийности, что, вероятно, обусловлено недостаточной дисциплиной водителей или отсутствием комплексного подхода к организации движения. Средства пассивной безопасности (лежачие полицейские, защитные ограждения, сигнальные огни) показывают средние значения по рассматриваемым параметрам, что подтверждает их ограниченную, но значимую эффективность в обеспечении безопасности на отдельных участках дорожной сети [45].

Анализ данных, представленных в таблице 2.8, позволяет установить характерные закономерности влияния различных комбинаций технических средств регулирования дорожного движения на показатели аварийности. Наименьшие значения материального ущерба и количества пострадавших наблюдаются при сочетании ручного регулирования с дорожной разметкой, что свидетельствует об эффективности данного подхода в условиях временной организации движения или на участках с простой конфигурацией. Комбинация светофоров с дорожными знаками также демонстрирует существенное снижение тяжести последствий ДТП, подтверждая их взаимодополняющую роль в регулировании транспортных потоков и профилактике потенциально опасных ситуаций.

В то же время сочетание светофорного регулирования с дорожной разметкой характеризуется относительно высокими показателями смертности и травматизма, что, вероятно, объясняется преимущественным использованием данной комбинации на участках с высокой интенсивностью движения и значительным количеством конфликтных точек пересечения

транспортных потоков. Наибольшие значения материального ущерба и количества пострадавших зафиксированы при совместном использовании дорожных знаков и разметки, что свидетельствует о недостаточной эффективности данных средств в условиях сложной дорожной обстановки и на аварийно-опасных участках.

Следует отметить, что комбинации, включающие дополнительные средства пассивной безопасности (сочетания светофоров или дорожных знаков с другими инженерными защитными средствами), в ряде случаев обеспечивают приемлемый уровень безопасности, подчеркивая важность комплексного подхода, сочетающего элементы регулирования движения с инженерными защитными средствами.

Анализ данных таблицы 2.9, отражающих эффективность комплексных методов регулирования дорожного движения, позволяет выявить ряд ключевых закономерностей. Наилучшие результаты по минимизации материального ущерба и полному недопущению смертельных случаев демонстрирует сочетание ручного управления с дорожными знаками и разметкой, что подтверждает ключевую роль человеческого фактора в организации безопасного движения. Следует подчеркнуть, что комплексная система регулирования, включающая светофорное регулирование, дорожную разметку и дорожные знаки, теоретически призванная обеспечивать максимальный контроль над дорожной ситуацией, на практике демонстрирует высокие показатели ДТП и смертельных случаев. Это свидетельствует о наличии принципиальных ограничений в подходе, основанном исключительно на расширении парка технических средств регулирования без учёта специфики сложных дорожных участков.

Более эффективными демонстрируют себя трехкомпонентные системы, включающие наряду со светофорами, дорожными знаками либо разметкой инженерные защитные средства — они в определенных условиях способны существенно снизить тяжесть последствий ДТП. Применение комплексных систем регулирования (включающих четыре и более элемента

управления) открывает определенные перспективы для снижения ДТП, однако их практическая эффективность варьируется в широких пределах в зависимости от ряда факторов. К таким факторам относятся конфигурация дорожного полотна, характеристики транспортного потока и уровень соблюдения водителями правил дорожного движения [97].

Таким образом, полное отсутствие технических средств организации дорожного движения приводит к выраженным негативным последствиям, что подчеркивает критическую значимость развитой транспортной инфраструктуры и эффективных методов управления транспортными потоками. Простые комбинации регулирующих мер не всегда обеспечивают достаточный уровень безопасности на участках с высокой интенсивностью движения. Однако несмотря на более высокую эффективность комплексных решений, их практическая эффективность в значительной степени зависит от внешних условий. При этом участки с ручным управлением движением демонстрируют наименьший уровень риска ДТП и минимальные последствия при их возникновении [94].

Анализ влияния государственных праздников на ДТП

Согласно данным, представленным в таблице 2.10, за период с 2018 по 2020 год было зафиксировано 7221 ДТП, из которых 494 случая (6,8% от общего количества) пришлось на официальные праздники. Примечательно, что при общей продолжительности праздничных периодов в Китае (всего 11 календарных дней в год, или 3,01% от общего числа дней) доля ДТП в эти дни оказывается статистически значимо выше среднегодовых показателей. Тот факт, что риск ДТП повышен в праздничные периоды, объясняется следующим комплексом ключевых факторов.

Табл. 2.10 – ДТП в период государственных праздников Китая

Название праздника	Даты праздника	Продолжительность (дни)	Количество ДТП
Новый год	1 января	1	41
Весенний праздник	День праздника + 2 дня	3	114
Цинмин	5 апреля	1	53

День труда	1 мая	1	35
Дуаньу	7 июня	1	37
Праздник Луны	День праздника	1	65
Национальный день	1-3 октября	3	149

Проведенный анализ позволяет выделить четыре ключевых фактора, способствующих увеличению количества ДТП в праздничные периоды.

Первый фактор — связан с существенным ростом интенсивности транспортных потоков, особенно во время продолжительных праздников, таких как День Нации Китая или Весенний праздник. Массовые миграции частного транспорта неизбежно приводят к формированию пробок, что статистически значительно увеличивает риск ДТП. Кроме того, в условиях высокой концентрации транспортного потока возрастает риск столкновений транспортных средств и наездов на пешеходов.

Психоэмоциональное напряжение водителей в пробках часто становится причиной нарушений правил дорожного движения, что увеличивает риск аварийных ситуаций [48].

Второй ключевой фактор роста ДТП в праздничные периоды обусловлен специфической для этого времени атмосферой расслабленности и особенностями поездок — преимущественно рекреационного или семейного назначения. Эти факторы часто приводят к снижению внимания водителей к соблюдению ПДД и способствуют опасным нарушениям, включая вождение в состоянии опьянения или превышение скоростного режима. Дополнительным риском выступает незнание водителями местной дорожной инфраструктуры: водители, не знакомые с особенностями организации движения в регионе, чаще допускают ошибки при принятии решений при управлении ТС, что повышает вероятность ДТП.

Третий ключевой фактор роста аварийности — переутомление водителей. Стремление сократить время в пути во время дальних поездок или желание быстрее достичь пункта назначения часто приводят к игнорированию необходимых перерывов для отдыха. Такая практика снижает

скорость реакции и ухудшает когнитивные функции водителей, что статистически значительно повышает риск ДТП.

Четвертый ключевой аспект — особенности управления ТС на незнакомых маршрутах. Водители часто не успевают адаптировать стиль вождения к новым дорожным условиям, что создает дополнительные риски ДТП.

Проблема перегрузки дорожной инфраструктуры при резком росте интенсивности движения заслуживает отдельного внимания. Технические средства регулирования (светофоры, дорожные знаки и разметка) могут не соответствовать фактической транспортной нагрузке, создавая дополнительные риски. Кроме того, праздничная атмосфера способствует ослаблению дисциплины участников дорожного движения — это проявляется в увеличении числа случаев проезда на запрещающий сигнал светофора, превышения скоростного режима и других нарушений ПДД, что суммарно приводит к росту аварийности [52].

Таким образом, рост ДТП в праздничные дни является следствием комплексного воздействия ряда факторов: значительного увеличения интенсивности движения, снижения дисциплины водителей, повышенной утомляемости и усложнения задач по организации дорожного движения.

Их совместное воздействие существенно увеличивает количество ДТП.

2.6 Факторы, связанные с состоянием окружающей среды

Погодные условия оказывают существенное влияние на уровень аварийности, что реализуется через несколько ключевых механизмов.

Прежде всего, неблагоприятные атмосферные явления — такие как дождь, снег и туман — приводят к образованию скользкого или обледенелого дорожного покрытия. Это снижает коэффициент сцепления шин с дорожным полотном и эффективность торможения, что существенно увеличивает риск потери управления ТС. В таких условиях маневрирование

затрудняется, особенно при экстренном торможении или резком изменении траектории движения, что повышает вероятность заносов и столкновений [73].

Ещё одним критически значимым фактором выступает снижение видимости в неблагоприятных погодных условиях. Туман, сильные осадки или метель существенно сокращают дистанцию видимости, затрудняя адекватную оценку дорожной обстановки — это приводит к увеличению времени реакции водителя и росту вероятности ошибочных решений. Кроме того, при ограниченной видимости часто нарушается безопасная дистанция между ТС, что повышает риск цепных столкновений.

Влияние экстремальных метеорологических условий на БДД также проявляется в изменении параметров транспортных потоков. В периоды ураганов или снежных бурь отмечается общее снижение интенсивности дорожного движения. Тем не менее, часть водителей продолжает движение с превышением скоростного режима или демонстрирует недооценку метеорологических рисков — это значительно повышает вероятность ДТП [99].

Региональные климатические условия также оказывают существенное влияние на показатели БДД. В районах, характеризующихся частыми случаями гололедицы или обильных снегопадов, недостаточно развитая дорожная инфраструктура в сочетании с неэффективной системой оперативного реагирования существенно ограничивают возможности смягчения негативных последствий, что приводит к росту частоты ДТП.

Таким образом, проведенный анализ свидетельствует о том, что метеорологические условия оказывают многофакторное воздействие на БДД. С одной стороны, они воздействуют на физические характеристики дорожного покрытия, с другой — опосредованно влияют на паттерны поведения водителей, следовательно, оптимизация системы управления БДД требует разработки методов мониторинга и прогнозирования метеорологических условий, а также разработки комплексных превентивных

мер, направленных на снижение частоты ДТП в условиях неблагоприятных погодных условий.

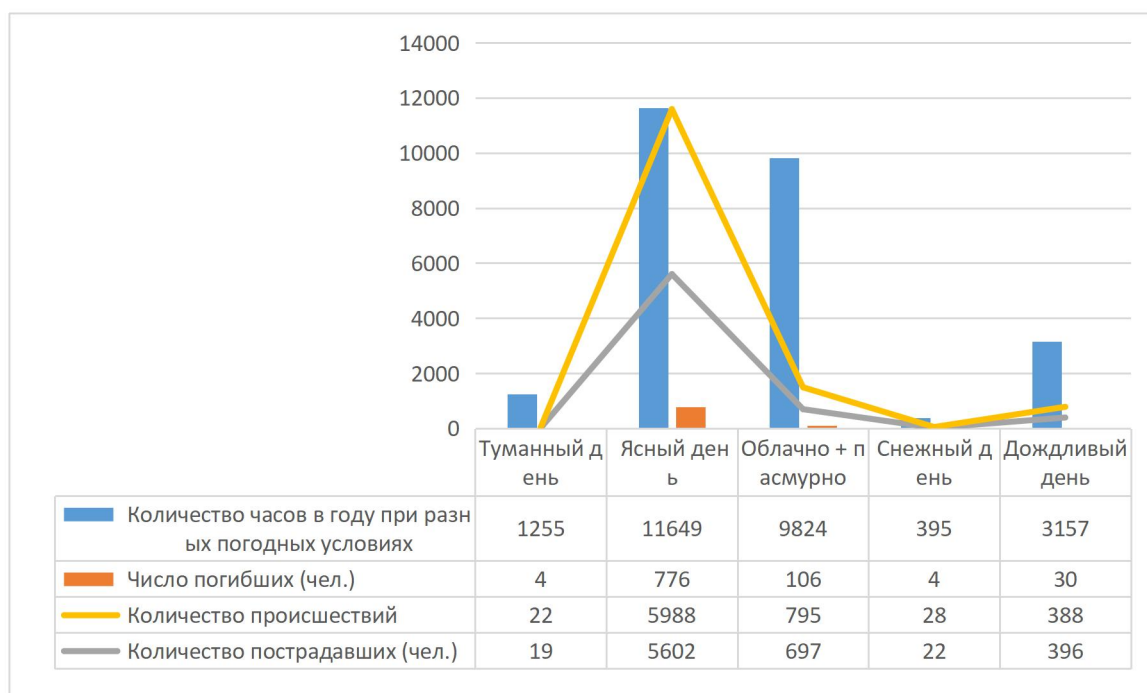


Рис. 2.12 - Корреляция типов погодных условий

Анализ 36-месячного периода наблюдений за метеорологическими условиями и связанными с ними ДТП позволил получить статистические данные, представленные на рисунке 2.12 и в таблице 2.11.

Табл. 2.11 - Показатели ДТП, летальности и травматизма в час в зависимости от метеоусловий

Метеорологические условия	Среднечасовая частота ДТП	Среднечасовая летальность	Среднечасовая травматичность
Ясная погода	0.5139	0.0666	0.4806
Дождливая погода	0.1229	0.0095	0.1255
Пасмурная/облачная погода	0.0810	0.0108	0.0710
Снегопад	0.0709	0.0101	0.0557
Туман/смог	0.0175	0.0032	0.0151

Статистический анализ данных выявил существенные различия в показателях аварийности в зависимости от метеорологических условий. Наибольшие значения среднечасового количества ДТП (0,5139) и числа

пострадавших (0,4806) зафиксированы при ясной погоде, что связано как с повышенной интенсивностью движения в благоприятных условиях, так и со сниженной бдительностью водителей, склонных к недооценке потенциальных рисков [50].

В условиях дождливой погоды наблюдается относительное снижение показателей аварийности (0,1229 ДТП/ч) и травматизма (0,1255 пострадавших/ч) — это обусловлено более осторожным вождением и снижением интенсивности транспортного потока. В пасмурные и облачные дни частота ДТП (0,0810) и число пострадавших (0,0710) остаются на минимальном уровне, так как подобные погодные условия не оказывают существенного воздействия на видимость и состояние дорожного покрытия.

Данные по погодным условиям со снегопадами требуют особого внимания: несмотря на относительно низкую частоту ДТП (0,0709), уровень летальных исходов (0,0101) существенно выше. Это связано с более тяжелыми последствиями именно ДТП зимой, даже если скорость движения снижена и число поездок ограничено. Наиболее парадоксально то, что при минимальной частоте ДТП (0,0175) в тумане и смоге фиксируется повышенная смертность (0,0032) — это подтверждает крайнюю опасность управления ТС при ограниченной видимости.

Таким образом, данные подтверждают необходимость разработки дифференцированных мер по улучшению БДД с учетом особенностей различных метеорологических условий. В качестве объекта исследования выбран город Цзинань (провинция Шаньдун, КНР), где проведен комплексный анализ факторов, влияющих на показатели ДТП. Результаты работы позволили выявить ключевые закономерности взаимосвязи погодных условий и параметров дорожной безопасности, связанных с аварийностью на дорогах в регионе.

Выводы по главе

Проведенное исследование демонстрирует, что, несмотря на значительное абсолютное количество ДТП в провинции Шаньдун — обусловленное высокой плотностью населения и крупным автомобильным парком — относительные показатели безопасности (в частности, уровень смертности на 10 тысяч транспортных средств) сохраняются на приемлемом уровне. Это свидетельствует о достаточной эффективности мер по улучшению БДД, реализуемых в регионе.

В ходе анализа выявлены ключевые факторы влияния на аварийность на дорогах:

Поведенческие аспекты: наибольший уровень ДТП среди начинающих водителей и водителей со средним опытом вождения; корреляция между низким уровнем образования и частотой ДТП; гендерное преобладание мужчин-водителей в статистике аварий.

Технические характеристики ТС: преобладание легковых автомобилей и мотоциклов в общей статистике ДТП при наибольшей тяжести последствий ДТП с участием грузового транспорта.

Состояние дорожной инфраструктуры: максимальный риск ДТП на нерегулируемых участках при минимальной аварийности на участках с ручным управлением.

Внешние условия: повышенный риск ДТП в праздничные дни и при неблагоприятных погодных условиях, но максимальная частота ДТП в ясную погоду из-за высокой интенсивности движения.

Комплексное исследование дорожной среды города Цзинань, представленное в данной главе, формирует теоретическую основу для последующего факторного анализа и выявления ключевых параметров БДД.

Глава 3. Математические методы реализаций системного подхода при анализе дорожной аварийности

3.1 Основные методы анализа и характерные проблемы данных

Исследование и анализ ДТП зачастую опираются на данные полицейских отчетов, так как они включают ключевые сведения о времени, месте инцидента, характеристиках водителей и тяжести травм. Сотрудники, прибывающие на место ДТП, обязаны оценивать его тяжесть, фиксируя все: от отсутствия травм до летальных исходов. Однако оценка травм на месте ограничена отсутствием медицинской экспертизы, что подчеркивает необходимость интеграции данных медицинских учреждений. Взаимодействие полиции с медиками позволяет уточнить реальную тяжесть повреждений, снизить степень недооценки последствий аварий и провести более точный эпидемиологический мониторинг [69].

Полицейские отчеты содержат обширный набор данных, выступающих ключевыми переменными для моделирования и анализа динамики ДТП. Они включают такие детали, как точное время и место происшествия, данные о водителях, состоянии дорожного покрытия, погоде, освещенности, ограничениях скорости и других значимых факторах.

Интеграция данных полицейских отчетов с информацией о дорожных условиях (из систем управления дорожным движением), метеорологических данными и медицинскими сведениями учреждений здравоохранения позволяет провести глубокий многомерный анализ. Это обеспечивает не только лучшее понимание механизмов и последствий ДТП, но и разработку более эффективных мер по их предотвращению.

Современные исследования в сфере БДД активно используют официальную статистику из правоохранных отчетов как исходную базу для построения аналитических моделей. Такие модели позволяют идентифицировать ключевые факторы риска и раскрывать неявные

взаимосвязи между различными параметрами ДТП. Однако, как свидетельствуют многочисленные работы, ведомственная отчетность имеет ряд существенных ограничений: множество незначительных ДТП остаются незарегистрированными, что порождает информационные пробелы. Кроме того, оценки тяжести травм, сделанные полицией на месте ДТП, зачастую расходятся с диагнозами медицинских работников, занимающихся пострадавшими в больницах [42].

Одно из исследований, основанное на обширном массиве данных, выявило парадоксальный феномен: ДТП без видимых травм требуют больших медицинских затрат, чем аварии с очевидными повреждениями. Это объясняется тем, что некоторые травмы не регистрируются на месте ДТП, а также недооценкой затрат на госпитализацию и последующее лечение [37].

Несмотря на ограниченность данных из полицейских отчетов, они стали основой для многих исследований в сфере БДД. Развитие методов анализа данных о ДТП позволило улучшить существующие модели и выявить новые факторы риска. Эти исследования продолжают углублять наше понимание причин ДТП и способствуют сокращению их числа.

В таблице 3.1 представлен подробный анализ проблем, связанных с недостаточностью данных в существующих моделях.

Табл. 3.1-Проблемы в моделях, вызванные недостатками данных

Тип данных/Метод обработки	Вызываемые проблемы
Большие разрывы в данных	Нарушаются предположения моделей классической математической статистики в процессе моделирования
Разреженные данные	Высокая дисперсия данных может нарушать предположения статистических моделей, влияя на результаты
Переменные с временной изменчивостью	Усреднение переменных игнорирует внезапные изменения, что приводит к ошибкам в оценке параметров
Пространственно-временные данные	Сложности в обработке коррелированных данных снижаются точность и эффективность моделирования

Тип данных/Метод обработки	Вызываемые проблемы
Малый объем выборки с низким средним значением	Недостаток данных может привести к нестабильным или смещенным оценкам параметров
Бинарные данные	Корреляция между переменными усложняет прогнозирование и снижает эффективность вычислений
Неполные данные	Снижаются точность модели, приводя к ошибочным выводам об объясняющих переменных
Пропущенные или смещенные переменные	Отсутствие важных переменных ведет к неверной оценке параметров и неправильным выводам
Эндогенные переменные	Без корректировки и ограничений искажаются оценки параметров из-за взаимного влияния переменных
Неправильная функциональная форма	Неверный выбор функциональной формы вызывает ошибки в оценке и интерпретации параметров
Параметры, считающиеся фиксированными	Если параметры предполагаются постоянными, но фактически изменяются, это приводит к смещенным оценкам

Современные исследования причин ДТП используют комплекс аналитических методов, включая кластерный и факторный анализ, логистическую регрессию, а также современные методы машинного обучения (деревья решений, случайные леса) и анализ временных рядов. Эти методы позволяют выявлять скрытые закономерности в аварийности, оценивать влияние различных факторов и прогнозировать риски ДТП. Особую ценность имеет их комбинированное использование, которое обеспечивает более точные результаты, чем применение отдельных методик. Полученные результаты служат научной основой для разработки эффективных мер по улучшению БДД [25, 72, 91].

Принципы алгоритмов кластеризации

Кластерный анализ — это статистический метод, целью которого является разделение набора данных на группы схожих объектов, называемые

кластерами. Основные принципы метода основаны на группировке данных по их сходству, что обеспечивает высокую степень однородности внутри кластеров и четкие различия между ними. Процесс кластеризации включает три ключевых этапа: выбор метрики для оценки сходства или расстояния между объектами, выбор подходящего алгоритма кластеризации и определение оптимального количества кластеров [26].

Алгоритм К-средних (K-means) — один из самых распространенных методов кластеризации данных. Основная задача алгоритма — минимизация суммарной квадратичной ошибки, которая характеризует отклонение объектов от центроидов кластеров и формально определяется формулой 3.1.

$$J = \sum_{i=1}^K \sum_{x \in C_i} \|x - \mu_i\|^2 \quad (3.1)$$

Где:

J - функция стоимости, подлежащая минимизации;

K - число кластеров;

C_i - множество точек данных, принадлежащих i -му кластеру;

x - точка данных;

μ_i - центроид i -го кластера, рассчитываемый как среднее значение точек в кластере C_i .

Итеративный процесс алгоритма К-средних:

Инициализация: случайным образом выбираются K точек данных в качестве начальных центроидов кластеров или применяется метод инициализации, например, *K-means++*.

Назначение точек кластерам: каждая точка данных x присваивается кластеру с ближайшим центридом μ_i на основе выбранной метрики расстояния (обычно евклидово расстояние).

Обновление центроидов: для каждого кластера пересчитывается центридом μ_i кластера как среднее значение всех точек, присвоенных этому кластеру, как показано в формуле 3.2:

$$\mu_i = \frac{1}{|C_i|} \sum_{x \in C_i} x \quad (3.2)$$

Проверка сходимости: шаги 2 и 3 итеративно повторяются до тех пор, пока изменения в позициях центроидов не станут статистически незначимыми или не будет достигнуто предустановленное максимальное число итераций.

Иерархический кластерный анализ представляет собой альтернативный подход, не требующий предварительного определения количества кластеров. В рамках этого метода выделяют два основных направления:

Агломеративный подход («снизу-вверх») : каждый объект исходно трактуется как отдельный кластер, после чего наиболее сходные по выбранной метрике кластеры последовательно объединяются. Процесс продолжается до объединения всех объектов в единый кластер или до выполнения заранее определенных критериев остановки.

Дивизивный подход («сверху-вниз») : инициируется с единого кластера, содержащего весь набор объектов, который затем рекурсивно разделяется на подкластеры на основе максимизации внутрикластерного расстояния или минимизации межкластерного различия.

Оба подхода позволяют генерировать дендрограмму — визуальное представление иерархической структуры кластеров, которое используется для определения оптимального числа кластеров на основе пороговых значений уровней сходства или расстояния между объектами.

Принцип многомерной логистической регрессии в оценке рисков ДТП

Многомерная (полиномиальная) логистическая регрессия является мощным статистическим инструментом для анализа и прогнозирования вероятности возникновения ДТП и тяжести их последствий. Этот метод позволяет исследователям систематически количественно оценивать влияние множества факторов — погодных условий, характеристик дорожной инфраструктуры, интенсивности транспортного потока, поведенческих особенностей водителей — на риск ДТП (вероятность его возникновения и

тяжесть исхода) [67].

Многомерная логистическая регрессия применяется в случаях, когда зависимая переменная Y имеет несколько категорий. Она моделирует вероятность $P(Y=j | X)$, описывающую вероятность того, что переменная Y принадлежит к категории j при заданном наборе независимых переменных X . Общая формула многомерной логистической регрессии представляется через функцию *softmax* следующим образом, формула 3.3:

$$P(Y=j | X) = \frac{e^{B_{j0} + B_{j1}X_1 + B_{j2}X_2 + \dots + B_{jn}X_n}}{\sum_{k=1}^m e^{B_{k0} + B_{k1}X_1 + B_{k2}X_2 + \dots + B_{kn}X_n}} \quad (3.3)$$

Где:

X_1, X_2, \dots, X_n — независимые переменные, которые могут быть как непрерывными, так и категориальными;

Y - зависимая переменная с m возможными категориями;

$B_{j0}, B_{j1}, \dots, B_{jn}$ параметры модели, подлежащие оценке для каждой категории j (где $j=1, 2, \dots, m$).

Числитель в формуле представляет экспоненциальную функцию для категории, а знаменатель — сумму экспоненциальных функций по всем категориям, что гарантирует, что сумма вероятностей по всем категориям равна 1.

В случае бинарной логистической регрессии, когда зависимая переменная имеет только две категории, модель упрощается до следующей формулы 3.4:

$$P(Y=1 | X) = \frac{e^{B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_nX_n}}{1 + e^{B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_nX_n}} \quad (3.4)$$

Анализ сильных и слабых сторон многомерной логистической регрессии обеспечивает глубокое понимание её возможностей и ограничений в контексте оценки рисков ДТП.

С одной стороны, метод обладает рядом ключевых преимуществ, делающих его мощным инструментом для прогнозирования и анализа. Во-первых, он способен не только предсказывать вероятность ДТП, но и идентифицировать конкретные типы аварий и степень их тяжести. Это создаёт основу для точного планирования мер по улучшению БДД, направленных на

сокращение числа аварий и минимизацию их последствий. Во-вторых, метод обеспечивает детальный количественный анализ факторов риска: он позволяет оценить влияние различных переменных на вероятность ДТП и провести их сравнительный ранжирование. Это помогает выявить наиболее значимые предикторы риска и разработать целенаправленные стратегии профилактики, что критически важно для повышения уровня безопасности на дорогах.

Однако, несмотря на вышеуказанные достоинства, метод имеет существенные ограничения. Первое — высокие требования к качеству и объёму данных. Разработка устойчивой и достоверной модели требует значительного количества структурированных данных высокого качества. Недостаточный объём или низкая информативность данных могут привести к ненадёжным результатам и снижению точности прогнозов, что становится серьёзным барьером при ограниченных ресурсах или плохой доступности данных. Второе — сложность интерпретации результатов.

При большом количестве предикторов и категорий зависимой переменной процесс расшифровки коэффициентов модели усложняется. Это требует от исследователя глубоких статистических знаний и детального анализа влияния каждого фактора, что снижает доступность метода для практиков без

Метод случайного леса: теоретические основы и применение в прогнозировании тяжести последствий ДТП

Метод случайных лесов — это эффективный ансамблевый алгоритм машинного обучения, основанный на построении множества решающих деревьев и агрегации их предсказаний. Ключевой принцип метода — повышение точности и устойчивости моделей (классификации/регрессии) за счет комбинирования результатов деревьев, каждое из которых обучается на независимой подвыборке данных [25].

В анализе ДТП метод случайных лесов используется для прогнозирования тяжести аварий и идентификации ключевых факторов, влияющих на исход происшествия. Метод обладает высокой эффективностью в

моделировании нелинейных зависимостей и устойчивостью к переобучению, что обеспечивает надежные оценки даже при работе с зашумленными или неполными данными — типичными для задач дорожной безопасности.

Метод случайного леса реализуется через три последовательных ключевых этапа, обеспечивающих его эффективность и устойчивость:

Генерация бутстрэп-выборок: на первом этапе формируются бутстрэп-выборки путем случайного с возвращением отбора наблюдений из исходного набора данных. Это гарантирует, что каждое дерево ансамбля обучается на разнородном подмножестве данных, снижая риск переобучения и повышая устойчивость модели.

Параллельное построение решающих деревьев: на втором этапе одновременно конструируются множество решающих деревьев. Для каждого узла дерева оптимальный предиктор (признак) выбирается из случайного подмножества атрибутов или информационного выигрыша (для регрессии). Именно этот признак используется для разделения узла на дочерние поддеревья.

Агрегация предсказаний: на завершающем этапе комбинируются индивидуальные выводы всех деревьев. Для задач классификации применяется мажоритарное голосование — выбирается класс, предсказанный большинством деревьев. Для регрессионных задач используется усреднение прогнозных значений по всем деревьям, что даёт итоговое предсказание тяжести ДТП [25].

Данный метод эффективно снижает риск переобучения модели и улучшает её обобщающую способность на новых данных за счет использования случайности как на уровне выборки данных, так и на уровне признаков.

Метод случайного леса — один из ведущих алгоритмов машинного обучения, имеющий ряд ключевых особенностей, важных для его практического применения. Среди основных преимуществ выделяются:

Высокая точность и устойчивость модели: благодаря ансамблевому подходу случайные леса демонстрируют превосходную прогностическую способность и меньшую склонность к переобучению, чем индивидуальные деревья решений. Это обусловлено комбинацией результатов множества деревьев и случайным выбором признаков при их построении, что снижает корреляцию между деревьями и минимизирует риск переобучения [25].

Эффективная обработка высокоразмерных данных: случайные леса способны идентифицировать сложные нелинейные взаимодействия между признаками, что делает их идеальными для анализа больших структурированных данных.

Встроенная оценка значимости признаков: метод предоставляет инструменты для количественной оценки вклада каждого признака в итоговое предсказание. Это не только углубляет понимание внутренней структуры данных, но и поддерживает выбор наиболее информативных переменных для оптимизации модели.

Тем не менее, метод имеет существенные ограничения. Во-первых, высокая сложность интерпретации модели. В отличие от одиночных деревьев решений, интерпретируемость которых относительно проста, случайный лес обладает «черной ящичной» природой: объяснение индивидуальных прогнозов затруднено, а прозрачность для конечного пользователя снижена. Во-вторых, высокие вычислительные затраты. Обучение и инференс модели требуют значительных вычислительных ресурсов, особенно при масштабировании числа деревьев или размерности данных — это ограничивает применение метода в условиях ограниченной инфраструктуры. В-третьих, чувствительность к шуму в данных. Наличие большого количества нерелевантных или зашумленных признаков может негативно влиять на качество предсказаний, несмотря на общую устойчивость ансамбля. Это требует тщательной предварительной очистки данных и снижает применимость метода в задачах с высоким уровнем артефактов.

Таким образом, случайный лес эффективен благодаря ансамблевому

подходу, но его практическое использование сопряжено с необходимостью значительных ресурсов и ограниченной интерпретируемостью. Для достижения оптимальных результатов критически важны тонкая настройка гиперпараметров и качественная подготовка исходных данных.

Теоретические основы факторного анализа в исследовании причин ДТП

Факторный анализ — это статистический метод, направленный на выявление скрытых взаимосвязей между наблюдаемыми переменными через выделение латентных факторов, объясняющих их вариативность. Основная цель метода — сокращение размерности данных и упрощение их структуры, что критически важно для анализа многомерных и сложных информационных наборов [8].

Применение факторного анализа в исследовании причин ДТП позволяет выявить ключевые факторы, влияющие на риск аварий. Это обеспечивает более глубокое понимание механизмов формирования ДТП и служит основой для разработки эффективных стратегий профилактики и управления БДД. Факторный анализ особенно эффективен при работе со сложными многомерными данными, где требуется выявить ключевые закономерности в наборе взаимосвязанных переменных.

Факторная модель может быть выражена с использованием стандартной формулы 3.5.

$$X = \Lambda F + \epsilon \quad (3.5)$$

где:

X - вектор наблюдаемых переменных размерности $p \times 1$;

Λ - матрица факторных нагрузок размерности $p \times m$, отражающая влияние каждого из m факторов на наблюдаемые переменные;

F - вектор общих факторов размерности $m \times 1$;

ϵ - вектор уникальных факторов (ошибок) размерности $p \times 1$, характеризующий часть вариации, не объясненную общими факторами.

Процесс факторного анализа состоит из нескольких ключевых этапов. На первом этапе осуществляется извлечение факторов с использованием методов,

таких как анализ главных компонент (*PCA*) или метод максимального правдоподобия (*ML*). Цель этого этапа заключается в выявлении минимального числа факторов, которые способны объяснить значительную часть общей дисперсии наблюдаемых переменных. На втором этапе проводится вращение факторов с помощью техник, таких как ортогональное вращение (*Varimax*) или косоугольное вращение (*Promax*). Эти методы нацелены на повышение интерпретируемости факторной структуры, обеспечивая более явную и понятную взаимосвязь между латентными факторами и наблюдаемыми переменными. На финальном этапе рассчитываются факторные нагрузки для каждого наблюдения, основанные на выделенных латентных факторах. Факторные нагрузки — это оценки вклада латентных факторов в каждый наблюдаемый объект, рассчитываемые с использованием методов, таких как главные компоненты или метод наименьших квадратов.

В ходе исследования анализируется семантическое содержание каждого фактора (т.е. его смысловая интерпретация), основанное на его факторных нагрузках. Результаты этого анализа применяются для последующего моделирования, включая прогнозирование рисков ДТП, кластеризацию транспортных ситуаций и поддержку принятия управленческих решений в области обеспечения БДД.

Анализ потенциала и ограничений факторного анализа

Факторный анализ выступает мощным инструментом в исследовании сложных многомерных данных, позволяющим выявлять скрытые структуры и снижать размерность пространства переменных. Ключевое преимущество данного метода заключается в способности обрабатывать обширные массивы взаимосвязанных показателей, приводя их к ограниченному числу латентных факторов при минимальных потерях информационного содержания. Это упрощает интерпретацию данных и создает условия для выявления неочевидных закономерностей, что имеет значение для разработки стратегических решений в различных сферах.

Применение факторного анализа сопряжено с методологическими ограничениями. Результаты анализа зависят от соблюдения основных предпосылок модели: линейности взаимосвязей, нормальности распределения данных и отсутствия мультиколлинеарности.

Процесс анализа предполагает принятие субъективных решений: выбор метода извлечения факторов, техники ротации и определения оптимального количества латентных факторов. Данные решения оказывают существенное влияние на конечные результаты и требуют применения обоснованного методологического подхода.

Интерпретация выявленных факторов связана со существенными методологическими сложностями, что особенно актуально при наличии разветвленной факторной структуры или перекрестных нагрузок между переменными. Данный аналитический этап требует глубоких знаний как в области статистических методов, так и в исследуемой предметной области.

Качество исходных данных оказывает существенное влияние на достоверность результатов: присутствие аномальных наблюдений, пропусков или отклонений от нормального распределения может существенно исказить выводы анализа.

Применение анализа временных рядов для прогнозирования динамики ДТП

Анализ временных рядов служит методологической базой для исследования динамики ДТП. Данный подход позволяет проводить систематическое исследование структурных характеристик временных данных, выявлять устойчивые закономерности и генерировать прогнозные оценки на основе ретроспективного анализа [14]. Метод анализа временных рядов приобретает особую актуальность при разработке стратегических решений в сфере транспортной политики и управления БДД. Он позволяет разрабатывать научно обоснованные превентивные меры, направленные на снижение числа ДТП и повышение уровня безопасности на дорогах.

Анализ временных рядов — это комплексный процесс, включающий несколько ключевых этапов. Первый из них — анализ тенденций,

направленный на выявление и моделирование долгосрочных трендов в данных. Это помогает выявить системные изменения, такие как экономический рост, инфраструктурные преобразования или законодательные изменения. Для этого применяются, например, линейные и нелинейные функции [65].

Следующий этап — сезонная корректировка, направленная на идентификацию и устранение регулярных колебаний данных, повторяющихся с определенной периодичностью (суточной, недельной, годовой). Сезонные колебания могут быть вызваны погодными условиями, праздниками или иными периодическими факторами. Для этого используются методы декомпозиции, например, классическая аддитивная и мультипликативная декомпозиция.

Методология моделирования и анализа временных рядов

Процесс построения статистической модели предполагает разработку математического аппарата, соответствующего характеристикам временного ряда. В аналитической практике наибольшее распространение получили модели авторегрессии и скользящего среднего (ARMA), а также их расширенные версии: ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) и SARIMA (Seasonal ARIMA) [12].

Модель ARIMA обобщает подход ARMA за счёт добавления интегрированного компонента для работы с нестационарными данными. Модель SARIMA, в свою очередь, учитывает сезонные колебания временного ряда.

После построения модели проводится диагностика её адекватности путём анализа остатков с использованием специализированных тестов, таких как тест Дики-Фуллера, тест Лjung-Коробка (Ljung-Box) и другие. Эти тесты предназначены для выявления автокорреляции, гетероскедастичности и отклонений от нормального распределения.

Завершающим этапом моделирования является прогнозирование будущих значений временного ряда. Прогнозирование может проводиться как для краткосрочной, так и для долгосрочной перспективы в зависимости от исследовательских задач и особенностей

Анализ возможностей и ограничений метода временных рядов в исследовании БДД

Метод временных рядов представляет собой эффективный инструмент для анализа динамических процессов, в том числе для анализа ДТП. Его основное преимущество заключается в адаптированной обработке временных данных, что позволяет выявлять устойчивые тенденции и циклические компоненты в динамике ДТП. Этот метод обеспечивает количественные прогнозные оценки, которые являются важным элементом в обосновании управленческих решений, направленных на транспортную безопасность и повышение БДД. Гибкость модельного подхода позволяет адаптировать анализ к специфике данных, с учетом различных структурных аспектов.

Тем не менее, применение метода временных рядов сопряжено с рядом существенных ограничений. Во-первых, метод предъявляет высокие требования к объему и качеству исходных данных. Недостаточная репрезентативность данных или наличие аномальных наблюдений могут значительно исказить результаты анализа. Во-вторых, методологическая сложность построения моделей требует от исследователя высокой квалификации, особенно при работе с нестационарными временными рядами. В-третьих, зависимость метода временных рядов от исторических закономерностей может снижать его предсказательную способность в условиях структурных изменений или появления новых факторов, воздействующих на динамику ДТП.

Таким образом, несмотря на значительный аналитический потенциал, эффективное использование метода временных рядов для исследования ДТП требует тщательного учета перечисленных ограничений. Это подразумевает критический анализ исходных данных, наличие высокой квалификации у исследователя и адаптацию моделей к изменяющимся условиям.

Методологические основы применения нейронных сетей в

прогнозировании рисков ДТП

Современные методы прогнозирования рисков ДТП все шире применяют технологии глубокого обучения, в частности, нейронные сети. Эти алгоритмы имеют существенные преимущества перед традиционными статистическими методами благодаря способности выявлять сложные нелинейные зависимости в данных. Нейронные сети позволяют анализировать широкий спектр взаимосвязанных факторов, таких как метеорологические условия, дорожные характеристики, параметры транспортного потока и поведенческие аспекты участников дорожного движения, что позволяет разрабатывать прогностические модели высокой точности [16].

Ключевым элементом архитектуры нейронных сетей выступает искусственный нейрон, который представляет собой математическую модель, имитирующую функционирование биологических нейронов. Формально выход искусственного нейрона выражается следующим образом (формула 3.6):

$$a=f(\sum_{i=1}^n w_i x_i+b) \quad (3.6)$$

где:

x_i - входные данные (признаки);

w_i - веса, соответствующие каждому входу;

b - смещение,

f - функция активации

a — выход нейрона.

Архитектура нейронных сетей для прогнозирования ДТП

Нейронные сети — это многослойные структуры, включающие взаимосвязанные искусственные нейроны. Входной слой осуществляет первичный прием данных о параметрах дорожной обстановки без их предварительной обработки. Скрытые слои выполняют нелинейное преобразование информации, последовательно извлекая и моделируя сложные зависимости между факторами, определяющими уровень аварийности. Количество скрытых слоев (глубина архитектуры) и число

нейронов в каждом слое (ширина архитектуры) определяют возможность модели идентифицировать паттерны различной сложности. Выходной слой формирует итоговый прогноз вероятности ДТП или классификацию уровня риска [16].

Процесс обучения нейронной сети сводится к оптимизации весовых коэффициентов, соединяющих нейроны. Это обеспечивает минимизацию ошибки прогнозирования. Такая архитектурная организация позволяет нейронным сетям эффективно анализировать многомерные данные о дорожной обстановке и выявлять неочевидные закономерности, способные влиять на уровень аварийности.

Принцип прямого распространения в нейронных сетях

Метод прямого распространения (feedforward neural networks) предполагает последовательное преобразование входных данных при их прохождении через слои сети. На каждом этапе нейроны вычисляют взвешенную сумму поступающей информации, после чего к ней применяется функция активации. Выбор функции активации — например, сигмоидной, ReLU или других — определяется спецификой задачи и существенно влияет на способность сети выявлять сложные зависимости в данных. Этот процесс обеспечивает поэтапное преобразование исходных признаков в прогнозируемые значения, что позволяет выявлять иерархические закономерности в данных о дорожной обстановке.

Анализ возможностей и ограничений применения нейронных сетей для прогнозирования ДТП

Нейронные сети демонстрируют значительный потенциал в анализе факторов риска ДТП, благодаря их способности моделировать сложные нелинейные взаимосвязи между широким спектром входных параметров и целевыми показателями. Ключевое преимущество нейронных сетей заключается в их архитектурной гибкости, которая позволяет настраивать количество слоев, нейронов и функций активации для адаптации модели к различным типам данных и задачам. Важным достоинством глубоких

нейронных сетей является их способность автоматически извлекать иерархические признаки, что позволяет сократить необходимость в ручной обработке данных и улучшить точность прогнозов.

Однако применение нейронных сетей также сопряжено с существенными ограничениями. Ключевым ограничением является необходимость наличия значительных объемов данных для обучения модели, поскольку недостаточный объем выборки может привести к проблемам переобучения и ухудшению обобщающей способности модели. Еще одним существенным недостатком является низкая интерпретируемость внутренних механизмов принятия решений, что затрудняет интерпретацию результатов и снижает доверие к модели. Более того, процесс обучения нейронных сетей требует больших вычислительных ресурсов, особенно для сложных архитектур, при этом эффективность модели сильно зависит от тщательной настройки множества гиперпараметров, что требует глубоких специальных знаний и значительных временных затрат [16].

Анализ преимуществ и недостатков метода

Настоящее исследование посвящено многофакторному анализу данных, охватывающих пять ключевых аспектов ДТП, а именно: поведение водителей (включая намеренные нарушения ПДД, использование мобильных устройств при управлении транспортным средством и другие формы отвлечения внимания); ДТП, происходящие в период официальных праздников; стаж вождения; тип транспортного средства; состояние дорожного покрытия (сухое, мокрое и т.д.).

Ввиду высокой вероятности корреляции между перечисленными переменными, для анализа данных было решено применить факторный анализ. Данный метод статистического анализа предназначен для выявления скрытых структурных взаимосвязей между исследуемыми переменными, что обеспечивает более глубокое и детализированное понимание изучаемых явлений.

Применение факторного анализа позволяет не только количественно оценить взаимосвязи между различными аспектами ДТП, но и осуществить качественный анализ скрытых факторов, влияющих на частоту и тяжесть ДТП, что, в свою очередь, создает основу для разработки более эффективных мер по предотвращению ДТП и повышению БДД.

В таблице 3.2 приведен сравнительный анализ методов факторного анализа и иных статистических методик. Цель сопоставления — методологический анализ, направленный на выявление исследовательских возможностей и ограничений указанных подходов в контексте изучения ДТП:

Табл. 3.2-Анализ преимуществ и недостатков метода

Метод анализа	Преимущества (по сравнению с факторным анализом)	Недостатки (по сравнению с факторным анализом)
Многомерный логистический регрессионный анализ	Позволяет напрямую предсказывать категориальные исходы, подходит для причинно-следственного анализа и обработки категориальных переменных.	Не предоставляет взгляд на скрытые связи между переменными, не способствует снижению размерности данных.
Кластерный анализ	Позволяет группировать данные на основе сходства между точками данных без необходимости предварительно заданных категорий; выявляет естественное распределение данных.	Не предоставляет непосредственной информации о латентной структуре между переменными; в основном используется для группировки данных, а не для снижения размерности.
Случайный лес	Обеспечивает высокую точность классификации и предсказания, может обрабатывать большое количество признаков и устойчив к пропущенным данным.	В основном используется для предсказания, а не для исследования структуры данных; интерпретируемость модели и вычислительные затраты являются важными факторами.
Анализ временных	Анализирует и	В основном применим к

Метод анализа	Преимущества (по сравнению с факторным анализом)	Недостатки (по сравнению с факторным анализом)
рядов	предсказывает данные, зависящие от времени, захватывая тенденции и периодичность временных рядов.	данным временных рядов; не касается исследования латентных структур между множеством переменных.
Анализ нейронных сетей	Мощная модель для решения нелинейных задач, подходит для сложных проблем и больших наборов данных; может выявлять сложные шаблоны и связи.	В основном используется для задач предсказания; обычно требует больших объемов данных, при этом модель имеет низкую интерпретируемость и высокие вычислительные затраты.

Факторный анализ как метод исследования взаимосвязей параметров ДТП

Факторный анализ — это статистический метод, предназначенный для анализа многомерных данных с высокой степенью корреляции между переменными. В контексте исследования ДТП данный метод приобретает особую релевантность: он позволяет выявлять скрытые факторы, объясняющие вариативность наблюдаемых параметров. Благодаря способности сжимать множество взаимосвязанных переменных до меньшего числа ключевых факторов, метод обеспечивает углубленное понимание сложных причинно-следственных механизмов, лежащих в основе аварийности. Таким образом, факторный анализ — незаменимый инструмент для изучения комплексных взаимосвязей между параметрами ДТП [8].

Факторный анализ — эффективный методологический инструмент для исследования многомерных данных по ДТП. Его ключевое преимущество заключается в возможности снижать размерность данных через выявление скрытых факторов — это существенно упрощает аналитическую модель и повышает интерпретируемость результатов. Эта

черта метода играет ключевую роль в выявлении ключевых структурных закономерностей и главных факторов, влияющих на аварийность.

Факторный анализ характеризуется уникальными методологическими особенностями, отличающими его от других статистических методов. Ключевое отличие заключается в его уникальной исследовательской парадигме: метод позволяет выявлять скрытые структуры данных без априорных предположений о взаимосвязях между переменными. Эта характеристика делает факторный анализ особенно ценным для изучения сложных взаимозависимостей факторов, влияющих на возникновение ДТП.

Сравнительный анализ с другими методами выявляет существенные различия. В отличие от многомерной логистической регрессии и случайных лесов — ориентированных в первую очередь на прогнозирование, — и кластерного анализа, предназначенного для группировки наблюдений, факторный анализ предназначен исключительно для исследования скрытых структур данных. Анализ временных рядов и нейронные сети, несмотря на свои преимущества в обработке краткосрочных данных и решении сложных прогностических задач, не дают сопоставимой глубины исследования скрытых взаимосвязей между переменными.

Таким образом, проведенный сравнительный анализ обосновывает методологическую целесообразность выбора факторного анализа в качестве ключевого метода исследования. Его исключительная способность к сжатию данных и идентификации скрытых структур позволяет не только выявить ключевые детерминанты ДТП, но и формирует научную базу для разработки целенаправленных профилактических мер.

Результаты исследования подтверждают высокий потенциал факторного анализа для повышения БДД. Это открывает новые перспективы для его применения в смежных исследованиях, нацеленных на снижение аварийности и повышение уровня дорожной безопасности.

3.2 Анализ математических методов при исследованиях безопасности дорожного движения

В рамках исследования выявлен комплекс факторов, обуславливающих ДТП. Ключевым фактором выступает поведение водителя: поскольку нарушения ПДД (при смене полос, игнорировании сигналов светофора) существенно повышают аварийность. Уровень водительского мастерства также оказывает значительное влияние — он проявляется в способности адекватно оценивать дистанцию и выбирать оптимальный скоростной режим, особенно на сложных участках дорожной сети [39].

Особую опасность представляет рискованное поведение участников движения, такое как использование мобильных устройств, прием пищи за рулем и другие отвлекающие факторы. Наиболее критичными являются нарушения, такие как управление транспортным средством в состоянии алкогольного опьянения и значительное превышение скоростного режима: они существенно увеличивают вероятность тяжелых последствий.

Исследование также выявило корреляцию между периодами пиковых нагрузок и ростом числа ДТП — это обусловлено увеличением интенсивности транспортного потока и изменением поведенческих моделей водителей. Анализ типов транспортного средства выявил существенные различия в динамике аварийности: мотоциклы и электровелосипеды демонстрируют более высокий уровень риска из-за конструктивных особенностей.

Дорожные условия, особенно при неблагоприятных метеоусловиях или химическом загрязнении, существенно влияют на коэффициент сцепления — что, в свою очередь, сказывается на БДД.

Анализ стажа вождения заслуживает отдельного внимания: он демонстрирует прямую зависимость между опытом управления транспортным средством и способностью адекватно адаптироваться к изменяющимся дорожным условиям.

Табл. 3.3- Таблица характеристических переменных

Категория переменных	Номер характеристической переменной	Название переменной	Описание переменной
Поведение водителя	X1	Опасное поведение водителя во время вождения	Использование телефона, отправка текстовых сообщений, другие действия, отвлекающие внимание водителя, держание предметов в руках, просмотр телевизора, отсутствие защитного шлема, убиение рук с рулевого колеса, употребление еды, питьё, разговор с пассажирами, внезапное заболевание
	X2	Незнание правил дорожного движения	Неправильное поведение при поворотах без сигналов, остановка в непредусмотренных местах, движение не по правой стороне в отсутствие разметки, обгон в непредусмотренных местах
	X3	Серьёзные нарушения ПДД	Превышение скорости более чем на 100%, перегруз на 30% и более, вождение без прав, вождение в состоянии алкогольного опьянения, вождение после употребления алкоголя, использование неисправного ТС, незаконное буксирование, незаконный тюнинг, незаконная перевозка опасных веществ
	X4	Нарушения правил дорожного движения	Вождение ТС без прохождения техосмотра, непредоставление преимущества в движении, нарушение правил дорожного движения, неправильная остановка, движение не по полосе, частая смена полос, неправильный обгон,

Категория переменных	Номер характеристикой переменной	Название переменной	Описание переменной
			неупорядоченное движение в пробке, низкая скорость у школ и жилых зон, нарушение правил обгона, езда на низкой скорости, неправильное движение задним ходом, нарушение порядка движения, превышение скорости менее 10%, от 10% до 50%, от 50% до 100%, перегруз на 10%, перегруз от 10% до 30%, перевозка людей на грузовике, перевозка груза на пассажирском транспорте, перегруз пассажиров, движение встречным направлением, управление в состоянии усталости
	X5	Недостаточные навыки вождения	Неправильное управление ТС, неправильная скорость при проезде мостов, неправильное выбор времени и места для разворота, несвоевременная остановка на светофоре, открытие и закрытие дверей, влияющее на других участников движения, ошибка при повороте, недостаточное расстояние между ТС, неправильное использование световых сигналов, вождение ТС с техническими неисправностями, несоблюдение правил движения при плохой видимости
Периоды пиковых нагрузок	X6	Да	Новый Год (1 января), Праздник Весны (Китайский Новый Год, первые три дня первого лунного месяца), День поминовения

Категория переменных	Номер характеристик истической переменной	Название переменной	Описание переменной
			(Цинмин, день Цинмин), День труда (1 мая), День лодок-драконов (Дуаньу, день Дуаньу), Праздник середины осени (Чжунцю, день Чжунцю), Национальный день (1-3 октября)
	X7	Нет	В другие дни
Транспортное средство	X8	Автотранспортное средство	Легковые автомобили малого, среднего и большого класса, грузовики, фургоны, большегрузы, автобусы большой и средней вместимости, микроавтобусы
	X9	Средство индивидуальное	Велосипеды, трициклы, электровелосипеды, электрические трициклы, электромобили
	X10	Мотоциклы	Легкие мотоциклы, обычные мотоциклы, крупные мотоциклы, трехколесные мотоциклы
	X11	Другие ТС	Пожарные автомобили, скорые помощи, строительная техника, сельскохозяйственные трактора
Дорожные условия	X12	Сухое покрытие	
	X13	Влажное покрытие	
	X14	Покрытие с лужами	
	X15	Другие покрытия	Покрытие с льдом, загрязненное покрытие
Стаж вождения	X16	0-3 года	Включает водителей без прав и с опытом вождения от 1 до 3 лет
	X17	4-6 лет	
	X18	7-9 лет	
	X19	9-12 лет	
	X20	Более 12 лет	

Методология стандартизации данных в исследовании

В связи с различной размерностью исходных переменных (например, «Стаж вождения» измеряется в годах (количественная переменная), а «Поведение водителя» — по суммарной оценке по 5-балльной шкале (категориальная переменная, приведённая к числовому виду)), для устранения влияния единиц измерения и различий в диапазонах значений на результаты анализа было выполнено стандартизация данных с использованием Z-оценок. Формула стандартизации представлена ниже (3.7):

$$z_{ij} = \frac{y_{ij} - \bar{y}_i}{\sigma_i} \quad (3.7)$$

Где y - переменная;

σ - стандартное отклонение всей выборки данной переменной;

i - индекс переменной, характеризующий ДТП, $i=1,2,\dots,m$;

j – индекс ДТП, $j=1,2,\dots,n$

На основе нормированных значений построена матрица Z размером $n \times m$, где каждый столбец соответствует одной стандартизированной переменной. Далее вычислена матрица корреляций для количественной оценки линейных взаимосвязей между переменными. Формула матрицы корреляций (3.8):

$$R = \frac{1}{n-1} ZZ' \quad (3.8)$$

Где R - корреляционная матрица;

Z – матрица нормированных значений переменных;

Z' - транспонированная матрица

Оценка общности на основе квадрата коэффициента множественной корреляции каждой переменной приведена в табл. 3.4.

Табл. 3.4 - общности переменных

Название переменной	Квадрат коэффициента множественной корреляции
---------------------	---

Поведение водителя	0,834078
Дорожные условия	0,740111
Периоды пиковых нагрузок	0,646199
Транспортное средство	0,712295
Стаж вождения	0,641095

Методология проверки корреляционной структуры данных

Перед проведением факторного анализа была выполнена тщательная предварительная обработка данных, включающая устранение пропусков, обработку экстремальных значений и кодирование переменных. Далее при помощи программного обеспечения STATISTICA 10 был применён метод главных компонент (РСА) для выявления латентной факторной структуры данных. Для оценки пригодности данных к факторному анализу использован критерий Kaiser-Meyer-Olkin (КМО) и тест Бартлетта на сферичность. Результаты показали значение КМО = 0.729 и статистическую значимость теста Бартлетта ($p < 0.001$), что свидетельствует о целесообразности проведения факторного анализа.

Методологические основы применения факторного анализа для исследования индикаторной системы ДТП

Факторный анализ — статистический метод, предназначенный для декомпозиции латентных структур взаимосвязей между переменными. Он позволяет выявлять неочевидные латентные факторы из множества наблюдаемых признаков, концентрируя информацию в ключевых компонентах и что позволяет снизить размерность данных.

В рамках настоящего исследования ДТП данный метод служит инструментом идентификации ключевых факторов, определяющих аварийность.

Такой подход обеспечивает глубокое понимание механизмов возникновения аварий и формирует теоретико-методологическую научную базу для разработки целенаправленных мер по предотвращению ДТП и повышению БДД [8].

Математическая модель факторного анализа формулируется

следующим уравнением:

$$X = \Lambda F + \epsilon \quad (3.5)$$

где:

X - вектор наблюдаемых переменных размерности $p \times 1$;

Λ - матрица факторных нагрузок размерности $p \times m$, отражающая влияние каждого из m факторов на наблюдаемые переменные;

F - вектор общих факторов размерности $m \times 1$;

ϵ - вектор уникальных факторов (ошибок) размерности $p \times 1$

3.3 Интерпретация результатов факторного анализ для фактических данных

Результаты факторного анализа

С использованием STATISTICA 10 проведены корреляционный анализ и выделение главных компонент (ПК) данных.

Результаты корреляционного анализа представлены в таблице 3.5; результаты анализа главных компонент (PCA) — в таблицах 3.6–3.7 и на рисунке 3.1.

Результаты проведенного анализа позволяют сформулировать четкие выводы о латентной структуре исследованных показателей и их факторных взаимосвязях, что обеспечивает глубокое понимание структурной организации данных и их взаимозависимостей.

Табл. 3.5 - Матрица корреляции показателей

Корреляция	Поведение водителя	Дорожные условия	Периоды пиковых нагрузок	Транспортное средство	Стаж вождения
Поведение водителя	1,000	0,604	0,499	0,812	0,799
Дорожные условия	0,604	1,000	0,799	0,669	0,312
Периоды пиковых нагрузок	0,499	0,799	1,000	0,538	0,247
Транспортное	0,812	0,669	0,538	1,000	0,580

средство					
Стаж вождения	0,799	0,312	0,247	0,580	1,000

Анализ корреляционных взаимосвязей факторов ДТП

Высокая корреляция:

Между поведением водителя и транспортным средством наблюдается очень высокая корреляция (0.812), что указывает на тесную связь между поведением водителя и транспортными средствами.

Поведение водителя и стаж вождения также показывают сильную корреляцию (0.799), что означает, что поведение водителя тесно связано с опытом вождения.

Дорожные условия и периоды пиковых нагрузок демонстрируют сильную корреляцию (0.799), что подтверждает тесную связь между дорожными условиями и периодами пиковых нагрузок.

Умеренная, но близкая к сильной корреляция:

Корреляция между поведением водителя и дорожными условиями находится в верхнем сегменте среднего уровня (0.604), что указывает на значительную связь между этими факторами.

Транспортное средство и дорожные условия также имеют корреляцию в верхнем сегменте среднего уровня (0.669).

Корреляция между транспортным средством и стажем вождения находится на верхнем уровне среднего диапазона (0.580), что свидетельствует о наличии определенной связи между транспортными средствами и опытом вождения.

Средняя корреляция:

Корреляция между периодами пиковых нагрузок и транспортным средством находится на среднем уровне (0.538), что говорит о наличии связи между периодами пиковых нагрузок и транспортными средствами.

Низкая корреляция:

Корреляция между дорожными условиями и стажем вождения

(0.312), а также между периодами пиковых нагрузок и стажем вождения (0.247) является низкой, что указывает на относительно слабую связь между этими факторами.

Ключевые выводы из матрицы:

Из матрицы видно, что поведение водителя тесно связано с транспортным средством и стажем вождения. Сильная корреляция между дорожными условиями и периодами пиковых нагрузок подсказывает, что эти факторы могут совместно влиять на возникновение ДТП.

Обобщенные выводы научного исследования

Проведенный анализ указывает на полифакторную природу ДТП, возникающих вследствие комплексного взаимодействия множества взаимосвязанных параметров. Среди исследуемых факторов наибольшее значение имеют:

Технические характеристики транспортных средств (включая их тип),

Уровень профессиональной подготовки водителей (определяемый их Стажем вождения),

Обобщенные выводы научного исследования

Проведённый корреляционный и факторный анализ убедительно свидетельствует о полифакторной этиологии ДТП, формирующихся в результате комплексного синергетического взаимодействия множества взаимосвязанных параметров. Среди ключевых факторов риска, выявленных в ходе исследования, доминируют:

технические характеристики транспортных средств (включая их эксплуатационное состояние и оснащение);

уровень профессиональной компетентности водителей, прокси-оцениваемый по продолжительности стажа управления;

параметры качества дорожной инфраструктуры.

Особую научную и практическую значимость представляет выявленная высокая положительная корреляция ($r > 0.7$) между параметрами дорожной

инфраструктуры и интенсивностью транспортного потока в пиковые часы. Это обосновывает необходимость разработки адаптированных алгоритмов организации дорожного движения для пиковых интервалов, интегрирующих совместное воздействие данных факторов — без учёта их синергии любые меры по снижению риска ДТП будут неэффективными.

Кроме того, анализ выявил статистически значимую устойчивую взаимосвязь между техническим состоянием транспортных средств, профессиональной компетентностью водителей и частотой возникновения опасных ситуаций на дороге. Это подтверждает императив совершенствования действующих механизмов мониторинга техсостояния ТС и модернизации системы профессиональной подготовки водителей: именно синергия этих двух факторов вносит наибольший вклад в снижение аварийности.

Вместе с тем, эмпирические данные свидетельствуют о ограниченном модулирующем влиянии стажа вождения на риск ДТП в специфических эксплуатационных условиях: в частности, в пиковые часы и на участках с деградированными дорожными покрытиями. Это означает, что даже опытные водители не могут полностью компенсировать негативное воздействие комбинированных неблагоприятных факторов — таким образом, акцент на «человеческом факторе» должен сопровождаться усилением контроля за инфраструктурой и техсостоянием транспорта.

Табл. 3.6 - Распределение дисперсии по факторам

Компонент	Начальные собственные значения			Сумма квадратов ротированных нагрузок		
	Итого	% дисперсии	Кумулятивная %	Итого	% дисперсии	Кумулятивная %
1	3,372	67,438	67,438	2,244	44,884	44,884
2	1,023	20,465	87,903	2,151	43,019	87,903
3	0,323	6,462	94,364			
4	0,173	3,468	97,833			
5	0,108	2,167	100,000			
Метод извлечения: метод главных компонент.						

Исходя из объяснения общей дисперсии, представленного на рисунке 3.1 и в таблице 3.6, можно сделать следующие выводы:

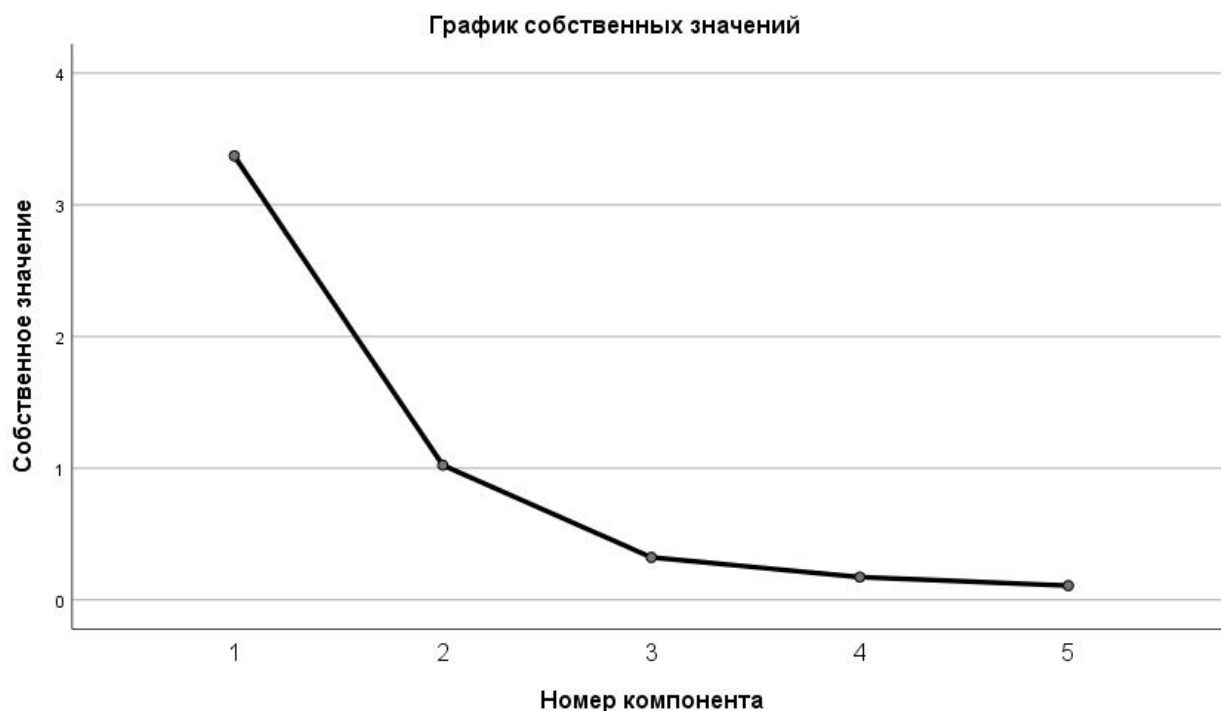


Рис. 3.1 -Схема каменной кладки

Анализ компонентной структуры данных показал, что до вращения компоненты 1 и 2 объясняли подавляющую часть дисперсии — соответственно 67,438% и 20,465%, суммарно накапливая 87,903% дисперсии. Это свидетельствует о том, что данные два компонента уже улавливают основную информацию, заключенную в исследуемом наборе данных.

После извлечения компоненты 1 и 2 сохраняют неизменными свои собственные значения и долю объясненной дисперсии, что указывает на их высокую представленность в исходных данных.

После вращения доли объясненной дисперсии для компонентов 1 и 2 корректируются до 44,884% и 43,019% соответственно. При этом накопленная дисперсия остается близкой к уровню накопленной дисперсии до вращения (87,903%), подтверждая, что вращенные компоненты по-прежнему эффективно объясняют основную вариативность данных, однако их вклад распределен более равномерно.

Компоненты 3, 4 и 5 обладают относительно низкими начальными

собственными значениями, объясняющими лишь 6,462%, 3,468% и 2,167% дисперсии соответственно. Это означает, что они несут значительно меньше информации по сравнению с первыми двумя компонентами.

Поэтому в практическом применении их можно не учитывать с целью упрощения модели — особенно если накопленная дисперсия уже достигла приемлемо высокого уровня [8].

Табл. 3.7 - Матрица компонентов после вращения

Матрица компонентов после вращения		
	Компонент	Компонент
	1	2
Поведение водителя	0,408	0,873
Дорожные условия	0,906	0,277
Периоды пиковых нагрузок	0,924	0,148
Транспортное средство	0,555	0,700
Стаж вождения	0,044	0,945
Метод выделения факторов: метод главных компонент.		
Метод вращения: варимакс с нормализацией Кайзера.		
а. Вращение сошлось за 3 итераций.		

Содержательная интерпретация факторов производится на основе анализа распределения долей единичной дисперсии переменных (рис. 3.2).

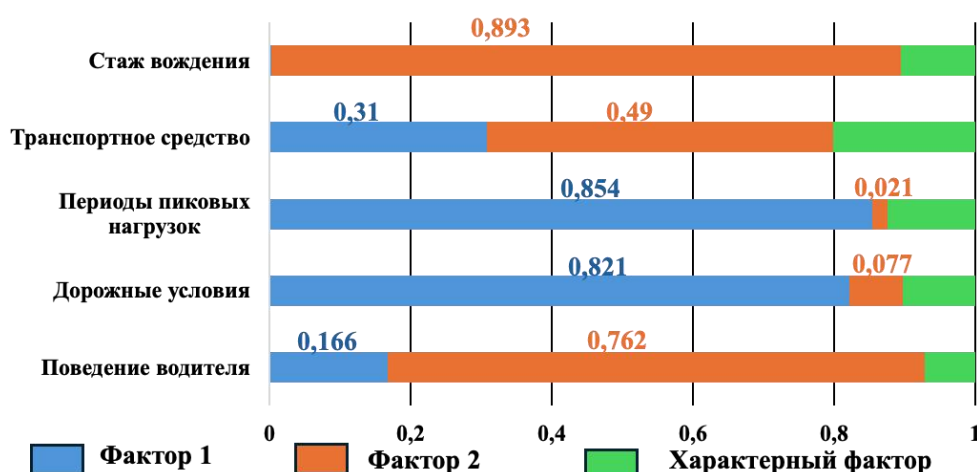


Рис. 3.2 – распределение долей единичных дисперсий по переменным

Анализ факторной структуры причин ДТП

Компонент 1 тесно связан с "дорожными условиями" (факторная

нагрузка 0,821) и "периодами пиковых нагрузок" (факторная нагрузка 0,854). Это означает, что данный компонент, вероятно, представляет факторы, связанные с внешней средой (дорожными условиями) и периодами пиковых нагрузок (праздниками), которые играют важную роль в причинах ДТП.

Компонент 2 сильно связан с "поведением водителя" (факторная нагрузка 0,762) и "стажем вождения" (факторная нагрузка 0,893). Это указывает на то, что второй компонент, возможно, отражает факторы, связанные с индивидуальным поведением водителей и их опытом — оба аспекта критически важны для понимания причин ДТП на дорогах.

"транспортное средство" имеет относительно сбалансированные факторные нагрузки на обоих компонентах (0,31 и 0,49), что свидетельствует о его влиянии как на внешние условия (дорожную среду), так и на индивидуальные характеристики водителей при ДТП.

Заметно, что "стаж вождения" имеет очень высокую факторную нагрузку на компоненте 2 (0,893), что подчёркивает ключевую роль опыта вождения в анализе причин ДТП [8].

В сравнении, "поведение водителя", хотя и имеет высокую факторную нагрузку на компоненте 2, также демонстрирует умеренную нагрузку на компоненте 1 (0,408). Это может означать, что поведение водителей связано не только с индивидуальными особенностями и опытом, но и с внешними факторами (например, состоянием дороги) при ДТП [8].

Одним из определяющих преимуществ факторного анализа является то, что полученные факторы являются независимыми и это позволяет анализировать различные ситуации фиксируя один из факторов и изменяя другой, получая при этом качественно иную ситуацию. Исходя из распределения долей единичных дисперсий первый фактор можно назвать фактором дорожных условий, а второй – фактором водителя.

Факторная модель имеет следующий вид, как показано в формулах 3.9 и 3.10:

$$F_1 = 0,0053bd + 0,4807rc + 0,5276h + 0,1334v - 0,3028s \quad (3.9)$$

$$F_2=0,3901bd-0,1401rc-0,2236h+0,2441v+0,6041s \quad (3.10)$$

где bd – переменная, характеризующая поведение водителя;

rc - переменная, характеризующая дорожные условия;

h - переменная, характеризующая периоды пиковых нагрузок;

v - переменная, характеризующая транспортное средство;

s - переменная, характеризующая стаж вождения.

Результаты факторного анализа, полученные на основе исследования дорожно-транспортных происшествий, позволили из множества переменных, влияющих на совершение ДТП выделить независимые друг от друга и статистически достоверные факторы и построить факторные модели для оценки и прогнозирования дорожно-транспортной аварийности.

Выводы по главе

Результаты факторного анализа позволили выделить два ключевых фактора, определяющих возникновение ДТП. Исходя из распределения долей единичных дисперсий, первый фактор можно назвать фактором дорожных условий (F1) , характеризуется высокими факторными нагрузками по переменным: дорожные условия (0.906) и периоды пиковых нагрузок (0.924). Это свидетельствует о существенном влиянии внешних факторов на аварийность. Умеренная факторная нагрузка по переменной " транспортное средство " (0.555) дополнительно указывает на роль технических характеристик транспортных средств в формировании внешних рисков.

Второй фактор можно назвать фактором водителя (F2) : он тесно связан с поведением водителя (0.873) и стажем вождения (0.945). Это подтверждает ключевую значимость индивидуальных характеристик и опыта водителей для аварийности. Факторная нагрузка по переменной " транспортное средство " (0.700) указывает на взаимосвязь между выбором транспортных средств и поведенческими аспектами водителей.

Таким образом, анализ подтверждает сложную природу факторов ДТП: они включают как дорожные условия, так и водителя, действующие совместно на риск ДТП.

Глава 4. Методы исследования и применение управленческих решений в области безопасности дорожного движения на основе анализа дорожно-транспортных происшествий

Результаты третьей главы диссертации свидетельствуют о полифакторной природе ДТП, где сочетаются внешние и внутренние детерминанты, а также технические характеристики ТС. Выявленная взаимосвязь между различными факторами существенно усложняет процесс управления БДД. Это требует перехода от традиционных подходов к комплексному управлению, основанному на межведомственной координации и применении современных технологических решений.

В данном контексте целесообразно разработать специализированный аналитический инструментарий, способный интегрировать результаты многофакторного анализа в процесс принятия управленческих решений [16]. Четвертая глава диссертации посвящена созданию системы поддержки принятия решений (СППР), интегрирующей современные информационные технологии и методы управления базами данных. Предлагаемая система направлена на практическое применение результатов, полученных в ходе выполнения диссертационной работы, обеспечивая научно обоснованный подход к повышению уровня БДД посредством внедрения технологий в управленческие процессы.

4.1 Система поддержки принятия решений в управлении безопасностью дорожного движения

В рамках реализации «Национального плана по обеспечению БДД на период 14-й пятилетки» в КНР произошли существенные изменения в пространственном распределении транспортных потоков. Согласно положениям «Основных направлений 14-го пятилетнего плана социально-экономического

развития Китайской Народной Республики и долгосрочных целей до 2035 года», после завершения создания интеллектуальной транспортной инфраструктуры в крупных городах акцент развития постепенно смещается на малые и средние города, а также сельские районы. Этот процесс сопровождается глубокими трансформациями в организации транспортного обслуживания сельских территорий в условиях углубляющейся интеграции городских и сельских пространств.

Современные технологические достижения активно интегрируются в систему управления дорожным движением. В китайской практике широкое распространение получили ИТС, основанные на применении технологий обработки больших данных, искусственного интеллекта и интернета вещей. Данные инновации позволяют осуществлять комплексный мониторинг транспортных потоков в режиме реального времени, адаптивное управление светофорными системами и предоставление информационных сервисов, что способствует повышению уровня безопасности и эффективности дорожного движения [38].

Особое внимание уделяется развитию системы оценки безопасности дорожной инфраструктуры — ключевого компонента БДД. Создается межведомственный координационный механизм с участием Министерства транспорта, Министерства общественной безопасности, Министерства образования, Национальной комиссии здравоохранения и других профильных ведомств. Внедряется методика оценки рисков, основанная на комплексном анализе данных о состоянии дорожных объектов, характеристиках транспортных средств, поведенческих моделях водителей и погодных условиях.

Сравнительный анализ подходов к обеспечению БДД: международный опыт и практика КНР

Международные инициативы в области БДД, в частности проект «Vision Zero», инициированный Швецией, демонстрируют принципиально иной подход по сравнению с китайской практикой. Концепция «нулевой смертности

и нулевого травматизма» реализуется через комплексную систему мер, объединяющую технологические решения, законодательное регулирование, инновационные подходы к проектированию дорожной инфраструктуры и масштабные программы общественного просвещения. Особое место в рамках последних занимают современные методы подготовки начинающих водителей, направленные на формирование устойчивых навыков безопасного вождения и правовой культуры — это ключевой фактор снижения рисков на этапе их вхождения в дорожный поток. Как показывает опыт Швеции и Нидерландов, эффективное воплощение данной концепции требует не только внедрения технологических новшеств, но и трансформации транспортной культуры посредством законодательных мер, поведенческих корректировок и масштабного общественного вовлечения [3].

В отличие от вышеупомянутого международного системного подхода (например, концепции «Vision Zero»), китайская модель управления БДД преимущественно ориентирована на технологическую модернизацию и решение локальных проблем. Несмотря на постепенное внедрение ИТС в крупных городах, в стране отсутствует комплексная стратегическая концепция, сопоставимая по масштабу с «Vision Zero». В то время как философия «нулевой смертности» делает ставку на предотвращение ошибок (через культурные и технологические инновации), китайские меры часто носят карательно-запретительный характер — это подтверждается, например, предложениями по установлению уголовной ответственности для водителей с административными или уголовными правонарушениями в прошлом. Такие подходы подчеркивают реактивный, а не проактивный характер управления БДД в Китае. Текущие цели государственной политики в этой сфере сосредоточены преимущественно на оперативном управлении и снижении показателей аварийности, тогда как формирование устойчивой культуры БДД и стимулирование долгосрочных поведенческих изменений (например, у начинающих водителей) пока не стали приоритетами [11].

Анализ информационного обеспечения системы управления БДД

В ходе исследования, изложенного в предыдущей главе, диссертация выявила ключевые детерминанты уровня БДД : тип транспортного средства, поведение водителя, происшествия во время государственных праздников в Китае, состояние дорожного покрытия и стаж вождения. Однако данные по этим детерминантам собираются преимущественно органами дорожной полиции, что существенно ограничивает полноту аналитической базы и подчеркивает настоятельную потребность в обмене данными и комплексном анализе. Данное ограничение дополнительно подтверждает необходимость разработки СППР для управления БДД — это обусловлено недостаточным объемом и доступностью данных на системном уровне, типовым характером и ограниченной эффективностью мер по снижению ДТП, а также запаздыванием принятия стратегических решений [11,63]. Как показано на рис. 4.1, концепция «пирамиды безопасности» демонстрирует, что большая часть данных охватывает нормальные условия и конфликтные ситуации, однако они остаются за рамками эффективного анализа. Текущая фрагментированная модель сбора и управления данными лишь усугубляет эту проблему.

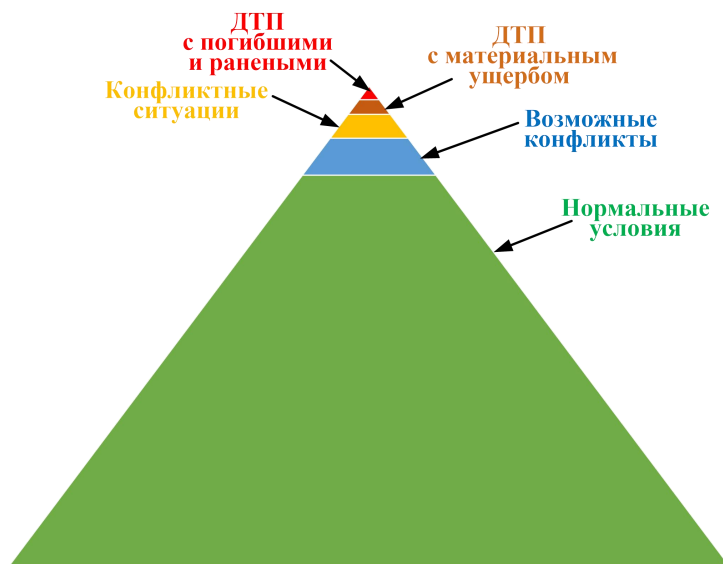


Рис 4.1 - Пирамида безопасности

Несмотря на официально начавшуюся в 1986 году интеграцию информационных систем управления БДД в различных ведомствах, на практике до сих пор отсутствует единая платформа для

информационно-аналитического взаимодействия между дорожной полицией, транспортными управлениями и органами автодорожного комплекса. Ведомственные барьеры по-прежнему препятствуют эффективному обмену данными и их комплексному анализу.

Существующая инфраструктура сбора и обработки данных имеет значительные ограничения: оборудование для мониторинга дорожных условий характеризуется неоднородностью технических характеристик, настроек и качества обслуживания. Большинство мониторинговых устройств работают в режиме базового видеонаблюдения, не обеспечивая комплексного сбора и анализа данных — это приводит к недостаточному объёму информации, низкому качеству данных и снижению их потенциальной ценности [66,74].

Кроме того, отсутствие унифицированного механизма интеграции и обмена данными, а также фрагментарность хранения информации и разнородность её форматов дополнительно ограничивают системную интеграцию и всесторонний анализ. Низкий уровень развития программно-аппаратных решений, наряду с нехваткой высококвалифицированных технических специалистов, существенно сужает возможности системы по обработке информации, проведению комплексного анализа и выработке научно обоснованных управленческих решений [6].

Архитектура информационной подсистемы для проектирования и реализации СППР БД

В условиях постоянного усложнения дорожной обстановки СППР БД должна представлять собой комплексную систему с двойным механизмом (знания + модели), обеспечивающую постоянную адаптацию к изменяющейся среде. Технологической основой функционирования таких моделей являются данные видеофиксации с городских улиц и дорог, которые используются для построения и калибровки макромоделей фундаментальных транспортных потоков. Кроме того, применяются методы анализа больших данных в контексте искусственного интеллекта для решения задач умного города [9].

Интегрируя профессиональные знания в сфере дорожной безопасности и

транспорта, модели обработки данных и транспортных потоков, данная система предоставляет специалистам соответствующие прецеденты, нормативы и методики. Для целевого использования информации база знаний должна соответствовать требованиям: сохранения семантической целостности в общей системе знаний; обеспечения согласованности, полноты и преемственности знаний; целевой передачи знаний специалистам в соответствии с запросами; реализации имитационного моделирования транспортных процессов [36].

Описываемая СППР БД представляет собой комплексную платформу, которая интегрирует современные информационные технологии и управленческие методики. Её цель заключается в обеспечении поддержки принятия научно обоснованных решений, направленных на повышение уровня безопасности дорожного движения. В данном исследовании была разработана платформа поддержки принятия решений, предназначенная для применения дорожной полицией и соответствующими административными органами, с особым вниманием к созданию ключевого компонента — специализированной базы данных по дорожной безопасности. Данная система реализует полную интеграцию процессов сбора, хранения, обработки и анализа соответствующей информации, что гарантирует целостность, непротиворечивость и доступность информационных ресурсов. Это, в свою очередь, создаёт основу для проведения эффективного анализа и обеспечивает функциональное взаимодействие с другими подсистемами. В исследовании подробно излагаются механизмы сбора, хранения, обработки и аналитического использования информации, относящейся к различным аспектам безопасности дорожного движения, что обеспечивает высокую производительность обработки данных и оперативный доступ к релевантной информации [95,17].

Как показано на рисунок 4.2, структура СППР БД включает в себя следующие компоненты: подсистемы внутренней и внешней информации, прогнозно-аналитическую платформу, подсистему принятия решения.

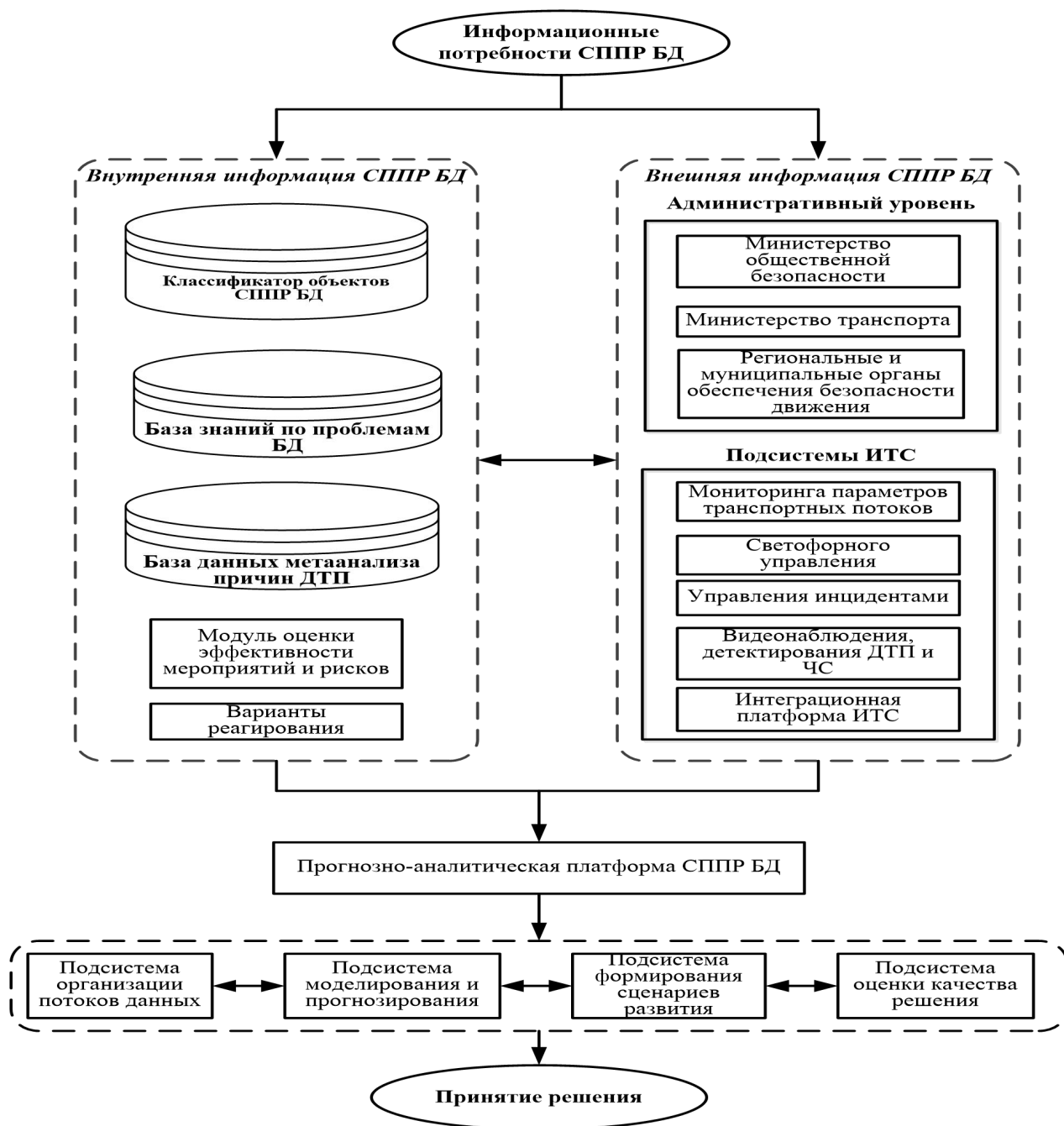


Рис. 4.2 - структура системы поддержки принятия решений по управлению безопасностью дорожного движения

4.2 Принцип работы и основные функции подсистемы

Кроме того, подсистемы внутренней и внешней информации представляют собой подсистемы управления данными, основанные на

высокопроизводительных системах управления реляционными базами данных (таких как PostgreSQL или MySQL), которые обеспечивают надёжное хранение и управление информацией. Безопасность данных гарантируется за счёт таких механизмов, как регулярное резервное копирование, шифрование данных и контроль доступа.

Подсистема внутренней информации и её компоненты

Как показано в таблице 4.1, подсистема внутренней информации состоит из следующих компонентов:

Классификатор объектов СППР БД - участники дорожного движения, транспортная инфраструктура, транспортные средства, система управления безопасностью движения. Является целевой структурой, связывающей факторы риска каждого объекта с совокупностью соответствующих им показателями и мероприятий;

База знаний по проблемам обеспечения БДД - интеграция результатов исследований с целью выявления и устранения противоречий для повышения надежности выводов на системном уровне;

База данных ДТП, взаимосвязей между факторами риска, мероприятиями и эффективностью;

Модуль оценки эффективности мероприятий и рисков - отвечает за повседневное выявление и оценку рисков, а также за оценку результативности мер безопасности;

Варианты реагирования - обеспечивает возможность быстрого, организованного и эффективного реагирования в случае возникновения происшествия.

Табл. 4.1 - Компоненты подсистемы внутренней информации

Наименование компонента	Наименование данных	Содержание данных	Категория	Периодичность обновления	Источник данных
Классификатор объектов	Сведения о дорожной инфраструк-	Данные о городских дорогах, перекрёстках,	Статистические данные	Ежеквартально	Министерство транспорта КНР и реги-

Наименование компонента	Наименование данных	Содержание данных	Категория	Периодичность обновления	Источник данных
СППР БД	туре	светофорах, дорогах с односторонним движением, закрытых маршрутах, а также информация о местоположении и статусе парковок			ональные органы управления транспортом
	Сведения о транспортных средствах и водителях	Данные о регистрации всех видов транспортных средств, типах, характере использования и тенденциях их изменений	Статические данные	Ежеквартально	Управление дорожной полиции Министерства общественной безопасности КНР
База данных ДТП	Записи о ДТП	Время и место происшествия, участвующие транспортные средства, тип и последствия аварии, включая базовую информацию о водителях, историю вождения и учёт нарушений.	Статические данные	Ежеквартально	Органы Дорожной полиции
База знаний по проблемам обеспечения БДД	Документы, связанные с управлением дорожным движением	Включает 13 видов управленческих документов, таких как «Правила реализации Закона КНР о дорожной безопасности»	Статические данные	Ежегодно	Управление дорожной полиции МОБ КНР и местные отделы дорожной полиции
Модуль оценки эффективности мероприятий и рисков	Данные о рисках и предупреждениях	Результаты расчёта моделей рисков (баллы и уровни риска), предупредительная информация (напр., опове-	Статические данные	Ежеквартально	Генерируется платформой автоматически, Управление дорожной полиции,

Наименование компонента	Наименование данных	Содержание данных	Категория	Периодичность обновления	Источник данных
		щения о просроченных проверках транспортных средств), профили рисков предприятий, реестр точек потенциальных опасностей			Транспортное бюро, Управление по ЧС
	Данные об эффективности управления	Объем выявленных нарушений ПДД, уровень завершенности устранения скрытых опасностей, данные сравнения эффективности до и после реализации мер, четыре показателя аварийности (количество ДТП, число погибших и т. д.)	Статистические данные	Ежеквартально	Управление дорожной полиции, Транспортное бюро, Управление по ЧС
Варианты реагирования	Данные планов реагирования на ЧС	Оцифрованные тексты планов, процессы реагирования, меры по ликвидации, условия активации, распределение обязанностей, перечень ресурсов	Статистические данные	Ежеквартально	Разрабатывается Управлением по ЧС совместно с соответствующими ведомствами (дорожная полиция, транспорт, пожарные, здравоохранение и др.)
	Данные ресурсов для ЧС	Аварийно-спасательные формирования (место дислокации, личный состав, оснащение), пункты хранения аварийных запасов, аварийное оборудование, база	Статистические данные	Ежеквартально	Управление по ЧС, Транспортное бюро, Министерство общественной безопасности, Комитет по здравоохранению, Бюро ж

Наименование компонента	Наименование данных	Содержание данных	Категория	Периодичность обновления	Источник данных
		данных экспертов, убежища.			илищного строительства и городского-сельского развития

Подсистема внешней информации и её компоненты

Подсистема внешней информации базируется как на данных органов управления безопасностью дорожного движения, так и на данных интеллектуальной транспортной системы. Основными источниками данных на административном уровне являются Министерство общественной безопасности и его территориальные подразделения, Министерство транспорта КНР, региональные департаменты транспорта, подразделения дорожной полиции. На функциональном уровне наиболее надежным источником информации является интеллектуальная транспортная система и, прежде всего, подсистемы мониторинга параметров транспортных потоков, светофорного управления, видеонаблюдения, детектирования ДТП и ЧС, управления инцидентами, интеграционная платформа [7]. Конкретное содержание представлено в таблице 4.2.

Табл. 4.2 - Компоненты подсистемы внешней информации

Наименование данных	Содержание данных	Категория	Период обновления	Отдел источника данных
Картографические данные	Данные GPS, LBS и т.д.	Динамические	Ежедневно	Министерство природных ресурсов, Министерство жилищного и городского строительства и местные органы жилищного строительства
Данные реального времени дорожного	Данные о потоке транспортных средств и пешеходов на основных дорогах и перекрестках,	Динамические	В реальном времени	Департамент управления дорожным движением

Наименование данных	Содержание данных	Категория	Период обновления	Отдел источника данных
наблюдения	данные о заторах и нарушениях			Министерства общественной безопасности и местные подразделения дорожной полиции
Видео данные реального времени	Камеры дорожного наблюдения в реальном времени фиксируют ДТП, быстро определяют их местоположение и состояние, а также фиксируют погодные условия, влияющие на безопасность дорожного движения, такие как дождь, туман, град и т.д.	Динамические	В реальном времени	Китайское метеорологическое управление и Муниципальное управление городским хозяйством
Данные системы OBD транспортных средств	Записи ключевых данных о вождении, таких как данные о движении, ускорении, экстренном торможении, пробеге, скорости, привычках вождения, состоянии бортового компьютера и т.д.	Динамические	В реальном времени	Платформа для подключения автомобилей к сети, поставщик данных и Министерство транспорта

В рамках национальной стратегии предотвращения ДТП в Китае исследования в основном опираются на данные, поступающие с двух ключевых платформ.

Платформа данных о транспортных средствах основана на системе OBD (бортовая диагностическая система) реальных автомобилей и записывает подробные данные о движении транспортных средств. Рисунок 4.3 показывает процесс передачи данных OBD от транспортного средства к конечному органу по принятию решений в области дорожной безопасности, а также роль каждого отдела в этом процессе.

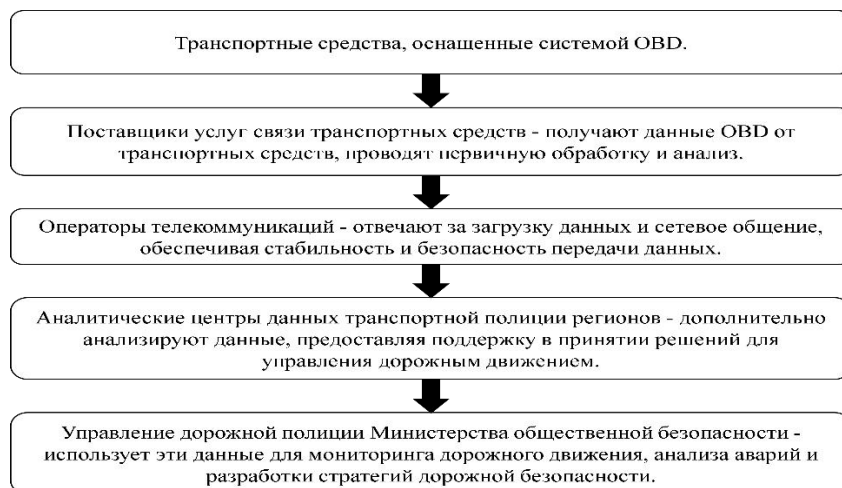


Рис. 4.3 - Процесс передачи данных OBD от транспортного средства к конечным органам принятия решений по БДД

Картографические данные поддерживают долгосрочное планирование и развитие инфраструктуры. Используя данные в реальном времени из системы навигации Weidou (GPS), географической информационной системы (ГИС) и автомобилей с панорамной съемкой, а также регулярные обновления от крупных картографических сервисов, таких как Amap и Baidu Maps, Министерство общественной безопасности Китая может осуществлять региональное планирование и оптимизацию транспортной сети [35].

Данные о дорожном движении в реальном времени собираются с помощью камер, установленных дорожной полицией и другими поставщиками. Они включают информацию о нарушениях, таких как превышение скорости, неправильная парковка и движение в неполюженном направлении, а также о нарушениях, совершаемых не моторизованными транспортными средствами и электрическими велосипедами.

Платформа прогнозной аналитики и её подсистемы

Прогнозно-аналитическая платформа включает подсистему организации потоков данных, подсистему моделирования и прогнозирования, подсистему формирования сценариев, подсистему оценки качества решения.

Подсистема организации потоков данных

Подсистема организации потоков данных отвечает за формирование целевых запросов к данным и автоматический поиск схожих ситуаций и

решений даже в условиях неполных данных. Технологическая платформа подсистемы реализована на основе интеграции ключевых компонентов, таких как система поддержки принятия решений, реляционные базы данных, объектно-ориентированное программирование, методы искусственного интеллекта и распределённый механизм синхронизации данных. Её ядро использует высокоэффективные системы управления данными (такие как Oracle, MySQL) для обеспечения надёжного хранения и обработки информации, связанной с дорожной безопасностью. Подсистема реализует эффективный обмен данными через настраиваемые программные интерфейсы и обеспечивает низкую связанность и высокую модульность компонентов посредством многоуровневой архитектуры (уровень данных, уровень бизнес-логики и уровень представления).

Подсистема организации потоков данных обладает следующими функциональными возможностями: поддержка потоковой обработки и анализа данных из внешних источников информации, реализация оперативных вычислений и доступа к архивным данным; предоставление разнообразных способов распознавания и приёма запросов, а также автоматическое обновление данных в соответствии со стандартами временной интеграции; возможность интеграции данных из новых и перспективных источников информации; повышение достоверности ответов за счёт комплексного учёта многочисленных результатов исследований и практических примеров при генерации ответов на запросы в реальном времени; применение алгоритмов искусственного интеллекта (включая машинное обучение и глубокие нейронные сети) для интеллектуального анализа данных, выявления и интерпретации различий в результатах в аналогичных ситуациях с предоставлением возможных источников этих различий.

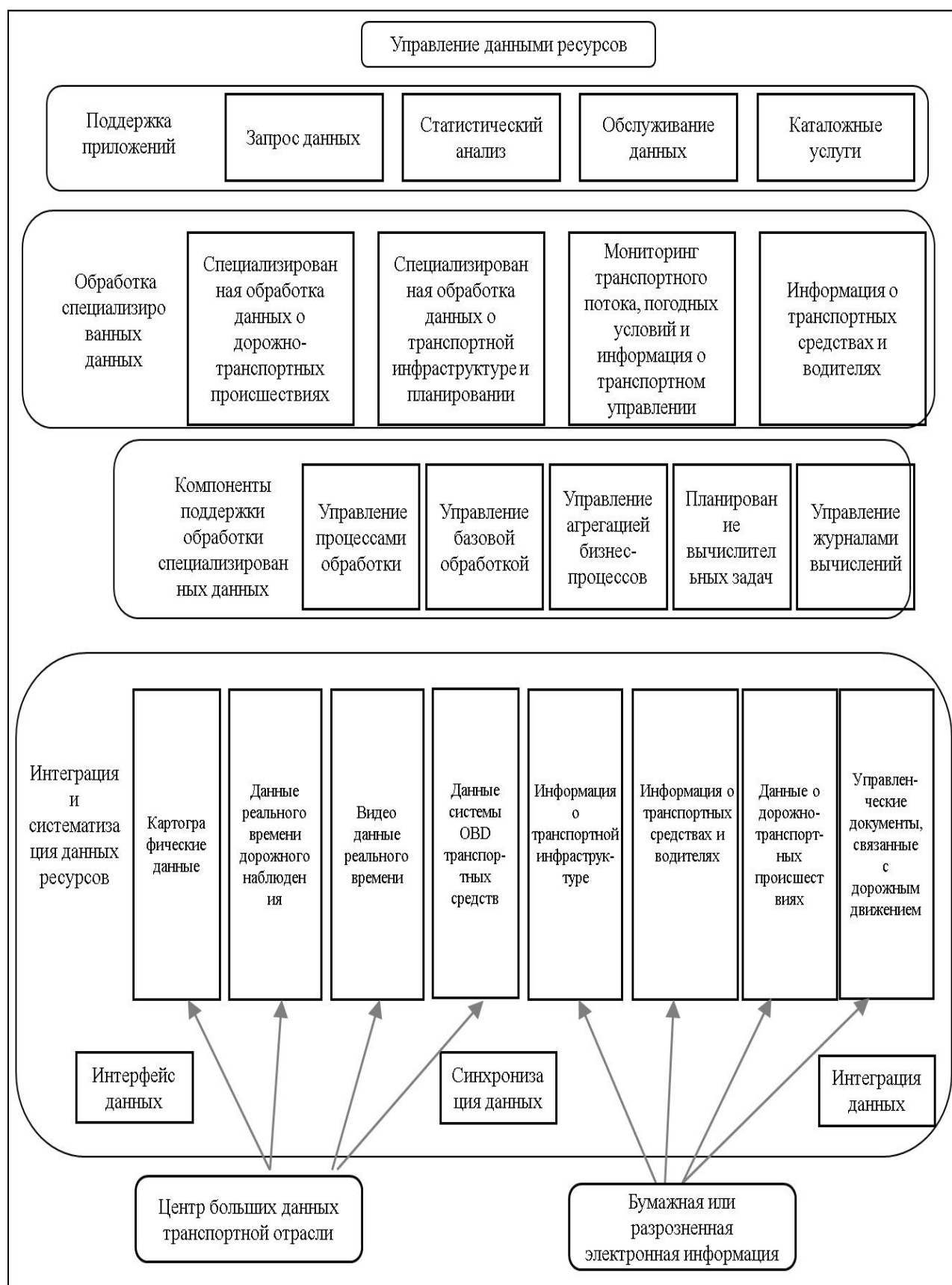


Рис. 4.4 - Общая схема управления данными

Как показано на рисунок 4.4, посредством распределённого механизма синхронизации баз данных и координации через центральный диспетчерский

центр различных хранилищ информации, подсистема реализует точный контроль информационных потоков и оптимальное распределение вычислительных ресурсов, что значительно повышает эффективность процесса сложного управленческого принятия решений и точность прогнозирования ДТП, а также обеспечивает научную основу и практическую ценность для разработки стратегий управления безопасностью [2].

Подсистема моделирования и прогнозирования функционирует на основе следующих моделей:

Модели выявления дорожно-транспортных происшествий и инцидентов.

Модель обнаружения дорожно-транспортных происшествий и инцидентов осуществляет функцию непрерывного мониторинга реального состояния дорожной инфраструктуры и метеорологических условий, а также способна оперативно реагировать на внезапные события, такие как дорожно-транспортные происшествия.

Эти данные помогают транспортным управленцам планировать меры по обеспечению дорожной безопасности и оптимизировать транспортные потоки. Используя данные о заторах, управляющие органы могут корректировать работу светофоров, оптимизировать маршруты и внедрять адаптивное управление трафиком через Интернет вещей, включая камеры наблюдения и данные, предоставляемые пользователями [7].

Видео данные реального времени, предоставленные камерами дорожного наблюдения и метеорологическими устройствами, также поддерживают мгновенное принятие решений по управлению дорожным движением, например, корректировку маршрутов во время заторов и быстрое реагирование на аварии, чтобы обеспечить бесперебойное и безопасное движение [13].

Для оптимизации выполнения запросов и взаимодействия с другими компонентами системы разработаны специализированные API (Application Programming Interfaces), которые обеспечивают интеграцию данных и поддерживают функциональность пользовательских интерфейсов [5].

Применение математических моделей для анализа данных о

транспортных потоках сталкивается с проблемой интеграции информации из различных источников [47]. Это может привести к возникновению противоречий и несоответствий. Для разрешения имеющихся затруднений рекомендуется использовать алгоритмы объединения данных, в частности метод взвешенного среднего, который описывается формулой 4.1. Приведенный подход обеспечивает эффективное объединение различных типов данных с сохранением их точности и внутренней целостности.

$$x_{fused} = \sum_{i=1}^n w_i x_i \quad (4.1)$$

Где:

x_i — данные из i -го источника,

w_i — соответствующий вес,

n — общее количество источников данных.

X_{fused} — финальное значение после слияния

При консолидации данных, полученных из различных источников, могут возникать как согласованные, так и противоречащие результаты наблюдений [47].

Метод расчета взвешенного среднего базируется на принципе дифференцированного вклада отдельных источников в конечный результат, при котором больший вес присваивается данным, обладающим более высоким уровнем достоверности или лучше соответствующим реальным условиям. Данный подход позволяет значительно уменьшить неопределенности, возникающие вследствие расхождений в измерениях. Для обеспечения оптимальной эффективности применения данного метода при интеграции информации необходимо учитывать ряд ключевых параметров.

Во-первых, следует четко определить критерии для выбора весовых коэффициентов, принимая во внимание надежность источников данных, их историческую точность и степень возможной погрешности измерений. Источникам, обладающим стабильной аппаратной базой, высокой точностью измерений или использующим проверенные методики, должны быть присвоены более высокие весовые значения. В то время как данным, характеризующимся

низкой надежностью или значительными историческими погрешностями, следует присвоить более низкие весовые коэффициенты. Применение статистических показателей, таких как частота ошибок и уровень отказов, позволяет динамически корректировать распределение весовых коэффициентов, обеспечивая более точное отражение стабильности каждого источника данных [43].

Во-вторых, перед расчетом взвешенного среднего необходимо провести идентификацию и фильтрацию аномальных значений. Данные с экстремальными показателями или полученные при известных сбоях оборудования либо исключаются из анализа, либо получают минимальные весовые коэффициенты, что предотвращает искажение итоговых результатов и обеспечивает корректность последующей обработки данных.

В-третьих, после установления весовых коэффициентов и проведения процедуры очистки данных выполняется непосредственный расчет взвешенного среднего по соответствующей формуле. На данном этапе критически важно обеспечить согласованность выбранной стратегии взвешивания, характеристик источников данных и применяемой методики расчетов. Это необходимо для достижения точных и интерпретируемых результатов [43].

В практических условиях процесс интеграции данных характеризуется динамичностью и итеративностью. Система требует регулярного обновления весовых коэффициентов и пересчёта итоговых показателей по мере поступления новых данных, что позволяет оперативно учитывать изменения как в исходной информации, так и во внешних условиях. Наличие механизмов обратной связи, включающих возможность верификации результатов по фактическим значениям или использование альтернативных критериев оценки качества, создаёт условия для дополнительной корректировки весовых параметров. Такой подход обеспечивает повышение точности и внутренней согласованности конечных результатов [93].

Метод взвешенного среднего представляет собой эффективный

инструмент не только для преодоления проблем, связанных с неоднородностью источников данных, но и для гибкой настройки вклада каждого источника в зависимости от его достоверности и значимости для анализа дорожной ситуации.

Операционные модели оптимального ресурсного обеспечения действий при ДТП и инцидентах

Операционные модели оптимального ресурсного обеспечения действий при ДТП и инцидентах используют циклический механизм работы, последовательно включающий следующие этапы: анализ данных, идентификацию опасных участков дорог, разработку и имитационное моделирование профилактических мер, внедрение мер. Данные модели, включающие перечень необходимых служб и их зон ответственности, а также организационные, технические и кадровые ресурсы, определяют стратегию действий с учётом сложности ситуации и имеющихся ограничений.

С методологической точки зрения, анализ причин ДТП осуществляется путём комбинации статистического анализа и алгоритмов машинного обучения для точного выявления ключевых причин происшествий [100]. Разработка профилактических мер включает технико-технологические решения (такие как модернизация дорожной инфраструктуры и оптимизация дорожной разметки) и организационно-управленческие меры (включая стратегии регулирования транспортных потоков и корректировку поведения участников дорожного движения). Наряду с готовыми ситуационными решениями большое значение имеют модельные решения для конкретной ситуации. Валидация эффективности мер проводится с использованием комбинированного метода имитационного моделирования транспортных потоков и натурных испытаний, что обеспечивает высокую степень соответствия прогнозных результатов и фактической эффективности.

Модели планирования времени для возвращения к нормальным условиям движения

Модели планирования времени для возвращения к нормальным условиям

движения являются ключевым компонентом СППР БД, предназначенным для прогнозирования потенциальных сценариев ДТП и оценки соответствующих рисков. Эти комплексные модели используют входные данные моделей ресурсного обеспечения и модели прогнозирования изменения характеристик транспортных потоков. Основанные на комплексном анализе исторических данных и оперативной информации, они применяют современные аналитические технологии для прогнозирования возможных мест и временных промежутков возникновения ДТП, что позволяет органам управления разрабатывать эффективные профилактические меры.

Основные функциональные возможности модели включают углубленный анализ данных о происшествиях и прогнозирование будущего уровня аварийности. Первоначально путём изучения исторических данных проводится анализ тенденций аварийности для выявления устойчивых закономерностей и тенденций развития; затем осуществляется оценка рисков, определяющая вероятность возникновения ДТП в конкретные периоды времени и участки дорожной сети при текущих условиях движения; далее строится и обучается модель машинного обучения для прогнозирования потенциальных очагов аварийности; наконец, на основе прогнозных результатов формируются конкретные рекомендации по организации дорожного движения и обеспечению безопасности, обеспечивающие научную основу для принятия управленческих решений.

Модель функционирует на основе методологии комплексной интеграции данных, объединяющей информацию из множества источников. Эти данные включают параметры транспортного потока, метеорологические условия и характеристики дорожной инфраструктуры [4]. Прогнозный модуль подсистемы использует методы анализа временных рядов для выявления циклических закономерностей на основе исторических данных о происшествиях. Подсистема повышает точность прогнозирования за счёт периодического обновления и переобучения моделей. На основе актуальных данных и обученных моделей осуществляется оценка рисков и прогнозирование

ДТП, что позволяет формировать рекомендации по организации дорожного движения и профилактике происшествий. На заключительном этапе прогнозные результаты сравниваются с фактическими данными о происшествиях, создавая механизм обратной связи для оптимизации моделей и стратегий.

Данная модель предоставляет количественное обоснование для принятия управленческих решений и демонстрирует существенные преимущества по сравнению с традиционными статистическими методами. Применение нейронных сетей позволяет выявлять сложные нелинейные зависимости в данных, значительно повышая точность и оперативность прогнозирования.

Её математическая модель представлена в формуле 4.2. Данный метод обеспечивает комплексную обработку разнородных данных с учётом степени влияния характеристик каждого типа данных на конечный прогнозный результат. Модель используется для интеграции подсистемы внутренней информации (табл. 4.1) и подсистемы внешней информации (табл. 4.2). Интеграция данных реализована через механизм взвешенной интеграции признаков.

$$X_t = \sum_{i=1}^n w_i x_i^{(t)}, \quad w_i = \frac{Reliability(x_j)}{\sum_j Reliability(x_j)} \quad (4.2)$$

Где:

X_t : Вектор. Объединенный вектор признаков в момент времени t .

Диапазон- R^d (d -мерное вещественное пространство).

n : Скаляр. Общее количество источников данных. Диапазон - $n \geq 1$.

w_i : Скаляр. Динамический вес i -го источника данных. Диапазон - $(0,1]$ (вес больше 0 и не больше 1).

$x_i^{(t)}$: Вектор. Вектор признаков i -го источника данных в момент времени t .

Диапазон зависит от типа источника данных.

$Reliability(x_j)$: Функция. Функция оценки достоверности источника данных. Диапазон- $[0,1]$ (значение от 0 до 1 включительно).

На рис. 4.5 представлены результаты визуализации временных рядов

индекса риска, сформированного путём интеграции статических данных дорожной инфраструктуры и динамических показаний датчиков с использованием алгоритма взвешенной агрегации признаков.

При этом доверительные веса w_i динамически обновляются на основе исторической точности. На рис. 4.6 показан частичный процесс реализации базовой прогнозной модели на Python с использованием пространственно-временной двухпоточной архитектуры сети, представленной в формуле (4.3):

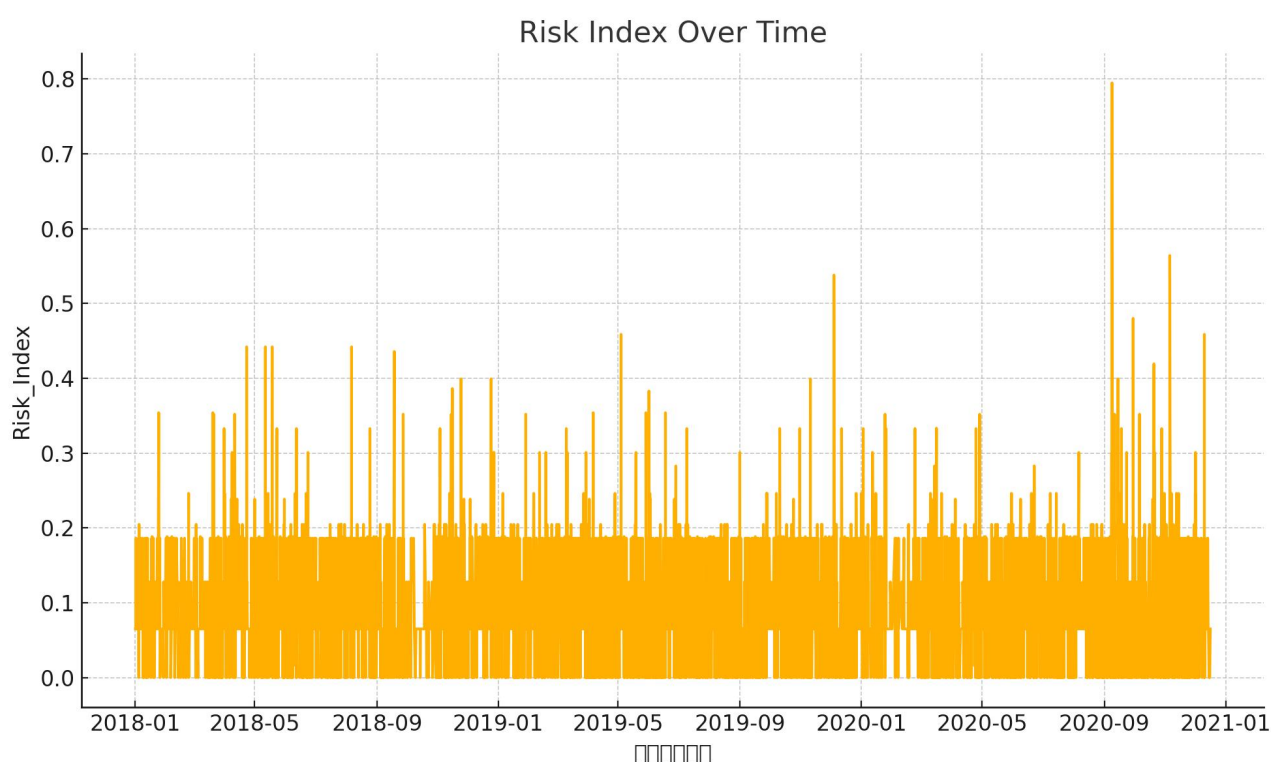


Рис. 4.5 - Временная диаграмма Индекса Риска после взвешенного объединения признаков

```

25 # 四、类别指标的风险评分映射
26 category_risk_map = {
27     '天气': {
28         '晴': 1.0, '多云': 1.2, '小雨': 1.5, '大雨': 1.8, '雾': 2.0, '雪': 2.2
29     },
30     '光照条件': {
31         '白天': 1.0, '夜间无照明': 1.8, '夜间有照明': 1.4, '黎明/黄昏': 1.6
32     },
33     '道路类型': {
34         '高速公路': 0.8, '国道': 1.2, '省道': 1.3, '县道': 1.5, '乡道': 1.6, '城市道路': 1.4
35     },
36     '道路横断面位置': {
37         '直行路段': 1.0, '匝道': 1.7, '上下坡': 1.5
38     },
39     '交叉口或路段类型': {
40         '直行路段': 1.0, '丁字交叉口': 1.6, '十字路口': 1.5, '环岛': 1.4, '匝道': 1.8
41     }
42 }
43
44 # 五、映射类别风险并填充缺失
45 risk_cols = []
46 for col, mapping in category_risk_map.items():
47     new_col = col + '_risk'
48     df[new_col] = df[col].map(mapping).fillna(1.0)

```

Рис. 4.6 -Частичный процесс реализации пространственно-временной двухпоточной архитектуры сети на Python

$$P_{acc}(v,t)=\sigma(W_h \cdot LSTM(X_{t-\tau:t})) + W_g \cdot GCN(A, F_v) \quad (4.3)$$

Где:

$P_{acc}(v,t)$: Скаляр. Вероятность ДТП на участке v в момент времени t . Диапазон - $[0, 1]$

$\sigma(*)$: Функция. Сигмоидная функция активации. Диапазон - $\frac{1}{1+e^{-x}}$

W_h, W_g : Матрицы. Матрицы весов временных/пространственных признаков. Диапазон - Обучаемые параметры

$LSTM(*)$: Функция. Извлечение временных признаков с помощью сети долгой краткосрочной памяти. Диапазон — $R^{h_{size}}$

$X_{t-\tau:t}$: Тензор. Последовательность признаков за временное окно τ . Диапазон — $R^{t \times \tau \times d}$

$GCN(*)$: Функция. Извлечение пространственных признаков с помощью графовой сверточной сети. Диапазон — $R^{g_{size}}$

A : Матрица. Матрица смежности дорожной сети. Диапазон – $\{0,1\}^{N \times N}$

F_v : Вектор. Статические признаки участка дороги v . Диапазон – $R^{f_{dim}}$

N : Скаляр. Общее количество узлов дорожной сети (перекрестки + участки). Диапазон – ≥ 1

Модель динамического перераспределения транспортных потоков

Модель динамического перераспределения транспортных потоков направлена на оптимизацию распределения ресурсов дорожной сети посредством стратегий корректировки в реальном или близком к реальному времени для реагирования на внезапные транспортные происшествия, смягчения заторов и повышения общей операционной эффективности. Её основная сущность заключается в использовании теории динамического распределения транспортных потоков, комплексно учитывающей изменяющиеся во времени транспортные потребности и затраты на передвижение, с реализацией оптимизированного управления транспортными потоками через различные технические средства.

Корректировка маршрутов общественного транспорта: Данная мера применяется, когда обычные маршруты движения общественного транспорта не могут нормально функционировать из-за дорожных работ, массовых мероприятий или чрезвычайных ситуаций. Ключевая цель заключается в минимализации воздействия на пассажиропоток и обеспечении эффективности эксплуатации общественного транспорта. Корректировка представляет собой не простое изменение маршрута, а требует системной оценки и тщательного планирования, включая идентификацию зоны воздействия, генерацию и оценку альтернативных маршрутов (например, расчёт обобщённых затрат на поездку, включая время в пути, время ожидания, время пересадки и т.д.), а также анализ предварительных оценочных показателей (таких как длина маршрута, коэффициент непрямо линейности, объём затронутого пассажиропотока, пассажиропоток на альтернативных маршрутах и др.). На практике, как например в Сиане, руководствуются принципами «сокращение дублирующих

маршрутов, усиление пересадок, заполнение пробелов, оптимизация обслуживания» для оптимизации маршрутов с сокращением неэффективных повторов, усиления взаимодействия с метрополитеном и заполнения пробелов в обслуживании; в Лояне создана иерархическая сетевая структура «скоростные линии, основные линии, вспомогательные линии, микро кольцевые линии, специальный общественный транспорт» с акцентом на интеграцию с рельсовым транспортом.

Контроль въезда и выезда в зоне ДТП : при возникновении ДТП или чрезвычайных ситуаций быстрое введение ограничений имеет критически важное значение для обеспечения спасательных работ, предотвращения вторичных ДТП и смягчения заторов. Это включает:

быстрое создание зоны оцепления ДТП (установление периметра в зависимости от характера ДТП и степени опасности, установка оградительных лент и предупреждающих знаков);

осуществление регулирования транспортных потоков и объезда (направление транспортных средств по альтернативным маршрутам через знаки с переменными сообщениями, направляющие указатели, корректировка маршрутов общественного транспорта);

создание приоритетных коридоров для экстренных транспортных средств (например, формирование «виртуальных полос для аварийных транспортных средств»).

Основная цель заключается в оперативном проведении спасательных работ, предотвращении вторичных ДТП и минимизации заторов.

Оптимизация схем организации дорожного движения: Данный подход направлен на повышение пропускной способности и безопасности дорожной сети с макроскопической и структурной точек зрения. Распространенные методы включают: канализирование пересечений (сокращение точек конфликта и повышение пропускной способности через направляющие островки, расширение въездных полос и т.д.), введение одностороннего движения (установление односторонних маршрутов на

определенных участках для уменьшения переплетения транспортных потоков), организацию реверсивных полос (изменение направления полос в зависимости от интенсивности движения в часы пик), а также системную оптимизацию с использованием интеллектуальных алгоритмов (например, применение алгоритмов оптимизации роя частиц для генерации комплексных схем организации движения). Эти оптимизационные меры направлены на повышение эффективности пропускной способности дорожной сети и обеспечение безопасности.

Корректировка параметров управления светофорами:

Динамическая адаптация временных параметров сигнальных циклов в ответ на изменения транспортных потоков в реальном времени является важным инструментом активного распределения и выравнивания транспортных потоков. Стратегии включают: адаптивное управление в реальном времени (динамическая корректировка длительности зелёного сигнала и длительности цикла на основе интенсивности движения и длины очереди, регистрируемых детекторами), координированное управление и создание "зелёной волны" (координированное управление несколькими смежными светофорами на магистральных дорогах для формирования последовательности зелёных сигналов и повышения средней скорости), а также специальный приоритетный контроль (предоставление приоритета общественному транспорту и аварийным транспортным средствам через продление зелёного сигнала или раннее прерывание красного сигнала). Интеллектуальные алгоритмы, такие как улучшенная оптимизация роя частиц (i-PSO), используются для динамической корректировки длительности зелёного сигнала светофоров с целью оптимизации транспортных потоков и сокращения заторов.

На практике эти стратегии часто требуют скоординированного применения. Например, при возникновении дорожно-транспортного происшествия система может одновременно инициировать контроль зоны происшествия, корректировку маршрутов общественного транспорта на прилегающих территориях, оптимизацию сигнальных циклов на путях

эвакуации, а также с долгосрочной перспективой способствовать оптимизации схемы организации движения в данном районе.

Подсистема формирования сценариев развития

Данная подсистема отвечает за комплексный анализ информации о дорожно-транспортных происшествиях, а также за разработку и оценку профилактических мер. Посредством обработки данных от подсистем прогнозирования ДТП и анализа причин происшествий, она направлена на формирование эффективных профилактических стратегий. До практической реализации предложенных мер проводится тестирование и верификация с использованием специализированного программного обеспечения для транспортного моделирования, такого как VISSIM. На основе результатов анализа подсистема вырабатывает рекомендации по совершенствованию, включая корректировку длительности сигнальных циклов светофоров, оптимизацию дорожной инфраструктуры и меры по предотвращению ДТП.

Система функционирует на основе четырёхэтапного замкнутого цикла: анализ данных и идентификация районов с высокой аварийностью, проектирование и имитационное моделирование профилактических мер, практическая реализация и оценка эффективности, обратная связь и оптимизационная корректировка. Данная циклическая модель не только обеспечивает постоянное повышение эффективности мер безопасности, но и позволяет адаптироваться к динамическим изменениям дорожной инфраструктуры, постепенно повышая общий уровень безопасности транспортной сети [1].

Подсистема оценки качества решения

Данная подсистема выполняет комплексный анализ изменений в транспортной системе, возникающих после реализации мероприятий по повышению БДД. Ее функциональное назначение заключается в предоставлении количественных и качественных данных обратной связи, необходимых для непрерывного совершенствования системы управления дорожной безопасностью. Подсистема позволяет органам транспортного

управления объективно оценивать эффективность действующих профилактических мер и корректировать будущие стратегии на основе всестороннего анализа статистики ДТП и результатов внедренных мероприятий.

Ключевые функциональные возможности системы включают два основных направления: оценку показателей безопасности и управление рисками. Первое направление сосредоточено на анализе динамики ключевых индикаторов, таких как частота ДТП и изменения пропускной способности дорожной сети до и после реализации профилактических мер. Второе направление предполагает проведение регулярных аудитов безопасности для обеспечения соответствия действующих мер актуальным стандартам, а также выявление новых или недостаточно контролируемых факторов риска с разработкой соответствующих корректирующих предложений. На основании проведенных оценок подсистема формирует конкретные рекомендации по оптимизации стратегий повышения БДД.

С точки зрения методологии и технической реализации подсистема использует комплексный подход к интеграции данных, объединяющий информацию из различных источников, включая статистику ДТП, параметры транспортных потоков и сведения о реализованных мерах безопасности. Для оценки эффективности принятых решений применяется сравнительный анализ данных до и после внедрения профилактических мероприятий с использованием статистических методов определения значимости изменений. Исследование долгосрочных тенденций позволяет выявлять потенциальные угрозы безопасности, а применение специализированного программного обеспечения для транспортного моделирования обеспечивает точную верификацию эффективности предлагаемых решений. Встроенный механизм обратной связи гарантирует оперативное информирование профильных подразделений и руководящих органов о результатах проведенных оценочных мероприятий [1].

Центральным компонентом подсистемы является циклический процесс,

включающий последовательную реализацию мер обеспечения безопасности, мониторинг и сбор данных, оценку результатов, подготовку отчетных документов, разработку рекомендаций и последующую оптимизацию стратегий. Данный механизм обеспечивает непрерывное наблюдение за уровнем безопасности на конкретных участках дорожной инфраструктуры после внедрения новых или модернизированных профилактических мер. Собранные в ходе мониторинга данные подвергаются всестороннему анализу для оценки эффективности принятых решений и их влияния на общий уровень дорожной безопасности.

Результаты анализа оформляются в виде детализированных отчетов, содержащих рекомендации по дальнейшей корректировке стратегических подходов. На основе этих рекомендаций осуществляется модернизация существующих мер обеспечения безопасности, что завершает цикл и подготавливает систему к следующему этапу оценки и практической реализации. Внедрение данной подсистемы способствует созданию условий для постоянного контроля и оценки эффективности профилактических мер, позволяя системе управления БДД адаптироваться к динамическим изменениям транспортной среды и технологическим инновациям. Такой подход обеспечивает достижение запланированного эффекта от реализации каждой меры безопасности и формирует доказательную базу для обоснования будущих усовершенствований в данной сфере [88].

Выводы по главе

Таким образом, проведенное исследование подтверждает, что внедрение современных технологий, включая обработку больших данных, методы машинного обучения и системы поддержки принятия решений, значительно повышает эффективность управления БДД. Комплексная интеграция указанных технологий обеспечивает возможность углубленного анализа причин ДТП,

оперативного выявления потенциально опасных ситуаций и точного прогнозирования аварийности. Модульная архитектура системы, основанная на взаимосвязанных компонентах с четко определенной функциональностью, обеспечивает необходимую гибкость и масштабируемость, позволяя адаптировать систему к изменяющимся условиям транспортной среды и технологическим инновациям, что упрощает процессы модернизации и расширения функциональных возможностей.

Реализация циклических процессов мониторинга и оценки в рамках подсистем способствует непрерывному совершенствованию стратегий управления безопасностью на основе актуальных данных, результатов оценочных мероприятий и обратной связи, что последовательно повышает уровень БДД.

Техническая реализация системы, основанная на современных технологиях программирования, системах управления базами данных и алгоритмах искусственного интеллекта в сочетании с многоуровневой архитектурой, обеспечивает высокие показатели производительности, надежности и устойчивости. Применение механизмов синхронизации данных и принципов объектно-ориентированного программирования гарантирует целостность информационного пространства и упрощает процессы обновления системы, повышая научную обоснованность и практическую ценность принимаемых управленческих решений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании сравнительного анализа основных мировых тенденций реализации транспортной политики в сфере обеспечения безопасности дорожного движения «Концепция нулевой смертности», «Устойчивая безопасность», «Подход к созданию безопасной системы» с особенностями деятельности по БДД в КНР установлено, что наряду со снижением числа погибших в ДТП высокие темпы роста автомобильного парка и продолжающаяся урбанизация создают новые вызовы, которые требуют постоянной адаптации управленческих стратегий по всей логической цепи которые исследованы в диссертации начиная с анализа ДТП до систем поддержки принятия решений по безопасности дорожного движения.

2. Применение интеллектуальных методов анализа исходных данных о ДТП для исключения нерелевантных, дублированных и ошибочных данных позволило устранить 5% ошибочных данных и сократить с 86 до 31 дублирующие друг друга в официальной отчетности факторы ДТП. Это является методическую базой для повышения достоверности анализа дорожно-транспортных происшествий. По результатам дисперсионного анализа доказано влияние уровня образования водителей на причины ДТП, сочетание совокупности технических средств на уровень аварийности.

3. Результаты факторного анализа позволили выявить систему взаимосвязей между показателями ДТП, перевести множество первичных показателей (4879 ДТП с 20 показателями для каждого ДТП), характеризующих ДТП в два значимых фактора, объясняющих практически на 90% (87,9%) общую дисперсию данных показателей. Доказана эффективность факторного анализа для идентификации скрытых закономерностей, определяющих вариативность исследуемых показателей. Полученные факторные модели для обобщенных факторов дорожных условий и водителя обеспечивают достоверную оценку изменения аварийности по этим обобщенным факторам и

показателям, связанным с дорожными условиями, водителями, транспортными средствами, транспортной нагрузкой.

4. Разработанная структура и функции системы поддержки принятия решений по обеспечению безопасности дорожного движения как комбинированной системы управляемой знаниями и моделями, включающей подсистемы внутренней и внешней информации, прогнозно-аналитическую платформу, подсистему принятия решений обеспечивает целевое предоставление знаний и методов по безопасности дорожного движения адаптированных к реальной ситуации для эффективных действий специалистов без запаздывания в условиях неполной информации.

5. В рамках исследования была разработана комплексная система поддержки принятия управленческих решений в области БДД. Система включает создание интегрированной базы данных, объединяющей динамическую и статическую информацию, что способствует эффективному обмену данными и вовлечению общественности в процесс управления. Данная система предоставляет сотрудникам дорожной полиции научно обоснованную базу для принятия превентивных мер по предотвращению ДТП, оперативного реагирования на аварийные ситуации и разработки стратегических решений в сфере дорожной безопасности. Результаты диссертационной работы в части системного анализа ДТП и методических рекомендаций по СППР БД приняты к внедрению в дорожной полиции г. Цзинань.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блинкин, М.Я. Институциональные новации и математические модели Рубена Смида в свете современных российских транспортных реалий / М.Я. Блинкин, Е.М. Решетова // Городские исследования и практики. – 2019. – Т. 4. – № 1. – С. 43 – 63.
2. Клявин, В.Э. Прогнозирование показателей аварийности методами анализа временных рядов / В.Э. Клявин, В.А. Корчагин, В.А. Суворов // Мир транспорта и технологических машин. – 2017. – № 2(57). – С. 92-97.
3. Кравченко, П. А. Терминологический и алгоритмический аспекты в проблеме обеспечения нулевой смертности на дорогах России / П. А. Кравченко, С. В. Жанказиев, Е.М. Олещенко // Транспорт Российской Федерации. – 2020. – № 2 (87). – С. 3-6.
4. Новиков, А.Н., Современная оценка проблемы безопасности дорожного движения [Текст] / А.Н. Новиков, И.А. Новиков, А.Г. Шевцова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2021. – 108 с.
5. Сильянов, В.В. Прогноз числа погибших в ДТП на основе социально-экономических показателей / В.В. Сильянов, В.Т. Капитанов, О.Ю. Мони́на, А.Б. Чубуков // Наука и техника в дорожной отрасли. 2017. – № 4. – С. 4-6.
6. Шевцова, А.Г. Математический анализ определенных показателей безопасности дорожного движения в Российской Федерации / А.Г. Шевцова // Вестник СибАДИ. – 2021. – Т. 18. – № 6 (82). – С. 700-711
7. Цзинь Ц. Анализ системы управления дорожным движением в КНР / Цзинь Ц// журнал «Транспорт Урала» № 3 (82), 2024
8. Цзинь Ц. Определение ключевых факторов, влияющих на дорожно-транспортные происшествия: применение факторного анализа / Ц. Цзинь, В. В. Зырянов // Мир транспорта и технологических машин. -- 2024. -- № 3-2(86). -- С. 82-88. -- DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-82-88. -- EDN

FDYBPV.

9. Цзинь, Ц. Применение анализа данных в обеспечении безопасности дорожного движения в китайской народной Республике / Ц. Цзинь // Мир транспорта и технологических машин. -- 2023. -- № 3-4(82). -- С. 90-97. -- DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-4(82)-90-97. -- EDN MKCWRB.

10. Эрте Д А. Факторный анализ установления уголовно-правового запрета на нарушение правил дорожного движения лицом, подвергнутым административному наказанию или имеющим судимость[J]. Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России, 2023 (3 (99)): 141-148.

11. Action Plan for the Construction of New Infrastructure in the Transportation Sector (2021-2025) (Ministry of Transport, 2021). -- 15 с.

12. Agyemang E F, Mensah J A, Ocran E, et al. Time series based road traffic accidents forecasting via SARIMA and Facebook Prophet model with potential changepoints[J]. Heliyon, 2023, 9(12).

13. Akhtar M, Moridpour S. A review of traffic congestion prediction using artificial intelligence[J]. Journal of Advanced Transportation, 2021, 2021(1): 8878011

14. Andrejiova M. Application of a time series to analyse the evaluation of road traffic accidents in Slovakia[J]. Acta Logistica, 2024, 11(1): 119-129.

15. Barry V, Schumacher A, Sauber-Schatz E. Alcohol-impaired driving among adults---USA, 2014--2018[J]. Injury prevention, 2022, 28(3): 211-217.

16. Behboudi N, Moosavi S, Ramnath R. Recent advances in traffic accident analysis and prediction: a comprehensive review of machine learning techniques[J]. arXiv preprint arXiv:2406.13968, 2024.

17. Bibri S E. The IoT for smart sustainable cities of the future: An analytical framework for sensor-based big data applications for environmental sustainability[J]. Sustainable cities and society, 2018, 38: 230-253.

18. CKang L. Assessing road safety performance in Chinese provinces: A comprehensive analysis of the past decade[J]. Research in Transportation Business & Management, 2024, 54: 101133.

19. Chen Jian, Qiu Zhixuan, Peng Tao, et al. Research on the impact of built

environment on the severity of urban traffic accidents[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science Edition), 2023, 42(3): 105-111.

20. Chen Shuwan, Zhao Pengfei, Liu Dandan, et al. Analysis of the trend of road traffic accident deaths in China from 2005 to 2021 [J/OL]. Disease Surveillance, 1-6 [2025-01-24]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2928.R.20240625.1623.002.html>.

21. China Law Society. Report on the Development of China's Transportation Law.2018. -- 57 c.

22. Chu J, Xu M L, Lu Z L, et al. Mortality level and tendency of road traffic injury in Shandong Province from 2012 to 2020[J]. Zhonghua yu Fang yi xue za zhi [Chinese Journal of Preventive Medicine], 2022, 56(9): 1307-1313

23. Cruz C O, Sarmento J M. The impact of COVID-19 on highway traffic and management: The case study of an operator perspective[J]. Sustainability, 2021, 13(9): 5320.

24. DGT (Dirección General de Tráfico). (2020). Impacto de la reducción de velocidad en zonas urbanas. Madrid: DGT. <https://revista.dgt.es/es/entrevistas/protagonistas/2024/0620-N270-entrevista-george-yannis.shtml>

25. Ekanem, I. (2025). Analysis of Road Traffic Accident Using AI Techniques. Open Journal of Safety Science and Technology, 15, 36--56.

26. Esmaili A, Aghabayk K, Shiwakoti N. Latent class cluster analysis and mixed logit model to investigate pedestrian crash injury severity[J]. Sustainability, 2022, 15(1): 185.

27. European Commission. First aid in road safety. Brussels: European Commission.2018. - 22 c.

28. European Commission. Regulation (EU) 2019/2144. Official Journal of the European Union.2019.- 9 c.

29. European Commission. Road Safety Management. Brussels: European Commission.2018. - 9 c.

30. European Commission. The use of Big Data in road transport. Brussels:

European Commission.2018. -8 c.

31. European Emergency Number Association. Public Access Defibrillation in Europe. EENA.2019. -- 28 c.

32. European Parliament and Council. Directive (EU) 2019/1936 on Road Infrastructure Safety Management. Official Journal of the European Union.2019. - 4 c.

33. European Transport Safety Council. Ranking EU Progress on Road Safety. ETSC.2018. - 15 c.

34. European Transport Safety Council. Reducing Casualties Involving Young Drivers and Riders in Europe. ETSC.2019. -14 c.

35. European Transport Safety Council. Reducing Speeding in Europe. ETSC. 2019. - 22 c.

36. Fan Jian, Liu Jing, Wu Jianshuang, et al. Application and analysis of big data technology in smart city grassroots governance based on artificial intelligence [J]. Artificial Intelligence and Robotics Research, 2025, 14: 427.

37. Ferencsik N N, Osofsky R B. Police-reported pedestrian crash matching and injury severity misclassification by body region in New Mexico, USA[J]. Accident Analysis & Prevention, 2022, 167: 106573.

38. Goretzko D, Siemund K, Sterner P. Evaluating model fit of measurement models in confirmatory factor analysis[J]. Educational and Psychological Measurement, 2024, 84(1): 123-144.

39. Guo Miao, Zhao Xiaohua, Yao Ying, et al. Research on accident risk based on driving behavior and traffic operation status[J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2022, 50(9).

40. Haiyan Jiang, Yijia Li, Ziming Jin, Vladimir Zyryanov. Digital traffic state analysis for urban regions considering complex multi-directional flow changes[J]. Ain Shams Engineering Journal, Volume15, Issue12,2024, 103124, ISSN2090-4479, <https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.103124>.

41. He Jiuping, Wang Shifa, Zhang Chi, et al. Applicability analysis of truck speed model on long downhill sections of highways[J]. Highway and Transportation,

2025, 41(01): 30-34. DOI: 10.20035/j.issn.1671-2668.2025.01.007.

42. Hosseinzadeh A, Karimpour A, Kluger R, et al. Data linkage for crash outcome assessment: Linking police-reported crashes, emergency response data, and trauma registry records[J]. *Journal of safety research*, 2022, 81: 21-35.

43. Huang Y, Zhang Y, Wu Z, et al. A novel adaptive Kalman filter with inaccurate process and measurement noise covariance matrices[J]. *IEEE transactions on Automatic Control*, 2017, 63(2): 594-601.

44. International Transport Forum. Road Safety Annual Report 2021. OECD Publishing. 2021. - 40 c.

45. Konlan K D, Hayford L. Factors associated with motorcycle-related road traffic crashes in Africa, a Scoping review from 2016 to 2022[J]. *BMC public health*, 2022, 22(1): 649.

46. Kou Min, Zhang Mengmeng, Zhao Junxue, et al. A review of methods for identifying and analyzing road traffic safety risks [J]. *Traffic Information and Safety*, 2022, 40(6): 22-32.

47. Kuklin V, Alexandrov I, Polezhaev D, et al. Prospects for developing digital telecommunication complexes for storing and analyzing media data[J]. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 2023, 12(3): 1536-1549.

48. Lai Yongchun. Research on comprehensive evaluation method of highway safety hazards risk[D]. Shandong Jiaotong University, 2023.DOI:10.27864/d.cnki.gsjtd .2023.000019.

49. Li Shengqin, Du Peng. Optimization of safety distance model considering driver differences[J]. *Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition)/Jiangsu Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)*, 2023, 44(3).

50. Liang M, Zhao D, Wu Y, et al. Short-term effects of ambient temperature and road traffic accident injuries in Dalian, Northern China: A distributed lag non-linear analysis[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2021, 153: 106057.

51. Liu Qiqi, Chen Chun, Kuang Xinhui. Using XGBoost model to identify the nonlinear impact of land use pattern on the severity of pedestrian traffic accidents[J]. *Science Technology & Engineering*, 2025, 25(3).

52. Luo Ruiqing, Cao Hongmei, Du Qianqian, et al. Analysis of coupling causes of highway accidents based on distracted driving behavior in different seasons[J]. Science Technology & Engineering, 2024, 24(32).

53. Ma Yingying, Zhang Zihao, Wu Jiabin. Comparison of vehicle speed prediction models at unsignalized intersections based on neural networks[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science Edition), 2021, 40(12): 33.

54. Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Notice on strengthening the safety management of agricultural machinery.2019. https://www.gov.cn/gongbao/content/2019/content_5468944.htm

55. Ministry of Housing and Urban-Rural Development. National Statistical Yearbook of Urban Municipal Infrastructure.2020. -- 147 c.

56. Ministry of Industry and Information Technology. Guiding Opinions on Promoting the Development of Intelligent Transportation.2019. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-08/06/content_5532842.htm

57. Ministry of Transport. 14th Five-Year Plan for Transportation Safety.2022. -- 11 c.

58. Ministry of Transport. Guiding Opinions on Encouraging and Regulating the Development of Internet Rental Bicycles.2017. https://www.gov.cn/xinwen/2017-08/03/content_5215640.htm

59. Ministry of Transport. Smart Transportation Development Action Plan .2020.https://big5.mot.gov.cn/gate/big5/xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/zhghs/202006/t20200630_3319779.html

60. Ministry of Transport. Statistical Communiqué on the Development of the Transportation Industry in 2020. 2021.https://www.gov.cn/xinwen/2021-05/19/content_5608523.htm.

61. National Bureau of Statistics. Statistical Communiqué of the People's Republic of China on the National Economic and Social Development.2021 <https://data.stats.gov.cn/publish.htm?sort=1>

62. National Development and Reform Commission. China Regional

Economic Development Report. 2020.<https://www.amr.org.cn/ghbg/qyjj/>.

63. 《Notes from Abroad: Five Key Lessons from Europe's Vision Zero Success》 (Vision Zero Network , 2015) . https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=Mzk5MDY0OTgwMg==&mid=2247676997&idx=2&sn=8241acedaaf7919a7fcb604c821a7d3a&chksm=c4d30c1d3ac6d3813acc2263c2855a7d3a35bac199bf8ab3972cdaa98cddb5b037c13b4a21fb#rd

64. Pan Yiyong, Wang Yi. Analysis of temporal instability of accident severity of elderly pedestrians considering gender differences[J/OL]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science Edition), 1-10[2025-01-24]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1190.U.20241205.0957.002.htm>
1

65. Rabbani M B A, Musarat M A, Alaloul W S, et al. A comparison between seasonal autoregressive integrated moving average (SARIMA) and exponential smoothing (ES) based on time series model for forecasting road accidents[J]. Arabian Journal for Science and Engineering, 2021, 46(11): 11113-11138.

66. Road Traffic Safety Law of the People's Republic of China (Revised in 2021)

67. Savolainen P T, Mannering F L, Lord D, et al. The statistical analysis of highway crash-injury severities: A review and assessment of methodological alternatives[J]. Accident Analysis & Prevention, 2011, 43(5): 1666-1676.

68. Sirajudeen A O, Law T H, Wong S V, et al. The sources of the Kuznets relationship between the road deaths to road injuries ratio and economic growth[J]. Journal of safety research, 2021, 78: 262-269.

69. Soltani A, Harrison J E, Ryder C, et al. Police and hospital data linkage for traffic injury surveillance: A systematic review[J]. Accident Analysis & Prevention, 2024, 197: 107426.

70. State Council Safety Committee. "14th Five-Year Plan" National Road Traffic Safety Plan.2022. -- 8 c.

71. State Council of the People's Republic of China. (2021). Outline of the 14th Five-Year Plan for National Economic and Social Development of the People's

Republic of China and the Long-Term Objectives for 2035. <https://www.nia.gov.cn/n794014/n794021/c1460212/content.html>.

72. Sufian M A, Varadarajan J, Niu M. RETRACTED: Enhancing prediction and analysis of UK road traffic accident severity using AI: Integration of machine learning, econometric techniques, and time series forecasting in public health research[J]. Heliyon, 2024, 10(7).

73. Tang Zehui, Zhao Dan, Wang Shengyou. Short-term traffic flow prediction based on CNN-LSTM-AM[J]. Science Technology and Engineering, 2024, 24(31): 13562-13567.

74. Tavakkoli M, Torkashvand-Khah Z, Fink G, et al. Evidence from the decade of action for road safety: A systematic review of the effectiveness of interventions in low and middle-income countries[J]. Public health reviews, 2022, 43: 1604499.

75. Traffic Management Bureau of Ministry of Public Security. National road traffic accident statistics.2021. <https://data.stats.gov.cn/search.htm?s=%E6%B1%BD%E8%BD%A6%E4%BA%A4%E9%80%9A%E4%BA>

76. Traffic Management Bureau of the Ministry of Public Security. 2021. National motor vehicle and driver statistics. https://www.gov.cn/xinwen/2022-01/11/content_5667669.htm.

77. Traffic Management Bureau of the Ministry of Public Security. 2021. National motor vehicle driver statistics. <https://www.mps.gov.cn/n2254314/n6409334/c9939035/content.html>

78. Traffic Management Bureau of the Ministry of Public Security. 2021. National road traffic accident statistics. <https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01&zb=A0S0D01&sj=2024>

79. Traffic Management Bureau of the Ministry of Public Security. Forecast of the number of motor vehicles in China in 2025. <https://www.mps.gov.cn/n2254314/n6409334/c9939035/content.html>

80. Traffic Management Bureau of the Ministry of Public Security. Guiding

Opinions on Strengthening Traffic Safety Management of Non-motor Vehicles and Pedestrians. 2018.https://www.gov.cn/xinwen/2018-03/29/content_5278193.htm.

81. Traffic Management Bureau of the Ministry of Public Security. Notice on launching the "one helmet and one belt" safety protection campaign. 2020.https://www.gov.cn/xinwen/2020-04/21/content_5504613.htm

82. United Nations Economic Commission for Europe. Road Safety Performance Review.2021. - 3 c.

83. Wei T, Jin Z, Zhu T, et al. Effects of IVIS touchscreen operation tasks on driver's mental workload based on explainable CatBoost algorithm[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 2025: 09544070251330416

84. World Health Organization. Global Status Report on Road Safety 2018. Geneva: WHO. 2018. - 40 c.

85. Wang Chao, Gu Yongheng, He Ye, et al. Psychological attribution modeling analysis of motor vehicles giving way to pedestrians[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2023, 40(08): 185-191.

86. Wang Ke, Chen Riming, Wang Xiaomin, et al. Analysis of characteristics and risk factors of shared bicycle road traffic accidents in Nanning[J]. Chinese Journal of Public Health, 2021, 37(11): 1677-1680.

87. Wang T, Yao Z Y, Liu B P, et al. Temporal and spatial trends in road traffic fatalities from 2001 to 2019 in Shandong Province, China[J]. PLoS one, 2023, 18(7): e0287988

88. Wu Hao, Peng Zhenghong. Conception of big data application in urban planning[J]. Urban Planning, 2015, 9: 93-99.

89. Xiang Zhenjun, Ji Yurong, Yu Hailing, et al. Spatial autocorrelation analysis of road traffic injuries in 120 pre-hospital emergency medical services in Beijing[J]. Journal of Medical Informatics, 2022, 43(7): 65-68

90. Yan Xinping, Zhang Hui, Wu Chaozhong, et al. Research progress and prospects of road traffic driving behavior[J]. Traffic Information and Safety, 2013 (1): 45-51.

91. Yan, M., & Shen, Y. (2022). Traffic Accident Severity Prediction Based on Random Forest. *Sustainability*, 14(3), 1729
92. Yanbo Q, Guanghui J, Wenqiu M, et al. How does the rural settlement transition contribute to shaping sustainable rural development? Evidence from Shandong, China[J]. *Journal of Rural Studies*, 2021, 82: 279-293
93. Ye Caiyang, Ye Xinchun, Qin Dingming, et al. Experience and enlightenment of road traffic safety management in the United States[J]. *Traffic and Transportation*, 2022, 38(02): 78-83
94. Yuan Zhenzhou, Lou Chen, Yang Yang. Analysis of causes of highway traffic accidents under time difference conditions[J]. *Journal of Beijing Jiaotong University*, 2021, 45(3): 1.
95. Zantalis F, Koulouras G, Karabetsos S, et al. A review of machine learning and IoT in smart transportation[J]. *Future Internet*, 2019, 11(4): 94.
96. Zhao Dengfeng, Zhong Yudong, Liu Zhaohui, et al. Research on driving style recognition of electric city buses based on CNN[J]. *Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science Edition)*, 2023, 42(12): 121.
97. Zhao Jinfang, Zhao Jinli, Li Quan, et al. Research on special vehicle fast-passing technology at intersections based on machine vision[J]. *Computer Measurement & Control*, 2023, 31(10).
98. Zhu J H, Chen J, Li G F, et al. Using cross efficiency method integrating regret theory and WASPAS to evaluate road safety performance of Chinese provinces[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2021, 162: 106395.
99. Zou Y, Zhang Y, Cheng K. Exploring the impact of climate and extreme weather on fatal traffic accidents[J]. *Sustainability*, 2021, 13(1): 390.
100. ZNajafi Moghaddam Gilani V, Hosseinian S M, Ghasedi M, et al. Data-Driven Urban Traffic Accident Analysis and Prediction Using Logit and Machine Learning-Based Pattern Recognition Models[J]. *Mathematical problems in engineering*, 2021, 2021(1): 9974219



济南市道路运输协会

250001, 济南市天桥区北园大街 236 号

电话: 0531-87030128

2025 年 10 月 22 日

证 明

关于俄罗斯联邦科学与高等教育部顿河国立技术大学副博士研究生金子明的题为“中华人民共和国道路交通安全管理方法”的毕业论文研究结果使用意见,该论文将呈报申请 2.9.5.-“汽车运输运营”专业副博士学位答辩。

博士研究生金子明的论文研究,针对道路交通安全管理决策支持系统进行了深入优化。该研究成果为道路交通管理部门提供了创新思路与实用方法,在降低交通事故率方面成效显著。目前,相关成果已成功应用于济南市交通管理实践,并具备在全国各大城市推广的潜力。

济南市道路运输协会

秘书长



(签字, 盖章)

Ассоциация автомобильных перевозок города Цзинань

Почтовый индекс: 250000, Адрес: Город Цзинань, район Тяньцяо, улица
Бэйюандацзе 236, телефон: +86 0531 2715303

АКТ

об использовании результатов исследования диссертации аспиранта Донского государственного технического университета Цзинь Цзымин на тему «Методы управления безопасностью дорожного движения в Китайской Народной Республике», диссертация будет представлена на защиту на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.9.5 «Эксплуатация автомобильного транспорта»

Диссертационное исследование Цзинь Цзымин было посвящено углубленной оптимизации системы поддержки принятия решений в области управления безопасностью дорожного движения. Результаты данной работы предоставили инновационные подходы и практические методы для органов управления дорожным движением, продемонстрировав значительную эффективность в снижении уровня дорожно-транспортных происшествий. В настоящее время соответствующие результаты уже успешно применяются в практике управления дорожным движением города Цзинань и обладают потенциалом для распространения в крупных городах по всей стране.

Ассоциация автомобильных перевозок города Цзинань
Секретарь Ассоциации

Минхун У.
14.10.2025

подпись, печать



山东正衡交通工程研究院

250000, 济南市中区二环南路国家大学科技园 15A7F

电话: +86 0531-82715303

2025 年 10 月 14 日

证明

关于俄罗斯联邦科学与高等教育部顿河国立技术大学副博士研究生金子明的题为“中华人民共和国道路交通安全管理方法”的毕业论文研究结果使用意见,该论文将呈报申请 2.9.5.-“汽车运输运营”专业副博士学位答辩

博士研究生金子明的论文研究,针对道路交通安全管理决策支持系统进行了深入优化。该研究成果为交通管理部门提供了创新思路与实用方法,在降低交通事故率方面成效显著。目前,相关成果已成功应用于济南市交通管理实践,并具备在全国各大城市推广的潜力。

山东正衡交通工程研究院

院长,教授



(签字, 盖章)

Шаньдунский научно-исследовательский институт транспортного проектирования «Чжэнцзюй»

Почтовый индекс: 250000, Адрес: Город Цзинань, район Чжун, ул. Эрхуаньнаньлу, Национальный парк науки и технологий университетов, 15A7F, телефон: + 86 0531-2715303

АКТ

об использовании результатов исследования диссертации аспиранта Донского государственного технического университета Цзинь Цзымин на тему «Методы управления безопасностью дорожного движения в Китайской Народной Республике», диссертация будет представлена на защиту на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.9.5 «Эксплуатация автомобильного транспорта»

Исследовательские материалы и результаты диссертационной работы Цзинь Цзымин на тему «Методы управления безопасностью дорожного движения в Китайской Народной Республике» способствуют совершенствованию системы обеспечения безопасности дорожного движения и могут эффективно сократить количество дорожно-транспортных происшествий. Основные результаты данного исследования могут применяться в качестве учебного материала в теоретических курсах по специальности «Эксплуатация автомобильного транспорта» в высших учебных заведениях. В настоящее время соответствующее содержание уже успешно применяется в практике управления дорожным движением города Цзинань.

Шаньдунского научно-исследовательского института
Директор, профессор

Хань Б.
14.10.2025

подпись, печать



山东交通学院

250357, 济南市长清大学科技园海棠路 5001 号

电话: +86 0531-80687119

2024 年 8 月 28 日

证明

关于俄罗斯联邦科学与高等教育部顿河国立技术大学副博士研究生金子明的题为“中华人民共和国道路交通安全管理方法”的毕业论文研究结果使用意见,该论文将呈报申请 2.9.5.-“汽车运输运营”专业副博士学位答辩

副博士研究生金子明的题为“中华人民共和国道路交通安全管理方法”的毕业论文的研究材料和结果使得道路交通安全系统更加完善,可有效减少道路交通安全事故的发生。其基本研究结果可以作为教学材料应用于普通高等学校“汽车运输运营”专业的理论研究课程。

山东交通学院
交通物流学院副院长,教授



Шаньдунский транспортный университет

Почтовый индекс: 250357, Адрес: Город Цзинань, район Чанцин, ул. Хайтанлу
5001, Национальный парк науки и технологий университетов, телефон: + 86
0531-80687119

АКТ

об использовании результатов исследования диссертации аспиранта Донского государственного технического университета Цзинь Цзымин на тему «Методы управления безопасностью дорожного движения в Китайской Народной Республике», диссертация будет представлена на защиту на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.9.5 «Эксплуатация автомобильного транспорта»

Исследовательские материалы и результаты диссертационной работы аспиранта Цзинь Цзымин на тему «Методы управления безопасностью дорожного движения в Китайской Народной Республике» способствуют совершенствованию системы обеспечения безопасности дорожного движения и могут эффективно сократить количество дорожно-транспортных происшествий. Основные результаты данного исследования могут применяться в качестве учебного материала в теоретических курсах по специальности «Эксплуатация автомобильного транспорта» в высших учебных заведениях.

Шаньдунского транспортного университета
Директор, профессор

Мэн Ч.
28.08.2025

подпись, печать



山东大学

250100, 中国山东省济南市山大南路 27 号

电话: +0531-88395114

2024 年 8 月 28 日

证明

关于俄罗斯联邦科学与高等教育部顿河国立技术大学副博士研究生金子明的毕业论文题为“中华人民共和国道路交通安全管理方法”，该论文将用于申请 2.9.5. - “汽车运输运营”专业的副博士学位答辩

副博士研究生金子明在其题为“中华人民共和国道路交通安全管理方法”的毕业论文中提出的研究材料和成果，为完善道路交通安全系统做出了重要贡献，并且在减少道路交通事故方面具有显著效果。其研究成果可以作为高等院校“汽车运输运营”专业的理论研究课程。

山东大学

山东大学齐鲁交通学院教授



52.8%



Шаньдунский университет

Почтовый индекс: 250100, Адрес: Город Цзинань, ул. Шаньдананьлу, 27,
телефон: +86 0531-88395114

АКТ

об использовании результатов исследования диссертации аспиранта Донского государственного технического университета Цзинь Цзымин на тему «Методы управления безопасностью дорожного движения в Китайской Народной Республике», диссертация будет представлена на защиту на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.9.5 «Эксплуатация автомобильного транспорта»

Исследовательские материалы и результаты, представленные аспирантом Цзинь Цзымин в диссертационной работе на тему «Методы управления безопасностью дорожного движения в Китайской Народной Республике», внесли значительный вклад в совершенствование системы обеспечения безопасности дорожного движения и показали заметную эффективность в снижении количества дорожно-транспортных происшествий. Результаты данного исследования могут использоваться в качестве учебного материала в теоретических курсах по специальности «Эксплуатация автомобильного транспорта» в высших учебных заведениях.

Шаньдунский университет
Профессор
У.

Цзяньцин

28.08.2025

подпись, печать