

На правах рукописи



ЯКУНИН Иван Николаевич

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ**

Специальность 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Оренбург – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Оренбургский государственный университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Фот Андрей Петрович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор, директор
транспортно-технологического института ФГБОУ ВО
«Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова»
Новиков Иван Алексеевич;

кандидат технических наук, доцент, заведующий
кафедрой «Тягачи и амфибийные машины»
ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ)»
Верещагин Сергей Борисович

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»,
г. Тюмень

Защита диссертации состоится 18 апреля 2024 г. в 16.00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.352.01 на базе ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», по адресу: 460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13, ауд. 170215.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на официальном сайте ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» (www.osu.ru).

Автореферат разослан «___» _____ 2024 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета,
канд. техн. наук, доцент



Хасанов Ильгиз Халилович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Статистика дорожно-транспортных происшествий (ДТП) в ряде регионов указывает на то, что увеличение дневной температуры воздуха до 25°C и выше сопровождается ростом аварийности на дорогах. Причины этого явления в известных исследованиях не получили должного освещения. Изучение влияния высокой температуры окружающей среды на систему ВАДС, выявление и оценка степени влияния факторов на повышение аварийности на автомобильном транспорте в упомянутых условиях, создание моделей процесса изменения уровня аварийности и разработка практических рекомендаций по снижению аварийности в условиях высоких температур окружающей среды являются актуальными задачами не только для регионов России, но и многих стран мира с жарким климатом.

Работа выполнена в рамках госбюджетных НИР Оренбургского государственного университета «Совершенствование организации и управления перевозками грузов и пассажиров автомобильным транспортом» (№01200902668, код ГРНТИ 73.31.61) и «Теория и методология автотранспортных систем» (№ АААА-А20-120020890009-0).

Объект исследования – процесс перевозки пассажиров и грузов автомобильным транспортом в условиях высоких температур окружающей среды.

Предмет исследования – закономерности влияния высоких температур окружающей среды на показатели аварийности при эксплуатации автомобильного транспорта.

Цель – совершенствование организации процесса перевозок за счёт технологических и организационных мероприятий, направленных на снижение влияния высоких температур окружающей среды на безопасность дорожного движения.

Задачи:

1. Теоретическое обоснование влияния высоких температур окружающей среды на состояние элементов системы ВАДС на основе результатов известных исследований в данной области и статистических данных об увеличении количества нарушений правил дорожного движения и показателей аварийности в различных климатических условиях;

2. Выявление и оценка адекватности закономерностей влияния высокой температуры окружающей среды на количество нарушений правил дорожного движения (ПДД) и ошибок водителей, а также на значения показателя аварийности на автомобильном транспорте;

3. Разработка практических рекомендаций по совершенствованию организации процесса перевозок и снижению аварийности на автомобильном транспорте, обусловленной высокой температурой окружающей среды.

Методы исследования: положения теории транспортных процессов, математической статистики, функционального анализа, экспертных оценок.

Научной новизной исследования являются следующие положения, выносимые на защиту:

1) модель процесса изменения показателя аварийности на автомобильном транспорте, отражающая влияние показателя температуры окружающей среды;

2) общая закономерность изменения значения показателя аварийности на автомобильном транспорте, отличающаяся тем, что получена с использованием значений среднемесячных дневных температур окружающей среды и учитывает климатические особенности различных регионов России;

3) частные закономерности влияния высокой температуры окружающей среды на безопасность дорожного движения, отличающиеся учётом основных факторов влияния на аварийность на автомобильном транспорте: превышение установленной ПДД скорости движения автомобилей, совершение водителем опасных маневров, время реакции на принятие решения водителем в опасных ситуациях, количество неверно принятых решений.

4) алгоритм совершенствования организации процесса перевозок для автотранспортных предприятий (АТП), направленный на обеспечение безопасности дорожного движения, учитывающий влияние высоких температур окружающей среды на эксплуатационные характеристики автомобилей и на состояние водителя.

Достоверность результатов и выводов работы обеспечивается использованием апробированных научных методов исследования, сертифицированных приборов, современного математического аппарата, достоверной исходной информацией.

Практическая значимость работы. Результаты исследования могут быть использованы автотранспортными предприятиями, органами управления пассажирскими перевозками при организации перевозок с целью снижения аварийности на дорогах в условиях высоких температур.

Результаты диссертационной работы приняты к внедрению на предприятии АО «Автоколонна №1825», используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет».

Направления исследований соответствуют паспорту научной специальности 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта по п. 7. «Исследования влияния окружающей среды на состояние водителей, подвижного состава и транспортной инфраструктуры, организация и обеспечение безопасности перевозок и движения, разработка требований и рекомендаций по методам подбора, подготовки, контроля состояния, режимам труда и отдыха водителей».

Апробация результатов исследования. Основные положения и результаты исследования обсуждались на научных форумах: XIV-ой Международной научно-технической конференции «Совершенствование автотранспортных систем и сервисных технологий» (Саратов, 2018 г.); Международной научно-практической конференции «Технические науки: современный взгляд на изучение актуальных проблем» (Астрахань, 2019 г.); XIV-ой международной научно-практической конференции «Прогрессивные технологии в транспортных системах» (Оренбург, 2019 г.); XV-ой международной научно-практической конференции «Прогрессивные технологии в транспортных системах» (Оренбург, 2020 г.); Международной научно-практической конференции «Наукоёмкие исследования как основа инновационного развития общества» (Омск, 2021 г.); XVI-ой международной

научно-практической конференции «Прогрессивные технологии в транспортных системах» (Оренбург, 2021 г.).

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 14-и работах, в том числе 7 – в изданиях из «Перечня...» ВАК.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх разделов, заключения, списка использованных источников, приложений. Текст изложен на 146 страницах, включает 13 таблиц, 38 рисунков. В приложениях приведены дополнительные материалы к разделам. Список источников включает 156 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении определены область исследований, актуальность темы, цель и задачи, объект, предмет и методы исследования, научная новизна, достоверность результатов и выводов, практическая значимость работы, приведены сведения об апробации работы, о публикациях автора по теме исследования, структуре диссертации.

Первый раздел представляет собой аналитический обзор, посвящённый факторам, влияющим на безопасность дорожного движения: уровень автомобилизации различных регионов; состояние автомобильных дорог; факторы окружающей среды и их влияние на коэффициент сцепления колёс с дорогой; зависимость надёжности водителей, в интерпретации Филимонова С.В., от влияния прямого солнечного излучения и микроклимата в салоне автомобиля в условиях высоких температур.

Исследованию проблем аварийности на автомобильных дорогах посвящены работы Сильянова В.В., Новикова И.А., Евтюкова С.С., Трофименко Ю.В., В.Ф. Бабкова, О.А. Дивочкина, Е.М. Лобанова, В.Н. Сытника, В.А. Аксёнова, В.В. Чванова, Е.С. Воеводина, В.А. Ковалёва и др.

Влиянию температуры окружающей среды на коэффициент сцепления колёс с дорогой посвящены работы Балакиной Е.В., Кочеткова А.В., Кучеренко А.В., Зотова Н.М., Немчинова М.В., Бектурсуновой Б.С., Салихова М.Г., Гудкова В.А., Мишина С.А. и др.

Результаты исследований по влиянию высоких температур и солнечного излучения на микроклимат в салоне автомобиля изложены в трудах Бураковой Л.Н., Пегина П.А. Варламова В.А., Верещагина С.Б., A. Alahmera, Zhang H., D. Fiala и др.

Проблемам воздействия высоких температур, прямых солнечных лучей и влажности в салоне автомобиля на надёжность водителя посвящены труды Пегина П.А., Варламова В.А., Жиловой И.И., Сабук Т.Л., Степиной П.А., Щербанова В.Ю. и др.

На основании проведённого анализа выдвинута **рабочая гипотеза** о том, что неблагоприятные условия, способствующие увеличению аварийности, формируются под действием ряда факторов, среди которых выделяется высокая температура окружающей среды, существенно влияющая на параметры микроклимата в салоне автомобиля. Снижение аварийности должно обеспечиваться

мероприятиями двух направлений – снижение воздействия высоких температур и сопутствующих факторов на водителя, а также снижение восприимчивости водителя к данному воздействию.

С учётом сказанного сформулированы цель и задачи исследования.

Второй раздел посвящён решению первой задачи, заключающейся в теоретическом исследовании влияния высоких температур окружающей среды на состояние элементов системы ВАДС и построению модели влияния.

Теоретическая модель основывается на предположении наличия зависимости значения показателя аварийности N (определяемой количеством ДТП в течение месяца, приходящихся на одну тысячу зарегистрированных транспортных средств) от количества статистически значимых неблагоприятных событий V_i , способных привести к ДТП.

В основу построения модели принято допущение о том, что значение показателя N зависит только от числа V_i неблагоприятных событий на дороге, причём связь между N и V_i выражается инвариантными величинами – коэффициентами пропорциональности k_i . Возможность такого допущения была в дальнейшем подтверждена в ходе экспериментальных исследований (разница расчётных и наблюдаемых данных не превышает 4%).

В модель изменения аварийности при высоких температурах введены следующие величины: ΔN – прирост показателя аварийности, выражающийся в увеличении числа ДТП, приходящихся на тысячу транспортных средств; $\Delta N_{зн}$ – увеличение количества ДТП, приходящихся на тысячу транспортных средств, произошедших вследствие наступления неблагоприятных событий, рассматриваемых в качестве наиболее значимых; n – доля статистически значимых факторов влияния ($n = \Delta N_{зн} / \Delta N$).

С учётом сказанного можно утверждать, что прирост ΔN значения показателя аварийности при высоких температурах (при прочих благоприятных условиях окружающей среды) зависит только от прироста Δv_i количества неблагоприятных событий и (с учётом m статистически значимых факторов) при нескольких факторах влияния имеет вид (1):

$$\Delta N = \frac{\Delta N_{зн}}{n} = (\sum_{i=1}^m k_i \cdot \Delta v_i) / n, \quad (1)$$

где: m – количество наиболее значимых факторов влияния.

Дополнительные факторы, такие, например, как работа климатических установок или элементов, снижающих эффект солнечного ослепления, также влияют на количество происходящих ДТП. В связи с этим величины Δv_i в (1) определяются формулой (2):

$$\Delta v_i = \sum_{j=1}^l (x_j \cdot \Delta v_{ji}). \quad (2)$$

Здесь x_j – доля транспортных средств, эксплуатируемых при различных режимах кондиционирования, характеризующихся индексом j , а величины Δv_{ij} – изменение количества нарушений правил управления транспортным средством и ошибок i типа в j -тых условиях эксплуатации. С учётом формулы (2), формула (1) примет вид:

$$\Delta N = (\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^l k_i \cdot x_j \cdot \Delta v_{ij})/n. \quad (3)$$

Коэффициенты k_i могут быть найдены с помощью формулы (3) при известных значениях Δv_{ij} , ΔN , n , x_j , а также при условии, что известны соотношения α_{ij} , связывающие величины k_i друг с другом:

$$\alpha_{ij} = \frac{k_i \cdot \Delta \beta_i}{k_j \cdot \Delta \beta_j}, \quad (4)$$

откуда можно получить любое из искомых значений k_i :

$$k_i = \frac{n \cdot \Delta N}{\beta_i \cdot \sum_{i=1}^m \alpha_{ij}}. \quad (5)$$

При известном значении одного из k_i оставшиеся коэффициенты k_j можно определить с использованием формулы, полученной из формулы (4):

$$k_j = \frac{\Delta \beta_i}{\alpha_{ij} \cdot \Delta \beta_j} \cdot k_i. \quad (6)$$

Значения k_i позволяют сравнить степень опасности событий, приводящих к ДТП, и могут быть использованы для оценки возможных мероприятий, направленных на снижение аварийности при высоких температурах. Схема возмущающих воздействий, вызванных высокими температурами, и корректирующих воздействий представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема влияния возмущающих воздействий и корректирующих воздействий на количество ДТП.

Для оценки увеличения аварийности с ростом температуры (в период с апреля по сентябрь месяца года) проводилось сопоставление показателя аварийности N , принятого в виде числа аварий

транспортных средств (ТС), приходящихся на тысячу зарегистрированных в регионе ТС, со

среднемесячной дневной температурой $T_{ср.мес}$ для Оренбургской (рис. 2а) и Липецкой (рис. 2б) областей.

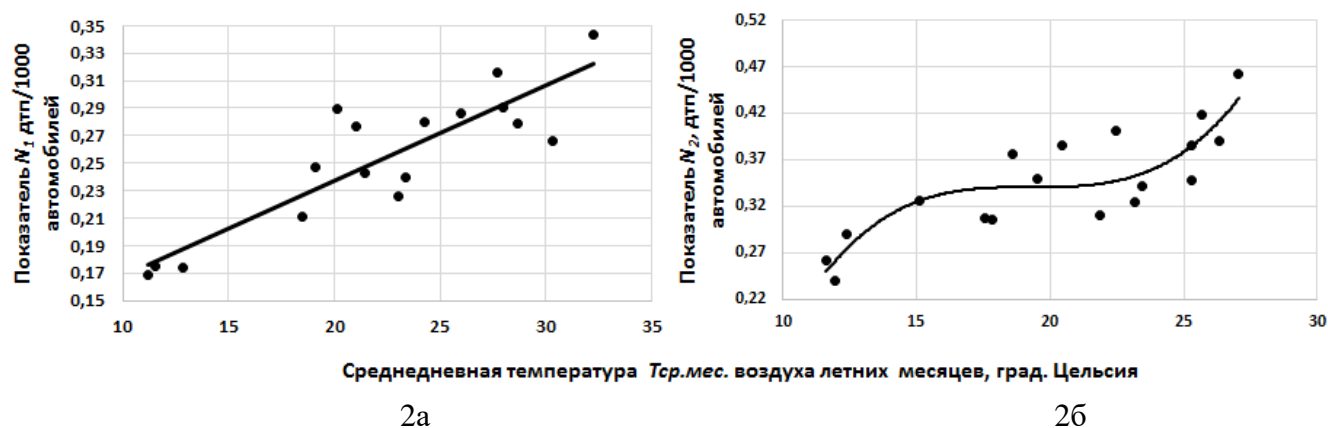


Рисунок 2 – Зависимости количества ДТП на одну тысячу автомобилей, зарегистрированных в субъектах РФ, от средневенной температуры воздуха летних месяцев: 2а – для Оренбургской области; 2б – для Липецкой области.

Полученные зависимости имеют вид:

$$N_1 = 0,007 \cdot T_{ср.мес} + 0,0983, \quad (7)$$

$$N_2 = 0,0002 \cdot T_{ср.мес}^3 - 0,0117 \cdot T_{ср.мес}^2 + 0,2264 \cdot T_{ср.мес} - 1,1139 \quad (8)$$

Значения коэффициентов достоверности аппроксимации составляют 0,82 и 0,80 в первом и во втором случаях соответственно.

Формулы (7) и (8), как и рисунки 2а и 2б, подтверждают гипотезу о росте количества ДТП при увеличении температуры окружающей среды и позволяют определить эффект увеличения показателя аварийности ΔN в условиях высоких температур. В сводке научного центра безопасности дорожного движения МВД РФ по дорожно-транспортной аварийности в Российской Федерации за 9 месяцев 2022 года подтверждено, что максимальная тяжесть последствий ДТП приходится на август, а максимальное количество дорожно-транспортных происшествий, погибших и раненых в ДТП с особо тяжкими последствиями приходится на июль и август.

Различия в форме аппроксимирующих кривых на рисунках 2а и 2б могут быть объяснены тем, что аварийность зависит не только от температуры, но и от эксплуатационного состояния и обустройства дорог и особенностей скоростного режима на них, которые могут различаться от региона к региону. Кроме того, Оренбургская область характеризуется резко континентальным климатом, негативно влияющим на адаптацию водителей к погодным условиям.

Третий раздел посвящён решению второй поставленной задачи – выявлению и оценке адекватности закономерностей влияния высокой температуры окружающей среды на показатели аварийности на количество нарушений правил

дорожного движения (ПДД) и ошибок водителей, а также на значения показателя аварийности на автомобильном транспорте.

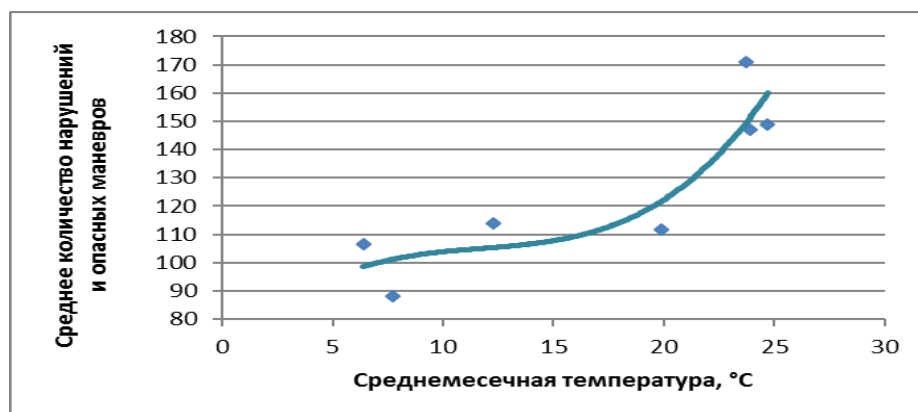
Серия опытов, проведённых с использованием прибора «ППК-МАДИ-ВНИИБД», в которых определяли коэффициент сцепления автомобильных шин с дорогой при различных температурах окружающей среды, освещённости на асфальтобетонных покрытиях с различными сроками эксплуатации, позволила определить, что рост температуры увеличивает коэффициент сцепления колёс с дорогой, тем самым уменьшая тормозной путь. Наибольший эффект изменения тормозного пути ΔS в результате действия температурного и радиационного факторов для влажной $\Delta S_{ВП}$ и сухой $\Delta S_{СП}$ поверхностей оценивается значениями $\Delta S_{ВП} = -1,66$ и $\Delta S_{СП} = -1,14$ соответственно, что позволяет исключить фактор взаимодействия автомобиля и дороги из числа причин увеличения аварийности.

Для дальнейшего поиска причин и закономерностей влияния высоких температур на аварийность был произведён сбор и анализ нарушений ПДД в разных погодных условиях. Для этого производили наблюдения за 20-ю автомобилями марки Skoda, используемых в коммерческой службе такси, оказывающих услуги на территории Оренбургской области.

В качестве инструмента использовалась система «Wialon – GPS/Глонасс», позволяющая отслеживать координаты, перемещение, скоростной режим, количество нарушений скоростного режима, резких ускорений, торможений и поворотов транспортных средств, а также некоторые другие параметры. Программный модуль формирует данные в виде записей о каждой поездке: время начала и окончания, затраченное время, среднюю и максимальную скорости движения, количество нарушений и опасных маневров.

Большая часть нарушений соответствует превышению установленной ПДД скорости движения. Их количество в большинстве месяцев рассматриваемого периода превосходит сумму всех остальных нарушений и опасных маневров более чем в 10 раз. Зависимость числа нарушений ПДД и резких маневров от температуры показана на рисунке 3 и описывается формулой (9):

$$v_{\text{общ}} = 0,02 \cdot t^3 + 0,75 \cdot t^2 + 9,4 \cdot t + 63,5, \quad (9)$$



где $v_{\text{общ}}$ – общее число нарушений и опасных маневров, приходящихся (в среднем) на один автомобиль, t – среднемесячная дневная температура.

Коэффициент достоверности аппроксимации данных равен $R^2=0,8$.

Рисунок 3 – Зависимость числа нарушений ПДД и опасных маневров, приходящихся на одну машину, от среднемесячной температуры t .

Таким образом, как число нарушений и опасных маневров, так и число аварий определённо зависят от температуры окружающей среды, причём как количество нарушений, так и количество опасных маневров возрастают в интервале среднемесячных температур от 5 до 25 °С примерно на 94%.

Зависимости частот превышений скорости на 20-40 км/ч (v_{20-40}), 40-60 км/ч (v_{40-60}) и более 60 км/ч (v_{60}) от температуры t представлены формулами (10), (11) и (12) с достоверностью аппроксимации данных 0,8, 0,83 и 0,81 соответственно:

$$v_{20-40} = 1.16 \cdot t + 45,5; \quad (10)$$

$$v_{40-60} = 0,025 \cdot t^3 - t^2 + 14 \cdot t - 19; \quad (11)$$

$$v_{60} = 0,016 \cdot t^3 - 0,74 \cdot t^2 + 10,5 \cdot t - 36,6 \quad (12)$$

Подтверждается, что с ростом температуры окружающей среды происходит одновременно рост аварийности, количества нарушений скоростного режима и резких маневров, что, в свою очередь, позволяет отнести взаимодействия «среда-водитель» и «водитель-автомобиль» к причинам роста аварийности.

Для определения причин снижения надёжности водителей проведено исследование изменения во времени факторов, способных создать неблагоприятные параметры микроклимата в салоне автомобиля (значения температуры, влажности и освещённости). Фиксация температуры и влажности воздуха в салоне автомобиля осуществлялась влагомером ЗНТ 100-70. Замер температуры дублировался с помощью электронного термометра «ТР101». Освещённость измеряли люксметром «Мегеон-21550».

Определение параметров производили три раза в течение минуты, после чего за истинное значение принимали наибольшую из измеренных величин. Опыт повторяли трижды, после чего данные усреднялись.

В течение светового дня с 06:00 по 22:00 часов с интервалом в 1 час проводились следующие замеры:

- значения температуры воздуха в тени, влажности и освещённости – на открытой освещённой местности вблизи автомобиля;
- в салоне автомобиля – освещённость, влажность и температура воздуха.

По полученным данным были построены графики изменения изучаемых параметров, определены зависимости температуры и влажности воздуха в салоне, разности между значениями этих величин внутри салона и вне автомобиля, от температуры окружающей среды и интенсивности солнечного излучения. Статистическая обработка данных производилась с помощью MS Excel.

На рисунке 4а показано изменение освещённости ($E_{возд}$) открытого пространства, температуры ($t_{сал}$) и влажности ($\varphi_{сал}$) в салоне автомобиля в течение светового дня; на рисунке 4б показано изменение во времени разности этих показателей в салоне автомобиля и вне его, с отключенным кондиционером. Прирост влажности и температуры в салоне наблюдается при появлении прямых солнечных лучей.

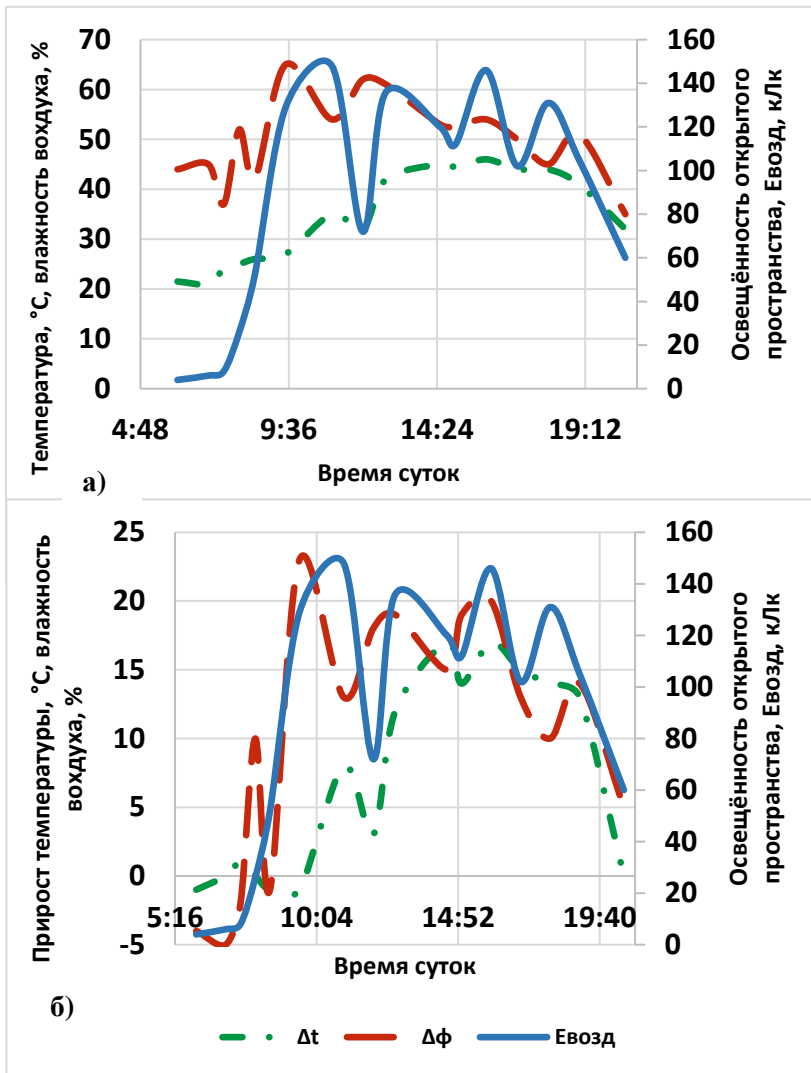


Рисунок 4 – Изменение параметров в течение светового дня: а) изменение температуры ($t_{сал}$, °С), влажности ($\varphi_{сал}$, %) в салоне и освещённости вне автомобиля ($E_{возд}$, кЛк); б) динамика освещённости вне автомобиля ($E_{возд}$, кЛк) и разницы между значениями вне автомобиля и в салоне автомобиля для влажности ($\Delta\varphi$) и температуры (Δt).

Температура в салоне автомобиля $t_{сал}$ линейно зависит от освещённости $E_{возд}$ (13):

$$t_{сал} = 0,139 \cdot E_{возд} + 22,46 \quad (13)$$

Достоверность аппроксимации данных составляет $R^2=0,86$.

Зависимость влажности $\varphi_{сал}$ в салоне от температуры воздуха $t_{возд}$ также линейная с достоверностью аппроксимации данных $R^2=0,81$ (14):

$$\varphi_{сал} = 1,4 \cdot t_{возд} + 9,6 \quad (14)$$

Как видно из рис. 4б, при отсутствии прямых солнечных лучей температура в салоне автомобиля может быть меньше температуры окружающего воздуха, а при высоких значениях освещённости может превышать таковую на 17°C. Зависимость (15) прироста температуры Δt от температуры $t_{возд}$ имеет линейный характер с достоверностью аппроксимации данных $R^2=0,82$:

$$\Delta t = 1,5 \cdot t_{возд} - 36 \quad (15)$$

Солнечное излучение способствует созданию повышенной влажности в салоне автомобиля с увеличением до 23%. Зависимость $\Delta\varphi(t_{возд})$ имеет линейный характер с достоверностью аппроксимации данных $R^2=0,81$ (16):

$$\Delta\varphi = 2,1 \cdot t_{возд} - 0,1 \quad (16)$$

Для определения причин снижения надёжности водителей, с помощью тепловизора «Testo 875», была проведена визуализация тепловых полей в салоне

автомобиля и вне его. По завершении съёмки данные обрабатывались с помощью специализированного программного обеспечения.

Производилась фиксация тепловых полей кузова и внутренних поверхностей салона автомобиля при температуре воздуха 35 °С, во время движения при открытых и закрытых окнах, в условиях работы кондиционера и установки «климат-контроль».

Изображения на рисунках 5 и 6 подтверждают наличие условий, создающих «парниковый» эффект в салоне автомобиля – наличие разогретых до 53-73 °С поверхностей.

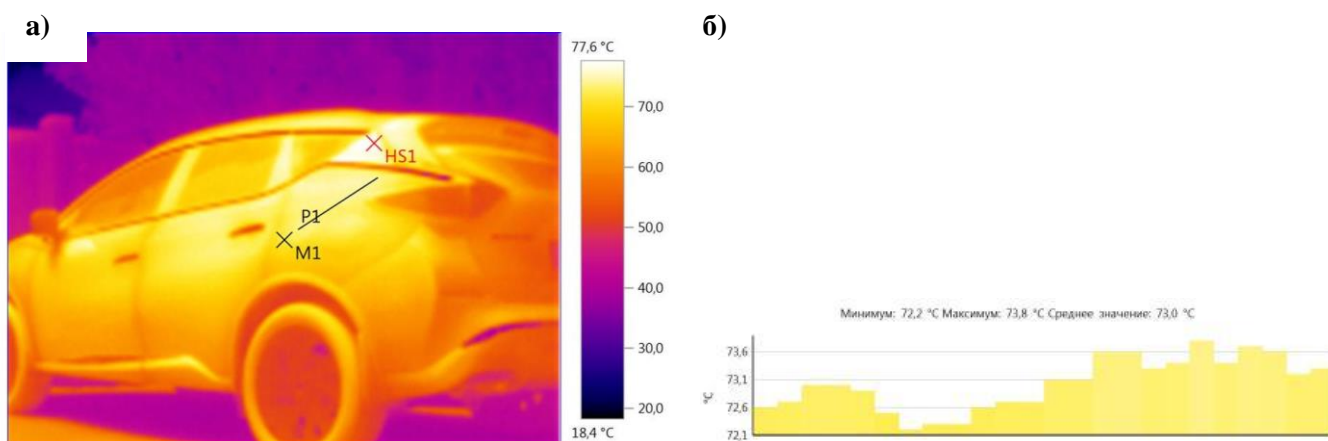


Рисунок 5 – Поле температур автомобиля: а) общий вид; б) температурный профиль среза кузова (линии, изображённой на рис. 5а).

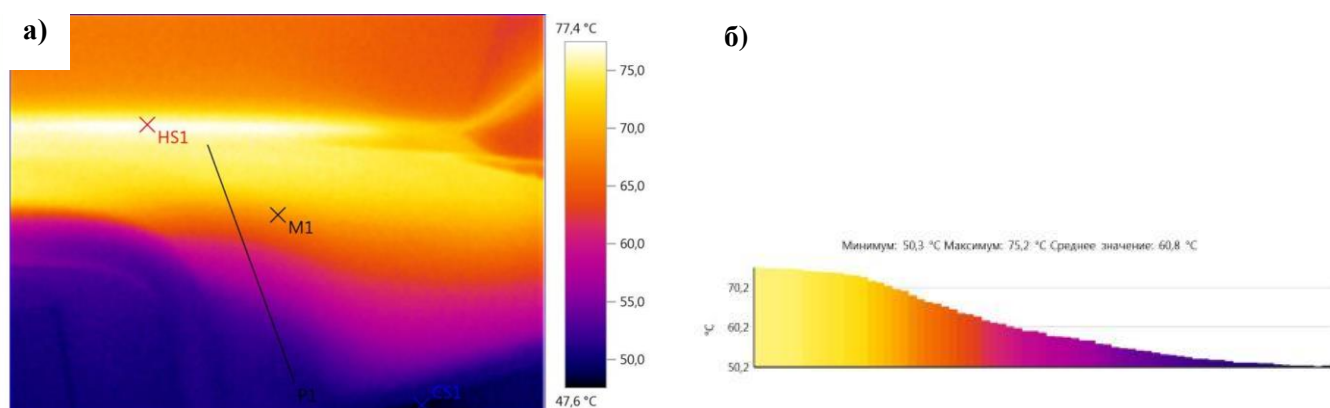


Рисунок 6 – Поле температур панели приборов салона: а) общий вид; б) температурный профиль среза панели приборов (линии, сверху вниз).

Разница температур освещённой поверхности и поверхности, находящейся в тени, составляет приблизительно на 20 °С.

Таким образом, подтверждается предположение о том, что первопричинами роста аварийности на дорогах с увеличением температуры и освещённости является снижение надёжности водителя за счёт создания неблагоприятной обстановки в салоне автомобиля.

С использованием экспертного метода и результатов статистического анализа были определены наиболее значимые причины прироста аварий при высоких температурах. При этом осуществлялось анкетирование профессиональных водителей со стажем вождения не менее трёх лет. Изначально при анкетировании определены следующие условия вождения автомобилей: высокая температура, солнечное излучение, использование водителем кондиционера и системы «климат-контроль». Полученные результаты позволили определить такие величины, как: количество m факторов аварийности, доля значимых факторов аварийности n , относительный вклад рассматриваемых факторов аварийности в прирост ДТП $k_i \Delta v_i$, где i изменяется от 1 до m , прирост числа неверно принятых решений Δv_1 и увеличение времени реакции водителей при высоких температурах Δv_2 относительно значений при комфортных условиях, за которые принимались наименьшие из значений v_i , соответствующие периоду с апреля по сентябрь. Остальные значения Δv_i были получены с использованием системы «Wialon – GPS/Глонасс».

Ранжирование факторов аварийности производили по четырёхбалльной системе, где значению 1 соответствовала наименьшая значимость, а значению 4 – наибольшая. Также определялся прирост аварийности в процентах в тех или иных условиях по сравнению с комфортными условиями, соответствующими апрелю месяца года. Распределение значимости причин аварий показано на рис. 7.

Наиболее весомыми причинами роста числа ДТП являются: неверно принятые решения, увеличение времени реакции водителей, увеличение интенсивности маневрирования, а также превышение скорости. Суммарная статистическая доля ДТП от указанных причин составляет 92,4% от общего числа ДТП.

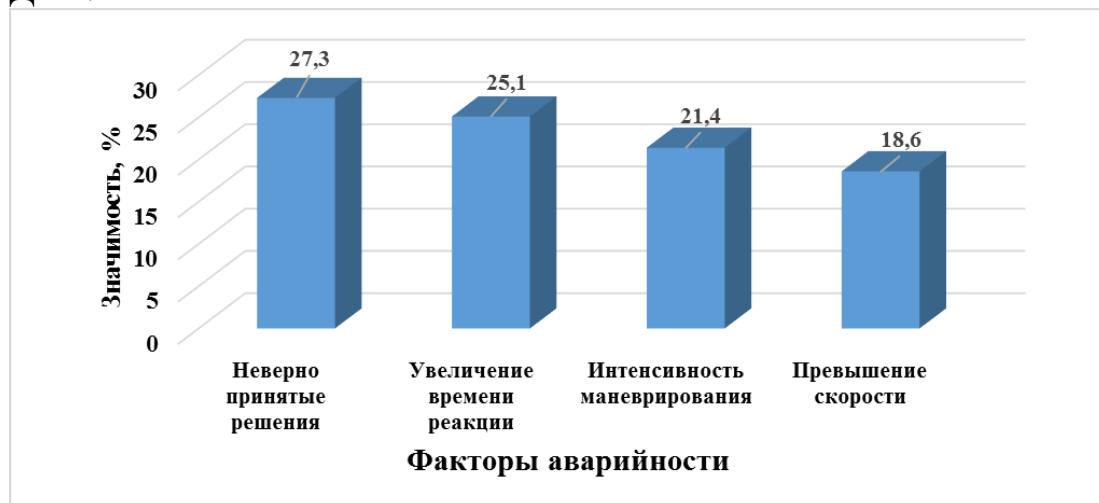


Рисунок 7 – Распределение вкладов факторов аварийности на дорогах при высоких температурах в процентах.

Большая часть транспортных средств оборудована кондиционерами, часть – системами «климат-контроль». На рисунке 8 показано увеличение в процентах, по сравнению с комфортными условиями, случаев превышения скорости, интенсивности маневрирования, принятия неверных решений и увеличения времени реакции для автомобилей без климатических установок (КУ), а также в случаях использования кондиционера и системы «климат-контроль».

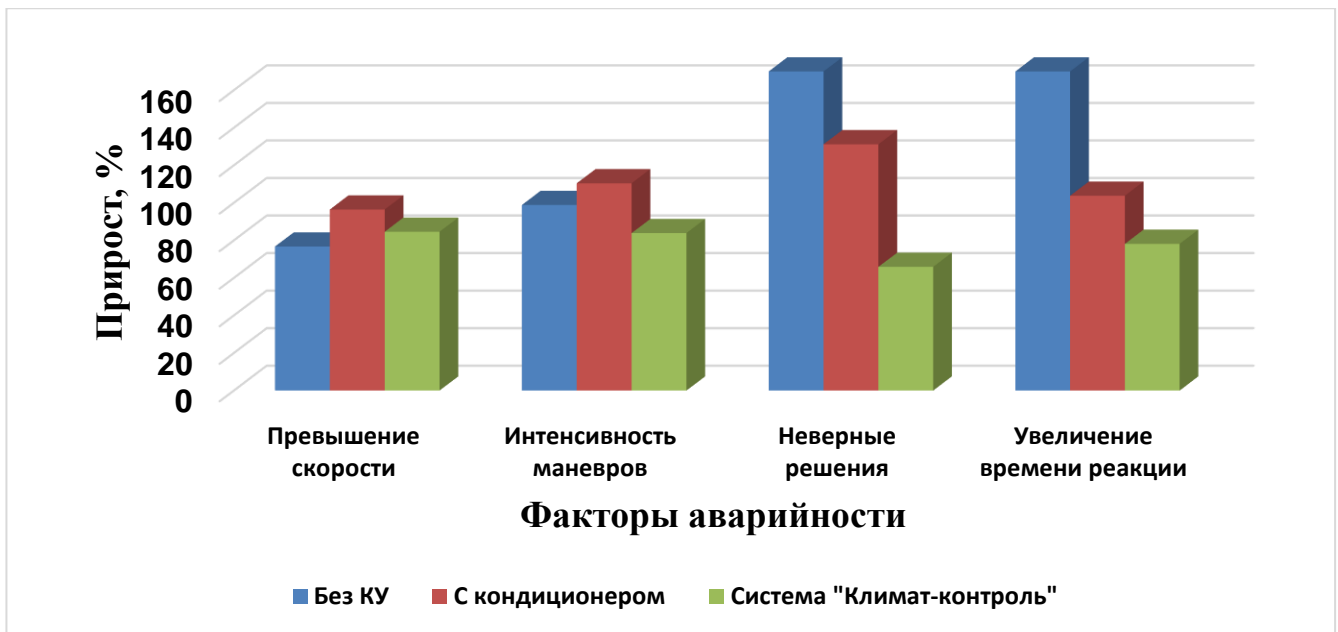


Рисунок 8 – Превышение установленной скорости, частоты маневрирования, частоты неверно принятых решений и увеличение времени реакции водителя, в процентах, при высокой температуре окружающей среды, в условиях отсутствия кондиционирования салона, использования кондиционера и системы «климат-контроль».

В случаях, когда при эксплуатации транспортных средств не используется ни кондиционер, ни система «климат-контроль», большая часть прироста аварийности происходит в результате неверно принятых решений и увеличения времени реакции. Использование любой из перечисленных систем кондиционирования снижает долю ДТП, происходящих в результате неверно принятых решений и увеличения времени реакции водителя, одновременно увеличивая долю ДТП, происходящих вследствие нарушения скоростного режима и интенсивности маневрирования. Использование системы «климат-контроль» снижает частоту нарушений ПДД и интенсивность маневров, а также их вклад в общее число ДТП (в отличие от условий при использовании кондиционера), что вызвано созданием более благоприятного микроклимата в салоне автомобиля.

Полученные данные могут быть использованы для оценки степени опасности того или иного вида нарушений при высоких температурах. Данные, представленные на рисунке 7, позволяют определить значения Δv_i при известных значениях исходного числа нарушений ПДД v_i , которые определяются путём экспертного метода или с использованием системы «Wialon – GPS/ГЛОНАСС».

Четвёртый раздел посвящён решению третьей задачи, состоящей в разработке системы мероприятий по совершенствованию организации процесса перевозок и алгоритма снижения рисков повышения аварийности, обусловленной высокой температурой окружающей среды.

Для решения поставленной задачи величинам v и Δv с индексами 1, 2, 3 и 4 приведены в соответствие средние значения неверно принятых решений, времени реакции водителей, количества маневров и превышение скорости в комфортный весенний период, а величинам Δv_{ij} – их соответствующее увеличение с наступлением температуры, превышающей 25 °С, приходящиеся на одного водителя. При этом

индексу j соответствуют следующие условия эксплуатации транспортного средства: $j=1$ – без использования климатических установок, $j=2$ – использование кондиционера, $j=3$ – использование системы «климат-контроль». Величины v_1 и v_2 определены с использованием системы «Wialon – GPS/Глонасс» для водителей такси и приняты в качестве среднестатистических для всех водителей Оренбургской области - они составили 110,3 и 77,5 нарушений, приходящихся на одного водителя в месяц соответственно. Величина v_4 , согласно литературным данным, принята равной 0,5 с. Величина v_3 получена экспертным методом. Она равна 183,5 нарушений на одного водителя в месяц. С помощью этих величин и данных, представленных на рисунке 8, где показаны значения отношений $\Delta v_{ij}/v_i$, можно определить значения Δv_{ij} , где i изменяется от 1 до 4, а j – от 1 до 3.

Исходя из рисунка 7, можно определить значения коэффициентов α_{ij} формулы (4): $\alpha_{12}=1,087$; $\alpha_{13}=1,276$; $\alpha_{14}=1,468$. С учётом данных рисунка 7 установлено, что $n=0,924$; рисунок 1а позволяет определить значение ΔN , которое равно 0,000175 аварий на одно транспортное средство в месяц. Также с помощью экспертного метода были определены доли водителей, не использующих климатические установки – $x_1=0,174$, водителей, использующих кондиционер – $x_2=0,606$ и водителей, использующих системы «климат-контроль» – $x_3=0,22$.

Подстановка указанных значений в формулы (1), (2) и (3) позволяет определить значения инвариантных коэффициентов опасности маневров и нарушений: $k_1=4,08 \cdot 10^{-7}$; $k_2=8,00 \cdot 10^{-5}$; $k_3=2,36 \cdot 10^{-6}$; $k_4=4,15 \cdot 10^{-7}$. Коэффициенты k_1 , k_2 и k_3 являются безразмерными величинами и представляют собой среднее количество участия в ДТП одного транспортного средства в течение месяца. Коэффициент k_4 имеет размерность $1/t$.

С учётом полученных данных, увеличение аварийности при высоких температурах, записанное в виде выражения (3), может быть представлено в виде:

$$\Delta N = 4,41 \cdot 10^{-7} \cdot \sum_{j=1}^3 x_j \cdot \Delta v_{j1} + 8,66 \cdot 10^{-5} \cdot \sum_{j=1}^3 x_j \cdot \Delta v_{j2} + 2,55 \cdot 10^{-6} \cdot \sum_{j=1}^3 x_j \cdot \Delta v_{j3} + 4,49 \cdot 10^{-7} \cdot \sum_{j=1}^3 x_j \cdot \Delta v_{j4} \quad (17)$$

По состоянию на сентябрь 2022 года в Оренбургской области насчитывалось 850 тысяч автомобилей. Полученные значения коэффициентов k_i позволяют определить изменение аварийности на дорогах при изменении частоты совершения нарушений, в том числе оценить эффект снижения аварийности в результате более активного использования кондиционеров и систем «климат-контроль», что математически выражается в изменении соотношений между коэффициентами u_1 , u_2 и u_3 .

В таблице 1 приведены оценочные результаты возможного снижения добавочной аварийности (являющейся разницей между аварийностью при температурах, превышающих 25 °С, и в комфортное время года), вычисленные с использованием формулы (17) при высоких температурах в двух вариантах

оснащения автомобиля – установка кондиционера (первый вариант), и второй вариант - 100% транспортных средств используют системы «климат-контроль».

Таблица 1. Расчётные значения изменения прироста показателя аварийности в условиях высоких температур при разных распределениях кондиционирования салона и разных уровнях нарушений ПДД.

Распределение ТС по режимам кондиционирования* (Доли ТС: без КУ/ с кондиционерами/ с системами «климат-контроль»)	Уровень нарушений и ошибок		
	Остающийся на исходном уровне	Не превышает значений для случаев отсутствия кондиционирования салона	На уровне значений, не превышающих 25°C.
Уровень кондиционирования 1 (17,4/60,6/22,0)	0	3,5	40,6
Уровень кондиционирования 2 (0,0/78,0/22,0)	4,3	8,8	46
Уровень кондиционирования 3 (0,0/50,0/50,0)	13,1	15,3	52,5
Уровень кондиционирования 4 (0,0/0,0/100)	28,9	26,9	64,1

*) Распределение ТС по режимам кондиционирования: уровень кондиционирования 1 – текущее распределение между ТС, не использующими КУ, использующими кондиционеры и системы «климат-контроль»; уровень кондиционирования 2 – переход всех ТС, не использующих КУ, к применению кондиционеров с сохранением использования климатических установок на остальных ТС на прежнем уровне; уровень кондиционирования 3 – 50% ТС используют кондиционеры, 50% ТС используют системы «климат-контроль»; уровень кондиционирования 4 – 100% ТС эксплуатируют системы «климат-контроль».

Перевод ТС, не применяющих кондиционирование, в группу с кондиционерами либо в группу с системами «климат-контроль» снижает прирост показателя аварийности на дорогах.

Оснащение транспортных средств кондиционерами способно снизить прирост показателя аварийности в условиях высоких температур на 4,7%, а использование систем «климат-контроль» во всех ТС – на 28,9%. Аварийность также снижается при снижении количеств нарушений ПДД. Предельное снижение прироста показателя аварийности, достигаемое комбинацией данных методов, находится на уровне 64%.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что мероприятия по совершенствованию организации процесса перевозок должны проводиться в двух направлениях – увеличение доли использования климатических установок и систем «климат-контроль» на транс-порте, а также снижение доли опасных маневров и превышения скорости, в связи с чем для автотранспортных предприятий был разработан алгоритм совершенствования организации процесса перевозок, представ-ленный на рисунке 9.

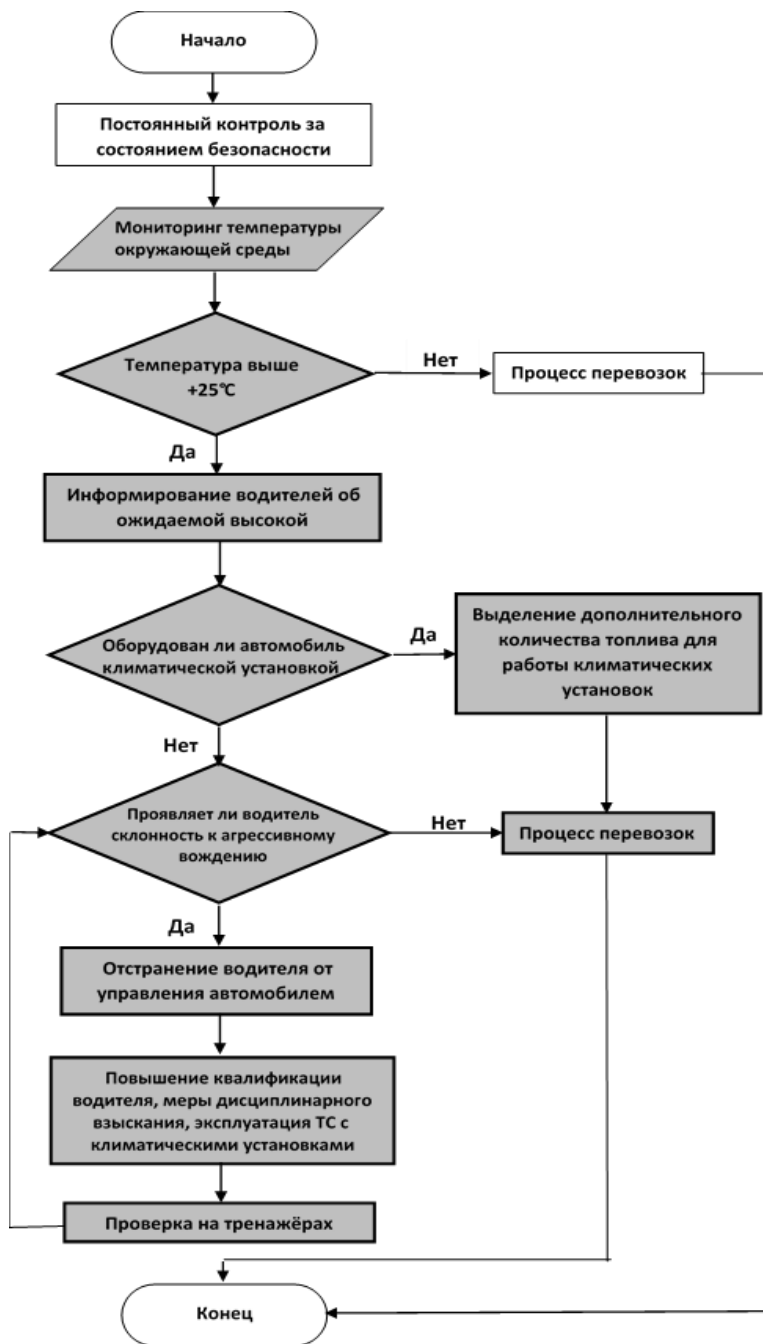


Рисунок 9 – Алгоритм совершенствования организации процесса перевозок (реагирования службы безопасности дорожного движения на повышение температуры окружающей среды). Фигурам с серым фоном соответствуют элементы предлагаемых мероприятий по снижению аварийности.

(например, с помощью УПДК-МК «Автомобильный», «Wialon-Глонасс»).

8. Отстранение от транспортной работы водителей, имеющих склонность к резкому маневрированию в условиях высоких температур.

9. Повышение квалификации водителя, применение мер дисциплинарного воздействия.

В соответствии с приведённым алгоритмом разработаны рекомендации, направленные на совершенствование организации перевозок на автотранспортных предприятиях, в частности:

1. Постоянный контроль за состоянием безопасности транспортного процесса водителями с использованием информации системы «ГЛОНАСС»;

2. Ежедневный контроль за температурой окружающего воздуха;

3. Информирование водителей об ожидаемой высокой температуре окружающего воздуха во время выполнения транспортной работы;

4. Учёт особенностей эксплуатации автомобилей, оборудованных кондиционером, системой «климат-контроль» или без них;

5. Проверка эффективности работы климатической установки автомобиля во время весеннего сезонного обслуживания;

6. Выделение дополнительного количества топлива для обеспечения работы климатической установки;

7. Выявление водителей, имеющих склонность к резкому маневрированию в условиях высоких температур окружающего воздуха, с использованием разработанной методики оценки склонности водителей к увеличению нарушений правил дорожного движения

10. Проверка водителя на тренажере для дальнейшего допуска его к транспортной работе.

Использование алгоритма предупреждения ДТП в условиях высоких температур, представленного на рисунке 9, и перечисленных рекомендаций целесообразно предусматривать в деятельности службы безопасности дорожного движения автотранспортного предприятия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная работа посвящена решению актуальной проблемы снижения негативной тенденции увеличенной аварийности на автомобильном транспорте в условиях высоких температур. В ходе исследования определены основные причины такого эффекта и разработана методика его снижения в автотранспортном предприятии. Данное исследование является завершённой научно-квалификационной работой, дополняет теорию и практику эксплуатации автомобильного транспорта.

1. На основе результатов известных исследований и статистических данных об увеличении количества нарушений правил дорожного движения и показателей аварийности выдвинута и подтверждена гипотеза о существовании зависимости между количеством дорожно-транспортных происшествий и событиями, им предшествующими – неверно принятыми водителями транспортных средств решениями, недостаточным временем их реакции на условия движения, интенсивностью маневрирования и превышением установленной скорости движения, причём одним из существенных факторов влияния является высокие температуры (более 25⁰С) окружающего воздуха.

2. Негативное влияние высоких температур окружающего воздуха на водителя и на безопасность дорожного движения проявляется в увеличении температуры и влажности в салоне автомобиля, в связи с чем целесообразно и необходимо оборудование автомобиля климатическими установками (КУ), обеспечивающими комфортные условия работы водителя.

3. Выявлены закономерности влияния высокой температуры окружающей среды на превышение водителем скорости движения автомобилей, совершение им опасных маневров, на количество неверно принятых решений и время реакции водителей. Использование данных закономерностей при организации процесса перевозок позволяет снизить прирост аварийности на 4,7% при переходе ТС, не использующих КУ, на транспортные средства, оснащённые кондиционерами, и на 28,9% при оснащении всех транспортных средств системами «климат-контроль». Благодаря снижению количества нарушений правил дорожного движения до уровня, соответствующего комфортным условиям, прирост аварийности при высоких температурах может быть снижен на 64,1%.

4. Предложены рекомендации и разработан алгоритм совершенствования организации процесса перевозок, направленные на снижение влияния высоких температур окружающей среды на безопасность дорожного движения, предусматривающие:

- постоянный контроль за состоянием безопасности транспортного процесса водителями с использованием информации системы ГЛОНАСС;
- ежедневный контроль за температурой окружающего воздуха;
- информирование водителей об ожидаемой высокой температуре окружающего воздуха во время выполнения транспортной работы;
- учёт особенностей эксплуатации автомобилей, оборудованных кондиционером, системой «климат–контроль» или без них;
- проверку эффективности работы климатической установки автомобиля во время весеннего сезонного обслуживания;
- выделение дополнительного количества топлива для обеспечения работы климатической установки;
- выявление водителей, склонных к резкому маневрированию в условиях высоких температур окружающего воздуха, с использованием разработанной методики оценки склонности водителей к увеличению нарушений правил дорожного движения (например, с помощью УПДК-МК «Автомобильный», «Wialon-Глонасс»);
- проверку водителей на тренажере для дальнейшего допуска его к транспортной работе;
- отстранение от транспортной работы водителей, имеющих склонность к резкому маневрированию в условиях высоких температур;
- повышение квалификации водителя;

Реализация разработанного алгоритма позволяет повысить безопасность дорожного движения за счёт снижения эффекта прироста аварийности в жаркое время года. Полученные результаты рекомендуется использовать в условиях автотранспортных предприятий, а также водителями личных автотранспортных средств. Дальнейшие исследования предполагается направить на разработку методики выявления водителей, склонных к агрессивному вождению транспортных средств в условиях высоких температур.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

- в рецензируемых научных журналах из «Перечня ...» ВАК:

1. Якунин, И.Н. Исследование влияния высокой температуры окружающей среды на безопасность автотранспортного процесса / И.Н. Якунин, О.М. Меньших, Д.М. Шунгулов / Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019. – №7. – С. 138-145.
2. Якунин, И.Н. Влияние высоких температур и солнечной радиации на аварийность на автомобильном транспорте в летнее время / И.Н. Якунин / Вестник СИБАДИ. – 2020. – №6. – С. 704-713.
3. Якунин, И.Н. Влияние солнечного излучения на микроклимат в салоне автомобиля в летний период / И.Н. Якунин, М.Р. Янучков / Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – №1. – С. 28-35.
4. Якунин, И.Н. Результаты исследования эффективности климатических систем автомобиля в условиях жаркого климата / И.Н. Якунин, Н.Н. Якунин, А.Ф. Фаттахова, Ш.М. Минатуллаев / Вестник СИБАДИ. – 2021. – №6. – С. 712-719.

5. Якунин, И.Н. Оценка влияния высоких температур окружающей среды на частотные и структурные характеристики нарушений правил дорожного движения / И.Н. Якунин, А.Ф. Фаттахова, Е.В. Якунина, О.И. Шаповалова / Интеллект. Инвестиции. Инновации. – 2022. – №2. – С. 115-126.

6. Якунин, И.Н. Функциональная модель обеспечения безопасности дорожного движения автотранспортного предприятия с учётом высоких температур окружающей среды / И.Н. Якунин, А.П. Фот, Н.Н. Якунин, А.Ф. Фаттахова / Вестник СИБАДИ. – 2022. – №2. – С. 278-288.

7. Якунин И.Н. Математическое моделирование аварийности на автомобильном транспорте в условиях высоких температур окружающей среды / И.Н. Якунин, М.Р. Янучков / Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2023. – №3. – С. 107-116.

- в других изданиях:

8. Хасанов, Р.Х. Анализ теплового состояния поверхности шины в зоне контакта с дорожным покрытием автомобильной дороги / Хасанов Р.Х., Якунин И.Н. // Совершенствование автотранспортных систем и сервисных технологий; сборник научных трудов по материалам 14-ой международной научно-практической конференции, Саратов, 2018. – С. 507-511.

9. Якунин, И.Н. Соотношение температур воздуха и дороги как элементов системы «ВАДС» в летнее время года с учётом влияния солнечного излучения / Якунин И.Н., Шунгулов Д.М. // Технические науки: современный взгляд на изучение актуальных проблем; сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции, Астрахань, 2019. – С. 14-17.

10. Якунин, И.Н. Влияние высоких температур и солнечного излучения на тормозной путь автомобиля / Якунин И.Н., Шунгулов Д.М. // Прогрессивные технологии в транспортных системах; материалы 14-ой международной научно-практической конференции, Оренбург, 2019. – С. 726-733.

11. Якунин, И.Н. Определение связи между аварийностью и солнечной радиацией в летний период / Якунин И.Н., Якунина Е.В., Шаповалова О.И. // Прогрессивные технологии в транспортных системах; сборник материалов 15-ой международной научно-практической конференции, Оренбург, 2019. – С. 712-718.

12. Якунин, И.Н. Анализ методик определения времени реакции водителя / Каштанов А.О., Якунин И.Н. // Научно-исследовательские исследования как основа инновационного развития общества; сборник статей международной научно-практической конференции, Омск, 2021. – С. 45-49.

13. Якунин, И.Н. Исследование влияния внешней среды на способность водителей к предупреждению дорожно-транспортных происшествий / Шаповалова О.И., Якунина Е.В., Якунин И.Н., Якунин Н.Н. // Прогрессивные технологии в транспортных системах; материалы 16-ой международной научно-практической конференции, Оренбург, 2021. – С. 573-580.

14. Якунин, И.Н. Методика оценки мастерства водителей автомобилей по показателям активности вождения при смене климатических сезонов / Якунина Е.В., Шаповалова О.И., Якунин И.Н., Якунина Н.В. // Прогрессивные технологии в транспортных системах; материалы 16-ой международной научно-практической конференции, Оренбург, 2021. – С. 612-617