

Научная статья  
УДК 656.1

<https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-3-107>

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНОСТИ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

И. Н. Якунин<sup>1</sup>, М. Р. Янучков<sup>2</sup>

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

<sup>1</sup>e-mail: yakunin21@yandex.ru

<sup>2</sup>e-mail: msi80@mail.ru

**Аннотация.** Актуальность исследования обусловлена отсутствием системной теоретической платформы, служащей для описания эффекта увеличения (до двух раз) аварийности на дорогах в условиях высоких температур окружающей среды. Разработка теоретических оснований, способных описать данный феномен, являлась целью данной работы.

**Методы исследования:** анализ и синтез, методы математической статистики. Исходные данные получены экспертным методом и наблюдением за водителями легковых такси с использованием системы «Wialon – GPS/Глонасс».

**Основные результаты** заключаются в разработке математической модели аварийности на автомобильном транспорте в условиях высоких температур окружающей среды. С помощью построенной модели определено влияние климатических установок различных типов на уменьшение аварийности. Эти результаты составляют научную новизну работы.

**Практическая значимость результатов** состоит в оценке эффективности разработанных мероприятий по снижению аварийности в жаркое время года, которые должны включать организацию и контроль использования кондиционеров и систем «климат-контроль», что способно уменьшить прирост аварийности до 64,1%.

**Направления дальнейших исследований** связаны с разработкой алгоритмического и инструментального обеспечения уменьшения прироста аварийности при организации дорожного движения в условиях высоких температур окружающей среды.

**Рекомендации:** результаты исследований могут быть рекомендованы организаторам перевозок пассажиров и грузов автомобильным транспортом, подразделениям региональных и муниципальных властей, имеющим в своем функционале организацию дорожного движения.

**Ключевые слова:** автомобильный транспорт, безопасность, температура, окружающая среда, аварийность.

**Для цитирования:** Якунин И. Н., Янучков М. Р. Математическое моделирование аварийности на автомобильном транспорте в условиях высоких температур окружающей среды // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2023. – № 3. – С. 107–116, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-3-107>.

Original article

## MATHEMATICAL MODELING OF ACCIDENTS IN ROAD TRANSPORT AT HIGH AMBIENT TEMPERATURES

I. N. Yakunin<sup>1</sup>, M. R. Yanuchkov<sup>2</sup>

Orenburg State University, Orenburg, Russia

<sup>1</sup>e-mail: yakunin21@yandex.ru

<sup>2</sup>e-mail: msi80@mail.ru

**Abstract.** The relevance of the study is due to the lack of a systematic theoretical platform that serves to describe the effect of increasing (up to two times) the accident rate on roads in conditions of high ambient temperatures. The development of theoretical foundations capable of describing this phenomenon was the purpose of this work.

*Research methods: analysis and synthesis, methods of mathematical statistics. The initial data were obtained by expert method and observation of drivers of passenger taxis using the “Wialon – GPS” system/Glonass”.*

*The main results consist in the development of a mathematical model of accidents in road transport at high ambient temperatures. With the help of the constructed model, the influence of climatic installations of various types on the reduction of accidents is determined. These results constitute the scientific novelty of the work.*

*The practical significance of the results is to assess the effectiveness of the developed measures to reduce accidents in the hot season, which should include the organization and control of the use of air conditioners and climate control systems, which can reduce the increase in accidents to 64.1%.*

*The directions of further research are related to the development of algorithmic and instrumental support for reducing the increase in accidents during the organization of traffic in conditions of high ambient temperatures.*

*Recommendations. The results of the research can be recommended to the organizers of passenger and cargo transportation by road, divisions of regional and municipal authorities that have traffic management as their functionality.*

**Key words:** road transport, safety, temperature, environment, accident rate.

**Cite as:** Yakunin, I. N., Yanuchkov, M. R. (2023) [Mathematical modeling of accidents in road transport at high ambient temperatures]. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 3, pp. 107–116, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-3-107>.

### Введение

При переходе от зимнего к весеннему периоду увеличивается продолжительность светового дня, улучшается видимость на дорогах, в летний период – увеличивается коэффициент сцепления шин с дорогой, что, в целом, указывает на формирование более благоприятной дорожной обстановки. Вместе с тем, существуют работы [5; 6], в которых отмечен как рост аварийности при переходе от зимнего к летнему периоду, так и прямая зависимость аварийности на дорогах от температуры окружающей среды. В работе [6] показано, что количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП), на тысячу зарегистрированных в отдельных регионах транспортных средств (ТС), имеет прямую возрастающую зависимость от среднемесячной температуры. В качестве регионов авторы рассматривали Оренбургскую и Липецкую области – регионы с незначительным транзитным потоком транспорта. В работе [4] сделан вывод о том, что причиной этому служит снижение надёжности водителей при повышении температуры выше 25 °С, а салон автомобиля, при наличии прямого солнечного излучения, является зоной формирования «парникового эффекта», в результате которого в салоне появляются добавочные, на фоне открытого пространства, температура и влажность, что способствует перегрузке организма водителя, в первую очередь, за счёт усиленного терморегулирования. При этом внешние и внутренние поверхности автомобиля могут нагреваться до температуры порядка 70-80 °С, что объясняет описанные эффекты на качественном уровне.

Известны работы, посвящённые исследованию тепловых полей в салоне ТС. В работе [1] авторы приходят к выводу, что при превышении температу-

ры до +27°С усложняется психическая деятельность водителя, а время реакции и количество совершаемых ошибок увеличиваются. При этом усложнение выполняемых задач способствует увеличению количества ошибок. В статье [2] показано, что высокая температура и прямые солнечные лучи – основные факторы, вызывающие дискомфорт.

Эти факторы влияют на тепловой комфорт в салоне автомобиля, создавая мгновенный тепловой шок для водителя [20], и способствуют формированию некомфортной обстановки [7;10;12;14;17;19;21].

В работах [9;13;16;18] приведены данные опытов по измерению температуры в разных точках салона автомобиля в летнее время с использованием вентиляции и при её отсутствии. Основные выводы данных работ сводятся к тому, что детали салона, находящиеся под действием прямых солнечных лучей, могут нагреваться до 62 °С, область головы и груди водителя – до 43 °С, область стоп – до 32 °С.

Жаркая солнечная погода не только формирует неблагоприятную обстановку в салоне автомобиля, но и приводит к эффекту солнечного ослепления, меры борьбы с которым описаны в работах [3; 8; 11; 15], а в работе [1] показано, что из трёх методов борьбы с «парниковым эффектом» салона ТС – открытой форточкой, кондиционером и системой «климат-контроль» – последний – наиболее эффективен.

Вместе с тем, ещё до стадии внедрения, важно знать, какой из возможных методов может оказаться более эффективным в борьбе с приростом аварийности. Таким образом, необходимо построить математическую модель, позволяющую оценить изменение числа ДТП в тех или иных условиях.

**Цель работы** – разработать теоретические основания для понимания причин увеличения ава-

рийности на дорогах общего пользования в условиях высоких температур окружающей среды для последующей разработки на этой основе мероприятий по уменьшению их прироста.

### Материалы и методы

При построении теоретической модели роста аварийности необходимо принять определённое состояние окружающей среды как наиболее благоприятное и соответствующее наименьшей аварийности за рассматриваемый период. Как было сказано ранее, верхний предел комфортного температурного диапазона соответствует температуре 25 °С. В связи с этим, в качестве искомого периода лучше остальных подходит месяц апрель, когда

температура меньше, чем в остальные месяцы, не переходит границу комфортной зоны, а аварийность стабильно, независимо от года наблюдения, минимальна за весь период с апреля по сентябрь.

В основу модели положена гипотеза о том, что, за рассматриваемый период, вероятность ДТП в результате однократного наступления того или иного события, вследствие которого может произойти ДТП, не зависит от погоды и определяется соответствующими весовыми коэффициентами  $k_i$ . Выдвинутая гипотеза основана на квазистабильном состоянии окружающей обстановки и подтверждается данными, которые будут приведены ниже. С учётом выдвинутого предположения, прирост количества ДТП, приходящихся на одно транспортное средство  $\Delta N$ , имеет вид:

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

где

- $m$  – количество факторов влияния на показатель аварийности;
- $k_i$  – весовые коэффициенты, характеризующие степень опасности  $i$ -го фактора аварийности;
- $\Delta v_i$  – увеличение количества повторений  $i$ -го фактора аварийности с изменением температуры, приходящиеся на одно ТС в течение месяца;
- $n$  – доля статистически значимых факторов влияния.

Так как микроклимат в салоне транспортного средства влияет на аварийность, зависящую только от количества событий, приводящих к ДТП, то частота совершаемых действий, создающих аварийную обстановку, зависит от использования конди-

ционера или системы «климат-контроль». С учётом сказанного, несложно показать, что формула (1) может быть преобразована в формулу (2), где введены величины  $\Delta \beta_i$ , определяемые формулой (3):

$$\Delta N = \frac{\sum_{i=1}^m k_i \cdot \Delta \beta_i}{n}, \quad (2)$$

$$\Delta \beta_i = \sum_{j=1}^3 \left( x_j \cdot \Delta v_{ij} \right), \quad (3)$$

где

- $x_1, x_2$  и  $x_3$  – соответственно доли транспортных средств, эксплуатируемых без использования климатических установок, использующих кондиционеры и использующих системы «климат-контроль»;
- $\Delta v_{ij}$  – прирост событий с первым индексом  $i$ , соответствующим характеру использования климатических установок, и вторым индексом  $j$ , соответствующим типу потенциально опасных событий, приходящихся на одно транспортное средство за один месяц эксплуатации.

Коэффициенты  $k_i$  могут быть найдены следующим образом. В тех случаях, когда это возможно, с помощью системы «Wialon – GPS/Глонасс» определяется часть величин  $\Delta \beta_i$ . Использование данных

этой системы заставляет сделать ещё одно допущение, заключающееся в том, что все характеристики объектов исследования (в данном случае – водителей такси) соответствуют аналогичным характе-

ристикам среднестатистического водителя. В тех случаях, когда невозможно с помощью данной системы определить оставшиеся величины  $\Delta\beta_i$ , экспертным методом определяют значения частот событий  $v_i$ , соответствующих апрелю, когда климатические установки не используются, после чего тем же способом определяют увеличение количества неблагоприятных событий в тех или иных условиях  $\Delta v_{ij}$ , а также доли водителей, эксплуатирующих транспортные средства в разных условиях  $x_j$ , что,

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

Несложно показать, что, в этом случае для любого  $i$ , принимающего значения от 1 до  $m$ , справед-

ливо равенство:  $\Delta N = k_i \cdot \beta_i \cdot \sum_{j=1}^m \alpha_{ij}$ , откуда

в совокупности, позволяет определить оставшиеся значения величин  $\Delta\beta_i$ . С помощью анализа статистических данных, находящихся в открытом доступе, вычисляют прирост аварий в жаркое время года  $\Delta N$ . Таким образом, искомые коэффициенты  $k_i$  могут быть получены из формулы (2) в случае известных значений доли значимых факторов  $n$  и соотношения вкладов того или иного вида событий  $\alpha_{ij}$  в общий прирост аварийности:

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

Остальные коэффициенты  $k_j$  могут быть найдены с помощью формулы (4).

Полученные значения  $k_i$  инвариантны. Они показывают степень опасности тех или иных событий, приводящих к ДТП, могут быть использованы для сравнения опасности рассматриваемых событий, а также для численной оценки возможных мероприятий по борьбе с эффектом прироста аварийности в жаркое время года.

### Результаты исследования

Экспертный метод реализовывали путём анкетирования водителей со стажем вождения не менее 3 лет, достоверность составляла не менее 90%. Определяли причины увеличения аварийности с ростом температуры в летнее время, что в теоретической плоскости позволило определить значения величин  $\alpha_{ij}$ ,  $m=4$  и  $n=0,924$ . Результаты анкетирования отображены на рисунке 1.



Рисунок 1. Степени значимости причин роста аварий в летний период

Источник: разработано авторами

Для дальнейших теоретических построений условимся числам, составляющим индексы  $i$  и  $j$

для всех величин, кроме  $x_j$ , поставить в соответствие следующие события: индексу 1 – превышение

скорости, индексу 2 – интенсивность совершаемых маневров, индексу 3 – неверно принятые решения и индексу 4 – время реакции водителя. Тогда  $\alpha_{2j}=1,15$ ;  $\alpha_{3j}=1,47$ ;  $\alpha_{4j}=1,35$ . Также экспертным методом определены доли водителей, не применяющих климатические установки, использующие кондиционеры и системы «климат-контроль»:  $x_1=0,174$ ;  $x_2=0,606$ ;  $x_3=0,22$ .

Основными причинами прироста аварийности в летнее время являются: неверно принятые решения, увеличение времени реакции водителей, увеличение интенсивности маневрирования, а также

превышение скорости. Данные, приведённые на рисунке 1, отражают показатели причин ДТП: неверно принятые решения, увеличение времени реакции, интенсивность маневров, увеличение скоростного режима. Рисунок 2а демонстрирует распределение значимости тех или иных событий в условиях отсутствия эксплуатации климатической установки (КУ), эксплуатации кондиционера и эксплуатации системы «климат-контроль»; рисунок 2б демонстрирует увеличение числа случаев наступления того или иного события в процентах при переходе от умеренной погоды к жаркой.

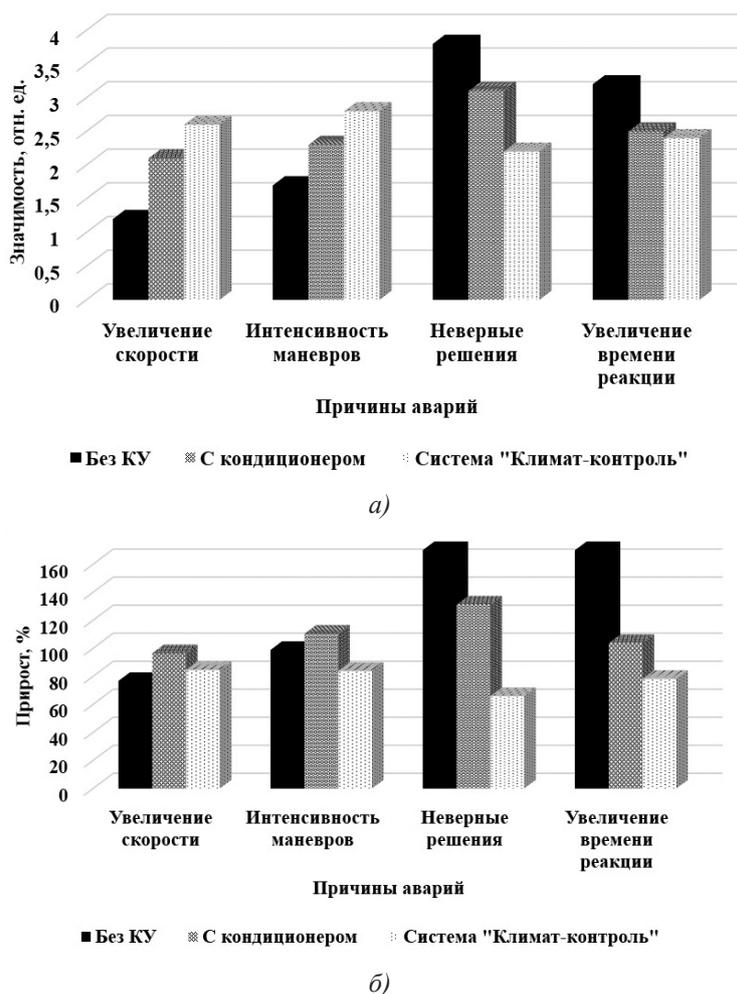


Рисунок 2. а) Влияние случаев нарушения скоростного режима, интенсивности совершения опасных маневров, количества неверно принятых решений и увеличения времени реакции, по шкале от 1 до 4, на рост аварийности для случаев, когда КУ не используются, случаев с использованием КУ и случаев с использованием системы «климат-контроль» при высоких значениях температуры окружающего воздуха

б) Увеличение случаев превышения разрешённой скорости движения, частоты совершения опасных маневров, частоты неверно принятых решений и увеличение времени реакции водителя, в процентах в условиях высоких температур без использования КУ, с использованием КУ и с использованием системы «климат-контроль» в условиях высоких значений температуры окружающего воздуха

Источник: разработано авторами

В случае, когда в транспортном средстве не используются климатические установки, наибольшее влияние на аварийность оказывают увеличение времени реакции и неверно принятые решения. При использовании КУ и систем «климат контроль» доля неверных решений и увеличения времени реакции снижается, но, вместе с тем, увеличивается вклад превышения скорости и интенсивности совершаемых маневров. Общая картина увеличения числа событий схожа с картиной распределения значимости факторов аварийности, что говорит об их тесной связи и подтверждает верность исходной гипотезы. Данные рисунка 2б говорят о том, что увеличение числа неблагоприятных событий на величину порядка 100% приводит к росту аварийности на значение того же уровня.

С помощью системы «Wialon – GPS/Глонасс» удалось установить следующие величины:  $v_1=160$ ;  $\Delta\beta_1=144,66$ ;  $v_2=15,45$ ;  $\Delta\beta_2=15,84$ . При вычислении последних двух величин в число опасных маневров были включены: резкие и опасные повороты, резкие и опасные торможения резкие и опасные ускорения, а также случаи опасного вождения. Из справочных данных получено значение  $v_4=0,5с$ . Экспертный метод позволил получить остальные величины, использованные для построения остальной части теоретической модели и рисунков 2а и 2б:  $v_3=92,5$ ;  $\Delta v_{31}=173,36$ ;  $\Delta v_{32}=121,36$ ;  $\Delta v_{33}=60,96$ ;  $\Delta v_{41}=0,86$ ;  $\Delta v_{42}=0,52$ ;  $\Delta v_{43}=0,39$ , откуда  $\Delta\beta_3=117,12$  и  $\Delta\beta_4=0,55$ . Все перечисленные выше величины соответствуют наступлению событий или их изменению для водителя одного транспортного средства в течение месяца, и, кроме величин с индексом «4», которое имеет размерность секунд, являются безразмерными величинами.

Подстановка найденных значений  $\Delta\beta_i$  в формулу (2) даёт линейную связь между коэффициентами опасности разного вида событий  $k_i$ , где  $i$  изменяется от 1 до 4, и приростом аварийности  $\Delta N$ , за которое принята разность между наибольшим и наименьшим значениями аварий, приходящихся на одно транспортное средство. Она равна  $\Delta N=1,75 \times 10^4$ . Коэффициенты  $\alpha_{ij}$  позволяют преобразовать полученное равенство в уравнение с одной переменной, в качестве которой можно выбрать любой из коэффициентов  $k_i$ . Значения остальных величин  $k_j$  находятся с помощью формулы (5), в результате чего получаем:

- $k_1=1,9 \times 10^{-7}$  – коэффициент опасности превышения скорости;
- $k_2=2,42 \times 10^{-6}$  – коэффициент опасности маневрирования;
- $k_3=4,58 \times 10^{-7}$  – коэффициент опасности принятия неверных решений;

$k_4=7,71 \times 10^{-5}$  – коэффициент опасности увеличения времени реакции.

Аварийность обстановки на дорогах общего пользования больше всего чувствительна к времени реакции водителей. В случае, когда оно остаётся стабильным, наиболее значимым фактором, предшествующим ДТП, становится опасность маневрирования, значимость которой на порядок превосходит значимость неверно принимаемых решений, которая, в свою очередь, в 2,4 раза имеет большую значимость по сравнению с превышением скорости. Несмотря на полученные результаты, стоит отметить, что распределение вкладов рассматриваемых событий в аварийность отличается от их значимости вследствие разной частоты их совершения.

Верность полученных значений коэффициентов  $k_i$  может быть проверена путём сравнения вычисленного значения исходной аварийности с фактическим. Эти величины соответственно равны  $(\sum k_i \times v_i) / n=1,608 \times 10^{-4}$  и  $1,684 \times 10^{-4}$ . Разница между этими числами составляет величину около 4,5%, что говорит об адекватности разработанной модели.

Известно, что численность транспортных средств, зарегистрированных в Оренбургской области, составляет величину, приблизительно равную  $8 \times 10^5$  единиц. Следовательно, количество ДТП в месяце имеет порядок  $10^2$  случаев, что хорошо согласуется с официальными данными.

### Обсуждение и заключение

Полученные значения коэффициентов  $k_i$  позволяют сделать вывод, что наиболее опасными неблагоприятными условиями является увеличение времени реакции водителя. Из данных рисунка 2а видно, что снижение доли этих нарушений, вместе с долей неверно принятых решений, может быть снижено за счёт увеличения доли автомобилей, использующих климатические установки и систему «климат-контроль». Для теоретической оценки возможных эффектов от применения систем кондиционирования необходимо воспользоваться формулами (2) и (3), подставляя в них найденные значения коэффициентов  $k_i$  и варьируя значения величин  $\Delta v_{ij}$ .

Оснащение транспортных средств, не использующих климатические установки, кондиционерами, совместно с их эксплуатацией на постоянной основе, способно снизить эффект прироста аварийности в жаркое время на 4,7%, а использование систем «климат-контроль» в 100 ТС – на 28,9%. Эффекту снижения аварийности противодействует другой эффект, который заключается в том, что при переходе на системы кондиционирования салона, вместе со снижением количества неверно принимаемых решений и времени реакции водителей, происходит рост

числа превышений скорости и опасных маневров. Поэтому работа с рассматриваемым эффектом, наряду с оснащением ТС климатическими установками, должна вестись в направлении снижения числа нарушений скоростного режима и опасных маневров.

В таблице 1 приведены результаты расчётов для разных результатов работы в обозначенных направлениях – в направлении кондиционирования рассмотрены исходный вариант, случай, когда ТС, не применяющие кондиционирование салона, начинают использовать кондиционеры и вариант, когда 100% транспортных средств используют системы «климат-контроль».

Таблица 1. Эффект компенсации прироста аварийности в жаркое время года при различных результатах снижения рисков аварийности

Соотношение ТС, не использующих КУ, ТС, использующих кондиционеры и системы «климат-контроль» / Количество опасных маневров и превышения скорости	На прежнем уровне	Не превышают значений для случаев отсутствия кондиционирования салона	На уровне значений, соответствующих комфортной температуре, не более 25°C.
На прежнем уровне (17,4/60,6/22,0)	0	3,5	40,6
0/78,0/22,0	4,3	8,8	46
0/50/50	13,1	15,3	52,5
0/0/100	28,9	26,9	64,1

Источник: разработано авторами

Переходы слева направо в ряду «ТС, не использующие климатические установки → ТС, использующие кондиционер → ТС, использующие систему «климат-контроль», а также снижение количества превышений скоростного режима и опасных маневров, приводят к компенсации эффекта прироста аварийности в летний период. Предельная компенсация эффекта прироста аварийности, которая может быть достигнута комбинацией данных методов, находится на уровне 64%. Данные исследования направлены на исследование возможного снижения уровня аварийности в заданных, квазистационарных дорожных условиях, улучшение которых также может способствовать снижению числа ДТП.

### Выводы

Таким образом, разработана математическая модель роста аварийности с увеличением температуры окружающей среды в период с апреля по сентябрь. Данная модель основана на гипотезе о том, что опас-

ность каждого неблагоприятного события, способного привести к ДТП, постоянна в течение рассматриваемого периода, что подтверждается полученными данными. Построенная модель позволила определить коэффициенты опасности непосредственных причин изменения аварийности – увеличения времени реакции водителей, количества неверно принятых решений, числа опасных маневров и нарушений скоростного режима, которые составили соответственно  $7,71 \times 10^{-5}$ ,  $4,58 \times 10^{-7}$ ,  $7,71 \times 10^{-5}$ ,  $2,42 \times 10^{-6}$  и  $1,90 \times 10^{-7}$ . Мероприятия по снижению аварийности в жаркое время года должны включать организацию и контроль использования кондиционеров и систем «климат-контроль», обеспечивать снижение числа превышений скорости и опасных маневров. В зависимости от эффективности данных мероприятий, эффект прироста аварийности может быть снижен на величину до 64,1%.

### Литература

1. Варламов В. А. Что надо знать водителю о себе. – М.: Транспорт. – 1990. – 192 с.
2. Верещагин С. Б. Исследование климатических условий работы водителя. – М.: МАДИ (ГТУ). – 2009. – 253 с.

3. Пегин П. А. Статистический анализ влияния эффекта солнечного ослепления на тяжесть дорожно-транспортных происшествий// Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2010. – № 1(16). – С. 99–108. – EDN: LKDRWW
4. Результаты исследования эффективности климатических систем автомобиля в условиях жаркого климата/ И. Н. Якунин [и др.]// Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2021. – Т.18. – № 6(82). – С. 712–719. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-6-712-719>. – EDN: AAILGZ
5. Якунин И. Н. Влияние высоких температур и солнечной радиации на аварийность на автомобильном транспорте в летнее время// Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2020 – Т.17 – № 6 (76). – С. 704–713. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-704-713>. – EDN: DUGKGJ
6. Якунин И. Н., Меньших О. М., Шунгулов Д. М. Исследование влияния высокой температуры окружающей среды на безопасность автотранспортного процесса// Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019. – №7. – С. 138–145. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2019-7-138>. – EDN: EFTMCV
7. Alahmer A. et al. (2011) Vehicular thermal comfort models; a comprehensive review, *Applied Thermal Engineering*. Vol. 31, Is. 6–7, pp. 995–1002.
8. Dancă P. et al. (2019) Experimental and numerical study of the air distribution inside a car cabin, *E3S Web of Conferences*, Vol. 85, 02014, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20198502014>
9. Eldegwy A., Khalil E. E. (2018) Passengers' thermal comfort in private car cabin in hot climate, *Joint Propulsion Conference*, American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA), <https://doi.org/10.2514/6.2018-4613>
10. Fiala D., Lomas K. J., Stohrer M. (2001) Computer prediction of human thermoregulatory responses to a wide range of environmental conditions, *International Journal of Biometeorology*. Vol. 45, pp. 143–159, <https://doi.org/10.1007/s004840100099>
11. Horobet T. et al. (2018) Preliminary research on virtual thermal comfort of automobile occupants, *E3S Web of Conferences*, Vol. 32, 01022, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183201022>
12. Hunter John (1993) *Reconstructing Collisions Involving Ice and Slippery Surfaces*. SAE Technical Paper № 930896, <https://doi.org/10.4271/930896>
13. J. H. Moon, W. L. Jin, H. J. Chan, et al. (2016) Thermal comfort analysis in a passenger compartment considering the solar radiation effect, *International Journal of Thermal Sciences*. Vol. 107, pp. 77–88. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2016.03.013>
14. Khatoun S., Kim M.-H. (2020) Thermal comfort in the passenger compartment using a 3-D numerical analysis and comparison with Fanger's comfort models. *Energies*, Vol. 13(3), 690 <https://doi.org/10.3390/en13030690>
15. Lorenz M. et al. (2014) A Coupled Numerical Model to Predict Heat Transfer and Passenger thermal Comfort in Vehicle Cabins, *SAE Technical Paper 2014-01-0664*, <https://doi.org/10.4271/2014-01-0664>
16. S. Zhao, B. Zhu, R. Wang (2016) Study of the influence on the comfort of vehicle cabin thermal environment and improve cabin thermal environment comfort. *J. Fluid Machinery*. Vol. 44 (7), pp. 70–76.
17. Samrendra Singh, Hesam Abbassi (2018) 1D/3D transient HVAC thermal modeling of an off-highway machinery cabin using CFD-ANN hybrid method. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 135, pp. 406–417 <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.02.054>
18. Szczurek A., Maciejewska M. (2016) Categorization for air quality assessment in car cabin, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. Vol. 48, pp. 161–170, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.08.015>
19. Yang L., Li X., Tu J. (2019) Thermal comfort analysis of a high-speed train cabin considering the solar radiation effects, *Indoor and Built Environment*, Vol. 29(8), pp. 1101–1117, <https://doi.org/10.1177/1420326X19876082>
20. Yang R. et al. (2020) Study on the thermal comfort index of solar radiation conditions in winter, *Building and Environment* Vol. 167, 106456. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106456>
21. Zhang H. et al. (2010) Thermal sensation and comfort models for non-uniform and transient environments: part I: Local sensation of individual body parts, *Building and Environment*, Vol. 45, pp. 380–388. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.018>

#### References

1. Varlamov, V. A. (1990) *Что надо знат' водителю о себе* [What the driver needs to know about himself]. Moscow: Transport, 192 p.

2. Vereshchagin, S. B. (2009) *Issledovaniye klimaticheskikh usloviy raboty voditelya* [Study of the driver's climatic conditions]. Moscow: MADI (GTU), 253 p.
3. Pegin, P. A. (2010) [Statistical analysis of the effect of solar glare on the severity of traffic accidents]. *Vestnik Tikhookeanskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Pacific State University]. Vol. 1 (16), pp. 99–108. (In Russ.).
4. Yakunin, I. N. (2021) [The results of the study of the effectiveness of the climatic systems of the car in a hot climate]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta* [Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University]. Vol.18, No. 6(82), pp. 712–719. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-6-712-719>. (In Russ.).
5. Yakunin, I. N. (2020) [Influence of high temperatures and solar radiation on the accident rate in road transport in the summer]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta* [Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University]. Vol.17. No. 6 (76), pp. 704–713. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-704-713>. (In Russ.).
6. Yakunin, I. N., Men'shikh, O. M., Shungulov. D. M. (2019) [Study of the influence of high ambient temperature on the safety of the motor transport process]. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 7, pp. 138–145. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2019-7-138>. (In Russ.).
7. Alahmer, A. et al. (2011) Vehicular thermal comfort models; a comprehensive review. *Applied Thermal Engineering*. Vol. 31, Is. 6–7, pp. 995–1002. (In Engl.).
8. Dancă, P. et al. (2019) Experimental and numerical study of the air distribution inside a car cabin. *E3S Web of Conferences*, Vol. 85, 02014 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20198502014> (In Engl.).
9. Eldegwy, A., Khalil, E. E. (2018) Passengers' thermal comfort in private car cabin in hot climate. *Joint Propulsion Conference*, American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA) <https://doi.org/10.2514/6.2018-4613> (In Engl.).
10. Fiala, D., Lomas, K. J., Stohrer, M. (2001) Computer prediction of human thermoregulatory responses to a wide range of environmental conditions. *International Journal of Biometeorology*. Vol. 45, pp. 143–159 <https://doi.org/10.1007/s004840100099> (In Engl.).
11. Horobet, T. et al. (2018) Preliminary research on virtual thermal comfort of automobile occupants. *E3S Web of Conferences*, Vol. 32, 01022 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183201022> (In Engl.).
12. Hunter, John (1993) Reconstructing Collisions Involving Ice and Slippery Surfaces. SAE Technical Paper № 930896, <https://doi.org/10.4271/930896>
13. Moon, J. H. , Jin, W. L., Chan, H. J. et al. (2016) Thermal comfort analysis in a passenger compartment considering the solar radiation effect. *International Journal of Thermal Sciences*. Vol. 107, pp. 77–88. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2016.03.013> (In Engl.).
14. Khatoon, S., Kim, M.-H. (2020) Thermal comfort in the passenger compartment using a 3-D numerical analysis and comparison with Fanger's comfort models. *Energies*, Vol. 13(3), pp. 690. <https://doi.org/10.3390/en13030690> (In Engl.).
15. Lorenz, M. et al. (2014) A Coupled Numerical Model to Predict Heat Transfer and Passenger thermal Comfort in Vehicle Cabins. *SAE Technical Paper 2014-01-0664* <https://doi.org/10.4271/2014-01-0664> (In Engl.).
16. Zhao, S., Zhu B., Wang, R. (2016) Study of the influence on the comfort of vehicle cabin thermal environment and improve cabin thermal environment comfort. *J. Fluid Machinery*. Vol. 44 (7), pp. 70–76. (In Engl.).
17. Samrendra, Singh, Hesam, Abbassi (2018) 1D/3D transient HVAC thermal modeling of an off-highway machinery cabin using CFD-ANN hybrid method. *Applied Thermal Engineering*. Vol. 135, pp. 406–417. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.02.054> (In Engl.).
18. Szczurek, A., Maciejewska, M. (2016) Categorization for air quality assessment in car cabin. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. Vol. 48, pp. 161–170. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.08.015> (In Engl.).
19. Yang, L., Li, X., Tu, J. (2019) Thermal comfort analysis of a high-speed train cabin considering the solar radiation effects. *Indoor and Built Environment*, Vol. 29(8), pp.1101–1117 <https://doi.org/10.1177/1420326X19876082> (In Engl.).
20. Yang, R. et al. (2020) Study on the thermal comfort index of solar radiation conditions in winter. *Building and Environment*. Vol. 167, 106456. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106456> (In Engl.).
21. Zhang, H. et al. (2010) Thermal sensation and comfort models for non-uniform and transient environments: part I: Local sensation of individual body parts, *Building and Environment*. Vol. 45, pp. 380–388. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.018> (In Engl.).

**Информация об авторах:**

**Иван Николаевич Якунин**, соискатель учёной степени кандидата технических наук (научная специальность 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта), Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия; инженер по буровым растворам I категории, АО «Биотехальянс», Москва, Россия  
e-mail: yakunin21@yandex.ru

**Михаил Романович Янучков**, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильного транспорта, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия  
**ORCID ID:** 0000-0001 7277-7511, **Researcher ID:** F-3212-2019  
e-mail: msi80@mail.ru

**Вклад соавторов:**

**Якунин И. Н.** – 50%,  
**Янучков М. Р.** – 50%.

Статья поступила в редакцию: 17.12.2022; принята в печать: 01.06.2023.  
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

**Information about the authors:**

**Ivan Nikolayevich Yakunin**, applicant for the degree of Candidate of Technical Sciences (scientific specialty 2.9.5. Operation of motor transport), Orenburg State University, Orenburg, Russia; Drilling Mud Engineer of category I, JSC «Biotechalliance», Moscow, Russia  
e-mail: yakunin21@yandex.ru

**Mikhail Romanovich Yanuchkov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Motor Transport, Orenburg State University, Orenburg, Russia  
**ORCID ID:** 0000-0001-7277-7511, **Researcher ID:** F-3212-2019  
e-mail: msi80@mail.ru

**Contribution of the authors:**

**Yakunin I. N.** – 50%,  
**Yanuchkov M. R.** – 50%.

The paper was submitted: 17.12.2022.  
Accepted for publication: 01.06.2023.  
The authors have read and approved the final manuscript.