

УДК 159.9.072; 510.644.4

DOI: 10.34670/AR.2026.48.97.004

Метод комплексной оценки психоэмоционального состояния водителя автотранспорта на основе лингвистической переменной

Сергеев Станислав Геннадьевич

Аспирант кафедры вычислительной техники,
Юго-Западный государственный университет,
305040, Российская Федерация, Курск, ул. 50 лет Октября, 94;
e-mail: sergeeff.stas2013@yandex.ru

Бобынцев Денис Олегович

Кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники,
Юго-Западный государственный университет,
305040, Российская Федерация, Курск, ул. 50 лет Октября, 94;
e-mail: daniel8728@yandex

Халин Юрий Алексеевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры программной инженерии,
Юго-Западный государственный университет,
305040, Российская Федерация, Курск, ул. 50 лет Октября, 94;
e-mail: yur-khalin@yandex.ru

Аннотация

Оценка психоэмоционального состояния водителя автотранспорта имеет важное значение для безопасности дорожного движения: около 80 % ДТП связаны с утомлением, стрессом. Современные системы мониторинга используют ограниченный набор показателей и дают бинарную оценку «норма/опасность», не отражающую постепенный переход к стрессовому состоянию. Применение нечеткой логики и лингвистических переменных позволяет формализовать неопределенность и описывать переходные состояния водителя. Целью данной работы является разработка метода комплексной оценки психоэмоционального состояния водителя автотранспорта с использованием лингвистической переменной «состояние водителя» и правил нечеткой логики. Модель объединяет физиологические показатели: частоту сердечных сокращений и ее вариабельность, гальваническую реакцию кожи, PERCLOS, реакцию зрачков, артериальное давление, дыхание и температуру тела. Каждому признаку соответствуют нечеткие термы. Выделен комплекс ключевых физиологических параметров: ЧСС, ВСР, GSR, PERCLOS, реакция зрачка, АД, дыхание и температура. Разработана лингвистическая модель «состояние водителя» с тремя плавно переходящими уровнями нагрузки: норма, предстресс, стресс. Сформирована база правил нечеткой логики с учетом приоритетности параметров: значимые отклонения приводят к стрессу, умеренные — к предстрессу, что обеспечивает более гибкую и устойчивую оценку состояния водителя.

Предложен метод комплексной оценки психоэмоционального состояния водителя на основе лингвистической переменной и правил нечеткой логики. Разработанная модель объединяет разнородные физиологические сигналы и описывает переходные состояния водителя без резких границ. Сформулированные правила учитывают относительную важность параметров и обеспечивают более гибкую и точную оценку состояния по сравнению с традиционными бинарными подходами.

Для цитирования в научных исследованиях

Сергеев С.Г., Бобынцев Д.О., Халин Ю.А. Метод комплексной оценки психоэмоционального состояния водителя автотранспорта на основе лингвистической переменной // Психология. Историко-критические обзоры и современные исследования. 2026. Т. 15. № 4А. С. 533-545. DOI: 10.34670/AR.2026.48.97.004

Ключевые слова

Нечеткая логика, лингвистическая переменная, психоэмоциональное состояние водителя, физиологические параметры, мониторинг водителя, стресс, усталость, интеллектуальные транспортные системы.

Введение

Современные исследования показывают, что основная часть дорожно-транспортных происшествий обусловлена человеческим фактором. Так, по данным статьи, автомобильные аварии в большей степени вызваны ошибками водителей. Например, в России полиция считает, что примерно 80 % ДТП происходят по вине водителей (алкоголь, рискованные маневры, превышение скорости, утомление) [Майборода, Чебышев, 2020]. Чтобы снизить риски ДТП из-за опасного для вождения психоэмоционального состояния водителя, в последние годы развиваются различные системы мониторинга состояния водителя: видеокамеры, датчики физиологии и поведения. Типичные решения используют камеры, трекеры взгляда и бесконтактные сенсоры для слежения за водителем. Существуют также контактные методы: ЭЭГ, ЭКГ, ЭМГ, однако они предполагают закрепление на теле дополнительных электронных средств измерения, которые человек не носит в повседневной жизни, поэтому их применение за рамками плановых медицинских обследований создаст дополнительные неудобства водителям и вынудит отказаться от использования. Кроме того, для самостоятельного закрепления на теле таких измерительных устройств необходимы дополнительные знания. Многие коммерческие системы ориентированы на детектирование сонливости - например, мера PERCLOS - «процент закрытия век» признана наиболее надежным индикатором бодрствования. Известно множество алгоритмов и продуктов для оценки состояния водителя: PERCLOS [Takashi, 2023], Smart Eye [Aanita, Obulira, 2020], Driver Alert Control (Volvo).

Однако действующие методы имеют ряд ограничений. Они часто опираются только на один или несколько параметров, например, только видеопоток или только на частоту сердечных сокращений, и выдают предупредительный сигнал при превышении порога. Установлено, что мониторинг взгляда водителя недостаточно: требуется учитывать состояние автомобиля и других участников движения. Так как состояния «усталость», «стресс» и «эмоции» не имеют четких границ, классические дискретные методы дают ложные срабатывания. Существующие системы мониторинга состояния водителя концентрируются на точности детектирования и не обеспечивают адаптивного описания состояния управляющего транспортным средством.

Например, системы контроля могут ориентироваться на распознавание эмоций по лицу, речи, походке и физиологии, но они чувствительны к плохому освещению, перекрытию лица и индивидуальным особенностям водителя. Аналогично, биофизиологические датчики могут быть эффективными, но часто слишком инвазивны для длительного ношения. Таким образом, современные подходы либо ограничены одной модальностью сигнала, либо дают бинарный итог «норма/опасность», не отражающий плавного характера перехода водителя в стрессовое состояние.

Постановка задачи

Учитывая указанные недостатки, необходима комплексная модель оценки психоэмоционального состояния водителя на основе мультимодальных данных. Система должна отслеживать физическое, эмоциональное и физиологическое состояние водителя, чтобы своевременно обнаруживать признаки утомления или стресса. Ключевая идея - объединить разнообразные психофизиологические параметры: частоту сердечных сокращений (ЧСС) и ее вариабельность (BCP), гальваническую реакцию кожи (GSR), PERCLOS (процент закрытых век), динамику зрачкового рефлекса, артериальное давление, частоту дыхания, температуру тела. Каждый из этих параметров индивидуально связан со стрессовыми реакциями, например, стресс вызывает изменение частоты сокращения сердца, дыхания и уровня кожно-гальванической активности. Интеграция всех сигналов позволяет более точно оценить общее состояние водителя и уменьшить количество ложных срабатываний.

При этом границы между нормальным, предстрессовым и стрессовым состояниями строго не определены. Фактический переход происходит постепенно, поэтому целесообразно применить нечеткие методы. В рамках такой модели состояние водителя формализуется в виде лингвистической переменной «Состояние водителя», значение которой выражается словами, применительно к текущей задаче используем состояния: норма, предстресс, стресс, которые будут термами. Каждый терм задается нечетким множеством по универсальному диапазону значений, например, шкалой некоей «физиологической нагрузки». Таким образом удастся формализовать неопределенность и учесть рассогласование между разными сигналами.

Физиологические параметры и методы их регистрации

Рассмотрим параметры предлагаемой модели и способы их измерения:

1. Частота сердечных сокращений (ЧСС) отражает общий уровень активности организма. При повышении активности симпатической нервной системы (стресс, тревога, возбуждение) сердечный ритм учащается, а при доминировании парасимпатической системы (расслабление, покой, сонливость) - замедляется. Хронически повышенная ЧСС на фоне спокойной обстановки свидетельствует о стрессе или возбуждении, а заметное снижение - об утомлении и расслаблении [Shaffer, Ginsberg, 2017].

ЧСС измеряют с помощью электрокардиографических и оптических сенсоров. В лабораторных условиях и медицинских учреждениях используют ЭКГ-датчики: к телу в определенных точках прикрепляются электроды, регистрирующие каждое сердечное сокращение. В автомобилях и носимых устройствах применяют фотоплетизмографию: оптические датчики, расположенные на запястье или пальце, излучают свет в кожу и отслеживают изменения отраженного сигнала при пульсовой волне. Кроме того, разрабатываются специальные биосенсоры для авто: например, ремень безопасности с

проводящими нитями позволяет беспроводным способом улавливать кардиопульмональные сигналы водителя и непрерывно регистрировать пульс в движении.

2. Вариабельность сердечного ритма (BCP) характеризует изменчивость интервалов между последовательными сердечными сокращениями. Этот показатель отражает баланс вегетативной нервной системы. Высокая BCP соответствует доминированию парасимпатической активности, состоянию покоя и восстановления, а низкая - доминированию симпатической активности: стресс, напряжение. Таким образом, анализ BCP позволяет косвенно оценить уровень психоэмоционального напряжения водителя [Capdevila et al., 2020].

Для расчета BCP необходимы детальные записи сердечного ритма. Обычно применяют ЭКГ: регистрируют электрическую активность сердца и по «RR-интервалам», времени между пиками QRS, вычисляют статистические и спектральные характеристики вариабельности. Источником данных служат одноканальные или многоканальные ЭКГ-записи. После сбора данных вычисляют параметры BCP, сопоставляя их с нормальными значениями для оценки влияния стресса и усталости.

3. Кожная проводимость, также известная как гальваническая реакция кожи, является методом измерения электрической проводимости кожи и отражает активность потовых желез, управляемую симпатической нервной системой. При эмоциональном возбуждении, стрессе или сильной концентрации активность потовых желез усиливается, и проводимость кожи увеличивается, а при обратных процессах уменьшается. Поскольку эта реакция проявляется практически мгновенно при изменении состояния, GSR является индикатором фрустрации, волнения или усталости водителя [Кузюкова и др., 2024].

Гальваническая реакция кожи измеряется с помощью электродов на безымянном и указательном пальцах или на ладони благодаря сенсорам, встроенным в руль. Электроды фиксируют сопротивление или проводимость кожи в единицах микро-Сименс, передавая изменения кожной проводимости на регистрирующее устройство. Датчики регистрируют медленнопеременный сигнал, обычно частота дискретизации ~1-10 Гц, и выделяют две составляющие: тонкую фоновую проводимость и резкие скачки при всплесках активности [Fajrin et al., 2025].

4. PERCLOS (Percentage of Eye Closure) - это параметр, характеризующий сонливость водителя. Он показывает процент времени, в течение которого глаза водителя закрыты более чем на 80% за выбранный интервал наблюдения. Высокие значения PERCLOS, более 80% времени за 1 минуту свидетельствуют о сильной усталости и дремоте. Этот показатель эффективно отражает микросны и заторможенное состояние: с ростом усталости водитель моргает реже и дольше, увеличивая долю закрытых век. PERCLOS признан одним из наиболее надежных индикаторов сонливости по сравнению с другими параметрами глаз: частота моргания, скорость моргания [Ляпунов и др., 2022].

Расчет PERCLOS производится с помощью систем видеомониторинга лица водителя. Обычно используются высокочувствительные камеры видимого или ближнего ИК-диапазона, расположенные на приборной панели или над рулем. Программное обеспечение анализирует видеопоток, отслеживает положение век и определяет моменты, когда веки закрыты на заданный процент, обычно 80-100%. Алгоритмы компьютерного зрения или нейронные сети выделяют глаза на изображении и подсчитывают долю времени с закрытыми веками.

5. Изменение диаметра зрачка (пупиллометрия) является чувствительным маркером когнитивной нагрузки и уровня возбуждения. При повышении умственных усилий и стрессе зрачки расширяются, а при расслаблении и усталости - сужаются. Так, расширение зрачков коррелирует с увеличением концентрации внимания и рабочей памяти. Увеличение

когнитивной нагрузки приводит к достоверному расширению зрачков. Размер зрачка реагирует практически мгновенно на смену условий, поэтому его часто используют как объективный индикатор умственной работы и напряжения [Кутлубаев и др., 2023].

Диаметр зрачка измеряют с помощью систем слежения за взглядом eye-tracker или специализированных камер, часто с подсветкой в ближнем ИК-диапазоне. Камера фиксирует глаза водителя и определяет контуры зрачка в каждый момент времени.

На основе анализа изображения программы вычисляют размер зрачка и его динамику. В автомобилях используются очки или приборные нейросистемы с встроенными камерами и ИК-подсветкой, которые позволяют безошибочно измерять ширину зрачка без визуального раздражителя. Данные о диаметре зрачка обрабатываются в реальном времени - например, при возрастании нагрузки зрачки расширяются, что учитывается в алгоритмах оценки состояния.

6. Артериальное давление возрастает при активации симпатической системы (стресс, физическая нагрузка), в частности, при возрастании кортизола в ответ на стресс. Хронически повышенное артериальное давление может указывать на длительный стресс или переутомление водителя. Нормальные изменения АД, например, колебания в пределах нормы, характерны для бодрствующего состояния; резкое повышение давления может служить сигналом о сильном возбуждении или аварийной ситуации. [Bautista et al., 2019]

Для автомобилистов доступны автоматические манометры, а также «умные» манжеты, работающие по беспроводной связи. Для непрерывного мониторинга в движении используют пальцевые или запястные датчики, например, системы непараметрической пульсовой волны, а в исследованиях иногда применяют методы импедантной кардиографии или пульсоксиметрии с расчетом давления по пульсовой волне. Важным условием является фиксация в покое во время круизного движения для сравнимости показаний.

7. Частота дыхания отражает обменные потребности организма и уровень его активности. При стрессе и возбуждении дыхание учащается что приводит к более частым вдохам и выдохам, обеспечивая увеличенный приток кислорода.

Напротив, медленное и глубокое дыхание характерно для состояния покоя и парасимпатической доминанты. Таким образом, резкое учащение вдохи и выдохи без физической нагрузки могут сигнализировать о психологическом стрессе, а очень медленное дыхание - о высокой релаксации или, в некоторых случаях, о сильной усталости, когда организм «экономит» ресурсы [Widjaja et al., 2013].

В автомобилях частоту дыхания отслеживают с помощью дыхательных сенсоров. Широко применяют эластичные грудные ремни, фиксирующие расширение грудной клетки при дыхании. Также используют термодатчики у носа или рта для регистрации переменного потока воздуха, и звуковые сенсоры, улавливающие шум дыхания. Упомянутый биосенсор в ремне безопасности, помимо пульса, способен обнаруживать дыхательные движения водителя сквозь одежду. Современные системы могут комбинировать несколько методов, например, анализ вариабельности пульса ЭКГ и сигналов дыхания для более точного определения частоты и глубины дыхания в реальном времени.

8. Температура тела - важный физиологический маркер, который отражает сочетание метаболической активности, кровотока в коже и терморегуляторных реакций. В рамках оценки психоэмоционального состояния различают внутреннюю температуру организма, контролируемую гипоталамусом и демонстрирующую более медленные изменения, и поверхностную, кожную, температуру, которая быстро реагирует на изменения тонуса кожных сосудов и может служить индикатором автономной (симпато-парасимпатической) реакции на стресс.

Физиологическая основа связи температуры с психоэмоциональным состоянием связана преимущественно с симпатической регуляцией кожного кровотока. При острой стресс-реакции, в результате которой произошло высвобождение адреналина, происходит периферическая реакция в ряде областей: дистальные конечности, кончик носа, что быстро приводит к снижению кожной температуры в этих зонах. Одновременно возможны локальные повышения температуры, например, вокруг глаз или в лобной области за счет изменения кровотока в лицевых сосудах при эмоциональном возбуждении - паттерн зависит от типа стимула и анатомической зоны. Эти феномены позволяют использовать региональную температурную картину лица и конечностей как немедленный индикатор симпатической активации [Herborn et al., 2015]. Для мониторинга температуры в условиях движения применимы два основных подхода: бесконтактная тепловая (инфракрасная) съемка и контактные датчики.

Таким образом, представляется технически возможным комбинированное измерение перечисленных параметров для получения комплексной оценки психоэмоционального состояния водителя.

Шкалы «норма - предстресс - стресс»

Каждый параметр моделируется с тремя лингвистическими значениями: «Норма», «Предстресс» и «Стресс». Определим для каждого из них шкалу измерения (таблица 1).

Таблица 1- Значения параметров состояний

Параметр (ед. изм.)	Норма	Предстресс	Стресс
ЧСС (уд/мин)	60-80	81-100	>100
BCP (мс, RMSSD)	≥ 50	25-50	<25
GSR (мкСим)	1-2	2-6	>6
PERCLOS (% времени)	<8 %	9-15 %	>16 %
Диаметр зрачка (мм)	2-4	4-6	>6
Давление (сист/диаст)	90-120 / 60-80	121-140 / 81-90	>140 / >90
Число вдохов (1/мин)	12-15	16-20	>20
Температура тела (°C)	35.6-37.0	37.1-37.5	>37.5, ≤ 35.5

Официально «норма» ЧСС для взрослых - 60-80 уд/мин, но данные показывают, что значения в верхней части этого диапазона связаны с повышенными рисками, поэтому в практической стратификации верхней границей «комфортной нормы» считается 80.

ЧСС >100 уд/мин в покое - тахикардия по руководствам (AHA/ACC/ESC). Частая синусовая тахикардия на покое нередко возникает при остром психоэмоциональном стрессе, тревоге, боли, лихорадке [Henning, Krawiec, 2023].

RMSSD - это показатель вариабельности сердечного ритма, демонстрирующий физиологическое восстановление организма [Schwerdtfeger et al., 2021].

Часто в полевых испытаниях средние ненарушенные значения PERCLOS в пределах единиц процентов. < 5-8% (0.5-0.8) [Abe, 2023].

Диаметр зрачка. Норма (спокойное состояние) 2-4 мм. Низкая симпатическая активность, типично при спокойном вождении без нагрузки [Bradley et al., 2008].

Предстресс (умеренная нагрузка) 4-6 мм. Умеренное расширение, связанное с когнитивной нагрузкой (например, навигация в трафике).

Стресс (высокая нагрузка) >6 мм (до 8 мм). Значительное расширение, быстрые колебания (>1 мм/с), типично при аварийных ситуациях или эмоциональном возбуждении [Mathôt, 2018].

Артериальное давление.

Норма. Систолическое: 80-120 Диастолическое: 50-80 Базовое состояние без стресса. АД в покое у здоровых людей. Стресс не вызывает значимых отклонений.

Предстресс (элевированное или прегипертензия). Систолическое: 120-139. Диастолическое: 80-89. Данные состояния артериального давления соответствует прегипертензии.

Переходное состояние, часто ассоциированное с начальным психоэмоциональным напряжением (например, легкий стресс от вождения). Риск развития гипертензии возрастает, если стресс хронический [Sherwood et al., 2018].

Стресс (гипертония 1 степени и выше). Систолическое более 140. Диастолическое более 90.

Повышенное состояние под влиянием острого или хронического стресса; у водителей может проявляться как реакция на пробки или эмоциональные нагрузки, с увеличением АД на 10-20 мм рт. ст. и более от базового уровня.

Дыхание.

Норма (спокойное состояние) 12-15 вдох/мин.

Предстресс (повышенная внимательность) $\approx$ 16-20 вдох/мин или увеличение на 15-30% выше индивидуального базового уровня. Умеренное повышение относительно покоя; часто наблюдается при когнитивной нагрузке и повышенном внимании (например, при вождении).

Стресс >20 вдох/мин. При значительном стрессе или панике значения могут подниматься в 25-30 вдох/мин [Widjaja et al., 2013].

Температура тела.

Норма: до 37.0°C. Температура тела 36.3-37.0 Считается средней нормальной температурой тела у среднестатистического человека. Температура тела ниже 36, но не ниже 35.5 считается индивидуальной нормой человека. Однако температура тела ниже 35.5 может свидетельствовать о сильной усталости, слабостью, нарушениями пульса, давления или щитовидной функции [Vancamp, Demeneix, 2020].

Предстресс: 37.0-37.5°C. Легкое повышение (на 0.3-0.5°C) перед стрессором, связанное с предвестником стресса (например, перед экзаменом или эмоциональным событием). Это переходная фаза, где температура выходит за норму, но не достигает лихорадки [Oka, 2015].

Стресс: $>37.5^\circ\text{C}$ или $\leq 35.5^\circ\text{C}$.

Кожная температура. Под острым стрессом происходит падение температуры на дистальных участках (пальцы, нос), в то время как проксимальные (грудь) остаются стабильными [Herborn et al., 2015].

Норма: зависит от зоны (лицо $\sim 32-35^\circ\text{C}$, руки $\sim 30-34^\circ\text{C}$), стабильна без изменений.

Предстресс: Легкое падение 0.3-0.7°C в дистальных зонах, как предвестник стресса. Не всегда выражено, но может быть переходом к большему падению.

Стресс: Падение на 0.5-2.2°C (в зависимости от интенсивности), с быстрым восстановлением через 5-20 мин.

Правила нечеткой логики и вычислительная модель

На основе лингвистических переменных для каждой входной метрики формируется база правил.

Для реализации экспертной системы оценки психоэмоционального состояния водителя использован подход нечеткого вывода на основе правил. В качестве выходной лингвистической переменной «состояние водителя» определены три уровня: «Норма» -спокойное нормальное состояние, «Предстресс» - пограничное напряжение и «Стресс» -высокий уровень возбуждения. Каждому входному физиологическому параметру: ЧСС, ВСР, GSR, PERCLOS, диаметр зрачка,

АД, частота дыхания, температура тела поставлены в соответствие три нечетких множества с такими же названиями («Норма», «Предстресс», «Стресс»), что позволяет интерпретировать каждый показатель в контексте уровня напряжения. При этом выбраны параметры индикаторы: известно, что ГСР, ЧСС и ВСР являются одними из наиболее информативных биосигналов, коррелирующих с уровнем стресса водителя, а визуальные параметры глаз (включая степень прикрытия век PERCLOS и диаметр зрачка) тесно связаны с состоянием усталости и стресса водителя.

При учете приоритетности вводимых данных разработка правил проводится так, чтобы параметры PERCLOS, GSR и диаметр зрачка оказывали более сильное влияние на решение, потому что они являются наиболее чувствительными и надежными индикаторами психофизиологического состояния водителя, напрямую отражающими уровень сонливости, возбуждения и когнитивной нагрузки. Например, если показатель PERCLOS или GSR попадает в категорию «Стресс», то в большинстве правил итоговое состояние объявляется «Стресс», даже если другие параметры нормальные. Напротив, незначительные изменения частоты дыхания или температуры тела (низкоприоритетные параметры) сами по себе чаще приводят не к резкому переходу в «Стресс», а к «Предстресс», если только вместе с ними не наблюдаются серьезные отклонения по ключевым сигналам.

Каждое правило задается в форме «ЕСЛИ (ЧСС = ...) И (ВСР = ...) И ... ТО (Состояние = ...)». Например: «ЕСЛИ ЧСС = Предстресс И GSR = Предстресс И остальные параметры Норма, ТО состояние = Предстресс». В выводе правил применяется классическая схема Мамдани: степень активации каждого правила определяется как минимум принадлежностей входных значений по всем предикатам, а все результаты объединяются по максимуму для каждого выходного терма. В практической реализации чаще выбирается конечное состояние с наибольшей величиной итоговой степени принадлежности.

Ниже приведена таблица части правил вывода для оценки состояния водителя. В таблице все неиспользуемые в правиле параметры считаются нормой.

Таблица 2 - Правила вывода

№	ЧСС	ВСР	GSR	PERCLOS	Зрачок	АД	Дыхание	Температура тела	Состояние
1	Норма	Норма	Норма	Норма	Норма	Норма	Норма	Норма	Норма
2	Пред-стресс	Норма	Норма	Норма	Норма	Норма	Норма	Норма	Пред-стресс
3	Норма	Норма	Пред-стресс	Норма	Норма	Норма	Норма	Норма	Пред-стресс
4	Норма	Норма	Норма	Пред-стресс	Норма	Норма	Норма	Норма	Пред-стресс
5	Норма	Норма	Норма	Норма	Пред-стресс	Норма	Норма	Норма	Пред-стресс
6	Норма	Норма	Пред-стресс	Норма	Норма	Норма	Норма	Норма	Пред-стресс
7	Норма	Норма	Стресс	Норма	Норма	Норма	Норма	Норма	Стресс
8	Норма	Норма	Норма	Стресс	Норма	Норма	Норма	Норма	Стресс
9	Норма	Норма	Норма	Норма	Стресс	Норма	Норма	Норма	Стресс
10	Пред-стресс	Норма	Пред-стресс	Норма	Норма	Норма	Норма	Норма	Пред-стресс

№	ЧСС	BCP	GSR	PERCLOS	Зрачок	АД	Дыхание	Температура тела	Состояние
11	Норма	Норма	Пред- стресс	Пред- стресс	Норма	Норма	Норма	Норма	Пред- стресс
12	Норма	Норма	Норма	Норма	Пред- стресс	Норма	Норма	Норма	Пред- стресс
13	Норма	Норма	Норма	Норма	Норма	Пред- стресс	Норма	Норма	Пред- стресс
14	Норма	Норма	Норма	Норма	Норма	Норма	Пред- стресс	Норма	Пред- стресс
15	Норма	Норма	Норма	Норма	Норма	Норма	Норма	Пред- стресс	Пред- стресс
16	Пред- стресс	Норма	Пред- стресс	Норма	Норма	Норма	Норма	Норма	Пред- стресс
17	Норма	Норма	Пред- стресс	Стресс	Норма	Норма	Норма	Норма	Стресс
18	Норма	Норма	Стресс	Пред- стресс	Норма	Норма	Норма	Норма	Стресс
19	Норма	Норма	Стресс	Норма	Пред- стресс	Норма	Норма	Норма	Стресс
20	Норма	Норма	Стресс	Норма	Норма	Пред- стресс	Норма	Норма	Стресс

Каждое правило объединяет несколько показателей: например, правило 18 звучит как «ЕСЛИ GSR = Стресс И PERCLOS = Предстресс, ТО состояние = Стресс». При построении такого базиса правил учтен более высокий вес PERCLOS, GSR и зрачка: например, уже сочетание GSR = Стресс или PERCLOS = Стресс дает результат Стресс (правила 7-9), даже если прочие параметры нормальны. Если же значения отклоняются не сильно, например, единичное «Предстресс» по менее критичным сигналам - ЧСС, АД, дыхание, температура), то правило выдает Предстресс (правила 2-6, 10-16), отражая начальный уровень напряжения. Комбинации из двух-трех умеренно повышенных показателей дают Предстресс (правила 11-13, 15, 16), а при наличии хотя бы двух «Стресс» в ключевых показателях выходит Стресс (правила 18-20).

Интерпретируемость модели

Нечеткая модель обладает высокой прозрачностью: все правила оценки заданы лингвистически. Например, «если PERCLOS высокий и ЧСС увеличена, то стресс высокий», поэтому можно проследить логику каждого вывода. Данная структура позволяет легко анализировать влияние каждого параметра на итоговое состояние водителя.

Обсуждение результатов

Разработанная нечеткая модель позволяет интегрировать данные разных типов и учесть градации состояний водителя. В отличие от бинарных систем, она дает плавный переход: при умеренных отклонениях параметров определяется «предстресс», при выраженных - «стресс». Такая модель может использоваться в системах помощи водителю: например, при подъеме

уровня «предстресс» система может активировать только голосовое предупреждение, а при «стресс» - более серьезную меру: звуковой сигнал, снижение скорости.

К преимуществам подхода относится способность формализовать неуверенность и объединить разнородные сигналы. Модель учитывает, что физиологическая реакция на стресс не всегда однозначна: если ЧСС повысилось, а PERCLOS еще в норме, система может отдать «предстресс», а не сразу «стресс». Нечеткие правила позволяют гибко интерпретировать ситуацию, снижая число ложных тревог. Однако имеются и ограничения. Во-первых, качество работы зависит от корректности калибровки шкал и функций принадлежности - индивидуальные особенности водителя (возраст, здоровье) могут требовать настройки параметров модели. Во-вторых, надежность датчиков критична: например, определение PERCLOS затруднено при плохом освещении или запотевшем стекле. В-третьих, вычислительные затраты возрастают с числом входных параметров и правил, что может быть неприемлемо для простых бортовых систем.

Выводы

В работе предложен метод комплексной оценки психоэмоционального состояния водителя автотранспорта, основанный на применении лингвистической переменной и правил нечеткой логики.

Основные результаты:

- Проведен анализ существующих подходов к мониторингу состояния водителя и выявлены их ограничения, связанные с однопараметричностью и бинарностью решений.
- Определены ключевые физиологические и поведенческие параметры (ЧСС, BCP, GSR, PERCLOS, зрачковая реакция, АД, дыхание, температура), отражающие психоэмоциональное напряжение водителя.
- Разработана модель на основе лингвистической переменной «Состояние водителя» включающая состояния Норма, Предстресс, Стресс, описывающая плавные переходы между уровнями нагрузки.
- Сформирована база правил нечеткой логики, учитывающая приоритетность параметров.
- Продемонстрировано, что предложенный подход обеспечивает устойчивую и интерпретируемую оценку состояния водителя, пригодную для использования в интеллектуальных транспортных системах и системах активной безопасности водителя.

Практическое применение

Предложенная методика может стать основой для внедрения новых поколений систем мониторинга водителей, обеспечивающих повышение безопасности дорожного движения за счет своевременного выявления признаков усталости, предстрессовых и стрессовых состояний

Библиография

1. Кутлубаев М.А., Шагиева Д.Р., Каримова Г.И., Измалкова А.И., Мячиков А.В. Пупиллометрия в оценке психоэмоционального состояния и когнитивных функций человека // Журнал высшей нервной деятельности. 2023. Т. 73, № 5. С. 651-665.
2. Кузюкова А.А., Загайнова А.Ю., Одарущенко О.И., Пехова Я.Г., Марченкова Л.А., Фесюн А.Д. Диагностика стресса и симпатической активности по параметрам кожной проводимости: современное состояние метода, области применения и перспективы в медицине // Научный журнал Врач. 2024. Т. 35. С. 76-83.
3. Ляпунов С.И., Шошина С.И., Ляпунов И.С. Треморные колебания глаз как объективный показатель утомления водителей // Физиология человека. 2022. Т. 48, № 1. С. 89-96.

4. Майборода О.В., Чебышев А.Е. Анализ путей повышения качества дорожного движения // Научный вестник автомобильного транспорта. 2020. Январь-Декабрь. С. 35-50.
5. Aanita C.S., Obulira J.S. Real time driver — drowsy care system by CNN algorithm using datasets // International Research Journal of Engineering and Technology. 2020. Vol. 7. P. 666-670.
6. Abe T. PERCLOS-based technologies for detecting drowsiness: current evidence and future directions // SLEEP ADVANCES. 2023. Vol. 4. P. 1-13. DOI: 10.1093/sleepadvances/zpad006.
7. Bautista L.E., Bajwa P.K., Shafer M.M. The relationship between chronic stress, hair cortisol and hypertension // International Journal of Cardiology Hypertension. 2019. Vol. 30. P. 100-112.
8. Bradley M.M., Miccoli L., Escrig M.A., Lang P.J. The pupil as a measure of emotional arousal and autonomic activation // Psychophysiology. 2008. Vol. 45, № 4. P. 602-607.
9. Capdevila L., Castro J.R., Maurel S. Reduced heart rate variability predicts fatigue severity in individuals with chronic fatigue syndrome // Journal of Translational Medicine. 2020. Vol. 18. P. 4.
10. Fajrin H.R., Sasmeri, Prilia L.R., Untara B. Design of stress detector with fuzzy logic method (GSR and heart rate parameters) // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. 2025. Vol. 37, № 1. P. 56-68.
11. Henning A., Krawiec C. Sinus Tachycardia // Stat Pearls. 2023. Vol. 23. P. 115-120.
12. Herborn K.A., Graves J.L., Jerem P., Evans N.P., Nager R., McCafferty D.J., McKeegan D.E.F. Skin temperature reveals the intensity of acute stress // Physiology & Behavior. 2015. Vol. 152. P. 225-230.
13. Mathôt S. Pupillometry: Psychology, Physiology, and Function // Journal of Cognition. 2018. Vol. 16. P. 1-23. DOI: 10.5334/joc.18.
14. Oka T. Psychogenic fever: how psychological stress affects body temperature in the clinical population // Temperature (Austin). 2015. Vol. 2, № 3. P. 368-378. DOI: 10.1080/23328940.2015.1056907.
15. Schwerdtfeger A.R., Rominger C. Feelings from the heart: Developing HRV decrease-trigger algorithms via multilevel hyperplane simulation to detect psychosocially meaningful episodes in everyday life // Psychophysiology. 2021. Vol. 58. P. 1-13. DOI: 10.1111/psyp.13914.
16. Shaffer F., Ginsberg J.P. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms // Frontiers in Public Health. 2017. Vol. 5. DOI: 10.3389/fpubh.2017.00258.
17. Sherwood A., Hill L.K., Blumenthal J.A., Adams K.F. Jr., Paine N.J., Koch G.G., O'Connor C.M., Johnson K.S., Hinderliter A.L. Blood Pressure Reactivity to Psychological Stress is Associated with Clinical Outcomes in Patients with Heart Failure // American Heart Journal. 2018. Vol. 191. P. 82-90.
18. Vancamp P., Demeneix B.A. Is the Observed Decrease in Body Temperature During Industrialization Due to Thyroid Hormone-Dependent Thermoregulation Disruption // Frontiers in Endocrinology. 2020. Vol. 11, № 470. P. 1-5. DOI: 10.3389/fendo.2020.00470.
19. Widjaja D., Orini M., Vlemincx E., Van Huffel S. Cardiorespiratory Dynamic Response to Mental Stress: A Multivariate Time-Frequency Analysis // Hindawi Publishing Corporation. 2013. Vol. 2013. P. 12. DOI: 10.1155/2013/451857.

A Method for Comprehensive Assessment of the Psycho-Emotional State of a Motor Vehicle Driver Based on a Linguistic Variable

Stanislav G. Sergeev

Postgraduate Student of the Department of Computer Engineering,
Southwest State University,
305040, 94, 50 let Oktyabrya str., Kursk, Russian Federation;
e-mail: sergeeff.stas2013@yandex.ru

Denis O. Bobyntsev

PhD in Technology, Associate Professor of the Department of Computer Engineering,
Southwest State University,
305040, 94, 50 let Oktyabrya str., Kursk, Russian Federation;
e-mail: daniel8728@yandex

Yurii A. Khalin

PhD in Technology, Associate Professor of the Department of Software Engineering,
Southwest State University,
305040, 94, 50 let Oktyabrya str., Kursk, Russian Federation;
e-mail: yur-khalin@yandex.ru

Abstract

Assessment of the psycho-emotional state of a motor vehicle driver is important for road safety: about 80% of road accidents are associated with fatigue and stress. Modern monitoring systems use a limited set of indicators and provide a binary "norm/danger" assessment that does not reflect a gradual transition to a stressful state. The application of fuzzy logic and linguistic variables allows formalizing uncertainty and describing the driver's transitional states. The aim of this work is to develop a method for comprehensive assessment of the psycho-emotional state of a motor vehicle driver using the linguistic variable "driver's state" and fuzzy logic rules. The model combines physiological indicators: heart rate and its variability, galvanic skin response, PERCLOS, pupil reaction, blood pressure, respiration, and body temperature. Each feature corresponds to fuzzy terms. A set of key physiological parameters has been identified: HR, HRV, GSR, PERCLOS, pupil reaction, BP, respiration, and temperature. A linguistic model "driver's state" has been developed with three smoothly transitioning load levels: norm, pre-stress, stress. A base of fuzzy logic rules has been formed, taking into account the priority of parameters: significant deviations lead to stress, moderate ones — to pre-stress, which provides a more flexible and stable assessment of the driver's state. A method for comprehensive assessment of the psycho-emotional state of a driver based on a linguistic variable and fuzzy logic rules is proposed. The developed model combines heterogeneous physiological signals and describes the driver's transitional states without sharp boundaries. The formulated rules take into account the relative importance of parameters and provide a more flexible and accurate assessment of the state compared to traditional binary approaches.

For citation

Sergeev S.G., Bobyntsev D.O., Khalin Yu.A. (2026) Metod kompleksnoy otsenki psikhoeffemotsional'nogo sostoyaniya voditelya avtotransporta na osnove lingvisticheskoy peremennoy [A Method for Comprehensive Assessment of the Psycho-Emotional State of a Motor Vehicle Driver Based on a Linguistic Variable]. *Psikhologiya. Istoriko-kriticheskie obzory i sovremennye issledovaniya* [Psychology. Historical-critical Reviews and Current Researches], 15 (4A), pp. 533-545. DOI: 10.34670/AR.2026.48.97.004

Keywords

Fuzzy logic, linguistic variable, driver's psycho-emotional state, physiological parameters, driver monitoring, stress, fatigue, intelligent transportation systems.

References

1. Aanita, C. S., & Obulira, J. S. (2020). Real time driver – drowsy care system by CNN algorithm using datasets. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 7, 666-670.
2. Abe, T. (2023). PERCLOS-based technologies for detecting drowsiness: Current evidence and future directions. *SLEEP ADVANCES*, 4, 1-13. <https://doi.org/10.1093/sleepadvances/zpad006>
3. Bautista, L. E., Bajwa, P. K., & Shafer, M. M. (2019). The relationship between chronic stress, hair cortisol and

Sergeev S.G., Bobyntsev D.O., Khalin Yu.A.

-
- hypertension. *International Journal of Cardiology Hypertension*, 30, 100-112.
4. Bradley, M. M., Miccoli, L., Escrig, M. A., & Lang, P. J. (2008). The pupil as a measure of emotional arousal and autonomic activation. *Psychophysiology*, 45(4), 602-607.
 5. Capdevila, L., Castro, J. R., & Maurel, S. (2020). Reduced heart rate variability predicts fatigue severity in individuals with chronic fatigue syndrome. *Journal of Translational Medicine*, 18, 4.
 6. Fajrin, H. R., Sasmeri, Prilia, L. R., & Untara, B. (2025). Design of stress detector with fuzzy logic method (GSR and heart rate parameters). *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 37(1), 56-68.
 7. Henning, A., & Krawiec, C. (2023). Sinus tachycardia. *Stat Pearls*, 23, 115-120.
 8. Herborn, K. A., Graves, J. L., Jerem, P., Evans, N. P., Nager, R., McCafferty, D. J., & McKeegan, D. E. F. (2015). Skin temperature reveals the intensity of acute stress. *Physiology & Behavior*, 152, 225-230.
 9. Kutlubayev, M. A., Shagieva, D. R., Karimova, G. I., Izmalkova, A. I., & Myachikov, A. V. (2023). Pupillometry in the assessment of a person's psychoemotional state and cognitive functions. *Journal of Higher Nervous Activity*, 73(5), 651-665.
 10. Kuzyukova, A. A., Zagainova, A. Y., Odarushchenko, O. I., Pekhova, Y. G., Marchenkova, L. A., & Fesyun, A. D. (2024). Diagnosis of stress and sympathetic activity by skin conduction parameters: Current state of the method, fields of application and prospects in medicine. *Scientific Journal Doctor*, 35, 76-83.
 11. Lyapunov, S. I., Shoshina, I. I., & Lyapunov, I. S. (2022). Tremor fluctuations of the eyes as an objective indicator of driver fatigue. *Human Physiology*, 48(1), 89-96.
 12. Mathôt, S. (2018). Pupillometry: Psychology, physiology, and function. *Journal of Cognition*, 16, 1-23. <https://doi.org/10.5334/joc.18>
 13. Mayboroda, O. V., & Chebyshev, A. E. (2020). Analysis of ways to improve the quality of traffic. *Scientific Bulletin of Automobile Transport*, January-December, 35-50.
 14. Oka, T. (2015). Psychogenic fever: How psychological stress affects body temperature in the clinical population. *Temperature (Austin)*, 2(3), 368-378. <https://doi.org/10.1080/23328940.2015.1056907>
 15. Schwerdtfeger, A. R., & Rominger, C. (2021). Feelings from the heart: Developing HRV decrease-trigger algorithms via multilevel hyperplane simulation to detect psychosocially meaningful episodes in everyday life. *Psychophysiology*, 58, 1-13. <https://doi.org/10.1111/psyp.13914>
 16. Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). An overview of heart rate variability metrics and norms. *Frontiers in Public Health*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>
 17. Sherwood, A., Hill, L. K., Blumenthal, J. A., Adams, K. F., Jr., Paine, N. J., Koch, G. G., O'Connor, C. M., Johnson, K. S., & Hinderliter, A. L. (2018). Blood pressure reactivity to psychological stress is associated with clinical outcomes in patients with heart failure. *American Heart Journal*, 191, 82-90.
 18. Vancamp, P., & Demeneix, B. A. (2020). Is the observed decrease in body temperature during industrialization due to thyroid hormone-dependent thermoregulation disruption. *Frontiers in Endocrinology*, 11(470), 1-5. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.00470>
 19. Widjaja, D., Orini, M., Vlemincx, E., & Van Huffel, S. (2013). Cardiorespiratory dynamic response to mental stress: A multivariate time-frequency analysis. *Hindawi Publishing Corporation*, 2013, 12. <https://doi.org/10.1155/2013/451857>
-