

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ.
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

DOI: 10.6060/ivecofin.2025664.748

УДК: 343.148, 7.061

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В РАЗРАБОТКЕ
АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ УСТАЛОСТИ ВОДИТЕЛЯ**

А.С. Кутузова, Н.А. Чернов, Т.Е. Котенев

Анна Сергеевна Кутузова* (ORCID 0000-0002-7511-1667), Никита Андреевич Чернов, Тимофей Евгеньевич Котенев (ORCID 0009-0003-4963-2156)

Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново, Шереметевский пр., 7., Иваново, 153000, Россия

E-mail: as_kutuzova@mail.ru*, tchernov.nikika@yandex.ru, kotenev@me.com

В данном исследовании разработан алгоритм для оценки уровня усталости водителя, основанный на анализе визуальных признаков, извлекаемых из видеопотока. Ключевыми индикаторами состояния водителя служат параметры, отражающие моргание, зевоту и направление взгляда. Для обработки визуальных данных применяются методы компьютерного зрения, реализованные с использованием библиотеки MediaPipe для обнаружения 3D-модели лица и ключевых точек в реальном времени. Модель классифицирует текущую зону внимания водителя, позволяя определить, куда направлен взгляд. Дополнительно алгоритм анализирует длительность и частоту морганий, а также автоматически фиксирует зевоту у водителя. В ходе тестирования алгоритм показал устойчивую работу в типовых условиях. Полученная точность классификации направления взгляда составила более 64%, что значительно превышает случайную вероятность и позволяет надежно идентифицировать основные зоны внимания. Проведенные тестирования подтвердили применимость предложенного решения в реальных условиях эксплуатации, а также его потенциальную интеграцию в интеллектуальные системы помощи водителю. Разработанный алгоритм имеет высокую практическую значимость и может быть интегрирован в существующие автомобильные системы помощи водителю. Алгоритм позволяет автоматически отслеживать взгляд водителя и его мимику, и при выявлении отклонений генерировать звуковой или визуальный сигнал о необходимости отдыха. Благодаря тому, что в разработанном алгоритме используется только веб-камера и легковесные модели машинного зрения, его внедрение требует минимальных аппаратных затрат по сравнению с дорогими специализированными датчиками.

Ключевые слова: искусственный интеллект, нейронные сети, машинное обучение, безопасность дорожного движения, компьютерное зрение.

**USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS IN THE DEVELOPMENT
OF AN ALGORITHM FOR ASSESSING DRIVER FATIGUE**

A.S. Kutuzova, N.A. Chernov, T.E. Kotenev

Anna S. Kutuzova (ORCID 0000-0002-7511-1667), Nikita A. Chernov, Timofey E. Kotenev (ORCID 0009-0003-4963-2156)

Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Sheremetevsky ave., 7. Ivanovo, 153000,

E-mail: as_kutuzova@mail.ru*, tchernov.nikika@yandex.ru, kotenev@me.com

This study proposes an algorithm for assessing driver fatigue based on the analysis of visual cues extracted from a video stream. The key indicators of driver fatigue include blinking, yawning, and gaze direction. Computer vision methods implemented with the MediaPipe library for real-time 3D facial model and key point detection are used to process visual data. The model classifies the driver's current focus, allowing for the determination of gaze direction. The algorithm also analyzes blink duration and frequency and automatically detects yawning. This combination of visual cues serves as an indicator of increasing

drowsiness. During testing, the algorithm demonstrates robust performance under typical conditions. The resulting gaze direction classification accuracy is over 64%, significantly exceeding random probability and enabling a reliable identification of key attention zones. Testing confirms the applicability of the proposed solution in real-world operating conditions, as well as its potential for integration into intelligent driver assistance systems. The developed algorithm has high practical relevance and can be integrated into existing automotive driver assistance systems. The algorithm automatically tracks the driver's gaze and facial expressions, and if any deviations are detected, it generates an audible or visual signal indicating the need for rest. Because the developed algorithm uses only a webcam and lightweight machine vision models, its implementation requires minimal hardware compared to expensive specialized sensors.

Keywords: artificial intelligence, neural networks, machine learning, road safety, computer vision.

Для цитирования:

Кутузова А.С., Чернов Н.А., Котенев Т.Е. Применение методов искусственного интеллекта в разработке алгоритма оценки усталости водителя. *Известия высших учебных заведений. Серия «Экономика, финансы и управление производством» [Ивэкофин]*. 2025. №04(66). С. 88-95. DOI: 10.6060/ivecofin.2025664.748

For citation:

Kutuzova A.S., Chernov N.A., Kotenev T.E. Using artificial intelligence methods in the development of an algorithm for assessing driver fatigue. *Ivecofin*. 2025. N 04(66). P. 88-95. DOI: 10.6060/ivecofin.2025664.748 (in Russian)

ВВЕДЕНИЕ

Безопасность дорожного движения остается одной из наиболее острых глобальных проблем, и человеческий фактор является ее центральным элементом. Согласно данным исследований, до 93% дорожно-транспортных происшествий происходят по вине водителей, где усталость и потеря концентрации играют ключевую роль. В ответ на этот вызов автомобильная промышленность активно внедряет передовые системы помощи водителю (Advanced Driver-Assistance Systems, ADAS). Однако основной фокус большинства существующих систем направлен на анализ внешней дорожной обстановки – контроль полосы движения, предупреждение о столкновении и мониторинг «слепых» зон. Системы, ориентированные на мониторинг внутреннего состояния водителя (Driver State Monitoring, DSM), пока не получили столь широкого распространения, создавая значительный пробел в комплексном обеспечении безопасности [1–4].

В связи с этим разработка алгоритмов для определения усталости водителя является важной и актуальной задачей. Разработка надежного и точного алгоритма для определения усталости водителя позволит снизить число дорожно-транспортных происшествий и повысить безопасность на дорогах.

Существующие технологии обнаружения усталости водителя разнообразны и могут быть классифицированы на несколько категорий в зависимости от применяемых методов и используемых технических средств.

К таким категориям относятся субъективные методы самооценки, физиологические

методы, основанные на регистрации биосигналов, методы на основе измерения физических показателей, поведенческие методы, анализирующие поведение водителя за рулем при управлении транспортным средством, а также использование систем, регистрирующих режим работы и отдыха водителя [5–7].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Машинное обучение обладает большим потенциалом в части мониторинга усталости водителей, поскольку может обеспечить возможность анализа разнородных данных и выявление сигналов, которые сопутствуют состоянию утомления. Алгоритмы машинного обучения способны интегрировать информацию из различных источников, включая физиологические сигналы, поведенческие характеристики и параметры вождения [8, 9].

Алгоритмы машинного обучения очень эффективны в задачах мониторинга усталости водителей благодаря их способности адаптироваться к индивидуальным особенностям каждого человека. Физиологические и поведенческие характеристики разных водителей индивидуальны, в этой связи универсальные модели могут быть недостаточно точными. Применение индивидуальных подходов, основанных на обучении моделей на данных конкретного водителя, позволяет учитывать особенности, повышая точность и надежность систем мониторинга усталости. Такие персонализированные модели способны адаптироваться к специфическим условиям и поведению водителя, обеспечивая более точную оценку его состояния [10, 11].

Методы машинного обучения обладают большим потенциалом превентивного обнаружения признаков для прогнозирования наступления усталости до появления явных симптомов. Анализ временных рядов данных, таких как физиологические сигналы и поведенческие признаки, позволяет выявлять тенденции, предшествующие усталости. Использование моделей с длинной краткосрочной памятью позволяет эффективно обрабатывать последовательные данные и предсказывать развитие усталости на основе предыдущих состояний водителя. Интеграция таких прогностических моделей с системами помощи водителю способствует своевременному предупреждению о необходимости сделать перерыв, снижая риск возникновения аварийных ситуаций [12-18].

Компьютерное зрение может быть перспективным подходом для определения усталости водителя. Этот подход основан на анализе визуальных признаков усталости, таких как частота и длительность морганий, положение и наклон головы, а также направление взгляда. Система использует видеопоток с камеры, установленной в салоне автомобиля, для мониторинга состояния водителя в реальном времени. Данный метод бесконтактен и удобен, так как нет необходимости в установке дополнительных сенсоров на теле водителя или автомобиле. Визуальный анализ позволяет одновременно учитывать несколько ключевых параметров усталости, что создает комплексную и точную модель для выявления изменений в поведении водителя. Развитие современных методов глубокого обучения, таких как сверточные нейронные сети, а также совершенствование алгоритмов обработки видеопотока обеспечивают высокую точность обнаружения признаков усталости при минимальном времени задержки.

Разработанный алгоритм оценки усталости водителя представляет собой интеллектуальную систему мониторинга, осуществляющую непрерывный анализ физиологических признаков утомления на основе видеоданных, поступающих с фронтальной камеры, ориентированной на лицо водителя. После запуска система последовательно обрабатывает каждый видеокادر, начиная с его считывания и завершая оценкой степени усталости.

На начальном этапе каждый кадр используется для определения направления взгляда водителя. Эта информация необходима для фиксации случаев отвлечения внимания от дороги, которые могут быть ранним маркером снижения концентрации. Затем извлекаются координаты глаз, на основе которых рассчитывается коэффициент закрытости глаз.

Прототип реализованного алгоритма мониторинга состояния водителя разработан с использованием языка программирования Python, благодаря его богатому экосистемному окружению в области компьютерного зрения и машинного обучения. Для захвата видеопотока с камеры, обработки изображений и отображения результатов использовалась библиотека OpenCV, предоставляющая все необходимые инструменты для работы с изображениями в реальном времени.

В качестве основы используется сверточная нейронная сеть, дообученная на датасете «Driver Gaze in the Wild», который включает 586 видеозаписей 338 водителей, аннотированных по девяти зонам внутри автомобиля, таким как лобовое стекло, зеркала, приборная панель и другие.

В рамках функционирования системы мониторинга усталости водителя осуществляется параллельный анализ ротовой области, направленный на выявление признаков зевоты. Для этого используется коэффициент раскрытия рта (MAR), который рассчитывается на основе координат ключевых точек рта, определяемых с помощью алгоритмов обнаружения лицевых ориентиров. MAR отражает степень вертикального раскрытия рта относительно его горизонтальной ширины. Если значение MAR превышает эмпирически установленный порог, например, 0.6, система интерпретирует это как возможный эпизод зевания и активирует соответствующий таймер для измерения продолжительности данного события. Продолжительность зевка служит дополнительным индикатором состояния утомления, особенно в сочетании с другими физиологическими маркерами, такими как частота моргания и длительность закрытия глаз.

После анализа указанных параметров система оценивает длительность физиологических реакций. Если время закрытия глаз превышает 150 миллисекунд при частоте около 20 морганий в минуту или длительность зевка составляет более двух секунд, осуществляется переход к следующему этапу – определению уровня усталости. Для этого система сопоставляет зарегистрированные отклонения с эмпирически определенными уровнями физиологической активности.

Классификация усталости базируется на анализе частоты морганий, их длительности, а также продолжительности зевков. В случае установления признаков, соответствующих одному и уровню усталости, алгоритм активирует модуль оповещения. Это позволяет оперативно предупредить водителя о риске снижения внимания и предложить меры по восстановлению бодрствования.

Детекция лиц и извлечение координат ключевых точек лица, в частности области глаз и

рта, реализована при помощи библиотеки MediaPipe Face Mesh, которая позволяет с высокой точностью и скоростью получить расположение 468 анатомических ориентиров на лице.

Для определения состояния глаз в алгоритме устанавливается пороговое значение EAR, равное 0.15. Значения ниже этого порога интерпретируются как свидетельство того, что глаз находится в закрытом состоянии. Для расчета частоты морганий применяется структура данных в виде очереди фиксированной длины, предназначенной для хранения событий моргания. При завершении каждого моргания соответствующее событие добавляется в очередь, из которой автоматически удаляются устаревшие элементы по истечении интервала в 60 секунд. Такой подход обеспечивает возможность динамического анализа частоты морганий в реальном времени и, следовательно, позволяет оценивать текущий уровень утомления водителя.

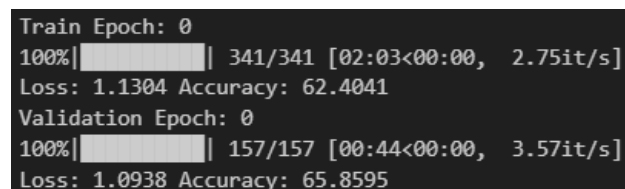
Коэффициент EAR рассчитывается на основе координат шести ключевых точек, соответствующих анатомической структуре глаза. В процессе вычисления используются три евклидовых расстояния: два вертикальных, определяющие расстояние между верхним и нижним веком, и одно горизонтальное, измеряющее длину основания глаза. Эти параметры позволяют нормировать вертикальное раскрытие глаз относительно их ширины. В случае, если рассчитанное значение EAR оказывается ниже установленного порогового значения, алгоритм классифицирует глаз как закрытый и инициирует запуск таймера, фиксирующего длительность моргания.

Аналогичный принцип применяется для оценки состояния рта, где используется пороговое значение коэффициента MAR, равное 0.6. Если рассчитанное значение MAR превышает данный порог, фиксируется факт зевки, и активируется таймер, регистрирующий его продолжительность. Такой подход позволяет учитывать эпизоды длительного раскрытия рта как дополнительный индикатор утомления или сонливости.

Параллельно реализована система классификации направления взгляда, основанная на использовании сверточных нейронных сетей. Для предварительной обработки входных изображений применен метод MTCNN, представляющий собой каскад сверточных сетей, предназначенных для выполнения комплексных задач, включая детекцию лиц, их выравнивание и последующее извлечение из изображения. В качестве инструментария использована реализация данного подхода из библиотеки *facenet_pytorch*, обеспечивающая высокую точность и стабильность работы на видеопотоке в реальном времени.

Для непосредственного определения направления взгляда использована нейросетевая архитектура EfficientNet-B0, которая была адаптирована под решаемую задачу путем дообучения на специализированном датасете, содержащем разметку по зонам фокусировки внимания водителя.

После обучения получили следующие значения точности предсказания (рис. 1).



```

Train Epoch: 0
100%|██████████| 341/341 [02:03<00:00, 2.75it/s]
Loss: 1.1304 Accuracy: 62.4041
Validation Epoch: 0
100%|██████████| 157/157 [00:44<00:00, 3.57it/s]
Loss: 1.0938 Accuracy: 65.8595
  
```

Рисунок 1. Результаты обучения модели
Figure 1. Model training results

Значение точности на тренировочной выборке составляет 62.4041%, а на валидационной выборке – 65.8595%.

Основной метод *track_gaze* (self, frame) используется для определения направления взгляда на изображении. Перед началом анализа кадра, изображение проходит через детектор лица, который выделяет область лица на изображении. Затем, выделенная область подается на вход классификатору, который определяет направление взгляда. Полученные данные затем сглаживаются с использованием скользящего окна, что позволяет уменьшить возможные шумы в предсказаниях и улучшить стабильность результата.

После вычисления всех необходимых параметров алгоритм производит оценку степени усталости водителя на основе частоты и длительности морганий. В случае, если частота морганий не превышает 16 раз в минуту, а средняя длительность одного моргания составляет не более 150 миллисекунд, фиксируется состояние бодрствования. При увеличении частоты морганий до диапазона от 16 до 20 раз в минуту и одновременном увеличении их длительности до 150–250 миллисекунд определяется состояние легкой усталости. Средняя усталость диагностируется при частоте морганий от 20 до 25 раз в минуту и длительности морганий в пределах от 250 до 400 миллисекунд. В случаях, когда частота морганий превышает 25 раз в минуту, а их продолжительность становится более 400 миллисекунд, алгоритм делает вывод о наличии сильной усталости. Особое внимание уделяется ситуациям, при которых наблюдается закрытие глаз на период, превышающий одну минуту – подобное поведение классифицируется как состояние микросна, представляющее серьезную угрозу безопасности при управлении транспортным средством. Выбор данной архитектуры был обусловлен необходимостью обеспечить опти-

мальное соотношение между точностью классификации и быстродействием модели в условиях ограниченных вычислительных ресурсов. Разработанный классификатор формирует предсказания о направлении взгляда водителя, включая ориентацию на дорогу, зеркала, приборную панель и другие зоны, после чего результаты визуализируются в режиме реального времени на видеопотоке. Для повышения надежности модели и снижения чувствительности к шумам или ошибкам, возникающим в отдельных кадрах, применяется механизм скользящего окна, позволяющий агрегировать предсказания за заданный временной интервал и формировать сглаженное итоговое решение.

Все этапы инференса, включая предварительную обработку изображений, такие как нормализация и масштабирование до требуемых размеров, реализованы с использованием инструментов библиотеки Torchvision. Модель загружается в режиме оценки, а все вычисления выполняются на центральном процессоре, что обеспечивает возможность запуска прототипа на типовых встраиваемых системах без необходимости использования специализированных графических ускорителей.

ДИСКУССИЯ

Оценка работоспособности разработанного прототипа алгоритма определения усталости водителя проводилась поэтапно. На первом этапе производилась верификация точности классификации направления взгляда с использованием общедоступного датасета *Driver Gaze in the Wild (DGW)*, содержащего 586 видеозаписей с участием 338 различных водителей. Указанный датасет представляет собой репрезентативную выборку для задачи определения зоны фокусировки взгляда в условиях, приближенных к реальной дорожной обстановке. В результате тестирования средняя точность модели составила около 64% (рис. 2), что находится в пределах диапазона, характерного для современных сверточных нейронных сетей, применяемых в аналогичных задачах. Так, ранее обученные модели на базе архитектур *ResNet* и *Inception*, использующие тот же датасет, показывали точность около 60–62%, в то время как наиболее передовые методы достигали значений, превышающих 70%. Полученные в ходе эксперимента результаты свидетельствуют о сопоставимой эффективности разработанной модели по отношению к существующим подходам и подтверждают ее пригодность для классификации направлений взгляда, включая такие категории, как «вперед», «в зеркало заднего вида» и др.

100% | 120/120 [00:31<00:00, 3.83it/s]
Loss: 1.1057 Accuracy: 64.1908

Рисунок 2. Значение точности на тестовой выборке

Figure 2. Accuracy value in the test sample

На втором этапе проводилась эмпирическая оценка эффективности работы алгоритма в реальных условиях эксплуатации. В качестве входных данных использовался видеопоток с веб-камеры. Основной задачей тестирования являлась проверка способности алгоритма корректно идентифицировать моргания и зевки, измерять их длительность и на основе этого классифицировать уровень усталости водителя. Для интерпретации степени утомления использовались заранее определенные пороговые значения, соответствующие четырем уровням: бодрствующее состояние, легкая, средняя и сильная усталость.

Результаты испытаний показали, что алгоритм показывает высокую чувствительность к физиологическим признакам усталости и способен надежно измерять длительность морганий и зевков, обеспечивая тем самым точную классификацию состояния водителя. Однако в ходе анализа были выявлены определенные ограничения, связанные преимущественно с индивидуальными анатомо-физиологическими различиями пользователей, а также с вариациями в условиях освещения, которые могут негативно повлиять на точность измерений. В ряде случаев наблюдались ложные срабатывания, приводящие к ошибочной оценке уровня усталости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный алгоритм может быть легко интегрирован в существующие системы мониторинга водителя в автомобиле. Для работы требуется камера, установленная внутри салона с обзором на лицо водителя. Для ночного режима рекомендуется использовать ИК-подсветку, чтобы обеспечить видимость глаз при недостаточном освещении. Необходим также вычислительный модуль, построенный на базе процессора на архитектуре ARM, который в реальном времени обрабатывает видеопоток и запускает обученную нейросеть (может быть использован бортовой компьютер автомобиля или мультимедиа система).

Результат вычислений (уровень усталости, состояние внимания) передается в систему безопасности через шину сап для отображения на приборной панели. При превышении порога усталости система может выдавать звуковой/визуальный сигнал или запускать адаптивные меры, например, активировать электронные ассистенты, такие как система контроля полосы и адаптивный круиз контроль.

В 2021 году был утвержден национальный стандарт ГОСТ Р 59391-2021, регламентирующий применение аппаратно-программных средств с использованием технологий искусственного интеллекта для мониторинга поведения водителей. Кроме того, в 2023 году вступил в силу предварительный национальный стандарт ПНСТ 893-2023, устанавливающий технические требования к подсистемам видеонаблюдения и детектирования дорожно-транспортных происшествий и чрезвычайных ситуаций в рамках интеллектуальных транспортных систем. В соответствии с этими нормативами, системы мониторинга водителя становятся важным элементом обеспечения безопасности на дорогах. Они могут использовать различные сенсоры, включая видеокамеры, датчики рулевого управления и другие сигналы автомобиля, для повышения надежности мониторинга состояния водителя. Ключевым компонентом остается видеонаблюдение за взглядом и поведением водителя, что позволяет своевременно выявлять признаки усталости или невнимательности.

Разработанный алгоритм имеет большой потенциал применения в коммерческой логистике и правлении автопарками. Для логистических компаний и операторов автопарков системы мониторинга являются инструментом для достижения конкретных бизнес-целей: снижения аварийности, сокращения расходов на топливо и ремонт, а также повышения дисциплины водителей. Интеграция алгоритма обнаружения усталости в платформы управления автопарком обеспечивает убедительную окупаемость инвестиций (ROI):

- Прямое сокращение затрат. Уменьшение числа ДТП, связанных с усталостью, ведет к снижению расходов на ремонт, страховые премии и сокращению времени простоя техники.
- Операционная эффективность. Поддержание бодрости водителей позволяет соблюдать графики перевозок и повышать коэффициент использования транспортных средств.
- Управление на основе данных. Система предоставляет объективные данные о состоянии водителей, позволяя менеджерам выявлять сотрудников из группы риска для проведения дополнительного обучения или своевременного вмешательства, что заменяет субъективные оценки.

Сектор пассажирских перевозок, включая такси и каршеринг, крайне чувствителен к затратам и вопросам безопасности. Низкая стоимость внедрения алгоритма делает его идеальным решением для этой отрасли. Он может быть развернут в виде приложения для смартфона водителя или интегрирован в штатные телематические системы автомобилей. Это обеспечивает дополнительный

уровень безопасности для пассажиров и водителей, а также служит инструментом защиты от юридической ответственности для агрегаторов. Такая функция может активно использоваться в маркетинговых кампаниях для привлечения клиентов, заботящихся о безопасности.

Таким образом, на основании проведенного тестирования можно сделать вывод о функциональной состоятельности предложенного прототипа. Он устойчиво работает в условиях, приближенных к реальным, и обладает потенциалом для применения в системах мониторинга состояния водителя. В современных системах помощи при вождении уже предусмотрены модули слежения за состоянием водителя, задача которых – предупредить его об опасной сонливости. Благодаря тому, что в разработанном алгоритме используется только веб-камера и легковесные модели машинного зрения, его внедрение требует минимальных аппаратных затрат по сравнению с дорогими специализированными датчиками. Таким образом, созданная система может быть установлена как в автомобиле массового сегмента, так и в коммерческий транспорт (грузовики, автобусы), где контроль усталости водителя особенно критичен.

Вместе с тем, для повышения надежности и адаптивности алгоритма целесообразно проведение дальнейших исследований, направленных на индивидуализацию параметров анализа и устойчивость к внешним помехам. Перспективными направлениями дальнейших исследований являются повышение точности модели за счет персонализации и адаптации под конкретного пользователя, использование дополнительных биометрических и поведенческих характеристик, а также интеграция с комплексными системами автономного вождения для обеспечения своевременной передачи управления в случае критического снижения внимания водителя.

В ходе тестирования были выявлены ограничения, связанные с индивидуальными анатомическими различиями пользователей и возможностью ложных срабатываний, а точность определения направления взгляда на уровне ~ 64% является достаточной для прототипа, но не для серийного продукта. В этой связи можно поставить следующие задачи:

- Улучшение оценки направления взгляда. Необходимо перейти от универсальной архитектуры EfficientNet-B0 к более специализированным моделям, предназначенным для отслеживания взгляда. Тренировочный набор данных следует расширить за счет сложных сценариев: вождение в условиях низкой освещенности, при наличии солнечных очков (известная проблема для некоторых коммерческих систем) и при частич-

ном перекрытии лица. Достижение точности выше 90% является критически важным для коммерческой жизнеспособности функции обнаружения отвлечения.

- **Повышение устойчивости к внешним условиям.** Система должна надежно функционировать не только в «типовых условиях». Для этого следует внедрить методы аугментации данных, имитирующие различные условия освещения (день, ночь, тени). Перспективным направлением является использование инфракрасных (ИК) камер для стабильной работы в ночное время.

В долгосрочной перспективе такие системы позволят не только предупреждать усталость, но и плавно передавать управление автономным системам при необходимости. В долгосрочной перспективе, по мере перехода к уровням автономии L3 и

L4, роль систем DSM будет трансформироваться. Их задачей станет не только предотвращение аварий из-за усталости, но и оценка готовности водителя принять управление от автопилота в штатной или экстренной ситуации. Система, способная надежно определить, что водитель бодр, внимателен и осведомлен о дорожной обстановке, станет обязательным компонентом безопасности для всех полуавтономных транспортных средств. Таким образом, данное исследование является не просто шагом к повышению безопасности сегодня, но и одним из строительных блоков для создания эффективного взаимодействия человека и машины, которое определит следующее поколение транспорта.

*Авторы заявляют об отсутствии
конфликта интересов.*

The authors declare no conflict of interest.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Peruzzini M., Tonietti M., Iani C.** Transdisciplinary design approach based on driver's work-load monitoring. *Journal of Industrial Information Integration*. 2019. Vol. 15. N 2. P. 91-102.
2. **Wang F., Wu S., Zhang W.** Multiple nonlinear features fusion based driving fatigue detection. *Biomedical Signal Processing and Control*. 2020. Vol. 62. N 3. P. 67-78.
3. **Barot N.** Optimal sleep habits in middle-aged adults. *Reference Module in Neuroscience and Biobehavioral Psychology*. 2020. Vol. 30. N 1. P. 213–233.
4. **Zhang Z., Li H., Wang Y., Zhang H.** Driver fatigue detection based on video monitoring and deep learning neural networks. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*. 2021. N 75. P. 1-12. DOI: 10.1186/s13640-021-00575-1.
5. **Ghosh S., Dhall A., Sharma, G., Gupta S., Sebe N.** Speak2Label: Using Domain Knowledge for Creating a Large Scale Driver Gaze Zone Estimation Dataset. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9607535/citations# citations>.
6. **Zhang K., Zhang Z., Li Z., Qiao Y.** Joint Face Detection and Alignment using Multitask Cascaded Convolutional Networks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2016. N 38(10). P. 1-1.
7. **Zhu T., Zhang C., Wu T., Ouyang Z., Li H., Na X., Liang J., Li W.** Research on a Real-Time Driver Fatigue Detection Algorithm Based on Facial Video Sequences. *Applied Sciences*. 2022. N 12(4). P. 2224. DOI: 10.3390/AP12042224.
8. **Khan S., Akram A., Usman N.** Real time automatic attendance system for face recognition using face API and OpenCV. *Wireless Personal Communications*. 2020. Vol. 113. N 1. P. 469–480. DOI: 10.1007/s11277-020-07224-2.
9. **Savaş B.K., Becerikli Y.** Real time driver fatigue detection based on SVM algorithm. *Materials of the 6th International Conference on Control Engineering and Information Technology (CEIT)*. 2018. P. 1-4. DOI: 10.1109/CEIT.2018.8751886.
10. **Ramos A.L., Erandio J.C., Enteria E.M., Del Carmen N., Enriquez L.J., Mangilaya D.H.** Driver drowsiness detection based on eye movement and yawning using facial landmark analysis. *International Journal of Simulation: Systems, Science & Technology*. 2019. V. 20. N S2. P. 37. DOI: 10.5013/IJSSST.A.20.S2.37.
11. **Suwarno S., Kevin K.** Analysis of face recognition algorithm: Dlib and openCV. *Journal of Informatics and Telecommunication Engineering*. 2020. V. 4. N 1. P. 173-184. DOI: 10.31289/jite.v4i1.3865.

REFERENCES

1. **Peruzzini M., Tonietti M., Iani C.** Transdisciplinary design approach based on driver's work-load monitoring. *Journal of Industrial Information Integration*. 2019. Vol. 15. N 2. P. 91-102.
2. **Wang F., Wu S., Zhang W.** Multiple nonlinear features fusion based driving fatigue detection. *Biomedical Signal Processing and Control*. 2020. Vol. 62. N 3. P. 67-78.
3. **Barot N.** Optimal sleep habits in middle-aged adults. // *Reference Module in Neuroscience and Biobehavioral Psychology*. 2020. Vol. 30. N 1. P. 213–233.
4. **Zhang Z., Li H., Wang Y., Zhang H.** Driver fatigue detection based on video monitoring and deep learning neural networks. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*. 2021. N 75. P. 1-12. DOI: 10.1186/s13640-021-00575-1.
5. **Ghosh S., Dhall A., Sharma, G., Gupta S., Sebe N.** Speak2Label: Using Domain Knowledge for Creating a Large Scale Driver Gaze Zone Estimation Dataset. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9607535/citations# citations>.
6. **Zhang K., Zhang Z., Li Z., Qiao Y.** Joint Face Detection and Alignment using Multitask Cascaded Convolutional Networks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2016. N 38(10). P. 1-1.
7. **Zhu T., Zhang C., Wu T., Ouyang Z., Li H., Na X., Liang J., Li W.** Research on a Real-Time Driver Fatigue Detection Algorithm Based on Facial Video Sequences. *Applied Sciences*. 2022. N 12(4). P. 2224. DOI: 10.3390/AP12042224.
8. **Khan S., Akram A., Usman N.** Real time automatic attendance system for face recognition using face API and OpenCV. *Wireless Personal Communications*. 2020. Vol. 113. N 1. P. 469–480. DOI: 10.1007/s11277-020-07224-2.
9. **Savaş B.K., Becerikli Y.** Real time driver fatigue detection based on SVM algorithm. *Materials of the 6th International Conference on Control Engineering and Information Technology (CEIT)*. 2018. P. 1-4. DOI: 10.1109/CEIT.2018.8751886.
10. **Ramos A.L., Erandio J.C., Enteria E.M., Del Carmen N., Enriquez L.J., Mangilaya D.H.** Driver drowsiness detection based on eye movement and yawning using facial landmark analysis. *International Journal of Simulation: Systems, Science & Technology*. 2019. V. 20. N S2. P. 37. DOI: 10.5013/IJSSST.A.20.S2.37.
11. **Suwarno S., Kevin K.** Analysis of face recognition algorithm: Dlib and openCV. *Journal of Informatics and Telecommunication Engineering*. 2020. V. 4. N 1. P. 173-184. DOI: 10.31289/jite.v4i1.3865.

12. **Кутузова А.С., Астраханцев Г.В., Нодель А.Г., Смирнов Д.Н.** Алгоритмы искусственного интеллекта для прогнозирования показателей в инкассаторской деятельности. *Известия высших учебных заведений. Серия «Экономика, финансы и управление производством» [Ивэкофин]*. 2023. № 04(58). С. 52-61. DOI: 10.6060/ivecofin.2023584.664.
13. **Астраханцева И.А., Бобков С.П., Кутузова А.С.** Имитационное моделирование поведения субъектов в сложной социальной системе. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2022. Т. 72. №4. С. 33-39. DOI: 10.6060/snt.20227204.0005.
14. **Григоров А.А., Кутузова А.С.** Механизм применения смарт-контрактов в адвокатской деятельности. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2024. №1 (77). С. 6-10. DOI: 10.6060/snt.20247701.0001.
15. **Горев С.В., Кутузова А.С.** Искусственный интеллект в искусстве: оценка стоимости произведений с помощью технологий будущего. *Известия высших учебных заведений. Серия «Экономика, финансы и управление производством» [Ивэкофин]*. 2024. №04(62). С. 6-11. DOI: 10.6060/ivecofin.2024624.696.
16. **Бобков С.П., Астраханцев, Р.Г., Павлова Е.А.** Исследование структуры потоков в технологических аппаратах с использованием дискретных динамических моделей. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2024. №1(77). С. 95-101.
17. **Astrakhantsev R., Chuhno A., Dmukh A., Kurochkin A., Astrakhantseva I.** Differences with high probability and impossible differentials for the KB-256 cipher. *Journal of Computer Virology and Hacking Techniques*. 2024. Vol. 20. N 3. P. 525-531. DOI: 10.1007/s11416-024-00532-2. EDN IQFPUV.
18. **Astrakhantseva I.A., Astrakhantsev R.G., Usoltsev S.D., Makshanova A.O., Raitman O.A., Marfin Yu.S.** K-means analysis of spectral properties of BODI PY dye during compression on air - water interface: construction of dataset for effective clustering. *Liquid Crystals and their Application*. 2024. Vol. 24. N 2. P. 43-53. DOI: 10.18083/LCAppl. 2024.2.43. EDN CXAIQV.
12. **Kutuzova A.S., Astrakhantsev G.V., Nodel A.G., Smirnov D.N.** Artificial intelligence algorithms for forecasting indicators in cash collection activities. *Ivecofin*. 2023. N 04 (58). P. 52-61. (in Russian).
13. **Astrakhantseva I.A., Bobkov S.P., Kutuzova A.S.** Simulation modeling of the behavior of subjects in a complex social system. *Modern High Technologies. Regional Application*. Vol. 72. N 4 (2022). P. 33-39. DOI: 10.6060/snt.20227204.0005. (in Russian).
14. **Grigorov A.A., Kutuzova A.S.** Mechanism of application of smart contracts in advocacy. *Modern High Technologies. Regional Application*. 2024. N 1 (77). P. 6-10. DOI: 10.6060/snt.20247701.0001. (in Russian).
15. **Gorev S.V., Kutuzova A.S.** Artificial Intelligence in Art: Estimating the Value of Artworks with the Help of Future Technologies. *Ivecofin*. 2024. N 04(62). P. 6-11. DOI: 10.6060/ivecofin.2024624.696. (in Russian).
16. **Bobkov S.P., Astrakhancev R.G., Pavlova E.A.** Research of the structure of flow in technological equipment using discrete dynamic models. *Modern High Technologies. Regional Application*. 2024. N 1 (77). P. 95-101. (in Russian).
17. **Astrakhantsev R., Chuhno A., Dmukh A., Kurochkin A., Astrakhantseva I.** Differences with high probability and impossible differentials for the KB-256 cipher. *Journal of Computer Virology and Hacking Techniques*. 2024. Vol. 20. N 3. P. 525-531. DOI: 10.1007/s11416-024-00532-2. EDN IQFPUV.
18. **Astrakhantseva I.A., Astrakhantsev R.G., Usoltsev S.D., Makshanova A.O., Raitman O.A., Marfin Yu.S.** K-means analysis of spectral properties of BODIPY dye during compression on air - water interface: construction of dataset for effective clustering. *Liquid Crystals and their Application*. 2024. Vol. 24. N 2. P. 43-53. DOI: 10.18083/LCAppl. 2024.2.43. EDN CXAIQV.

Поступила в редакцию 29.08.2024
Принята к опубликованию 12.09.2025

Received 29.08.2024
Accepted 12.09.2025