

# ОБЗОР ПОДХОДОВ К РАСПОЗНАВАНИЮ УСТАЛОСТИ ВОДИТЕЛЯ И СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Сапрыкин Я.Д., д.т.н. Рязанцев В.И., к.т.н. Смирнов А.А.  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия  
yds@live.ru

В статье проводится анализ существующих методов по определению состояния водителя. Вождение в состоянии усталости, согласно различным статистическим данным, является причиной большого количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП): процент ДТП в России, связанных с засыпанием водителя за рулем, в 2018 году составляет порядка 20%, в США число аварий по этой же причине достигает 100000 в год. Целью работы является проведение обзора существующих подходов к распознаванию усталости водителя и существующих технических решений в этой области. В статье рассмотрены такие подходы, как распознавание усталости на основе физиологического состояния водителя, распознавание на основе поведения водителя, а именно его речи и визуальных признаков во время движения автомобиля, определение усталости на основе характера движения автомобиля по дороге и на основе воздействий водителя на органы управления, подходы, основанные на субъективной оценке состояния водителя. Проанализированы преимущества и недостатки каждого из подходов. Также в работе приведен обзор существующих систем распознавания усталости от различных производителей, применяемых на автомобилях в настоящее время и призванных предупреждать водителя о наступающей усталости. В ходе работы было выявлено, что в современных условиях эксплуатации автомобильного транспорта наиболее оптимальными являются подходы к распознаванию усталости, основанные на оценке воздействий водителя на рулевое колесо, визуальных признаков усталости водителя и характера движения автомобиля по дороге, поэтому предлагается в дальнейшем сконцентрироваться на этих методах.

**Ключевые слова:** усталость водителя, безопасность автомобиля, метод распознавания усталости.

**Для цитирования:** Сапрыкин Я.Д., Рязанцев В.И., Смирнов А.А. Обзор подходов к распознаванию усталости водителя и существующих технических решений // Известия МГТУ «МАМИ». 2020. № 3 (45). С. 48–58. DOI: 10.31992/2074-0530-2020-45-3-48-58.

## Введение

Вождение в состоянии сонливости или усталости является одной из основных причин дорожно-транспортных происшествий. По данным ГИБДД процент ДТП, связанных с засыпанием водителя за рулем, в 2018 году составляет порядка 20 % [1]. В США засыпание водителя за рулем вызывает не менее 100 000 аварий в год; 40 000 приводят к не смертельным травмам, и более 1500 приводят к смертельному исходу [2]. Согласно опросу, проведенному в России в 2017 году компанией *Ford*, 32 % из опрошенных водителей признались, что хоть раз засыпали или клевали носом за рулем [3]. Национальная администрация безопасности дорожного движения США считает вождение в состоянии усталости актуальной проблемой в области безопасности дорожного движения [4], а комитет безопасности транспортных средств *Euro NCAP* соглас-

но программе развития до 2020 года нацелен на поощрение производителей, предлагающих решения в области систем отслеживания состояния водителя [5].

В свете представленных статистических данных, меры по предотвращению засыпания во время вождения получили повышенное внимание в течение последних нескольких десятилетий. Чтобы обезопасить участников дорожного движения от водителей, находящихся в состоянии сонливости, автопроизводители разрабатывают технологии мониторинга автомобильных показателей эффективности вождения и предупреждения водителя о наступающей усталости. Работы по выявлению показателей усталости начали активно вестись с 1990-х годов и ведутся по сей день.

Целью данной работы является проведение сравнительного анализа основных подходов к распознаванию усталости водителя.

## 1. Обзор способов распознавания усталости

Для того чтобы провести процедуру оценки усталости водителя, в первую очередь необходимо выбрать один или несколько параметров, по которым она будет определяться. Существует несколько подходов с различными оцениваемыми параметрами.

Подходы можно разделить на четыре группы: методы, основанные на непосредственной оценке физиологического состояния водителя и его биометрических характеристик; методы, основанные на поведении водителя; методы, основанные на анализе характерных особенностей движения автомобиля и воздействиях водителя на органы управления; методы, основанные на субъективной оценке.

### 1.1. Подходы, основанные на физиологическом состоянии водителя

Согласно исследованиям [6–9], физиологические сигналы дают точное представление об усталости водителя. Одним из наиболее точных параметров, по которому отслеживается усталость, является электроэнцефалограмма (ЭЭГ). По мере возрастания сонливости водителя увеличивается мощность электромагнитного излучения мозга человека в альфа-диапазоне частот (от 8 до 13 Гц) [10].

Высокая точность использования данного параметра для оценки усталости водителя является преимуществом этого метода. Недостаток заключается в том, что данная система неудобна в использовании из-за необходимости крепления датчиков на тело человека (см. рис. 1).



Рис. 1. Сбор данных ЭЭГ у водителя на симуляторе вождения

Другим параметром, по которому можно отслеживать усталость водителя, является электрокардиограмма (ЭКГ) и частота сердце-

биения [10, 11]. Распознавание усталости с использованием данного метода является также очень точным. В исследовании [12] было показано, что частота сердцебиения у уставших и сонливых водителей ниже, чем у бодрствующих.

К преимуществам такого метода можно отнести высокую надежность при том, что число датчиков, необходимое для крепления к телу меньше, чем при использовании ЭЭГ. Однако привязанность водителя к датчикам все еще присутствует и является недостатком этого подхода.

Опыт последних лет показывает, что такие подходы не нашли широкого применения на рынке автомобильной промышленности.

### 1.2. Подходы, основанные на поведении водителя

#### 1.2.1. Определение усталости по голосу и речи

Следующим подходом является определение усталости по голосу и речи [13]. Согласно исследованию [14], речевые данные следуют той же тенденции, что и данные субъективных показателей бдительности, то есть голосовые характеристики напрямую связаны с производительностью говорящего. При распознавании усталости по речи оцениваются такие параметры, как интенсивность голоса, ритм речи, характер пауз, интонация, скорость речи, качество речи [15].

К преимуществам данного метода можно отнести отсутствие раздражающих водителя элементов системы, а также устойчивость таких систем распознавания к факторам окружающей среды (таким как изменяющееся освещение, погодные условия и другим) [15].

Явный недостаток такого метода заключается в том, что водитель не всегда говорит, из-за чего система не всегда может своевременно распознать усталость.

Определение усталости по визуальным признакам водителя

К одним из самых перспективных и распространенных методов этой группы можно отнести оценку усталости водителя по частоте закрытия глаз, а также по подвижности зрачков.

Самым распространенным критерием, связанным с глазами водителя, является параметр *PERCLOS* (*Percentage of Eye Closure*) [16]. Этот параметр показывает процент времени, во время которого глаза водителя закрыты на 80–100 % по отношению к определенному промежутку времени [17]. Управление безопасностью дорожного движения США предложило

метод, основанный на параметре *PERCLOS* в качестве основного для измерения усталости водителя [18]. Водитель, у которого значение *PERCLOS* составляет больше 80 % за минуту, признается уставшим [18].

В исследованиях [19, 20, 21] было рассмотрено большое количество параметров, связанных с глазами, в результате чего *PERCLOS* был признан наиболее эффективным в распознавании усталости водителя из всех. Согласно [22], *PERCLOS* является единственным параметром, связанным с глазами водителя, который был официально верифицирован управлением безопасности дорожного движения США, что говорит о признанности этого параметра.

Также для распознавания усталости помимо параметра *PERCLOS* существуют такие признаки, связанные с глазами, как частота моргания, скорость моргания, направление взгляда, движения зрачков. На рис. 2 показаны геометрические характеристики глаза, с помощью которых измеряются необходимые для оценки усталости водителя критерии.

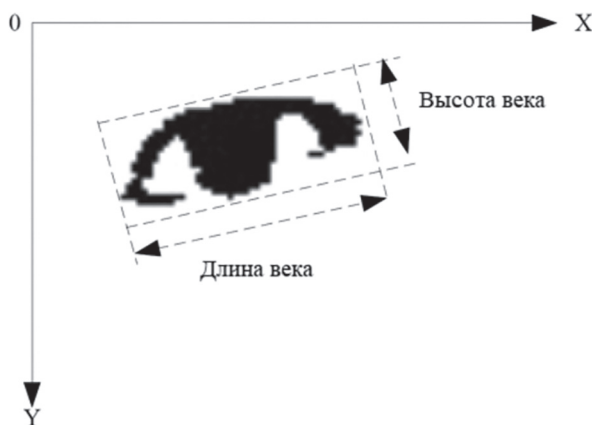


Рис. 2. Геометрические характеристики глаза

Среди прочих визуальных признаков усталости, выражающихся в виде внешних признаков водителя, можно выделить зевание, кивки головой, характерные для утомленного водителя движения головы [23].

Преимуществом всех вышеперечисленных методов является отсутствие внешнего воздействия на водителя со стороны системы, так как распознавание глаз и лица происходит на основе изображений, получаемых с видекамер. Общий вид алгоритма определения усталости на основе изображений показан на рис. 3.

Наиболее популярными методами распознавания изображений являются анализ главных

компонент, фильтры Габора, нейронные сети и частотно-пространственные методы. Нейронные сети используются для идентификации и классификации данных и широко применяются в системах распознавания лиц и образов. Фильтры Габора – один из наиболее часто используемых методов представления черт лица с использованием сложных функций. Частотно-пространственные методы основаны на частотном анализе изображения в сочетании с методами, основанными на геометрической модели. Частотно-пространственные методы позволяют обеспечить надлежащее выделение характерных черт лица и минимизацию влияния условий освещенности [24].

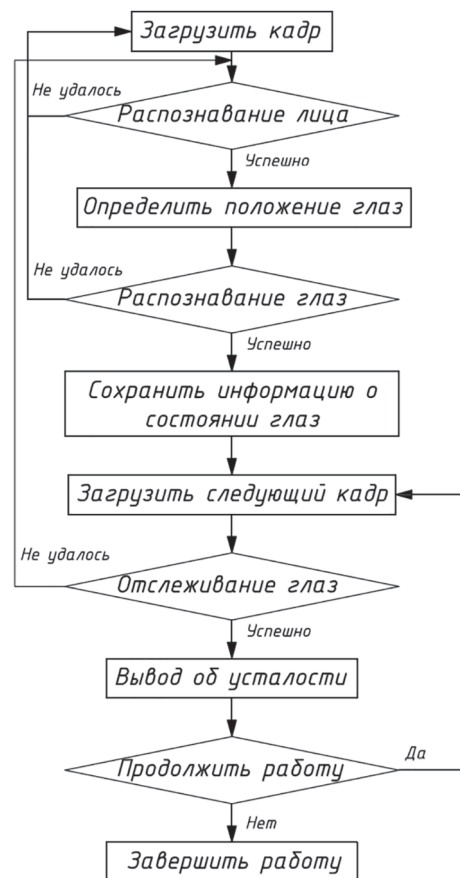


Рис. 3. Общий вид алгоритма определения усталости на основе изображений

В то же время необходимость применения систем распознавания изображений влечет за собой такие недостатки, как сложности, связанные с поворотом головы, изменяющейся внешностью (макияж, борода, очки и т.д.), эмоциями, искажающими черты лица [23]. Также на эффективность систем распознавания по видеоизображению негативно влияют

условия освещенности, значительно изменяющиеся в дорожных условиях [25]. Более того, методы, основанные на визуальных признаках, проигрывают в точности методам, основанным на ЭКГ и ЭЭГ [26].

Подходы, основанные на определении усталости по визуальным признакам, являются перспективными, но до сих пор не являются широко распространенными из-за сложности реализации достаточно надежной системы. В то же время эти подходы могут найти применение не только в области автомобилестроения, но и в других сферах, требующих мониторинга состояния человека-оператора.

### 1.3. Определение усталости по характеру движения автомобиля и воздействиям водителя на органы управления

#### 1.3.1. Подходы, использующие оценку характера движения автомобиля

Исследования показали, что усталость водителя можно определить по характеру изменения положения автомобиля в полосе. Это можно сделать по оценке успешности удерживания автомобиля водителем в полосе, по частоте нарушения прямолинейности траектории движения автомобиля, по пересечению разметки, времени перестроения между полосами. На рис. 4 проиллюстрирован процесс сравнения траектории движения автомобиля с кривизной дороги.

Преимуществом данных методов является отсутствие причинения дискомфорта водителю.

Однако такие методы используют видеокамеры для распознавания полосы, что делает систему не очень надежной, так как на распознавание могут влиять плохие погодные условия (дождь, снег, туман и т.д.), плохое качество дорожной разметки и т.д. [17]

В исследовании [27] было показано, что наибольшей корреляции с усталостью водителя достигла оценка по изменчивости траектории движения.

#### 1.3.2. Подходы, использующие оценку характера воздействия водителя на органы управления автомобилем

Наиболее распространенным органом управления автомобилем, с помощью которого оценивается усталость водителя, является рулевое колесо. В результате исследований было выявлено, что воздействия на руль можно разделить на два типа (см. рис. 5):

1) микрокоррекции – это воздействия, представляющие собой колебания угла поворота рулевого колеса с малой амплитудой, с помощью которых водитель удерживает автомобиль в полосе;

2) макрокоррекции – это воздействия, характеризующиеся большим углом поворота колеса, с помощью которых водитель ведет автомобиль вдоль кривизны дороги или совершает перестроение [17].

С рулевым колесом связывают такие характеристики, как частота смены направления поворота рулевого колеса, характер корректировок при рулении, скорость поворота руля [17].

Сменой направления поворота руля считается прохождение его через положение, соответствующее прямолинейному движению. Согласно исследованиям [28, 29] у сонных водителей уменьшена частота смены направления поворота руля.

Характер воздействий на рулевое колесо принимает вид более частых корректировок в состо-

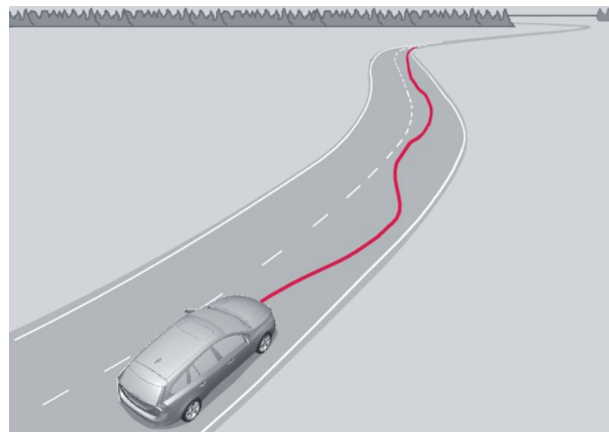


Рис. 4. Сравнение траектории движения автомобиля с кривизной дороги

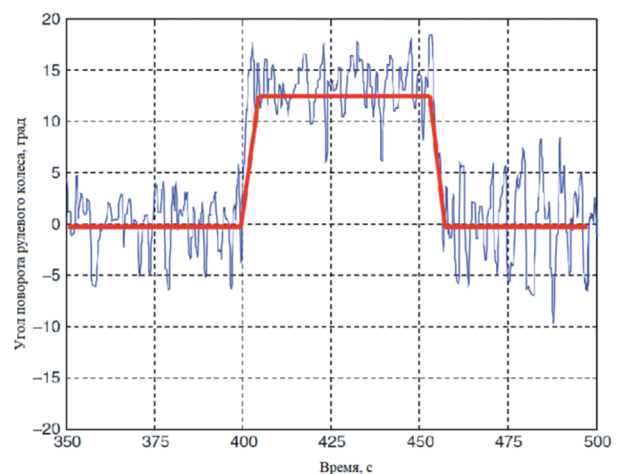


Рис. 5. Вид микрокоррекции и макрокоррекции на руле

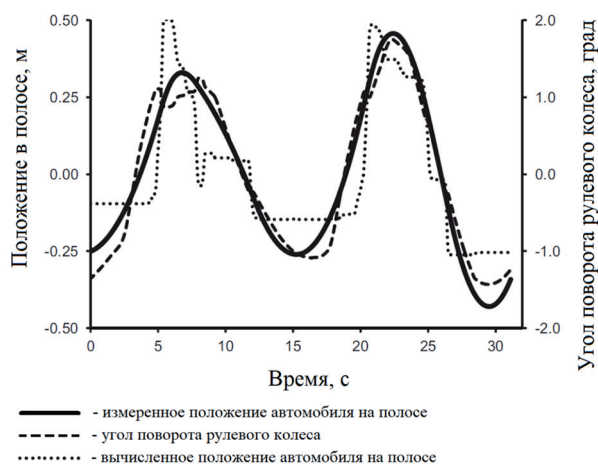


нии бодрости по отношению к частоте в состоянии усталости и их отсутствие некоторое время, сопровождаемое прерывистыми воздействиями в таком состоянии [30]. Согласно исследованию [31], характер руления, состоящий из отсутствия подруливаний или очень медленных подруливаний и последующих резких корректировок руля, коррелирует с усталостью водителя.

Скорость поворота руля имеет тенденцию снижаться при усталости, в то время как среднеквадратическое отклонение скорости поворота руля увеличивается [32, 33]. В исследовании [34] было обнаружено, что превышение скорости поворота рулевого колеса порогового значения в 150 говорит об усталости водителя.

В исследовании [27] была оценена связь изменчивости угла поворота рулевого колеса автомобиля с изменчивостью траектории движения автомобиля, и было доказано, что уровень корреляции между этими параметрами достаточно высок, что косвенно подтверждает эффективность оценки усталости водителя по скорости поворота рулевого колеса. На рисунке 6 показаны результаты определения связи между углом поворота рулевого колеса и положением автомобиля в полосе, полученные в исследовании. Сплошная линия отображает фактическое положение автомобиля в полосе, штриховая линия показывает угол поворота рулевого колеса, а линия из точек – положение автомобиля в полосе, полученное вычислением из угла поворота рулевого колеса с помощью передаточной функции.

Помимо рулевого колеса, водитель также оказывает воздействия на педали тормоза/



**Рис. 6. Измеренное положение автомобиля на полосе, угол поворота рулевого колеса и вычисленное положение автомобиля на полосе**

газа. В работах по определению усталости водителя по таким воздействиям были получены противоречивые результаты. Так, несмотря на то, что в исследовании [35] было обнаружено, что на основе данных эксперимента, прошедшего 24 часа, можно говорить о корреляции между воздействиями на педаль газа и временем поездки, в исследовании [36] не было обнаружено взаимосвязи между этими параметрами.

Подходы, использующие оценку характера воздействия водителя на органы управления автомобилем, на сегодняшний день наиболее популярны среди автопроизводителей, так как в таких системах легко собирать данные, необходимые для оценки усталости, с помощью датчиков, которые уже установлены на большинстве автомобилей.

Для обработки данных угла поворота используются различные методы: нахождение математического ожидания угла поворота рулевого колеса, дисперсии [37], определение приближительной энтропии [38]. Также применяется анализ сигналов с датчиков в частотной области и системы на основе искусственных нейронных сетей [39].

#### *1.4. Подходы, основанные на субъективной оценке усталости*

В данном подходе субъективная оценка усталости производится самим водителем, для чего используется специальная шкала сонливости. Наиболее распространенной шкалой является Каролинская шкала сонливости (см. таблицу 1) [10]. Доказано, что Каролинская шкала сонливости сильно коррелирует с качеством управления автомобилем, которое тесно связано с данными электроэнцефалограммы [40].

Субъективность этого метода и является его преимуществом, так как водитель лучше всего может оценить свое же состояние. Недостаток методов, основанных на опросах, заключается в невозможности их реализации в реальном времени [26].

Субъективная оценка часто используется как основа для реализации других методов распознавания усталости, то есть на основе данных, полученных в результате опросов, классифицируется состояние водителя в определенный момент времени. Его состояние в этот момент времени затем ставится в соответствие имеющимся данным с датчиков, будь то записанные углы поворота руля, сохраненные изображения водителя и т.д.

Таблица 1

Каролинская шкала усталости

Рейтинг	Описание состояния
1	Чрезвычайно бодр
2	Очень бодр
3	Бодр
4	Достаточно бодр
5	Ни бодр, ни сонлив
6	Проявляются некоторые признаки сонливости
7	Сонлив, но не требуются усилия для поддержания бодрствования
8	Сонлив, требуются некоторые усилия для поддержания бодрствования
9	Очень сонлив, требуются большие усилия для поддержания бодрствования

## 2. Обзор существующих решений

### 2.1. Driver assistant от компании Ford

Система состоит из камеры, направленной на дорогу, и датчика угла поворота рулевого колеса. Система распознает наезды на разметку на дорожной поверхности с помощью фронтальных камер, а также замечает наличие внезапных и резких корректировок рулевым колесом, что характеризует состояние усталости водителя. После факта обнаружения усталости на основе приведенных выше признаков система выдает водителю предупреждение о необходимости отдыха [41].

Таким образом данная система комбинирует в себе подходы, использующие оценку характера движения автомобиля и характера воздействия водителя на органы управления.

### 2.2. Driver alert control от компании Volvo

Камера считывает разметку дорожной полосы и сравнивает кривизну дороги с поворотами рулевого колеса. Водителю подается сигнал тревоги, если автомобиль не следует плавно за изгибами дороги.

Данная система предназначена для обнаружения ухудшения качества управления автомобилем водителя и в первую очередь пригодна для использования на крупных магистралях. Функция не предназначена для езды по городу, что является одним из недостатков данной системы [42].

Решение компании Volvo относится к подходам, использующим оценку характера движения автомобиля.

### 2.3. Attention assist от компании Mercedes-Benz

Система Attention assist на скорости от 80 до 180 км/ч постоянно анализирует поведение водителя и движения рулевого колеса [43].

Она анализирует характер руления водителя, а также может выявлять типичные признаки усталости в его поведении [44]. Система запоминает характер управления водителя и постоянно сравнивает его с показаниями датчиков. Исследования, проведенные в Mercedes показали, что уставшие водители совершают незначительные ошибки при рулении, которые затем немедленно и резко корректируют [37]. Если система обнаруживает такое поведение, то она обращается к данным о других параметрах для того, чтобы подтвердить факт усталости водителя. К таким данным относится информация о том, как долго водитель находится за рулем, насколько активно пользуется приборами автомобиля, таким образом проявляя активность, а также информация о таких внешних факторах как качество дорожного покрытия и боковой ветер.

Система Attention assist основана на подходе, использующем оценку воздействия водителя на органы управления.

### 2.4. Driver drowsiness detection от компании Bosch

Обнаружение сонливости водителя основано на алгоритме, который начинает записывать движения рулевого колеса в момент начала поездки. Затем он распознает изменения в ходе длительных поездок, а следовательно, и уровень усталости водителя. Типичными признаками ослабления концентрации являются фазы, в течение которых водитель редко воздействует на руль, в сочетании с незначительными, но быстрыми и резкими движениями рулевого колеса, чтобы держать автомобиль на дороге.

Исходя из частоты этих движений и других параметров, среди которых частота изменения

направления взгляда, длительность поездки, использование поворотников и время суток, функция рассчитывает уровень усталости водителя. Если этот уровень превышает определенное значение, то система уведомляет водителя о необходимости взять перерыв в вождении [45].

Данная система совмещает подходы, основанные на оценке усталости по визуальным признакам водителя и характера воздействия водителя на органы управления.

#### 2.5. *Driver Monitor System* от компании *Seeing Machines*

В рамках выставки электроники *Consumer Electronics Show* в 2015 году в Лас Вегасе компания *Seeing Machines* совместно с компанией *Jaguar Land Rover* продемонстрировала систему мониторинга состояния водителя *Driver Monitor System (DMS)*. В основе работы системы *DMS* лежат специальные датчики, смонтированные на передней панели автомобиля, которые отслеживают взгляд и мимику водителя и, таким образом, способны распознать момент потери водителем внимания по причине усталости или других отвлекающих факторов. Данная система способна оценивать состояние водителя в любых условиях, в том числе при ярком солнечном свете или в тех случаях, когда водитель управляет автомобилем в солнцезащитных очках или очках для коррекции зрения [46].

*DMS* распознает усталость водителя на основе визуальных признаков.

#### 2.6. *Dunomobil insomnia* от российской компании *Dunomobil*

Данная система распознавания работает на основе показаний с камеры, установленной на лобовом стекле и направленной на водителя.

Прибор постоянно анализирует состояние водителя и отслеживает частоту моргания глаз, отведения глаз в сторону и наклон головы [47].

Как и система *Seeing machines*, описанная выше, российская разработка основана на подходе, в котором оцениваются визуальные признаки усталости водителя.

### **Заключение**

На сегодняшний день существует несколько подходов к распознаванию усталости во-

дителя. В силу специфики области автомобилестроения и эксплуатации транспортных средств на дорогах общего пользования некоторые из подходов оказались неконкурентоспособны, несмотря на возможность достижения высокой точности срабатывания, в то время как другие получили наибольшее распространение. К последним относятся методы, основывающиеся на распознавании усталости по характеру воздействий водителя на рулевое колесо и по глазам водителя. Повышения недостающей, по сравнению с другими методами, надежности таких систем распознавания усталости можно достичь за счет комбинирования этих методов, что и является тенденцией в современных системах.

### **Литература**

1. <https://versia.ru/s-zasypaniem-za-rulyom-svyazano-okolo-20-procentov-vsex-dtp> (дата обращения 09.12.2019)
2. Forsman, P.M., Vila, B.J., Short, R.A., Mott, C.G., Van Dongen, H.P.A. Efficient driver drowsiness detection at moderate levels of drowsiness (2013). *Accident Analysis and Prevention*, 50, pp. 341–350.
3. <https://www.zr.ru/content/news/907509-kazhdyj-tretij-voditel-v-rossii/> (дата обращения 18.01.2019)
4. Goodwin, A., Kirley, B., Sandt, L., Hall, W., Thomas, L., O'Brien, N., & Summerlin, D. (2013). *Countermeasures that work: A highway safety countermeasures guide for State Highway Safety Offices*. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.
5. European Car Assessment Program (2014). 2020 Roadmap. Retrieved from [www.euroncap.com](http://www.euroncap.com).
6. Sahayadhas, A.; Sundaraj, K.; Murugappan, M. Detecting driver drowsiness based on sensors: A review. *Sensors* 2012, 12, 16937–16953. [CrossRef] [PubMed]
7. Richman, J.S.; Moorman, J.R. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2000, 278, H2039–H2049. [PubMed]
8. Slater, J.D. A definition of drowsiness: One purpose for sleep? *Med. Hypotheses* 2008, 71, 641–644. [CrossRef] [PubMed]
9. Mardi, Z.; Ashtiani, S.N.M.; Mikaili, M. EEG-based drowsiness detection for safe driving using chaotic features and statistical tests. *J. Med. Signals Sens.* 2011, 1, 130. [PubMed]
10. Awais, M., Badruddin, N., Drieberg, M. A hybrid approach to detect driver drowsiness utilizing physiological signals to improve system performance

- and Wearability (2017) *Sensors* (Switzerland), 17 (9), статья № 1991.
11. Furman, G.D.; Baharav, A. Investigation of drowsiness while driving utilizing analysis of heart rate fluctuations. In *Proceedings of the IEEE Computing in Cardiology*, Belfast, UK, 26–29 September 2010.
  12. Jung, S.J., Shin, H.S., Chung, W.Y. Driver fatigue and drowsiness monitoring system with embedded electrocardiogram sensor on steering wheel (2014) *IET Intelligent Transport Systems*, 8 (1), pp. 43–50.
  13. Alsibai, M.H., Manap, S.A. A study on driver fatigue notification systems (2016) *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11 (18), pp. 10987–10992.
  14. Greeley H.P., Friets E., Wilson J.P., Raghavan S., Picone J. and Berg J. 2006. Detecting fatigue from voice using speech recognition. In: *IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology*.
  15. Krajewski J., Trutschel U., Golz M., Sommer D. and Edwards D. 2009. Estimating fatigue from predetermined speech samples transmitted by operator communication systems. In: *the International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*. p. 468, pp. 470–471.
  16. Wierwille W.W. (1999) Historical perspective on slow eyelid closure: whence PERCLOS?. In: *Ocular measures of driver alertness*, technical conference proceedings. Herndon, pp 130-143.
  17. Eskandarian, A. *Handbook of intelligent vehicles* (2012) *Handbook of Intelligent Vehicles*, 1–2, pp. 1–1599.
  18. Manohar K. Efficient Driver Fatigue Detection and Alerting System (2015). *International Journal of Scientific and Research Publications*, Volume 5, Issue 7.
  19. Skipper J.H., Wierwille W.W. (1986) Drowsy driver detection using discriminant analysis. *Human factors* 28(5): 527–540.
  20. Knipling R. (1998) The technologies, economics and psychology of commercial motor vehicle driver fatigue management. Presented at the 1998 ITS America's eighth annual meeting and exposition, Detroit.
  21. Bhuyan M. (2009) Driver assistance systems to rate drowsiness: a preliminary study. In: Nakamatsu K., Phillips-Wren G., Jain L., Howlett R. (eds) *New advances in intelligent decision technologies*, vol. 199. Springer, Berlin/Heidelberg, pp. 415–425.
  22. National Transportation Safety Board (1990) *Fatigue, alcohol, other drugs and medical factors in fatal-to-the-driver heavy truck crashes*, vol 1. NTSB publications, <http://www.nts.gov/publictn/1990/ss9001.htm> Accessed 6th June, 2011
  23. Sigari M., Pourshahabi M., Soryani M., Fathy M. A Review on Driver Face Monitoring Systems for Fatigue and Distraction Detection. *International Journal of Advanced Science and Technology*, Vol. 64 (2014), pp. 73–100.
  24. Sałapatek, Damian & Dybała, Jacek & Czapski, Paweł & Skalski, Paweł. (2017). *Driver Drowsiness Detection Systems*. *Proceedings of the Institute of Vehicles*. 3. 41–48.
  25. Walger, D.J., Breckon, T.P., Gaszczak, A., Popham, T. A comparison of features for regression-based driver head pose estimation under varying illumination conditions (2014). *2014 International Workshop on Computational Intelligence for Multimedia Understanding, IWCIM 2014*, статья № 7008805.
  26. Choudhary, Prakash et al. “A Survey Paper On Drowsiness Detection & Alarm System for Drivers.” (2017). *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, volume 03, issue 12, pp. 1433–1437.
  27. Forsman, P.M., Vila, B.J., Short, R.A., Mott, C.G., Van Dongen, H.P.A. Efficient driver drowsiness detection at moderate levels of drowsiness (2013). *Accident Analysis and Prevention*, 50, pp. 341–350.
  28. Hulbert S (1972) *Effects of driver fatigue*. In: Forbes TW (ed) *Human factors in highway traffic safety research*. Wiley, New York.
  29. Ryder J, Malin S and Kinsley C (1981) The effects of fatigue and alcohol on highway safety. *NHTSA Report No. DOT-HS-805-854*, Washington, DC.
  30. Yabuta K, Iizuka H, Yanagishima T, Kataoka Y, Seno T (1985) The development of drowsiness warning devices. In: *Proceedings of the 10<sup>th</sup> international technical conference on experimental safety vehicles*, Washington.
  31. Friedrichs, F., & Yang, B. (2010). Drowsiness monitoring by steering and lane data based features under real driving conditions. *European Signal Processing Conference*, 209–213.
  32. Dingus TA, Hardee L, Wierwille WW (1985) *Development of Impaired Driver Detection Measures*. Department of Industrial Engineering and Operations Research, Virginia Polytechnic Institute and State University, (Departmental Report 8504), Blacksburg.
  33. Elling M, Sherman P (1994) Evaluation of steering wheel measures for drowsy drivers. In: *27<sup>th</sup> ISATA*, Aachen, Germany, pp 207–214
  34. Dingus, T., Hardee, H., & Wierwille, W. (1987). Development of models for on-board detection of driver impairment. *Accident Analysis & Prevention*, 19(4), 271–283.



35. Safford R, Rockwell T.H. (1967) Performance decrement in twenty four hour driving. *Highw Res Rec.*
36. Brown I.D. (1966) Effects of prolonged driving upon driving skills and performance of a subsidiary task. *Ind Med Surg* 35:760–765.
37. Spindler C., Driewer F., Schdfers L. Analysis of the robustness of steering pattern based drowsiness detection. Daimler AG, Germany, paper number 15-0226.
38. Li, Z., Li, S.E., Li, R., Cheng, B., Shi, J. Online detection of driver fatigue using steering wheel angles for real driving conditions (2017) *Sensors (Switzerland)*, 17 (3), статья № 495.
39. Daza, I.G., Hernandez, N., Bergasa, L.M., Parra, I., Yebes, J.J., Gavilan, M., Quintero, R., Llorca, D.F., Sotelo, M.A. Drowsiness monitoring based on driver and driving data fusion. (2011) *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*, статья № 6082907, pp. 1199–1204.
40. Kaida, K., Takahashi, M., Ekerstedt, T., Nakata, A., Otsuka, Y., Haratani, T., Fukasawa, K. Validation of the Karolinska sleepiness scale against performance and EEG variables. (2006) *Clinical Neurophysiology*, 117 (7), pp. 1574–1581.
41. <https://www.haynesford.co.uk/Tech-Ford-driver-alert> (дата обращения 17.12.2019).
42. <https://www.volvocars.com/ru/support/manuals/s60/2017-early/podderzhka-voditelya/driver-alert-system/driver-alert-control-dac> (дата обращения 17.12.2019).
43. <https://www.mercedes-benz.ru/passengercars/mercedes-benz-cars/models/gla/gla-suv/explore.pi.html/mercedes-benz-cars/models/gla/gla-suv/explore/intelligent-technologies/attention-assist> (дата обращения 17.12.2019).
44. <https://www.mercedes-benz.com/en/vehicles/international-corporate-sales/safety/> (дата обращения 17.12.2019).
45. <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/driver-assistance-systems/driver-drowsiness-detection/> (дата обращения 18.12.2019).
46. <https://www.landrover.ru/explore-land-rover/news/jlr-driver-attention-monitoring-system.html> (дата обращения 18.12.2019).
47. <http://dunobil.ru/insomnia> (дата обращения 18.12.2019).
2. Forsman, P.M., Vila, B.J., Short, R.A., Mott, C.G., Van Dongen, H.P.A. Efficient driver drowsiness detection at moderate levels of drowsiness (2013). *Accident Analysis and Prevention*, 50, pp. 341–350.
3. URL: <https://www.zr.ru/content/news/907509-ka-zhdyj-tretij-voditel-v-rossi/> (accessed: 18.01.2019)
4. Goodwin, A., Kirley, B., Sandt, L., Hall, W., Thomas, L., O'Brien, N., & Summerlin, D. (2013). Countermeasures that work: A highway safety countermeasures guide for State Highway Safety Offices. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.
5. European Car Assessment Program (2014). 2020 Roadmap. Retrieved from [www.euroncap.com](http://www.euroncap.com).
6. Sahayadhas, A.; Sundaraj, K.; Murugappan, M. Detecting driver drowsiness based on sensors: A review. *Sensors* 2012, 12, 16937–16953. [CrossRef] [PubMed]
7. Richman, J.S.; Moorman, J.R. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2000, 278, H2039–H2049. [PubMed]
8. Slater, J.D. A definition of drowsiness: One purpose for sleep? *Med. Hypotheses* 2008, 71, 641–644. [CrossRef] [PubMed]
9. Mardi, Z.; Ashtiani, S.N.M.; Mikaili, M. EEG-based drowsiness detection for safe driving using chaotic features and statistical tests. *J. Med. Signals Sens.* 2011, 1, 130. [PubMed]
10. Awais, M., Badruddin, N., Drieberg, M. A hybrid approach to detect driver drowsiness utilizing physiological signals to improve system performance and Wearability (2017) *Sensors (Switzerland)*, 17 (9), статья № 1991.
11. Furman, G.D.; Baharav, A. Investigation of drowsiness while driving utilizing analysis of heart rate fluctuations. In *Proceedings of the IEEE Computing in Cardiology, Belfast, UK, 26–29 September 2010*.
12. Jung, S.J., Shin, H.S., Chung, W.Y. Driver fatigue and drowsiness monitoring system with embedded electrocardiogram sensor on steering wheel (2014) *IET Intelligent Transport Systems*, 8 (1), pp. 43–50.
13. Alsibai, M.H., Manap, S.A. A study on driver fatigue notification systems (2016) *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11 (18), pp. 10987–10992.
14. Greeley H. P., Friets E., Wilson J. P., Raghavan S., Picone J. and Berg J. 2006. Detecting fatigue from voice using speech recognition. In: *IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology*.
15. Krajewski J., Trutschel U., Golz M., Sommer D. and Edwards D. 2009. Estimating fatigue from pre-

## References

1. URL: <https://versia.ru/s-zasypaniem-za-rulyom-svyazano-okolo-20-procentov-vsex-dtp> (accessed: 09.12.2019)

- determined speech samples transmitted by operator communication systems. In: the International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design. p. 468, pp. 470–471.
16. Wierwille W.W. (1999) Historical perspective on slow eyelid closure: whence PERCLOS?. In: Ocular measures of driver alertness, technical conference proceedings. Herndon, pp 130-143.
  17. Eskandarian, A. Handbook of intelligent vehicles (2012) Handbook of Intelligent Vehicles, 1–2, pp. 1–1599.
  18. Manohar K. Efficient Driver Fatigue Detection and Alerting System (2015). International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 5, Issue 7.
  19. Skipper J.H., Wierwille W.W. (1986) Drowsy driver detection using discriminant analysis. Human factors 28(5): 527–540.
  20. Knippling R. (1998) The technologies, economics and psychology of commercial motor vehicle driver fatigue management. Presented at the 1998 ITS America's eighth annual meeting and exposition, Detroit.
  21. Bhuyan M. (2009) Driver assistance systems to rate drowsiness: a preliminary study. In: Nakamatsu K., Phillips-Wren G., Jain L., Howlett R. (eds) New advances in intelligent decision technologies, vol. 199. Springer, Berlin/Heidelberg, pp. 415–425.
  22. National Transportation Safety Board (1990) Fatigue, alcohol, other drugs and medical factors in fatal-to-the-driver heavy truck crashes, vol 1. NTSB publications, <http://www.nts.gov/publicatn/1990/ss9001.htm> Accessed 6th June, 2011.
  23. Sigari M., Pourshahabi M., Soryani M., Fathy M. A Review on Driver Face Monitoring Systems for Fatigue and Distraction Detection. International Journal of Advanced Science and Technology, Vol. 64 (2014), pp. 73–100.
  24. Sałapatek, Damian & Dybała, Jacek & Czapski, Paweł & Skalski, Paweł. (2017). Driver Drowsiness Detection Systems. Proceedings of the Institute of Vehicles. 3. 41–48.
  25. Walger, D.J., Breckon, T.P., Gaszczak, A., Popham, T. A comparison of features for regression-based driver head pose estimation under varying illumination conditions (2014). 2014 International Workshop on Computational Intelligence for Multimedia Understanding, IWCIM 2014, статья № 7008805.
  26. Choudhary, Prakash et al. “A Survey Paper On Drowsiness Detection & Alarm System for Drivers.” (2017). International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), volume 03, issue 12, pp. 1433–1437.
  27. Forsman, P.M., Vila, B.J., Short, R.A., Mott, C.G., Van Dongen, H.P.A. Efficient driver drowsiness detection at moderate levels of drowsiness (2013). Accident Analysis and Prevention, 50, pp. 341–350.
  28. Hulbert S (1972) Effects of driver fatigue. In: Forbes TW (ed) Human factors in highway traffic safety research. Wiley, New York.
  29. Ryder J, Malin S and Kinsley C (1981) The effects of fatigue and alcohol on highway safety. NHTSA Report No. DOT-HS-805-854, Washington, DC.
  30. Yabuta K, Iizuka H, Yanagishima T, Kataoka Y, Seno T (1985) The development of drowsiness warning devices. In: Proceedings of the 10<sup>th</sup> international technical conference on experimental safety vehicles, Washington.
  31. Friedrichs, F., & Yang, B. (2010). Drowsiness monitoring by steering and lane data based features under real driving conditions. European Signal Processing Conference, 209–213.
  32. Dingus TA, Hardee L, Wierwille WW (1985) Development of Impaired Driver Detection Measures. Department of Industrial Engineering and Operations Research, Virginia Polytechnic Institute and State University, (Departmental Report 8504), Blacksburg.
  33. Elling M, Sherman P (1994) Evaluation of steering wheel measures for drowsy drivers. In: 27<sup>th</sup> ISATA, Aachen, Germany, pp. 207–214.
  34. Dingus, T., Hardee, H., & Wierwille, W. (1987). Development of models for on-board detection of driver impairment. Accident Analysis & Prevention, 19(4), 271–283.
  35. Safford R, Rockwell T.H. (1967) Performance decrement in twenty four hour driving. Highw Res Rec.
  36. Brown I.D. (1966) Effects of prolonged driving upon driving skills and performance of a subsidiary task. Ind Med Surg 35:760–765.
  37. Spindler C., Driewer F., Schdfers L. Analysis of the robustness of steering pattern based drowsiness detection. Daimler AG, Germany, paper number 15-0226.
  38. Li, Z., Li, S.E., Li, R., Cheng, B., Shi, J. Online detection of driver fatigue using steering wheel angles for real driving conditions (2017) Sensors (Switzerland), 17 (3), статья № 495.
  39. Daza, I.G., Hernandez, N., Bergasa, L.M., Parra, I., Yebes, J.J., Gavilan, M., Quintero, R., Llorca, D.F., Sotelo, M.A. Drowsiness monitoring based on driver and driving data fusion. (2011) IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC, статья № 6082907, pp. 1199–1204.
  40. Kaida, K., Takahashi, M., Ekerstedt, T., Nakata, A., Otsuka, Y., Haratani, T., Fukasawa, K. Validation of the Karolinska sleepiness scale against perfor-

- mance and EEG variables. (2006) *Clinical Neurophysiology*, 117 (7), pp. 1574–1581.
41. URL: <https://www.haynesford.co.uk/Tech-Ford-driver-alert> (accessed: 17.12.2019).
42. URL: <https://www.volvocars.com/ru/support/manuals/s60/2017-early/podderzhka-voditelya/driver-alert-system/driver-alert-control-dac> (accessed: 17.12.2019).
43. URL: <https://www.mercedes-benz.ru/passenger-cars/mercedes-benz-cars/models/gla/gla-suv/explore.pi.html/mercedes-benz-cars/models/gla/gla-suv/explore/intelligent-technologies/attention-assist> (accessed: 17.12.2019).
44. URL: <https://www.mercedes-benz.com/en/vehicles/international-corporate-sales/safety/> (accessed: 17.12.2019).
45. URL: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/driver-assistance-systems/driver-drowsiness-detection/> (accessed: 18.12.2019).
46. URL: <https://www.landrover.ru/explore-land-rover/news/jlr-driver-attention-monitoring-system.html> (accessed: 18.12.2019).
47. URL: <http://dunobil.ru/insomnia> (accessed: 18.12.2019).

## OVERVIEW OF APPROACHES TO DRIVER FATIGUE RECOGNITION AND EXISTING TECHNICAL SOLUTIONS

Ya.D. Saprykin, DSc in Engineering V.I. Ryazantsev, PhD in Engineering A.A. Smirnov  
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia  
yds@live.ru

*The article analyzes the existing methods for determining the driver's condition. Driving in a state of fatigue, according to various statistics, is the cause of a large number of road traffic accidents (RTA). The percentage of accidents in Russia associated with the driver falling asleep while driving in 2018 is about 20%, in the USA the number of accidents for the same reason reaches 100,000 per year. The aim of the work is to review existing approaches to recognizing driver fatigue and existing technical solutions in this area. The article discusses such approaches as fatigue recognition based on the physiological state of the driver, recognition based on the driver's behavior, namely his speech and visual signs while driving, fatigue determination based on the nature of the vehicle's movement on the road and based on the driver's actions on the controls, the approaches based on the subjective assessment of the driver's condition. The advantages and disadvantages of each of the approaches were analyzed. The paper also provides an overview of existing fatigue recognition systems from various manufacturers that are currently used on vehicles and are designed to warn the driver of impending fatigue. It was revealed that in modern conditions of road transport operation, the most optimal approaches to fatigue recognition are based on an assessment of the driver's impact on the steering wheel, visual signs of driver fatigue and the nature of the vehicle's movement on the road, therefore, it is proposed to further focus on these methods.*

**Keywords:** driver fatigue, vehicle safety, fatigue recognition method.

**Cite as:** Saprykin Ya.D., Ryazantsev V.I., Smirnov A.A. Overview of approaches to driver fatigue recognition and existing technical solutions. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2020. No 3 (45), pp. 48–58 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2020-45-3-48-58.