

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет  
информационных технологий, механики и оптики

На правах рукописи



**Лашков Игорь Борисович**

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ  
СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА  
ОСНОВЕ МОНИТОРИНГА ВОДИТЕЛЯ**

**Специальность 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных  
машин, комплексов и компьютерных сетей**

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Научный руководитель**  
Парфенов Владимир Глебович,  
доктор технических наук,  
профессор

Санкт-Петербург – 2018

## Оглавление

Введение .....	4
Глава 1. Системы активной безопасности мониторинга поведения водителя и дорожной обстановки.....	14
1.1 Понятие системы активной безопасности.....	14
1.2 Анализ существующих проектов и исследований по разработке систем обеспечения безопасности и поддержки водителей.....	18
1.3 Технические устройства и программные алгоритмы, применяемые в разработке систем активной безопасности водителя .....	45
1.4 Основные сценарии использования систем активной безопасности мониторинга поведения водителя и дорожной обстановки .....	52
1.5 Требования к построению распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций на основе мониторинга водителя .....	53
1.6 Выводы по главе 1 .....	59
Глава 2. Подход и модели к построению контекстно-ориентированной системы предупреждения аварийных ситуаций на основе мониторинга поведения водителя .....	62
2.1 Принципы построения системы предупреждения аварийных ситуаций при вождении на основе обзора существующих проектов и исследований.....	62
2.2 Контекстно-ориентированный подход к созданию распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций .....	65
2.3 Информационная модель профиля водителя транспортного средства.....	70
2.4 Онтологическая модель распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций .....	73
2.5 Сценарная модель распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций и выработки контекстно-ориентированных рекомендаций для водителя транспортного средства .....	82
2.6 Эталонная модель облачного сервиса, осуществляющего хранение, анализ и обработку пользовательской информации.....	88
2.7 Выводы по главе 2 .....	91
Глава 3. Архитектура и алгоритмы системы предупреждения аварийных ситуаций на основе мониторинга поведения водителя .....	93
3.1 Архитектура системы предупреждения аварийных ситуаций.....	93
3.2 Алгоритм распознавания опасного состояния в поведении водителя при управлении транспортным средством.....	98
3.3 Алгоритмы генерации рекомендаций водителю транспортного средства при выявлении опасного состояния.....	106
3.4 Алгоритм калибровки системы на основе данных с камеры, сенсоров и настроек смартфона водителя .....	109
3.5 Алгоритм персонализации системы индивидуально для водителя на основе статистических данных.....	113
3.6 Выводы по главе 3 .....	119
Глава 4. Разработка программного комплекса для предупреждения аварийных ситуаций водителя с использованием камеры и сенсоров смартфона.....	121

4.1	Реализация алгоритма распознавания опасных состояний в поведении водителя	121
4.2	Модуль калибровки системы предупреждения аварийных ситуаций индивидуально для водителя	125
4.3	Модуль формирования рекомендаций водителю транспортного средства при наступлении аварийной ситуации	127
4.4	Реализация облачного сервиса анализа профилей водителей	128
4.5	Развертывание программного комплекса системы предупреждения аварийных ситуаций	128
4.6	Реализация прототипа мобильного программного комплекса предупреждения аварийных ситуаций	130
4.7	Анализ статистических данных использования водителями распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций на основе мониторинга поведения	134
4.8	Апробация системы предупреждения аварийных ситуаций в учебных и научно-исследовательских целях	138
4.9	Выводы по главе 4	139
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	140
	Словарь терминов	143
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	144
	Приложение А. Свидетельство о регистрации	155

## Введение

**Актуальность темы.** Дорожно-транспортные происшествия (далее ДТП) приносят значительный социально-экономический ущерб, затрагивая здоровье и жизнь людей во всем мире. В последние годы ущерб от ДТП превышает ущерб от всех иных транспортных происшествий (самолетов, кораблей, поездов, и т. п.) вместе взятых [1]. Дорожно-транспортные происшествия являются одной из серьезных угроз здоровью и жизни людей во всем мире. Проблема усугубляется и тем, что пострадавшие в авариях – как правило, молодые и здоровые (до аварии) люди. По данным Всемирной организации здравоохранения [6], ежегодно в мире в результате ДТП погибает около 1,25 млн человек и до 50 млн получают не смертельные травмы. Более 27000 погибает на российских дорогах, и более 40000 на дорогах США, в пересчёте на количество автомобилей эти цифры означают в год 70 погибших в ДТП на территории России или 15 погибших в США на каждые 100 000 автомобилей [2]. По статистическим оценкам, с начала XX века на дорогах США погибли в ДТП более 3.5 миллионов человек, что превышает все потери США (650 000) во всех военных конфликтах (с 1774 года) [3].

Согласно статистике ДТП по г. Санкт-Петербург с января по декабрь 2017 г. (таблица 1), несмотря на уменьшение большинства показателей аварийности в сравнение с аналогичным периодом прошлого года (АППГ), абсолютные цифры дорожных происшествий остаются высокими.

Таблица 1 – Статистика по видам ДТП в г. Санкт-Петербург за 2017 г.

Наименование показателя	№	г. Санкт-Петербург					
		ДТП	± % АППГ	погибло	± % АППГ	ранено	± % АППГ
<b>ДТП и пострадавшие, всего</b>	<b>1</b>	<b>169 432</b>	<b>-2,5</b>	<b>19088</b>	<b>-6,0</b>	<b>215374</b>	<b>-2,6</b>
столкновения ТС	2	70736	-2,6	8107	-6,4	109040	-2,5
наезд на стоящее ТС	4	5021	-4,6	602	-4,1	6756	-6,2
наезд на пешехода	5	51859	-0,3	5666	-2,4	48932	-0,2
наезд на препятствие	6	10835	-4,1	1481	-10,1	14008	-3,4
иные виды происшествий	7	30981	-2,0	3232	-3,3	36638	-2,9

Количество ДТП, вызванных состоянием усталости или ослабленного внимания [4] водителя за рулём транспортного средства (далее ТС), с каждым годом растет и приводит к травматизму среди населения во всем мире. Многие водители за рулем автомобиля испытывают чувство усталости или ослабленного внимания, и они даже не подозревают о том, что находятся в таком состоянии. Согласно отчету организации National Highway

Traffic Safety Administration до девяти процентов ДТП вызвано усталостью водителей за рулем транспортного средства [5]. Согласно исследованию [9] организации AAA Foundation for Traffic Safety, посвященному анализу поведения водителя при вождении в полусонном состоянии, недлительный сон в два раза увеличивает риск аварии по сравнению с теми, кто спал рекомендуемые семь и больше часов. Вероятность попадания в ДТП водителей, у которых сон длится менее четырех часов, увеличивается в 11,5 раза; от четырех до пяти часов – увеличивается в 4,3 раза; от пяти до шести часов – в 1,9 раза; от шести до семи часов – в 1,3 раза. Исследование показало, что недостаток сна и как следствие замедление скорости реакции и состояние сонливости может быть настолько же опасно, как и состояние алкогольного опьянения — замедленная реакция и снижение концентрации внимания.

В качестве решения данной проблемы научным сообществом был предложен подход к разработке систем активной безопасности (САБ), направленных на предотвращение аварийных ситуаций на основе мониторинга поведения водителя ТС и своевременного оповещения водителя о текущей ситуации за счет генерации ему контекстно-ориентированных рекомендаций. Первые исследования ученых по разработке систем мониторинга окружающей обстановки и предупреждения водителя датируются 1992 годом [10]. Мониторинг опасного поведения [11] за рулем может помочь обратить внимание водителя на стиль своего вождения и связанные с этим риски, тем самым снизить процент неосторожного вождения и улучшить навыки безопасного поведения на дороге.

На сегодняшний день почти каждый новый автомобиль, поставляемый с завода изготовителя, комплектуется в той или иной мере средствами пассивной (например, ремни безопасности, подушки безопасности, т.д.) и активной (например, антиблокировочная система, система курсовой устойчивости, система контроля рядности движения и т.д.) безопасности [12, 13, 14, 15]. Если пассивные системы безопасности срабатывают уже после наступления дорожно-транспортного происшествия, то активные вступают в действие заранее и пытаются предотвратить или избежать столкновения. Рассматриваемые далее системы безопасности будут относиться к категории систем активной безопасности. По форме представления все системы безопасности слежения за состоянием водителя и дорожной обстановки можно разделить на современные системы содействия водителю (СССВ), мобильные системы генерации рекомендаций (МСГР), видеокамеры, устанавливаемые внутри транспортных средств (ТС) (автомобильные видеорегистраторы, отдельные устройства видеонаблюдения, направленные на водителя или дорогу) и устройства носимой электроники (рисунок 1).

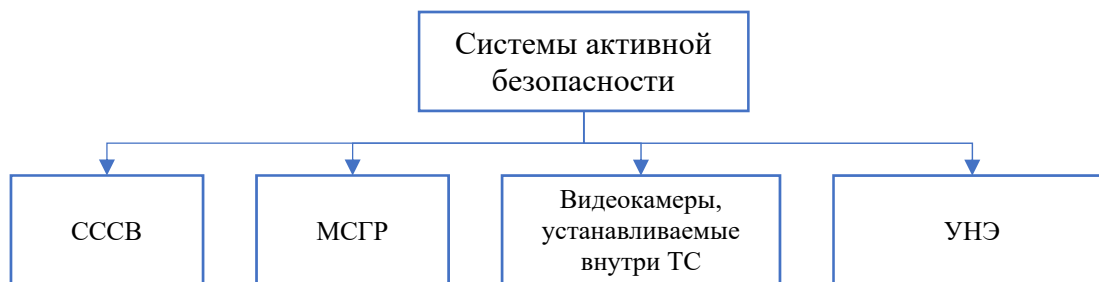


Рисунок 1 – Классификация систем активной безопасности для водителя

СССВ является классом систем, существующих в виде аппаратно-программных комплексов (камеры, сенсоры, датчики, чипы и т.д.) и нацеленных на оказание помощи водителю с целью предотвращения ДТП или смягчения их последствий. Данные системы устанавливаются в автомобили преимущественно на заводах автопроизводителей. Предупреждающие сигналы высокой приоритетности подаются этими системами для стимулирования бдительности и своевременных и надлежащих действий водителя в ситуациях, когда может иметь место или непосредственно существует опасность возникновения серьезных повреждений или гибели людей. К технологиям, составляющим СССРВ системы, можно отнести такие как система удержания автомобиля в полосе движения, система предупреждения о превышении скоростного режима или система мониторинга слепых зон. Несмотря на многообразие интегрируемых СССРВ решений на автомобильном рынке, высокое качество и скорость их работы, можно выделить существенные недостатки интегрируемых СССРВ систем: стоимость таких систем остается достаточно высокой; доступны в основном только в виде дополнительной опции для дорогих и эксклюзивных автомобилей.

Учитывая статистику [16], согласно которой количество пользователей смартфонов превысит отметку в 5 млрд к 2019 г. и доклад от аналитической компании International Data Corporation (IDC) [17], отмечающий устойчивый потребительский спрос на смартфоны на территории России, можно судить о широкой распространенности и доступности мобильных устройств (смартфонов) среди людей во всем мире. МСГР является категорией систем безопасности водителя, которая разрабатывается на основе программных решений в виде мобильных приложений и в дальнейшем устанавливается на смартфон из магазина приложений (Google Play [18] для Android устройств / Apple App Store [19] для iOS устройств). Одним из наиболее популярных мобильных приложений в сфере систем активной безопасности является решение iOnRoad [20]. Приложение задействует встроенную камеру, GPS и сенсоры для обнаружения впереди идущих автомобилей и предупреждения водителя в случае наступления опасности. Данная система фиксирует объекты впереди водителя в реальном времени, вычисляя текущую скорость с помощью сенсоров. При надвигающейся опасности всплывает звуковое и графическое

предупреждение о возможности столкновения, позволяя водителю вовремя затормозить. Стоит отметить, что мобильные приложения имеют ряд недостатков. Главным из них является то, что мобильные приложения не могут вмешиваться в процесс управления ТС и тем самым быстрее реагировать на аварийные ситуации, случающиеся во время движения. Другим недостатком такого рода решений является то, что точность распознавания опасных состояний заметно ниже по сравнению с СССВ.

В сравнение с системами СССВ автомобильные видеорегистраторы, устройства видеонаблюдения и устройства носимой электроники являются более доступным вариантом использования систем активной безопасности. В первом случае внутренние видеокамеры задействуют процессор и камеру для слежения только за обстановкой впереди транспортного средства, реализуя такие функции как, например, контроль схода с полосы движения. В этом случае, камера самостоятельно контролирует дорожную разметку и воспроизводит звуковой сигнал, если автомобиль пересекает разметку. Так, например, некоторые модели видеорегистраторов от компании Garmin [21] осуществляют не только видеозапись дорожной обстановки, но и контроль за безопасностью передвижения ТС, включающие в себя функции предупреждения о выезде за пределы полосы движения или о небезопасном сближении с впередиидущим ТС. Обзор средств носимой электроники показал, что данная категория устройств направлена на кабину ТС и осуществляет мониторинг за поведением водителя. Снимая электромиограмму и электроэнцефалограмму водителя в режиме реального времени или фиксируя изменение кожно-гальванической реакции (КГР) [22], устройства носимой электроники измеряют степень сонливости водителя, заблаговременно предупреждая его при помощи звукового и вибросигнала. Одним из примеров таких устройств является наручный браслет со встроенным датчиком, производимый компанией Нейроком [23] для поддержания работоспособности водителя путем обнаружения наступления его состояния сонливости по результатам измерений КГР и заблаговременного оповещения о приближении к потенциально опасной ситуации.

Технологии повышения активной безопасности получили широкое распространение в виде интегрируемых программно-аппаратных систем повышения безопасности водителя в автотранспортных средствах. Несмотря на то, что СССВ системы позволяют добиться высокой точности, полноты и скорости распознавания небезопасных дорожных ситуаций за счет использования многокамерных систем вместе с радарными и лазерными дальномерами, такие системы остаются недоступны для большого количества ТС, а их стоимость является высокой в сравнение с МСГР, видеорегистраторами и устройствами носимой электроники. Использование алгоритмов персонализации поведения и стиля вождения того или иного водителя на основе статистики управления ТС с использованием удаленного сервиса позволит расширить возможности МСГР и разработать

распределенную систему предупреждения аварийных ситуаций (далее РСПАС), учитывающую информацию о профиле водителя, ТС, текущий контекст, предыдущий опыт использования системы и статистику взаимодействия между остальными участниками и системой, что в свою очередь отличает данное решение от существующих видеорегистраторов и устройств носимой электроники. Среди возможных вариантов интеграции данной системы можно выделить бортовую систему автомобиля и мобильное приложение на смартфоне. Стоит отметить, что встраивание системы РСПАС в бортовую систему ТС на этапе производства является дорогостоящим и длительным процессом, затрагивающим поставщиков автомобильных комплектующих, а иногда это попросту недоступно ввиду ряда ограничений автопроизводителей.

Таким образом, разработка системы мониторинга поведения водителя, выполняющей определение опасного состояния водителя в кабине ТС и его предупреждение о возможности возникновения аварийной ситуации за счет генерации контекстно-ориентированных рекомендаций с использованием смартфона, является актуальной и востребованной задачей.

**Степень разработанности темы.** Первые научные исследования по разработке систем мониторинга и предупреждения водителя датируются началом 90-х годов, включая работы зарубежных ученых: Р. Онкен, М. Копф, С. Лаугиер, а также российских ученых: Розенберг Е.Н., Лисенков В.М., Шалягин Д.В., Савченко В.В., Дементенко В.В. Развитию методологических основ создания систем активной безопасности, направленных на предотвращение дорожно-транспортных происшествий, анализирующих поведение водителя, послужили труды российских и зарубежных ученых: Покровский Ю.Ю., Ремнев К.С., Рябчинский А.И., Кисуленко Б.В., Юрген Р.К., Вирвилле В.В., В. Энкельман, В. Генгенбах, М. Пальмер, В. Толле, А. Алоум, А. Чарара, М. Ромбаут. Вопросы компьютерной обработки изображений рассмотрены в работах ученых: Д.Ф. Дингес, Р. Грейс, Фурсов В.А., Бибиков С.А., Якимов П.Ю., Сойфер В.А., Арлазаров В.Л., Александров В.В. Вклад в развитие теории управления знаниями внесли русские ученые: Гаврилова Т.А., Смирнов А.В., Городецкий В.И., Хорошевский В.Ф., Ефименко И.В., Кудрявцев Д.В., Григорьев Л.Ю., Смирнов С.В. Также заделом для диссертационного исследования послужили работы Парфенова В.Г., Шальито А.А., Гешпенера В.В.

**Целью диссертационной работы** является повышение эффективности системы мониторинга поведения водителя за счет разработки моделей и алгоритмов предупреждения аварийных ситуаций в кабине транспортного средства и генерации контекстно-ориентированных рекомендаций с использованием фронтальной камеры и сенсоров смартфона.



Для достижения поставленной цели в работе предлагается решение следующих **задач**:

1. Анализ результатов исследований в области систем активной безопасности на основе мониторинга поведения водителя и формулировка основных требований к ним, а также принципов их построения.
2. Разработка контекстно-ориентированного подхода к построению распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций на основе мониторинга водителя, учитывающего текущий контекст о водителе и транспортном средстве.
3. Разработка информационной модели профиля водителя, онтологической и сценарной модели распределенной системы предупреждения аварийных ситуациях, учитывающие сформулированные требования и принципы ее построения.
4. Разработка алгоритмов распознавания опасных состояний усталости и ослабленного внимания водителя во время движения транспортного средства и генерации ему персонализированных рекомендаций на основе информации с фронтальной камеры и сенсоров смартфона о текущей ситуации, в которой находится водитель и транспортное средство и алгоритма группирования водителей и формирования их поведенческих паттернов со схожим стилем вождения и поведением на дороге с целью персонализации их взаимодействия с системой предупреждения аварийных ситуаций водителя транспортного средства.
5. Апробация предложенных моделей и алгоритмов путем создания прототипа программного комплекса для распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций на основе мониторинга водителя транспортного средства во время движения.

**Научная новизна** диссертационной работы состоит в следующем:

1. Разработан контекстно-ориентированный подход к созданию распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций для генерации рекомендаций водителю транспортного средства, ориентированных на привлечение внимания водителя и принятие им мер для предотвращения наступления аварийной ситуации на дороге общего пользования, с использованием фронтальной камеры и сенсоров смартфона, отличающийся возможностью обучения в процессе ее использования за счет анализа и кластеризации профилей водителей и выделения их паттернов поведения в кабине транспортного средства.
2. Предложены онтологическая модель распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций, информационная модель профиля водителя и сценарная модель распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций, ориентированные на накопление, анализ и классификацию статической и динамической информации в кабине транспортного средства и описывающие варианты использования

системы, отличающиеся возможностью генерации контекстно-ориентированных персонализированных рекомендаций, а также мониторинга и анализа поездок водителей.

3. Предложена архитектура распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций водителю транспортного средства при помощи смартфона, отличающаяся использованием облачного сервиса для накопления и анализа статистики использования программного комплекса и информации о водителях, а также группирования водителей на основе их стиля вождения.

4. Разработаны алгоритмы распознавания опасных состояний в поведении водителя транспортного средства и генерации ему персонализированных рекомендаций, отличающиеся использованием контекстной информации и персонализацией взаимодействия водителя с распределенной системой предупреждения аварийных ситуаций.

5. Разработан программный комплекс для предупреждения аварийных ситуаций при движении транспортного средства с использованием смартфона, ориентированный на повышение безопасности водителя в кабине транспортного средства и отличающийся генерацией персонализированных контекстно-ориентированных рекомендаций, а также доступностью для рядового водителя за счет широкой распространенности смартфонов.

**Практическая ценность работы.** Предложенный в диссертационной работе подход, объединяющий модели и алгоритмы, к разработке сервис-ориентированной распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций водителя описывает отдельный класс систем для транспортных средств. Внедрение подобного класса систем позволит разработать программный комплекс, ориентированный на использование в различных транспортных средствах (например, автомобиль, велосипед, гироскутер) и обладающий возможностью адаптироваться к стилю вождения водителя с учетом его особенностей управления транспортным средством и генерации контекстно-ориентированных рекомендаций в режиме реального времени.

**Методология и методы исследования.** Методология диссертационного исследования основана на постановке и формализации целей и задач, разработке моделей, алгоритмических методов, экспериментальной оценке при помощи экспериментов, тестировании, апробации и анализе результатов. Для решения поставленных задач в работе использовались методы разработки информационных систем для поддержки процессов сбора информации, анализа, проектирования и реализации таких систем, теории алгоритмов для эффективной формулировки подзадач и оценки сложности алгоритмов, управления онтологиями для представления знаний о водителях, транспортном средстве и окружающей обстановке, теории машинного обучения для анализа поведения водителей, формирования рекомендаций водителю для принятия им мер по предотвращению

наступления аварийной ситуации и повышению навыков вождения, а также методы разработки программного обеспечения для реализации распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Контекстно-ориентированный подход к созданию распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций при управлении транспортным средством на основе сенсоров смартфона, установленного на лобовом стекле, обеспечивает распознавание опасных состояний и своевременное предупреждение о них водителя.

2. Информационная модель профиля водителя транспортного средства, онтологическая и сценарная модели распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций обеспечивают персонафикацию взаимодействия водителя с системой, позволяют формализовать информацию о нем, транспортном средстве и опасных состояниях, а также описать взаимодействие между участниками и системой на основе отдельных сценариев использования программного комплекса водителями транспортных средств, администраторами корпоративных автопарков и представителями страховых компаний, соответственно.

3. Сервис-ориентированная архитектура распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций, спроектированная на основе предложенного подхода и моделей, поддерживает предупреждение водителя об аварийных ситуациях при управлении транспортным средством, а также мониторинг статистики поездок и формирование отчетов для администраторов автопарков и представителей страховых компаний на основе использования технологий облачных вычислений.

4. Алгоритмы распознавания опасных состояний в поведении водителя, персонализации его взаимодействия с распределенной системой предупреждения аварийных ситуаций и выработки ему персонализированных рекомендаций на основе контекстной информации с сенсоров смартфона обеспечивают своевременную генерацию контекстно-ориентированных персонализированных рекомендаций водителю транспортного средства.

5. Программный комплекс распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций обеспечивает возможность апробации предложенных подходов, моделей, архитектуры и алгоритмов, а также оценки их эффективности.

**Степень достоверности.** Достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается глубоким анализом исследований и подходов к разработке систем активной безопасности, корректным обоснованием постановок задач, точной формулировкой принципов построения системы, а также успешной апробацией результатов на российских и международных конференциях.

**Апробация результатов работы.** Результаты диссертационного исследования представлялись на международных и всероссийских научных конференциях: международная конференция ассоциации открытых инноваций FRUCT: FRUCT 17,18,20 (Россия, 2015, 2016, 2017), FRUCT 19,21,22 (Финляндия, 2016, 2017,2018), международная конференция «Knowledge Engineering and Semantic Web (KESW)» (Россия, Москва, 2015), 2-ая международная конференция «Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems VENITS» (Италия, Рим, 2016), международная конференция «Speech And Computer» SPECOM (Венгрия, Будапешт, 2016), IV (2015), V (2016) и VII (2018) «Всероссийский конгресс молодых ученых» (Россия, Санкт-Петербург).

Исследования, отраженные в диссертационной работе, проведены в рамках НИР: грантов РФФИ № 17-29-03284 «Разработка моделей предупреждения аварийных ситуаций транспортных средств на основе мобильных видеоизмерений поведения водителя в кабине» (2017-2019 гг.); № 15-07-08092 «Разработка теоретических и технологических основ построения проактивных рекомендующих систем для инфомобильных приложений» (2015-2017 гг.). Работа также выполнена при государственной финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации (субсидия 074-U01 2014-2017).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 15 печатных работ, среди которых 2 работы в журналах из списка ВАК и 8 работ в международных изданиях, индексируемых в реферативных базах Web of Science и Scopus; получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Мобильный сервис для предотвращения аварийных ситуаций и генерации рекомендаций водителю транспортного средства во время движения с использованием фронтальной камеры и сенсоров смартфона (Drive Safely)» // Смирнов А.В., Кашевник А.М., Лашков И.Б., № 2017614256 от 10 апреля 2017.

**Структура и объем работы.** Диссертация объемом 155 машинописных страниц, содержит введение, четыре главы и заключение, список литературы (154 наименования), 10 таблиц, 34 рисунка и одно приложение.

**В первой главе** диссертации приведен анализ существующих технологий, устройств и систем активной безопасности водителя транспортного средства, ориентированных на заблаговременное предупреждение и предотвращение дорожно-транспортных происшествий. Представлены подходы к построению подобных систем, разделенных на четыре основных класса, включая современные системы содействия водителю, мобильные системы генерации рекомендаций, внутренние камеры видеонаблюдения и устройства носимой электроники. Приводятся возможности, преимущества и недостатки, ограничения каждого класса систем активной безопасности. На основе особенностей построения существующих решений формулируются требования

к построению отдельного класса систем, распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций.

**Вторая глава** посвящена постановке основных принципов построения системы предупреждения аварийных ситуаций на основе предложенных контекстно-ориентированного подхода, обеспечивающего накопление и анализ информации о водителе, контекст, его компетенции и историю взаимодействия с системой; информационной модели профиля водителя, описывающая все сведения о водителе; онтологической модели, позволяющей сопоставить опасные состояния, водителя, транспортное средство и смартфон; сценарной модели, описывающей взаимодействие участников РСПАС и модели облачного сервиса, обеспечивающего анализ входных данных и персонализацию индивидуально для водителя.

**В третьей главе** представлены теоретические результаты исследования. Предложена сервис-ориентированная архитектура программного комплекса системы РСПАС, построенная на основе моделей и алгоритмов, разработанных с целью распознавания опасных состояний в поведении водителя и генерации контекстно-ориентированных рекомендаций, поддерживающие сценарии применения системы РСПАС. Предложен алгоритм персонализации к стилю вождения, определяющий группы схожих водителей и группы задач, которые могут выполнены данными водителями.

**Четвертая глава** посвящена программной реализации прототипа мобильного приложения, объединяющего предложенные модели и алгоритмы и позволяющего снизить вероятность возникновения аварийной ситуации в процессе движения, а также оценить и улучшить навыки управления ТС за счет генерации контекстно-ориентированных рекомендаций. Приведено экспериментальное исследование данной реализации. Отмечены направления для дальнейшего исследования.

# Глава 1. Системы активной безопасности мониторинга поведения водителя и дорожной обстановки

## 1.1 Понятие системы активной безопасности

Безопасность дорожного движения определяется не только дорожными условиями, техническим состоянием транспортных средств и соблюдением правил дорожного движения, но также навыками, физическим состоянием, способностью концентрироваться и соблюдением мер безопасности водителями [24].

Мировыми производителями легковых и грузовых автомобилей разрабатывается отдельный класс современных систем слежения за состоянием водителя и дорожной обстановкой [25] как СССВ, представляющий собой аппаратно-программные комплексы и способный повысить уровень безопасности дорожного движения на дорогах общего пользования. Автомобили, оснащенные СССВ системами, являются промежуточным звеном между обычными автомобилями, управляемыми водителем и автотранспортом, оборудованным системой автоматического управления. Функции СССВ систем можно классифицировать следующим образом:

- адаптивные системы, изменяющиеся (адаптирующиеся) на основе входных данных от внешней среды;
- автоматизированные системы, выполняющие функции, которые водитель не может выполнять безопасно;
- мониторинговые системы, использующие в своей работе датчики, камеры и другие средства для наблюдения за пространством вокруг автомобиля и принимающие решение, нужно ли вмешательство в управление транспортным средством;
- предупреждающие системы, уведомляющие водителя о потенциальных аварийных ситуациях во время управления автомобилем.

При высокоприоритетном предупреждении водителя схема работы системы активной безопасности в общем случае может быть описана следующей последовательностью команд «восприятие – реагирование»: выявление возможности столкновения ТС, система выводит информацию о возможном столкновении при отсутствии надлежащей реакции у водителя ТС, оповещение об аварийной ситуации при помощи предупредительного сигнала и выработка рекомендации по предотвращению наступления ДТП, привлечение внимания водителя, осознание (идентификация) водителем происходящей аварийной ситуации, выбор решения, реагирование и принятие водителем мер по предотвращению ДТП.

Можно выделить наиболее встречающиеся технологии, составляющие современные системы помощи водителю:

- технология контроля слепых зон (СКЗ);
- технология предупреждения о сходе с полосы (СПСП), вычисляющая время до пересечения разметки и предупреждающая водителя в случае обнаружения ухода;
- технология обнаружения пешеходов и велосипедистов (СОПВ);
- технология распознавания дорожных знаков (СРДЗ);
- технология предупреждения о фронтальном столкновении и смягчении последствий аварии (СПФС);
- технология контроля соблюдения безопасной дистанции (СКСБД).

Данные системы призваны заблаговременно помочь водителям автотранспортных средств предотвратить наступление дорожно-транспортного происшествия или смягчить его последствия. Согласно прогнозу McKinsey Global Institute [26] среднегодовые темпы роста рынка систем помощи водителю до 2020 года могут составить более 11 миллиардов долларов США. В том числе автоматизированные системы помощи водителю нашли применение на рельсовом транспорте, позволяющие непрерывно отслеживать работоспособность машиниста поезда во время движения в разное время суток.

Среди систем безопасности, устанавливаемых на рельсовом транспорте, активно применяется система мониторинга состояния машиниста и экстренного торможения [7], ориентированная на повышение безопасности движения и улучшение условий вождения поездов. Так, например, на линиях метрополитена г. Санкт-Петербург используется система контроля бдительности машиниста «Штурман» [27], анализирующая информацию о сердечном ритме, пульсе, давлении и других параметрах машиниста, поступающую с датчиков, встроенных в специальную гарнитуру, во время движения.

При использовании системы автоматической локомотивной сигнализации на железнодорожном транспорте, передающей показания путевых светофоров при приближении к ним поезда на локомотивный светофор в кабине машиниста, применяется устройство контроля бдительности машиниста, устанавливаемое в кабине поезда. Данное устройство осуществляет периодическую проверку бдительности машиниста, остановку поезда при самопроизвольном начале движения после приведения в действия автостопа и не подтверждения машинистом бдительности или превышения скорости 5-10 км/ч при нейтральном положении реверсивной рукоятки. Во время движения поезда при зеленом или при белом огне локомотивного светофора через две минуты загораются лампы предварительной световой сигнализации, после чего машинист должен подтвердить свою бдительность кратковременным нажатием на рукоятку бдительности. Если машинист отвлекся и не нажал на рукоятку, то через 6-8 секунд раздается предупредительный

звуковой сигнал клапана автостопа, при котором также требуется нажать на рукоятку бдительности. После пропуска машинистом светового сигнала при желтом, белом, красном и зеленом огнях локомотивного светофора следующая проверка состоится через уменьшенный интервал (20-25 сек.). При повторном пропуске светового сигнала для предупреждения автостопного торможения машинисту необходимо нажать кнопку бдительности «Пропуск». В случае отсутствия подтверждения машинистом бдительности своевременным нажатием рукоятки бдительности произойдет экстренное торможение поезда. На сегодняшний день в локомотивах встраиваются системы контроля бодрствования машиниста, выполняющие непрерывный контроль работоспособности машиниста по электрическому сопротивлению кожи запястью руки.

В настоящий момент проводится достаточно много исследований в области компьютерного зрения (например, [28, 29, 30, 31, 32]). В СССР системах невербальное выражение водителем транспортного средства (ТС) внутреннего состояния анализируется при помощи видеокамеры за счет наблюдения за его головой и лицом, которые предоставляют достаточно точные характеристики, по которым можно определить физиологические особенности водителя. Так, например, управление автомобилем требует от водителя полной сосредоточенности внимания, хорошей реакции и адекватного восприятия дорожной обстановки. Существует большое количество отвлекающих внимание водителя факторов, таких как телефонные звонки, SMS сообщения, мультимедиа и навигационные системы. В случае, если водитель отвлекается от дорожной ситуации во время того, как ТС находится в движении СССР система проинформирует водителя о наступлении опасной ситуации и существующем риске возникновения дорожно-транспортного происшествия. В этом случае у водителя появляется время для совершения необходимого маневра для избегания дорожно-транспортного происшествия.

Технологии, составляющие системы повышения безопасности водителя, можно условно разделить по виду контекста на те, которые осуществляют мониторинг окружающей обстановки (дорожной обстановки) и те, которые направлены на слежение за поведением водителя внутри кабины ТС. В качестве контекста используется любая информация, которая является релевантной при описании ситуации, в которой находится некоторый объект (водитель, ТС) в определенный момент времени. Упрощенная схема системы активной безопасности водителя, интегрированной в автомобиль, представлена на рисунке 2. В качестве наглядного представления на рисунке пунктирными линиями выделена система РСПАС, использующая в своей работе контекст внутри кабины ТС.



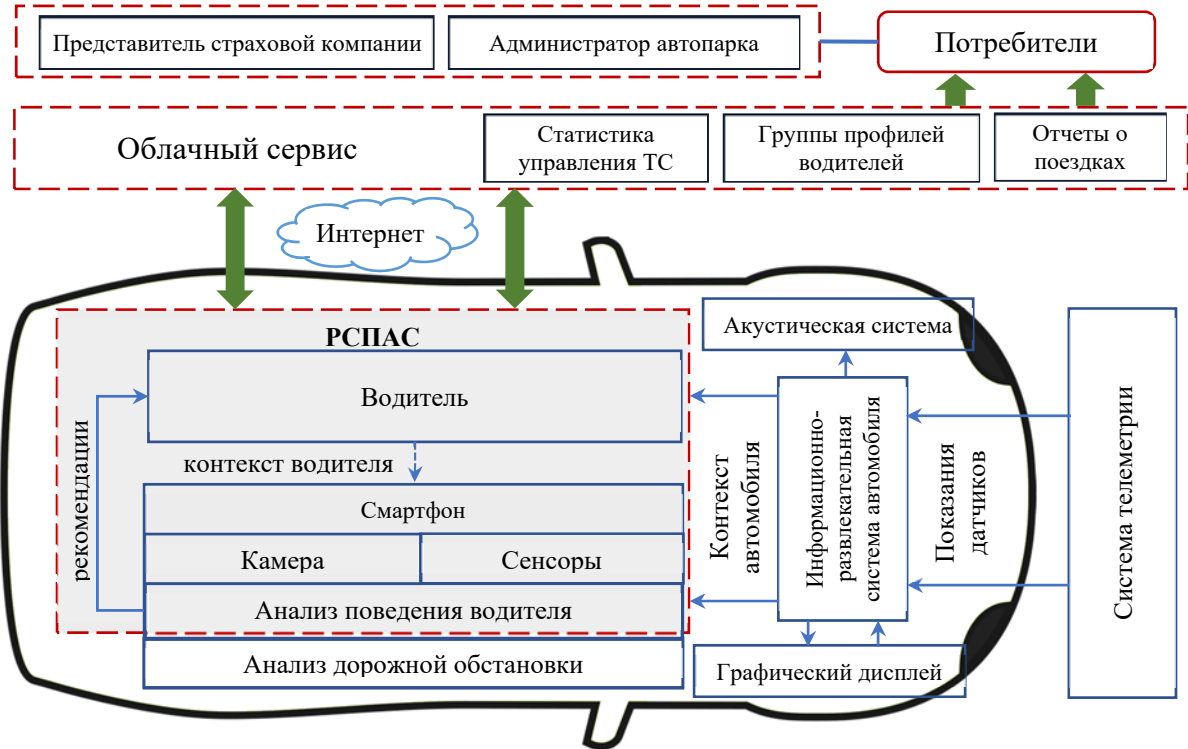


Рисунок 2 – Общая схема применения системы активной безопасности в автомобиле

Как правило, САБ автомобиля с интегрированной системой РСПАС состоит из следующих компонентов:

- система телеметрии, предоставляющая показания с встроенных в автомобиль видеокамер, датчиков, сенсоров. Датчики и сенсоры, встроенные в смартфоны, могут быть задействованы для обеспечения информацией о текущей поездке. Так, например, GPS приемник определяет географические координаты, скорость передвижения и ускорение автомобиля.
- информационно-развлекательная система ТС, одной из основных целей которой является отображение актуальной информации (например, навигационная карта, направление маршрута следования, ограничение скорости движения на текущем участке движения, т.д.) о поездке в процессе движения на встроенном в автомобиль графическом дисплее, звуковое оповещение водителя при помощи акустической системы автомобиля об изменениях на построенном ранее маршруте следования (информация об интенсивности движения транспортных потоков, меняющиеся погодные условия, т.д.), входящих телефонных звонках или сообщениях, небезопасных дорожных ситуациях в процессе управления ТС и речевой ввод голосовых команд (управление сгенерированными рекомендациями, входящими телефонными вызовами, текстовыми сообщениями, т.д.), реагирующий на звуковые сигналы внутри кабины автомобиля, для более удобного и безопасного взаимодействия с данной мультимедийной системой.
- разрабатываемая система РСПАС, осуществляющая обработку и анализ данных о водителе и рулевом управлении транспортным средством, получаемых от

фронтальной камеры и сенсоров (акселерометр, гироскоп, магнитометр, т.д.) смартфона и информации от информационно-развлекательной системы при помощи программных интерфейсов и алгоритмов, непрерывно выполняет мониторинг опасного поведения водителя за рулем транспортного средства. В целях недопущения наступления аварийных дорожных ситуаций водителю генерируются рекомендации, которые могут быть выведены в качестве информационных или звуковых предупреждений через графический дисплей и акустическую систему информационно-развлекательной системы автомобиля, соответственно и главным образом предназначенные для принятия решений водителем в изменении поведения управления ТС.

Взаимодействие водителя с системой активной безопасности ТС и РСПАС, построенное с использованием перечисленных компонентов, представлено следующей последовательностью процессов. Непрерывно анализируя выходные показания с датчиков телеметрии автомобиля (встроенные в ТС видеокамеры, радары, лидары, лазеры, датчики, сенсоры), система активной безопасности осуществляет сбор информации и наблюдение за дорожной обстановкой (контекст автомобиля) и поведением водителя внутри кабины ТС (контекст водителя). В случае возникновения опасной ситуации в процессе движения система активной безопасности способна помочь водителю предотвратить ДТП или полностью принять управление транспортным средством на себя и сгенерировать соответствующие рекомендации водителю, оповестив его о мерах безопасности и предотвращения наступления аварийной ситуации через информационно-развлекательную систему ТС. основополагающим отличием разрабатываемой системы РСПАС от других типов систем активной безопасности является то, что такая система обеспечит слежение за поведением водителя в кабине автомобиля, непрерывно адаптируясь под его профиль и стиль вождения, тем самым проявляя высокую точность и качество работы, а также обеспечит информационное оповещение водителя о возможном наступлении аварийной ситуации посредством генерации персонализированных контекстно-ориентированных рекомендаций с использованием имеющихся сенсоров смартфона.

## **1.2 Анализ существующих проектов и исследований по разработке систем обеспечения безопасности и поддержки водителей**

Можно выделить четыре категории систем активной безопасности, среди которых системы СССВ, мобильные системы генерации рекомендаций (МСГР), видеокамеры, устанавливаемые внутри кабины транспортного средства и устройства носимой электроники. Рассмотрим подробнее каждый из этих типов систем:

- **Современные системы содействия водителю.** На текущий момент существует достаточно большое количество производителей, интегрируемых СССВ

систем, разрабатывающих интеллектуальные системы помощи водителю. Одной из ведущих компаний в области проектирования и разработки современных систем обеспечения безопасности и помощи водителю, является Mobileye [33]. Данная компания предоставляет аппаратно-программный комплекс помощи водителю, использующий данные с видекамеры и бортового компьютера (датчик скорости, сигналы поворота, датчик тормоза и др.) и встраиваемый в ТС некоторыми заводами изготовителями. При этом существует возможность покупки водителем видекамеры, устанавливаемой под лобовым стеклом автомобиля и интегрированным программным обеспечением. Технологии Mobileye позволяют подстраиваться индивидуально под стиль вождения и могут предупреждать водителя за промежуток времени от 2.7 до 0.6 сек. Примерами опасных ситуаций, определяемых такой системой, являются наезд на пешехода, несоблюдение дистанции до движущегося впереди ТС, непреднамеренный съезд с полосы движения, а также превышение разрешенной скорости движения на данном участке. По статистике компании Mobileye более 15 млн среди всех автомобилей в мире оборудованы данной автоматизированной системой помощи водителю.

Компания MOVON [34] является разработчиком CCCB систем в автомобильной промышленности, использующим в своей работе видекамеры. Система помощи водителю MOVON Driving Assistance System (MDAS) предназначена для предотвращения дорожно-транспортных происшествий, вызванных непреднамеренным перестроением в другую полосу движения или фронтальным столкновением. MDAS основывается на технологиях обработки изображений. Один из патентов, принадлежащих корпорации MOVON, среди решений по обеспечению безопасности водителей является «Метод и система предупреждения о съезде с полосы движения на основе распознавания изображений» [35], описывающий систему предупреждения водителя схода с полосы движения на основе обработки изображений при помощи монокамеры, установленной внутри автомобиля. Отличительной особенностью системы является то, что она успешно обрабатывает ряд дорожных условий, включая такие нежелательные ситуации, такие как изменяющаяся ширина дорожной полосы, радиус ее кривой, направление дороги и полное отсутствие дорожного покрытия.

Другой компанией, специализирующейся на системах помощи водителю, является Bosch Mobility Solutions [36], разрабатывающая решения для повышения безопасности пассажиров и других участников дорожного движения. Решения в области безопасности, предлагаемые Bosch, нацелены на предотвращение дорожно-транспортных происшествий, помощь при парковке и маневрировании, снижение тяжести последствий ДТП, а также современные системы безопасности, включающие тесно связанные системы и компоненты, модульные системы безопасности и их взаимодействие. В работе систем помощи водителю

компания Bosch использует интеллектуальные сенсорные технологии для непрерывного мониторинга и анализа не только окружающей обстановки вокруг автомобиля, но и поведения водителя для заблаговременного выявления потенциально аварийных ситуаций. Интеллектуальная мультисенсорная технология позволяет накапливать, обрабатывать и передавать набор измерений в компактном виде, включая такие параметры как давление, ускорение и температура. При наступлении опасного состояния СССВ система Bosch предупреждает водителя об опасности и осуществляют его активную поддержку, при необходимости вмешиваясь в управление автомобилем с целью предотвращения столкновения или смягчения последствий ДТП. Robert Bosch GmbH владеет рядом патентов на интеллектуальную собственность, затрагивающий современные системы помощи водителю. Одной из распространенных СССВ технологий является система удержания автомобиля в полосе движения (СУПД). СУПД способна соотносить положение линий разметки полосы и текущее расположение транспортного средства в выбранной полосе движения по отношению к точке центра полосы. В патенте «Ассистент смены полосы движения для транспортных средств» [37] представлена технология, помогающая водителю предотвратить случайное изменение выбранной полосы движения при обгоне другим транспортным средством в соседней полосе движения путем измерения оптимального безопасного временного промежутка, необходимого для перестроения в другую полосу движения. Задействуя сенсорную систему определения местонахождения транспортных средств в соседних полосах направленного движения сзади автомобиля, специализированный модуль принимает решение о том, движется ли транспортное средство, расположенное сзади, непосредственно на соседней полосе в таком же направлении.

TRW Automotive [38] является еще одним разработчиком в быстрорастущем сегменте современных систем помощи водителю. Решения, построенные на основе видеокамер и радаров, использующихся при сборе информации об обстановке вокруг автомобиля, помогают предупредить водителя о надвигающейся опасности. Они также могут генерировать интуитивно понятные сигналы или действия, такие как торможение и рулевое управление с целью помочь водителю остаться в полосе движения или обеспечить такие вспомогательные функции безопасности как предупреждение о столкновении с впереди идущим автомобилем или адаптивный круиз-контроль (АКК). При появлении вероятности возникновения аварийной ситуации водители получают уведомления при помощи предупреждающих сигналов. В патенте «Система экстренной помощи на основе Bluetooth технологии» [39] компания TRW описывает систему экстренного реагирования, которая в случае наступления ДТП передает сведения пассажиров и транспортного средства оперативной экстренной службе. Данная система задействует технологию

Bluetooth для передачи данных об аварии посредством порта датчика подушки безопасности, сигнализирующего о наступлении дорожного происшествия. Смартфон, снабженный GPS сенсором, получает данные о ДТП при помощи технологии Bluetooth. Как только сигнал о происшествии получен, мобильный телефон устанавливает связь с экстренной службой и передает ей координаты текущего местоположения транспортного средства и его техническое состояние. В том числе система экстренного реагирования обеспечивает голосовую связь между экстренной службой и пассажиром транспортного средства.

Continental AG [40] является партнером по разработке и системным интегратором решений в области вождения без участия водителя в сотрудничестве с другими компаниями, включая BMW Group, Intel и Mobileye. Чтобы обеспечить водителей системами помощи при вождении, компания Continental AG производит ряд продуктов и услуг, таких как датчики слежения за обстановкой вокруг автомобиля, модель окружения, функции для водителя, системная архитектура, функциональная безопасность, блоки управления, тормозные системы и человеко-машинные интерфейсы. Данная компания специализируется на разработке систем, построенных с использованием мультифункциональных камер, включающих «рыбий глаз» для кругового обзора, радаров ближнего и дальнего действия. Для корректной работы видеокамер наблюдения за окружающей обстановкой необходимо обеспечить корректную настройку устройств. Одними из начальных параметров работы камеры являются внешние характеристики камеры, с которым относятся угол и ориентация камеры по отношению к ТС, в котором она установлена, углы обзора дороги, используемые алгоритмами обработки дорожной разметки. Таким образом, для вычисления внешних параметров камер, применяются специализированные методы, один из которых описан в патенте «Метод автоматического определения внешних параметров камеры транспортного средства» [41]. При вычислении параметров камер применяются обученные сверточные нейронные сети.

Одной из последних разработок компании Samsung является специализированная платформа построения современных систем помощи водителя Samsung DRVLINe, основанная на принципах открытости, модульности и расширяемости. Данная платформа является одновременно и аппаратным, и программным решением. В системах активной безопасности при восприятии окружающей обстановки активно применяются камеры слежения и алгоритмы, обрабатывающие выходные изображения. Одним из таких методов, применяемых компанией Samsung, является «Контекстно-ориентированный адаптивный подход распознавания автомобилей при различных условиях видимости» [42]. Данный метод основан на классификации текущих окружающих условий в соответствии с уровнем освещенности, который соотносит их с одним из заранее определенных из четырех типов

степени освещения в сцене, применяя метод кластеризации на основе гистограмм. Заранее определенными типами освещенности являются дневная, слабая освещённость, ночь и перенасыщение цветом.

Valeo [43] является автомобильным поставщиком целого ряда умных сенсоров и систем, ориентированных на создание систем помощи водителю при вождении и снижение выбросов CO<sub>2</sub>, для автопроизводителей. Данная компания специализируется на проектировании и разработке ультразвуковых датчиков, лидаров, радаров, камер и устройств обработки сенсорных данных, устанавливаемых как на автомобиле, так и в кабине ТС. Данные датчики используются совместно с программной платформой для обнаружения дорожных препятствий, распознавании дорожной разметки, построения систем кругового обзора и систем контроля бодрствования водителя, выявляя признаки усталости и ослабленного внимания.

Компания NXP (в прошлом Freescale) [45] делает СССВ системы более доступными для автомобилей, рассчитанных на среднестатистического водителя. Она интегрирует технологии для микроконтроллеров, сенсоров и аналоговых устройств для СССВ систем, обеспечивая тем самым масштабируемость, низкое энергопотребление и высокий уровень интеграции в системах с ограниченным пространством. В большинстве случаев при конструировании СССВ систем задействуется обработка изображений, заключающаяся в анализе содержимого цифрового изображения. При реализации СССВ компанией NXP были разработаны методы автоматического выделения и обработки информации. Распространенной проблемой при анализе изображений является поиск простых геометрических примитивов, например, линий, окружностей, эллипсов или кривых в кадре изображения, что является необходимым условием при реализации таких СССВ технологий, как система предупреждения схода с полосы движения, автоматической парковки или распознавания дорожных знаков. Поиск и распознавание глаз и зрачков – другое применение методов обработки изображений, используемых при обнаружении состояния сонливости водителя. При обработке изображений высокой разрешающей способности и наличии большого количества разнообразных графических форматов могут возникнуть трудности при обработке данных. С целью обработки изображений компания Freescale разработала собственный метод эффективного выделения характерных признаков на изображении (патент «Система и метод выделения признаков изображения» [46]).

Autoliv [47] предоставляет широкий набор систем, построенных на основе радиолокационного оборудования и алгоритмов обработки изображений, для наблюдения за окружающей обстановкой вокруг автомобиля, распознавая небезопасные ситуации и предпринимая действия заблаговременно для предотвращения аварий, что позволяет сделать поездку водителя проще и безопаснее. Функции активной безопасности

автомобиля, представляемые Autoliv, являются адаптивный круиз контроль (АКК), который автоматически поддерживает скорость транспортного средства, сохраняющий дистанцию до впередиидущего транспортного средства; предупреждение об опасности переднего столкновения, которая позволяет распознать медленно-движущиеся транспортные средства или другие объекты, который водитель может вовремя не заметить и предупредит водителя сигналом; контроль слепых зон, распознающий появление движущихся объектов в невидимой для водителя зоне и помогающий водителю пропускать другие транспортные средства, используя радиолокационные датчики, встроенные в зеркала заднего вида и непрерывно контролирующие направление и скорость транспортных средств в соседних полосах движения; система предупреждения о сходе с полосы движения, контролирующая нахождение транспортного средства в полосе движения при помощи линий дорожной разметки; система распознавания дорожных знаков, которая уведомляет водителя о превышении скоростного режима и нарушении других правил дорожного движения во время управления транспортным средством; система оповещения об опасности наезда на пешехода, предупреждающая водителя о возможном появлении пешеходов на проезжей части; система ночного видения, работающая на основе инфракрасного излучения и позволяющая водителям видеть гораздо дальше и четче препятствия на неосвещенной дороге, чем свет обычных фар. Другие две системы обеспечения безопасности на дороге являются система адаптивного освещения с плавным переключением пучка ближнего/дальнего света фар, обеспечивая оптимальное управление освещением не только дорожного покрытия, но и прилегающих к траектории движения автомобиля элементов дороги, знаки дорожного движения, тем самым обеспечивая повышенную безопасность при управлении транспортным средством в темное время суток.

Среди производителей и поставщиков технологий лидаров стоит выделить компанию Velodyne LiDAR [28]. Она специализируется на системах трехмерного наблюдения за дорожной обстановкой в режиме реального времени, предназначенных для использования в автономных транспортных средствах, стационарной и мобильной съемке, картографии и системах активной безопасности. Преимуществом лидаров перед камерами и радаром является их способность создавать детализированные изображения из массива точек практически при любом освещении и погодных условиях на достаточно большом расстоянии. Одной из последних разработок компании Velodyne является сканирующий сенсор VLS-128 LiDAR [29] второго поколения, включающий в себя 128 лазера и формирующие трехмерную картину окружающей обстановки. Данный лидар обладает следующими характеристиками: горизонтальный угол обзора – 360; угловое разрешение – 0.09; вертикальный угол обзора – 26.5; погрешность определения расстояния – менее 2 см;

диапазон лазеров ИК – 905нм. Данная разработка от компании Velodyne нацелена на использование в автономных транспортных средствах и системах помощи водителю, осуществляя распознавание различных препятствий на расстоянии до 300м.

Компания Aptiv PLC (в прошлом Delphi Automotive) [50] занимается разработкой систем активной безопасности, включая CCCB, построенных на основе камер, классифицирующих объекты с высокой точностью радаров, устойчивых к различным погодным условиям и лидаров, обеспечивающих высокую точность измерений расстояний до объектов. Объединение данных с трех видов датчиков позволяет получить всеобъемлющее представление о том, что окружает ТС, тем самым повышая уровень надежности и безопасности системы. Одним из примеров использования такого подхода является платформа Centralized Sensing Localization Planning, начало выпуска которой намечено на 2019 г. Она представляет собой интегрированное автоматизированное решение для управления ТС «под ключ». Среди особенностей данной платформы можно выделить: определение местоположения автомобиля без использования GPS с точностью до 10 см; возможность работы платформы при движении на участках с частично или полностью отсутствующей дорожной разметкой; распознавание пешеходов при использовании технологии кругового обзора; распознавание автомобилей при любом угле обзора по общей форме и движению колес, припарковано ли ТС или находится в движении, что крайне важно в городских условиях. Одной из запатентованных технологий и устройств является интегрированная система радаров и камер, сочетающая в себе обработку данных с датчиков, технологии компьютерного зрения и слияния данных в одном модуле. Совместное использование таких технологий позволяет предоставить автопроизводителям комплект из систем активной безопасности, включая такие технологии как АКК, СПФС, СПСП и автоматическое торможение перед пешеходами и транспортными средствами. Патент «Радиолокационный модуль» [51], опубликованный компанией Delphi Automotive, описывает специализированный модуль RACam, включающий в себя алгоритмы слияния данных с целью совмещения входных данных с радара и камеры для уменьшения вероятности возникновения или смягчения последствий ДТП и предназначенный для поиска и распознавания объектов впереди и вокруг автомобиля с целью повышения безопасности водителя. Преимуществом устройства Delphi RACam является возможность одновременного совмещения использования радаров и камер в одном модуле с целью распознавания сразу ряда небезопасных дорожных ситуаций.

Другой компанией, специализирующейся на проектировании систем повышения безопасности при движении, является DENSO [52]. Эта компания стала первой, кто разработал миллиметровый радарный датчик, функционирующий на основе принципа цифрового формирования луча. Одной из последних разработок компании является



радарный датчик субмиллиметрового диапазона с частотой 24 Гц, призванный усовершенствовать автомобильные системы безопасности. Этот датчик уже интегрируется в автомобиль Toyota Camry, выпущенный на рынок в июле 2017 года. Датчик монтируется в задний бампер автомобиля. Он способен обнаруживать транспортные средства, которые оказываются в «слепой» зоне сзади автомобиля, а также по его сторонам, в том числе при движении задним ходом. Датчик является частью системы, помогающей водителю видеть другие автомобили и маневрировать в потоке при смене полосы движения или при движении задним ходом на парковке. Эта же система управляет функцией экстренного торможения для предотвращения столкновений. Для точного обнаружения других транспортных средств при движении передним или задним ходом фазорегулятор переключает направление чувствительности и диапазон субмиллиметрового радарного датчика. Передача и прием радиоволн, а также управление фазорегулятором реализованы на отдельных микросхемах, благодаря чему датчик стал более компактным.

Чтобы повысить безопасность и экологичность легковых и грузовых транспортных средств, Renesas Electronics [53] занимается разработкой компонентов для электронных систем, одним из которых является спроектированный модуль R-Car V2H с программным обеспечением, с легкостью интегрируемый инженерами производителей автомобилей в технологии систем помощи водителю. Текущие разработки СССВ систем уже включают технологии кругового обзора и распознавания пешеходов на дороге. На стадии разработки СССВ находятся технологии предотвращения столкновений и систем автопилота для движения по специально спроектированным дорожным участкам. Методы обработки изображений являются одними из ключевых методов при построении СССВ технологий, и разработчик Renesas Electronics не является исключением. Например, распознавание изображений, получаемых с камеры слежения, позволяет обнаружить аварийную дорожную ситуацию, определить дистанцию между транспортными средствами и дорожным знаком при помощи встроенной в автомобиль камеры, или предотвратить столкновение пешехода и транспортного средства. Renesas Electronics опубликовал патент «Устройство приема изображения, система передачи изображения и метод получения изображения» [54]), описывающий метод улучшения скорости распознавания изображений, не влияя на задержку передачи кодированного изображения. Устройство приема изображения содержит блок приема данных, блок изменения параметра, блок декодирования и блок распознавания изображения. Улучшения Renesas Electronics заключаются в том, параметр декодирования изображения может быть соответствующим образом изменен без ущерба для задержки передачи, тем самым повысив скорость распознавания изображения и, следовательно, снизив затраты на передачу графической информации.

Texas Instruments (далее TI) [55] вовлечена в разработку масштабируемых CCCB решений, позволяющих клиентам внедрять инновации и быть заметными на рынке систем помощи водителю. Семейство чипов TDAx (TI's Driver Assistance System-on-Chip (SoC) Family) поддерживает общую аппаратную и программную платформы, используемых при построении решений на основе фронтальных камер, камер заднего вида, кругового обзора и ночного видения, а также систем работы с потоками данных, задействующих радары среднего и дальнего действия. Так, например, семейство чипов TDA3x SoC представляет собой высокопроизводительное и масштабируемое семейство устройств, соответствующих требованиям ведущих систем содействия водителю при управлении ТС. Процессоры TDA3x SoC составляют основу CCCB систем за счет интеграции оптимального сочетания производительности, низкого энергопотребления, малого форм фактора и обработки графических данных с видеокamer, обеспечивающие частично или полностью автономное и безаварийное вождение ТС. Метод построения горизонтальной плоскости проекции применяется при поиске расположения дорожной полосы на изображении. Эта информация используется при распознавании препятствий и ТС. Существуют различные подходы к построению горизонтальной плоскости проекции, основывающиеся на использовании стереоизображений и гомографии. Однако, каждый из этих подходов имеет свои недостатки. Компания TI предложила усовершенствованный метод поиска горизонтально проецирующейся плоскости, способный работать одновременно с двумя кадрами из видеоряда и может найти применение в работе технологий CCCB систем. Патент «Определение горизонтальной плоскости» [56], опубликованный TI, главным образом описывает разработанный метод исследования.

WABCO [57] также идет по пути постоянного улучшения безопасности транспортных средств, а также повышения эффективности работы водителя за рулем ТС. Вклад WABCO в технологии CCCB включает адаптивный круиз контроль с активным торможением, систему предотвращения столкновений, автономного экстренного торможения при угрозе фронтального столкновения как с движущимися, так и с неподвижными объектами вплоть до полной остановки и систему предупреждения о сходе с полосы движения. Автотранспортные средства все чаще оснащаются системами, построенными на основе сенсоров, которые могут использоваться в работе систем содействия водителю и систем обеспечения безопасности. Примером широко используемой вспомогательной функции является адаптивный круиз-контроль. Известными ограничениями систем круиз-контроля является ненадежное распознавание неподвижных транспортных средств или, возможно, их некорректное обнаружение, которое может быть вызвано многократными отражениями от дорожных конструкций (барьерные ограждения, дорожные знаки, мостовые сооружения). Как результат, WABCO описала подход к

предотвращению столкновения транспортных средств в своем патенте «Устройство и способ предотвращения столкновения транспортных средств» [58]. Цель этого подхода – предотвратить и минимизировать риски столкновения, в частности, для грузового и служебного автотранспорта.

Одним из популярных разработчиков технологий для современной системы содействия водителю, ориентированных на использование в автомобилях автоматического управления, снижение количества ДТП, смертей и травм и повышение эффективности эксплуатации транспортных средств, является компания Waymo [59]. В работе своей системы Waymo используют информацию от сервиса Google Street View, видеокамеры кругового обзора в 360 градусов при работе в дневное и вечернее время суток, установленной на крыше автомобиля и датчиков LIDAR, разработанных внутри компании и работающих в условиях разной освещенности, и радаров в передней и задней части авто, осуществляющих мониторинг скорости движения других транспортных средств в любых погодных условиях. Данный набор из различных сенсоров функционирует незаметно для водителя и создает 3D сцену окружающей обстановки во время движения, фиксируя динамические и статические объекты включая пешеходов, велосипедистов, другие транспортные средства, светофоры и другие дорожные объекты. Также, имеются дополнительные сенсоры, включающий датчик распознавания звуковых сигналов для обнаружения автомобилей экстренных служб (полиции, скорой помощи, т.п.) и датчик спутниковой навигации GPS, показывающий текущее местоположение транспортного средства. Стоит отметить, что автомобили, оборудованные системой содействия водителя Waymo, уже проехали более 3,5 млн миль по дорогам общего пользования четырех штатов и 20 городов США и собрали большое количество данных, позволяющих оценить работоспособность системы в целом и при необходимости внести в нее изменения для повышения точности срабатывания при различных ситуациях. Одной из ключевых функций работы системы автоматического управления является определение управляющего поведения водителей других ТС [60]. Данные, считываемые при помощи датчиков, расположенных на борту автомобиля, передаются процессору ТС с целью анализа текущей ситуации путем распознавания и классификации дорожных объектов и определения их текущего состояния (скорость, ускорение, направление движения).

Еще одним представителем в автомобильной электронике является компания HARMAN [61], приобретенная ранее компанией Samsung и специализирующаяся на разработке систем безопасности при управлении ТС, которые помогают водителям непрерывно следить за дорожной ситуацией вокруг автомобиля на протяжении всей поездки. HARMAN информирует водителя об окружающей обстановке при помощи камер заднего вида и широкоугольных камер. Для создания кругового обзора транспортного

средства с целью повышения безопасности вождения и помощи при парковке, виртуальная модель окружающей обстановки строится на основе объединения изображений с видеокамер. Системы предупреждения о сходе с полосы движения, наличии мертвых зон и столкновении транспортных средств дополняют эти визуальные инструменты, оповещая водителя о приближающихся опасностях или их наступлении. Исходя из того, что у водителей разные интересы и потребности, HARMAN разработала ситуационный человеко-машинный интерфейс. Он гарантирует, что все данные и информационные сервисы представлены наиболее интуитивно понятным образом, исходя из текущих потребностей водителя. В качестве интеллектуальной собственности, относящейся к СССРВ подходам, у Harman можно выделить один из опубликованных патентов «Система слежения за взглядом» [62]. Система слежения за взглядом водителя включает в себя контроллер, соединяющий пользовательский интерфейс и камеру. Учитывая направление движения глаз водителя с течением времени, контроллер способен определять степень его вовлеченности в информацию, отображаемую в пользовательском интерфейсе. Определение направления взгляда помогает определить степень сонливости водителя внутри кабины ТС. Различные внешние факторы часто способствуют неверному восприятию водителем маршрута движения. Так, например, маршрут движения, основывающийся на вычислении дистанции (например, через 500 метров поворот направо), иногда может быть не верно воспринят в виду того, что водители обычно не знают точное расстояние, которое может преодолеть их транспортное средство за определенный промежуток времени. Чтобы сделать возможным идентификация конкретных объектов, на которых концентрируется водитель и генерацию контекстно-ориентированных инструкций по отношению к этим объектам, HARMAN опубликовала патент «Навигационная система на основе направления взгляда водителя» [63], описывающий направление взгляда водителя. Разработанная система состоит из четырех компонентов, которыми являются датчики направления взгляда, определяющие точку фокусировки, описывающая конкретную глубину, на которую водитель может смотреть по направлению фокусировки; наружные камеры, записывающие потоки видеоданных; аудио динамики, осуществляющие воспроизведение водителю контекстно-ориентированных инструкций для ведения по маршруту; и вычислительное устройство, генерирующее водителю инструкции ведения по маршруту и в дальнейшем синтезирующее звуковой сигнал, представляющий эту информацию. HARMAN сотрудничает со многими автопроизводителями, среди которых Alfa Romeo, BMW, Audi, Bentley, Mercedes-Benz, Chrysler, Ferrari, Fiat, Jaguar, Jeep, Land Rover и другие.

Magna Electronics [64] совместно с Mobileye (партнер по обработке изображений с 2005 г.) разработала ассистент помощи водителю, работающий на основе единственной

камеры, направленной на область впереди автомобиля и обеспечивающей безопасность и удобство движения при помощи таких технологий как предупреждение об угрозе фронтального столкновения и схода с полосы движения. Система от компании Magna, запущенная в производстве на транспортных средствах General Motors на североамериканском рынке, доступна как опция для автомобилей 2012 года выпуска Chevrolet Equinox и GMC Terrain. Первым представленным продуктом была система предупреждения о сходе с полосы движения, построенная при помощи процессора Mobileye первого поколения (EyeQ1), запущенная также совместно с General Motors на моделях автомобилей Cadillac STS и DTS и Buick Lucerne. Совместная разработка процессора Mobileye второго поколения (EyeQ2) вместе с General Motors демонстрирует продолжающееся развитие и увеличение возможностей технологий как для Magna, так и для Mobileye. В патенте «Система обнаружения и слежения за объектом» [65] компания Magna опубликовала описание системы распознавания объектов, построенной на основе двух модулей, видеокамеры для слежения за окружающей обстановкой и сенсора LIDAR, предназначенного для использования в транспортном средстве. Камера видеонаблюдения должна иметь поддержку видео с частотой около 30 кадров в сек. Алгоритм обрабатывает графическую информацию и распознает объекты, представляющие интерес, в поле зрения системы формирования изображений или камеры. Данные, содержащие координаты объектов X и Y в поле зрения камеры, передаются в блок управления лазерного устройства LIDAR. Чтобы блок управления мог измерить расстояние (координата Z) до первого объекта на сцене, лазерное устройство фиксируется таким образом, чтобы направить свет на данный объект, исходя из его координат местоположения; далее, блок управления может быть направлен на второй объект или объекты и определить их удаленность и так до тех пор, пока, не будут вычислены расстояния до всех объектов. Используя вычисленные скоростные характеристики для найденных объектов и скорость ТС текущего водителя, при необходимости система измеряет время до наступления возможного дорожного происшествия. Перечисленные действия могут повторяться в процессе работы данной системы.

Hyundai Motor Company [66] входит в число компаний, разрабатывающих электронные системы активной безопасности для водителей и пассажиров, включая такие как СПСП, СПФС, СПСЗ, система помощи при подъеме и другие, доступные на сегодняшний день во многих моделях автомобилей компании Hyundai. Патент «Устройство и способ мониторинга транспортных средств в периферийных зонах» [67], опубликованный Hyundai, описывает метод, заключающийся в отслеживании расположения транспортных средств сзади при помощи одной или нескольких камер, установленных в автомобиле при помощи устройства, состоящего из процессора, памяти и контроллера захвата

изображений. Данный метод позволяет идентифицировать и осуществляет мониторинг транспортных средств, которые находятся рядом и в особенности в мертвой зоне с автомобилем водителя. Другой патент Hyundai Motor Company «Устройство и метод слежения за управлением транспортным средством на основе степени усталости водителя» [68] предлагает метод отслеживания усталости водителя и помогает водителю предотвратить соответствующую аварийную ситуацию. Данный метод учитывает биологическую информацию (уровень глюкозы в крови, артериальное давление) о водителе, состояние окружающей обстановки (погодные условия, состояние дорожного полотна) и сведения о маршруте (желаемый маршрут из начальной точки в конечный пункт). Описываемый в патенте метод включает в себя следующую последовательность действий: разделение маршрута, по которому прошел автомобиль, на множество участков и вычисление степени усталости водителя на основе его биологической информации на каждом участке движения; корректирование степени усталости на основе информации о дорожных условиях; расчет степени усталости при построении желаемого маршрута с использованием скорректированного индекса усталости и компенсационного коэффициента на основе предполагаемого индекса усталости; расчет итогового значения функции задачи с использованием компенсационного коэффициента. В патенте «Использование устройства носимой электроники для системы уведомлений обеспечения безопасности вождения» [69] Hyundai Motor Company описывает систему оповещения для обеспечения безопасности вождения автомобиля. Данная система включает портативный модуль, состоящий из датчика и центрального блока, предназначенных для распознавания направления взгляда водителя в кабине ТС и направления движения ТС. Данная система сконфигурирована таким образом, чтобы выявлять ситуации, при которых направление взгляда водителя не смотрит по направлению движения транспортного средства, полученного при помощи портативного устройства и информировать водителя о наступлении небезопасных ситуаций при помощи предупреждающих сигналов.

Ford Motor Company [70] является не только известным автопроизводителем, но и поставщиком технологий повышения безопасности для водителей путем помощи при управлении транспортным средством и оповещения о потенциальных ДТП. Компания SAIPS, приобретенная Ford Motor Company в 2016 г., сосредоточена на решении задач в области компьютерного зрения и машинного обучения с целью развития технологий искусственного интеллекта. Данная компания создает алгоритмы по обработке изображений и видеопотока, включающие в себя распознавание, классификацию и непрерывный трекинг объектов, обнаруженных на основе данных с различных датчиков, в статичном и динамическом окружении. Одной из разработанных систем компании Ford является система распознавания сонливости водителя транспортного средства,

представленная в патенте «Система мониторинга и предупреждения о наступлении состояния сонливости водителя» [71] и предназначенная для использования в легковых автомобилях, внедорожниках, микроавтобусах и грузовых автомобилях. Система соединяет оператора диспетчерского центра поддержки и транспортное средство, тем самым передавая водителю различную информацию. Данная система распознавания сонливости водителя, установленная внутри ТС, состоит из следующих компонентов: датчик определения сонливости, включающий в себя камеру, направленную на водителя в кабине ТС и дорожную обстановку и детектор дыхания, регистрирующий сигналы дыхания водителя; система передачи информации, использующейся для обмена сообщениями между водителем и удаленным центром при помощи микрофона и динамика; блок управления, соединенный с датчиком уровня сонливости водителя, системой передачи информации, навигационной системой автомобиля с подключенным датчиком перемещения. Камера осуществляет мониторинг физиологического состояния водителя (например, частота моргания век, движения головой), и в то же время дорожной обстановки (например, контроль рядности движения) на основе получаемого изображения. Система распознавания сонливости водителя может включать в себя различные типы сенсоров или их комбинации, используемых для определения наступления состояния сонливости водителя и генерирования соответствующего сигнала. При обнаружении блоком управления признаков сонливости у водителя устройством передачи информации сигнал отсылается служебному центру связи, который в свою очередь генерирует и передает сообщение водителю. Данный сигнал автоматически воспроизводится водителю через динамики связи ТС с целью предупредить его об опасности и направить на выезд с автомагистрали, в ближайшее кафе или ресторан, или в другое место отдыха.

Panasonic Corporation [72] также принимает участие в разработке автомобильных систем обеспечения безопасности водителя. Технологии повышения безопасности на дороге от компании Panasonic задействуют в своей работе различные устройства, включающие камеры (монокамерные, многокамерные, кругового обзора) датчиков (датчики движения, угла поворота, ускорения, давления, температуры) и зеркал заднего вида. Одну из таких технологий Panasonic представила в своем патенте «Система раннего предупреждения на основе лазера среднего инфракрасного диапазона в кабине транспортного средства» [73]. В своем патенте Panasonic описывает подход для заблаговременного предупреждению водителя о столкновении транспортного средства с препятствием, включающий следующие три компонента. Прежде всего, данный подход задействует лазер среднего инфракрасного диапазона, излучающий волны длиной 3-5 мкм и позволяющий отслеживать препятствия на расстоянии до двух км впереди транспортного средства. Во-вторых, фазовый сопряженный объектив используется для ортогонального

направления части энергии лазера, которая отражается препятствием на устройстве или сенсоре захвата изображения внутри транспортного средства. Третьим устройством является графический дисплей, отвечающий за вывод информации водителю об обнаруженных препятствиях впереди транспортного средства. Другим изобретением, имеющим отношение к системам обеспечения безопасности эксплуатации транспортных средств, является «Метод определения сонливости водителя транспортного средства» [74]. Он описывает метод обнаружения низкого уровня концентрации внимания или признаков засыпания, учитывающий состояние водителя при помощи последовательности изображений водителя на основе такой характеристики, как отклонение головы от вертикального положения к горизонтальной плоскости плеча водителя. При обнаружении наступления небезопасной ситуации водитель будет оповещен при помощи звукового сигнала. Алгоритм выделения границ [75] на изображении используется для поиска и определения хотя бы одного из признаков сонливости, таких как угол отклонения головы водителя от вертикального положения или частота или длительность закрытия век водителя.

Компания Hitachi Automotive Systems Americas [76] также сосредоточена на разработке технологий повышения безопасности при вождении, призванных помочь предотвратить столкновения и дорожные происшествия, предлагая адаптивный круиз-контроль, автоматическую систему экстренного торможения, контроль слепых зон, ассистент помощи движения по полосе и систему предупреждения об угрозе фронтального столкновения. Электронный блок управления СССВ задействуется при разработке многочисленных приложений, осуществляющий сбор данных с множества датчиков, камер, радаров, лидаров и отправку исполняющей команды на множество приводов, двигателю, тормозной системе, рулевому управлению и т.д. СССВ может классифицировать и выделять объекты на изображении, предупреждать водителя об опасных дорожных условиях, и при необходимости замедлять движение или полностью останавливать транспортное средство. Данный блок управления Hitachi может быть задействован при реализации таких систем обеспечения безопасности, как система мониторинга слепых зон, предотвращения фронтального столкновения и ассистент смены полосы движения.

Другой компанией, специализирующейся на реализации и развитии технологий СССВ, является Analog Devices (AD) [77]. AD позволяет поставщикам автомобильной отрасли и производителям автокомпонентов внедрять ряд технологий СССВ, построенных на распознавании изображений, в сегодняшних пассажирских автомобилях. Системы, работающие по принципу машинного зрения, дают возможность создавать такие решения, как предупреждение водителя о сходе с полосы движения, распознавание дорожных знаков, распознавание и классификация объектов и в том числе пешеходов. В своем



опубликованном патенте «Обнаружение объекта» [78] AD представила систему обнаружения объектов для транспортного средства, в котором объекты распознаются в режиме реального времени со скоростью 30 кадров в секунду. Для уменьшения ошибки классификации объектов применяются гистограмма градиентов [79] и метод опорных векторов [80]. В этом патенте описывается способ обнаружения объекта, представляющего интерес, на изображении, включающий такие этапы как получение самого изображения, кодирование длин серий на изображении для поиска области, ограничивающей предполагаемый объект, выдвижение гипотезы на основании гистограммы градиентов о том, что предполагаемый объект представляет интерес и классификация объекта-кандидата как объекта, представляющего интерес, с помощью метода опорных векторов.

Еще одним представителем современных систем помощи водителю является компания Care Drive [81], занимающаяся разработкой как оборудования, так и программного обеспечения. Одним из ее продуктов компании является монитор усталости водителя (Driver Fatigue Monitor System MR688), разработанный Hao Nai Industrial Co. Ltd. на основе запатентованной технологии идентификации зрачков для определения степени усталости и невнимательности водителя, а также предупреждения как водителя собственного (личного) ТС, так и водителя, управляющего автомобилем из автопарка некоторого предприятия. Система использует специализированные автомобильные сенсоры для захвата инфракрасных изображений водителя и цифровой сигнальный процессор для анализа и распознавания ситуаций, когда у водителя наблюдаются признаки невнимательности по причине состояния сонливости или усталости. В патенте «Устройство предварительного обнаружения усталости водителя» [82] Care Drive описала устройство, включающее в себя камеру, которая определяет степень усталости водителя транспортного средства по открытости/закрытости глаз водителя в реальных окружающих условиях, включая прямые солнечные лучи, наличие обычных или солнцезащитных очков у водителя и генерирует предупреждения для водителя, в случае если у него обнаружены признаки усталости. На основе мониторинга степени открытости глаз водителя и обнаружении у него признаков усталости представленное устройство позволяет заблаговременно оповещать водителя о наступлении усталости.

Cognitive Technologies [83] является российской компанией, разрабатывающей и внедряющей современные системы содействия водителю с использованием технологий искусственного интеллекта для бизнес сектора. Примером одного из проектов является совместное сотрудничество с ОАО КАМАЗ по созданию беспилотного транспортного средства нового поколения. Компания Cognitive Technologies также развивает проект C-Pilot, представляющий собой программно-аппаратный комплекс для автономного вождения, предназначенный для установки в любой легковой или грузовой автомобиль.

Система C-Pilot построена с использованием различных датчиков для обнаружения предметов, сенсора позиционирования на базе ГЛОНАСС/GPS, гироскопа, а также бортового компьютера для обработки получаемых данных. На данный момент система C-Pilot включает в себя технологии распознавания дорожных знаков, предупреждения водителя об опасности схода с полосы движения, возможных фронтальных столкновениях или наезде на пешехода и мониторинга «слепых зон». Система компьютерного зрения компании Cognitive Technologies дополняет информацию о текущей дорожной ситуации теми сведениями, которые она запомнила несколькими мгновениями ранее. При этом система хранит в памяти не всю картинку, полученную с видекамеры, а лишь наиболее важные ее элементы, непосредственно влияющие на дорожную обстановку и безопасность. Это дает возможность хранить не все изображение целиком, а лишь 5–10% от его объема и не требует какого-либо значительного повышения ресурсов вычислительного устройства. Это также позволяет использовать как видекамеры с не самой высокой разрешающей способностью, так и относительно узкоугольные объективы.

Можно заметить, что на данный момент интегрируемые в ТС СССВ системы доступны в основном в виде дополнительной опции для автомобилей класса премиум и выше или комплексного набора оборудования с дальнейшей установкой в автомобиль, а сама стоимость такого оборудования остается достаточно высокой. В таблице 2 приведено сравнение интегрируемых СССВ решений по наличию тех или иных технологий (СПСП, СПФС, Функция автоматического переключения фар (САПФ), СКСБД, Информирование о превышении разрешенной скорости (ИПРС) / Система распознавания дорожных знаков (СРДЗ), СОПВ), система контроля сонливости (СКС) и ослабленного внимания (СКБ)), повышающих безопасность водителя ТС.

Таблица 2 – Сравнение интегрируемых СССВ систем

<b>Технология / Компания</b>	<b>СПСП</b>	<b>СПФС</b>	<b>САПФ</b>	<b>СКСБД</b>	<b>СКС</b>	<b>СКБ</b>	<b>ИПРС / СРДЗ</b>	<b>СОПВ</b>
Mobileye	+	+	+	+	–	–	+	+
Texas Instruments	+	+	+	+	–	–	+	+
Movon ADAS	+	+	+	+	–	–	–	–
Bosch Mobility Solutions	+	–	+	–	+	–	+	+
Hella	+	–	–	+	–	–	–	–
TRW Automotive	+	+	–	–	–	–	–	–
Valeo	+	–	–	–	–	–	–	–
AISIN	+	+	–	–	+	+	–	–
Freescall	+	+	+	–	–	–	–	–
Autoliv	+	+	+	–	–	–	–	–
Velodyne LiDAR	–	+	–	–	–	–	–	–

Continental AG	+	-	+	-	-	-	+	-
Aptiv PLC (Delphi Automotive)	+	+	+	+	-	-	+	+
Denso	+	+	+	+	+	+	-	+
Renesas	+	+	+	+	+	+	+	+
Wabco	+	+	+	+	-	-	+	
Waymo	+	+	+	+	-	-	+	+
Harman	+	+	-	-	-	-	-	-
Magna	+	+	-	-	-	-	-	-
Takata	+	-	-	-	-	-	-	-
Ficosa	+	+	-	-	-	-	-	-
ADASENS	+	+	+	-	-	-	+	-
Hyundai MOBIS	+	-	-	+	-	-	-	-
Panasonic Corporation	-	+	+	-	-	+	-	-
Hitachi Automotive Systems	+	+	+	+	-	-	+	-
Analog Devices	+	+	-	+	-	-	+	+
Care Drive		+			+	+		
Cognitive Technologies	+	+	-	+	-	-	+	-

• **Мобильные системы распознавания опасных состояний и генерации рекомендаций водителю.** Другой категорией систем мониторинга за поведением водителя и дорожной обстановкой являются МСГР, представленные в основном на мобильных платформах iOS и Android. На основе сигналов, поступающих от набора встроенных в смартфон датчиков, данные мобильные системы помощи водителю осуществляют непрерывное слежение как за поведением водителя в кабине автомобиля, так и за ситуацией вокруг транспортного средства, воссоздавая полную и точную картину условий в конкретный момент времени, с целью снижения вероятности наступления ДТП. Мобильное приложение использует встроенные в смартфон сенсоры, датчики, фронтальную или тыловую камеру для распознавания ослабленного внимания водителя или усталости или обнаружения впереди идущих автомобилей соответственно и предупреждения водителя в случае опасности. Применяя в своей работе тыловую камеру смартфона такое приложение распознает объекты впереди водителя в реальном времени, вычисляет текущую скорость автомобиля и при надвигающейся опасности воспроизводит звуковое и визуальное предупреждение, уведомляя водителя о необходимости своевременной реакции для предотвращения дорожно-транспортного происшествия. Фронтальная камера смартфона, направленная на водителя в кабине автомобиля, используется мобильным приложением с целью обнаружения признаков усталости и ослабленного внимания на основе таких параметров, как закрытость глаз, скорость моргания век, угол наклона или поворота головы

водителя. Существующие мобильные приложения сфокусированы на обработке изображений, получаемых из видеоряда камеры смартфона, направленной на слежение либо за дорожной обстановкой впереди автомобиля или за поведением водителя внутри ТС. Стоит отметить, что в текущих реализациях МСГР отсутствует возможность адаптации и персонализации системы для конкретного водителя, что в свою очередь может ухудшить характеристики приложения по точности и полноте обнаружения небезопасных ситуаций при управлении ТС. Тем не менее, обрабатывая и анализируя изображения с камеры, мобильные приложения способны распознавать небезопасную дистанцию до впередиидущих транспортных средств, съезд с выбранной полосы движения, дорожные знаки и т.п.

Одним из популярных мобильных приложений среди МСГР систем, предназначенных для повышения безопасности вождения транспортного средства, является мобильное приложение дополненной реальности iOnRoad, доступное на платформах iOS и Android. Приложение использует встроенные в смартфон тыловую камеру, сенсоры и датчики для обнаружения впереди идущих автомобилей и предупреждения водителя в случае опасности. Приложение iOnRoad регистрирует объекты впереди водителя в реальном времени, вычисляя текущую скорость с помощью сенсоров. При наступлении аварийной ситуации приложение выводит звуковое и графическое предупреждение о риске столкновения, что увеличивает шансы предотвращения дорожно-транспортного происшествия.

Другим приложением помощи водителю является мобильное приложение CarSafe [84], использующее алгоритмы компьютерного зрения и машинного обучения для отслеживания усталости и ослабленного внимания водителя при помощи фронтальной камеры смартфона, и в то же время для слежения за дорожной обстановкой при помощи тыловой камеры. Однако, на данный момент приложение CarSafe не доступно для тестирования.

Другой системой МСГР является приложение дополненной реальности Augmented Driving [87], использующее исключительно тыловую камеру смартфона для отслеживания дорожной обстановки и предупреждения водителя о возможном наступлении дорожно-транспортного происшествия при помощи звуковых уведомлений. Данное приложение предлагает такие функции для водителя как: уведомление о несоблюдении дистанции до впереди идущего транспортного средства, слежение за дорожной разметкой и уведомление о превышении скорости транспортного средства.

Приложение NightDrive [88] является единственным мобильным решением, которое непрерывно следит за открытостью/закрытостью глаз водителя и предупреждает его в случае определения состояния ослабленного внимания. В том случае если глаза водителя

закрываются две секунды и более, приложение проигрывает звуковой сигнал до тех пор, пока водитель не выйдет из этого состояния. Стоит отметить, что у приложения имеется режим «ночного видения». Изменяя яркость экрана телефона, приложение способно подстраиваться под условия слабой освещенности в кабине водителя ТС и тем самым повышать качество и яркость изображений, получаемых с фронтальной камеры смартфона и используемых при выявлении опасных ситуаций. Данное приложение, опубликованное ранее в магазине приложений App Store, на текущий момент недоступно, что затрудняет оценить комплексность обрабатываемых в нем ситуаций и использованных алгоритмов.

Другим мобильным программным обеспечением помощи водителю служит приложение Driver Guard [89], реализующее функцию предупреждения о фронтальном столкновении. Отличительной особенностью данного приложения является непрерывный мониторинг только за дорожной обстановкой при помощи камеры смартфона, помогая водителю поддерживать безопасную дистанцию до впереди идущего транспортного средства, отмечая движущийся автомобиль прямоугольником цвета (зеленый обозначает безопасную дистанцию, красный – небезопасную), соответствующего определенному уровню опасности, выводить дополнительную информацию о поездке (текущая скорость, расстояние до впереди транспортных средств) и предупреждать водителя о наступлении опасного состояния при помощи звукового сигнала. Данное приложение доступно только на платформе Android.

Приложение Nexar – AI Dashcam [90] доступно на платформах iOS и Android и работает как видеорегистратор, осуществляющее резервирование информации о поездке в удаленном хранилище, включая время, координаты и скорость автомобиля и запись дорожно-транспортного происшествия. Nexar ведет запись видеопотока одновременно с фронтальной и тыловой камер смартфона, сохраняет номерные знаки транспортных средств, нарушающих правила дорожного движения, чтобы впоследствии при появлении нарушителя в зоне видимости камеры смартфона предупредить водителя при помощи текстовых и звуковых оповещений.

К сожалению, проанализированные приложения учитывают не весь спектр небезопасных дорожных ситуаций, с которыми может столкнуться водитель транспортного средства. Рассмотренные мобильные приложения сфокусированы на анализе окружающей дорожной обстановки, не учитывая в полной мере контекст внутри кабины ТС. Существующие приложения не подстраиваются под конкретного водителя, не осуществляют начальную калибровку и настройку всей системы, пренебрегая профилем водителя, его компетенциями, контекстной информацией внутри кабины ТС и об окружающей обстановке и паттернами вождения при анализе небезопасного состояния

водителя и тем самым уменьшается точность распознавания небезопасных ситуаций при работе систем помощи водителю.

Сравнение мобильных приложений по набору технологий, часто встречающихся в подобных системах (СПСП, СПФС, СКСБД, СКС, СКБ, ИПРС, СРДЗ, СОПВ) представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнение мобильных приложений по наличию функций повышения безопасности

Технология / Приложение	iOS	Android	СПСП	СПФС	СКСБД	СКС	СКБ	ИПРС /СРДЗ	СОПВ
iOnRoad	+	+	+	+	+	-	-	-	-
CarSafe	-	-	+	+	+	-	-	-	-
DriveSafe	+	-	+	-	-	+	-	+	+
Augmented Driving	+	-	+	+	-	+	-	-	-
Nexar – AI Dashcam	-	+	+	+	-	-	-	-	-
NightDrive	+	-	-	-	-	+	-	-	-

К наиболее встречающимся сенсорам и датчикам современных смартфонов можно отнести фронтальную и тыловую камеры, GPS, акселерометр (G-сенсор), гироскоп, микрофон. Сравнение МСГР по использованию доступных сенсоров смартфонов представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Сравнение мобильных приложений по использованию встроенных камер и сенсоров смартфона

Функция / Приложение	Фронтальная камера	Тыловая камера	GPS	Акселерометр	Гироскоп	Микрофон
iOnRoad	-	+	+	+	+	-
CarSafe	+	+	+	+	+	+
DriveSafe	-	-	+	+	+	-
Augmented Driving	+	-	-	+	+	-
Nexar – AI Dashcam	-	+	-	+	+	+
NightDrive	+	-	-	-	-	-

- **Видеокамеры, устанавливаемые внутри кабины транспортного средства.** Камеры видеонаблюдения, приобретаемые и устанавливаемые водителем самостоятельно в кабине автомобиля, можно условно разделить на автомобильные видеорегистраторы, направленные на слежение за дорожной ситуацией впереди ТС и

камеры видеонаблюдения, осуществляющие контроль как за поведением водителя за рулем, так и дорогой.

Автомобильные видеорегистраторы, изначально предназначенные для записи, хранения и воспроизведения видеоинформации, включают большое количество дополнительных функциональных возможностей, одной из которых является система помощи водителю в процессе движения. По аналогии с рассмотренными мобильными приложениями встроенные в видеорегистратор функции повышения безопасности при вождении обеспечивают оповещение водителя об опасной ситуации на дороге, при этом управление транспортным средством остается полностью на водителе. Благодаря широкому углу обзора объектива, видеорегистратор улавливает в своем поле зрения приближающийся объект и издает сигнал водителю за несколько секунд до возможной аварии, благодаря чему появляется шанс избежать ДТП. Примерами некоторых технологий, представленных в автомобильных видеорегистраторах, являются система контроля полосы движения и система предотвращения столкновения с впереди идущим автомобилем. Функции систем безопасности при вождении, встроенные в видеорегистраторы, стоят намного дешевле, чем специализированное встраиваемое оборудование в транспортное средство. В сравнение с видеорегистраторами использование МСГР, установленных на одном и том же смартфоне средне-ценовой категории, может существенно расширить возможности систем помощи водителю при использовании различных мобильных систем безопасности и тем самым снизить стоимость подобных решений.

На международной выставке потребительской электроники Consumer Electronics Show 2016 компанией Garmin был представлен навигатор DriveAssist 50 LMT-D со встроенной функцией видеорегистратора, направленного на дорогу и ведущего запись видео во время управления автомобилем. С целью повышения бдительности и осведомленности водителя о дорожной ситуации модель навигатора воспроизводит предупреждающие сигналы, информируя водителя о приближающемся опасном повороте, участке дороги вблизи детского учреждения или смене скоростного режима. Когда автомобиль останавливается на перекрестке или в заторе, навигатор уведомит водителя о том, когда транспортное средство, остановившееся впереди водителя, начнет движение. Система предупреждения об угрозе фронтального столкновения уведомляет водителя, когда расстояние до впереди идущего транспортного средства сокращается и становится критически малым. Если автомобиль съезжает с дороги или перестраивается на полосу встречного движения, водитель будет предупрежден о смене полосы движения при помощи визуальных и звуковых сигналов. После непрерывного управления ТС в течение нескольких часов данная модель видеорегистратора выдаст предупреждение об усталости и предложит возможные зоны отдыха. Другими моделями автомобильных

видеорегистраторов от компании Garmin, оснащенных функциями предупреждения водителя об опасности СПСП и СПФС, являются такие устройства как DriveAssist 50 LM, Drive Assist 50LMT, DriveAssist 51 RUS LMT.

Компания Xiaomi [91] разработала видеорегистратор Xiaomi Yi DVR с функциями систем помощи водителю. Система Xiaomi Smart ADAS генерирует предупреждающие сигналы, в случае если водитель осуществляет опасное управление автомобилем. При съезде автомобиля с полосы движения или быстром сближении с впередиидущим транспортным средством на достаточно опасное расстояние, видеорегистратор уведомит водителя об опасном сближении. Если водитель едет у края дороги, он также предупредит о наличии опасности. При возникновении дорожно-транспортного происшествия видеорегистратор зафиксирует инцидент при помощи фотографий.

Другим производителем видеорегистраторов, оснащаемых технологиями предотвращения фронтальных столкновений, является компания Kenwood [92]. Модели видеорегистраторов DRV-410 и DRV-N520 включают в себя сенсорные технологии определения вероятности столкновения транспортных средств, вычисляющие дистанцию между автомобилем водителя и впереди транспортным средством и предупреждающие водителя с помощью звукового сигнала в случае, если между автомобилями не сохраняется безопасная дистанция. Данная функция обеспечения безопасности начинает работать на скоростях движения 32 км/ч и выше.

Некоторые модели видеорегистраторов (ADR810, ADR610), разработанные компанией Philips [93], включают в себя функции контроля поведения водителя внутри кабины транспортного средства, а именно определение степени усталости водителя, при которой индекс усталости характеризует изменение физического состояния водителя. Когда водителю требуется отдых, видеорегистратором включается автоматическая система визуальных и звуковых оповещений. Стоит отметить, что данные модели видеорегистраторов сильно ограничены в возможностях повышения безопасности водителя при управлении транспортным средством, а именно снабжены только технологией слежения за усталостью водителя, в то время как функции мониторинга за дорожной обстановкой в них попросту отсутствуют. Функции слежения за дорогой, отсутствующие в видеорегистраторах от Philips, нашли применение в модели видеорегистратора THINKWARE Dash Cam X500 от компании THINKWARE [94]. Данное устройство комплектуется такими системами повышения безопасности слежения за окружающей обстановкой, как СПСП, СПФС и системой предупреждения, когда впереди стоящее транспортное средство начинает движение. Как можно видеть, существующие модели видеорегистраторов включают в себя либо системы контроля поведения водителя внутри кабины ТС, либо системы слежения за дорожной обстановкой.



Компания CarVi разработала ассистент содействия водителю при вождении, осуществляющий непрерывный мониторинг за дорожной обстановкой. Данная система состоит из однолинзовой камеры, закрепляемой на лобовом стекле автомобиля и обрабатывающей получаемые видео фреймы с частотой в 8-12 кадров в секунду при помощи технологий обработки изображений и видеорегистратора, устанавливаемого в виде мобильного приложения на смартфоне водителя и осуществляющего анализ видеозаписи с камеры в режиме реального времени. Ассистент способен распознать такие аварийные ситуации, как СКРД, СПФС и резкое торможение ТС и предупредить водителя при помощи звукового сигнала и текстовой информации на дисплее телефона. Если устройство приборной панели CarVi подключится к смартфону водителя через точку доступа сети Wi-Fi, мобильное приложение CarVi [95] покажет статистику вождения водителя, указывая на характеристику аккуратного, безопасного и безаварийного вождения и выдаст рекомендации по тому, как водитель может улучшить стиль вождения.

Среди производителей камер видеонаблюдения, приобретаемых и устанавливаемых водителем самостоятельно в кабине ТС, можно выделить компанию Rear View Safety [96] (RVS). RVS разрабатывает широкий выбор моделей как видеокамер заднего вида, предназначенных для слежения за обстановкой сзади автомобиля, так и камер – для осуществления видеонаблюдения за поведением водителя в кабине ТС с целью выявления признаков усталости или ослабленного внимания. Модель RVS-350 является одним из продуктов производства компании RVS, представленная камерой, способной заранее распознавать состояние ослабленного внимания и усталости у водителя и предупреждать его об опасной ситуации при помощи звукового сигнала. В процессе своей работы видеокамера RVS-350 использует технологию распознавания лиц и определения зрачков водителя в реальных окружающих условиях, включая светлое и темное время суток, ношение солнцезащитных очков и т.д. Используя встроенный датчик GPS, данная модель может уведомить водителя о превышении скоростного режима, выставленного им вручную заранее. Для начала работы данная видеокамера не требует первоначальной настройки или калибровки.

Другим производителем видеокамер наблюдения обеспечения безопасности водителя в кабине ТС, направленных на лицо водителя, является компания Exeros [97]. Одним из ее продуктов является инфракрасная камера Exeros Sleep Watcher-XR распознавания лиц, которая осуществляет непрерывный мониторинг состояния века и сетчатки глаза человека и выявляет признаки усталости у водителя. Так, например, если водитель транспортного средства начинает засыпать, его веки станут закрываться медленнее, зрачок изменит свой размер, становясь менее восприимчивым к изменению освещенности. После того, как водитель начнет засыпать, система обнаружит признаки

сонливости и предупредит водителя громкими звуковыми и голосовыми сигналами, тем самым пробудив его и возможно предотвратив аварийную ситуацию в процессе движения. Алгоритм определения ослабленного внимания у водителя построен на основе распознавания зрачков глаз и вычисления характеристики PERCLOS, свидетельствующего о доле времени, в течение которого глаза закрыты. Другой функцией слежения за безопасностью поведения водителя в кабине ТС является обнаружение признаков невнимательного вождения ТС у водителя, среди которых, по данным компании Exeros, относятся мобильный телефон (например, чтение текстовых сообщений), отвлечение внимания на пассажиров, длительный непрерывный взгляд в окно или управление или настройка радио/музыки, при этом переводя взгляд с дороги на мультимедиа систему и предупреждение при помощи звукового и голосового сигнала. Стоит отметить, что триггером к началу запуска функций определения опасного поведения у водителя является сенсор GPS, характеризующий изменение скорости ТС.

Сравнение рассмотренных автомобильных видеорегистраторов по наличию систем помощи водителю представлено в таблице 5.

Таблица 5 – Сравнение видеорегистраторов по использованию технологий обеспечения безопасности

Устройство / Технология	СПСП	СПФС	СКСБД	СКС	СКБ	ИПРС / СРДЗ	СОПВ
Garmin DriveAssist	+	+	+	–	–	–	–
Xiaomi Yi DVR	+	+	+	–	–	–	–
Philips ADR810, ADR 610	–	–	–	–	+	–	–
THINKWARE X500	+	+	–	–		+	–
Kenwood DRV-410, DRV-N520	–	–	+	–	–	–	–
CarVi	+	+	+	–	–	–	–
RVS-350	–	–	–	–	+	–	–
Exeros Sleep Watcher-XR	–	–	–	–	–	–	+

- Устройства носимой электроники.** При движении по загородным трассам, особенно на которых поток транспорта практически отсутствует, у водителя быстро наступает прилив усталости и потеря концентрации, которые появляются при недостатке подвижности за рулем, монотонном и размеренном движении транспортного средства по дороге в течение длительного времени. Одним из доступных способов повышения безопасности за рулем для вышеописанной ситуации является отдельная категория устройств, именуемая как носимая электроника и представленная в форме современных электронных устройств, носимых водителем на теле.

Одним из психофизиологических показателей, свидетельствующих о наступлении состояния дремоты у человека, из которой значительно легче выйти, нежели из сна, является электрическая активность кожи (ЭАК) [99] или кожно-гальванические реакции. Определение импульсов происходит за счет специальных приборов – колец и браслетов, сигнализирующих о вероятности скорого наступления сна. Так, например, российская система повышения безопасности водителей «Вигитон» [98] от компании Нейроком использует принцип ЭАК. Система контроля бодрствования водителя «Вигитон» предназначена для непрерывного мониторинга физиологического состояния водителя транспортного средства и предотвращения его перехода в дремотную стадию медленного сна. Данная система состоит из светозвукового индикатора состояния водителя, наручного датчика, встроенного в браслет, блока датчиков и исполнительных реле и GPS приемника. Функциональное состояние водителя определяется на основе непрерывного анализа результатов измерения электродермального сопротивления. Система «Вигитон» позволяет не только уведомлять водителя о его текущем состоянии и предупреждать заблаговременно о приближении его состояния к аварийно опасному, но и в том числе дистанционно осуществлять мониторинг состояния водителя и передавать информацию (текущая скорость, координаты транспортного средства) оператору диспетчерского центра связи о снижении работоспособности водителя.

Stopsleep [100] представляет собой наручное устройство, выполненное в виде перстня, которое непрерывно отслеживает физиологическое состояние водителя по изменению ЭАК при помощи 8 измерительных контактов, соприкасающихся с кожей на пальцах водителя, и предназначено для предотвращения засыпания водителя в процессе движения за рулем автотранспортного средства. В верхней части устройства расположена капсула с процессором для обработки сигналов датчика, а также обладает средствами вибрационного, светового и звукового оповещения. По мере снижения концентрации водителя предупреждающие сигналы в виде вибрации и громкого звукового сигнала тревоги будут увеличиваться. Данное устройство настроено таким образом, чтобы распознавать ранние признаки усталости и ослабленного внимания водителя ТС.

Производитель электроники Fujitsu [101] разработал носимое устройство Vehicle ICT FEELythm, способствующее повышению безопасности при управлении транспортным средством. FEELythm – носимое сенсорное устройство, которое определяет сонливость водителя по его пульсу. Продукт, который использует проприетарный алгоритм, разработанный Fujitsu Laboratories, отслеживает пульс водителя при помощи датчика, закрепленного на мочке уха, измеряет сонливость и уведомляет водителя и его диспетчера транспортного парка. Он может также подключаться к цифровым тахографам или другими бортовыми устройствами, и связываться с системами управления автопарками так, что

операторы автопарков могли отслеживать состояние своих водителей в режиме реального времени и предоставлять актуальные рекомендации на основе полученных данных.

Другим устройством, измеряющим уровень сонливости водителя, являются очки от компании Optalert [102]. Очки распознают сонливость по двум основным показателям, а именно скорость моргания век и доля открытия глаз человека. Принцип работы очков заключается в том, что они измеряют движение век водителя со скоростью в 500 раз в секунду, используя почти невидимый светодиод, встроенный в оправу очков. Технология Optalert, встроенная в это устройство, задействует систему инфракрасной светоотражающей окулографии, размещенную в оправе очков, для отслеживания движения глаз и век водителя. Состояние сонливости водителя оценивается по шкале сонливости Джонса ниже.

Еще одним примером носимого устройства, предназначенного для обнаружения признаков опасного поведения водителя за рулем ТС в виде ослабленного внимания и усталости, может служить технический прибор Vigo Headset [103] от компании Vigo, внешне похожий на беспроводную гарнитуру для смартфона. Данное устройство включает в себя инфракрасный датчик, определяющий паттерны поведения при возникновении небезопасных состояний, датчик движения, осуществляющий наблюдение за движениями головой водителя, модуль Bluetooth, использующийся при уведомлении водителя об опасном состоянии за счет генерации ему предупреждающих сигналов. Для принятия решений о том, близок ли водитель к состоянию сонливости или нет, данное устройство отслеживает более 20 параметров, основывающихся только на моргании век, среди которых можно выделить длительность и скорость моргания век, опущенные веки. Задействуя встроенные сенсоры, такие как акселерометр и гироскоп, устройство от компании Vigo позволяет измерять мельчайшие движения головой и тем самым распознавать кивки головой, опущенный взгляд и позы человека, при которых он сутулится. В целях обнаружения признаков опасного поведения данное техническое устройство в своей работе применяет алгоритмы машинного обучения и методы математической статистики.

В процессе активности человеческий мозг генерирует электрические сигналы, которые называются мозговыми волнами. Определенные частотные диапазоны этих волн соответствуют определенным состояниям мозга человека. Например, альфа-ритм [105] электроэнцефалографии (ЭЭГ), лежащий в полосе частот от 8 до 13 Гц, характеризует расслабленное состояние бодрствования, покоя человека. Методы анализа ЭЭГ, исследующие активность головного мозга на основе биологических импульсов и электромиографии (ЭМГ), при которой анализируется мышечная активность и рефлекторная деятельность, и распознается частота морганий, нашли применение в системе контроля бодрствования водителя SleepAlert, разработанной компанией НейроТонус [106].

Система SleepAlert принимает сигнал тревоги с нейродатчика, расположенного в кепке и вибробраслете и регистрирующего электрические волны в головном мозге, и анализирует степень усталости водителя на основе данных ЭЭГ и ЭМГ. В случае, если степень усталости достигает до критической точки, и водитель вот-вот уснет, служебный модуль кепки генерирует звуковой сигнал, а браслет начинает вибрировать. Сравнение проанализированных устройств носимой электроники представлено в таблице 6.

Таблица 6 – Сравнение устройств носимой электроники для обеспечения безопасности водителя

Устройство / Технология	СПСП	СПФС	СКСБД	СКС	СКБ	ИПРС/ СРДЗ	СОПВ
Вигитон	–	–	–	–	+	–	–
OptaAlert	+	+	+	+	–	–	–
Vigo Headset	+	+	+	+	–	–	–
StopSleep	+	–	–	–	+		+
Fujitsu	+	–	–	+	–	–	–
SleepAlert	–	–	–	–	+	–	–

### 1.3 Технические устройства и программные алгоритмы, применяемые в разработке систем активной безопасности водителя

Внедрение систем мониторинга водителя на любом предприятии способно повысить эффективность использования транспортных средств и снизить эксплуатационные расходы всего предприятия. На основе рассмотренных решений и публикаций [107] в области систем активной безопасности все устройства и программные методы, применяемые при построении подобных систем, можно разделить на две большие группы – направленные на мониторинг поведения водителя внутри кабины ТС и предназначенные для слежения за дорожной ситуацией вокруг автомобиля.

**Мониторинг ситуации внутри кабины транспортного средства.** Среди технических устройств, специально разработанных и применяющихся водителем в процессе вождения внутри кабины автомобиля для выявления признаков ослабленного внимания или усталости, можно отметить: средства носимой электроники (кепка, браслет, кольцо), измеряющие состояние водителя при помощи таких показателей, как пульс, частота дыхания, электродермальная активность кожи и т.д.; видеокамеры, направленные на лицо водителя и анализирующие его состояние по лицевым характеристикам, к которым можно отнести поворот и наклон головы, частота моргания век, закрытость глаз и т.д.

Видеокамеры, устанавливаемые внутри кабины транспортного средства и осуществляющие непрерывный мониторинг поведения водителя, широко используются системами активной безопасности для извлечения (захвата) отдельных кадров изображений

лица водителя с заданной частотой (например, 25 кадров/сек.), которые в дальнейшем используются при цифровой предобработке изображения и затем непосредственном распознавании тех или иных объектов (лицо, черты лица) и их характеристик (определение размера области и цвета объекта, расстояние до объекта, глубина объекта т.д.) в определенный момент времени. Применяя специализированные программные интерфейсы и алгоритмы, фронтальные камеры, устанавливаемые в смартфонах, также позволяют получить непрерывный ряд изображений, которые могут быть использованы при компьютерной обработке и нахождении лица водителя. Принимая в расчет высокое качество изображений, получаемых с фронтальной камеры смартфона, становится возможным распознавать и извлекать характеристики лица водителя с достаточно низкой вероятностью ошибки. Рассмотрим несколько подходов к распознаванию лиц, каждый из которых обладает как преимуществами, так и недостатками применения на практике.

На сегодняшний день технология распознавания лиц, активно применяющаяся в системах активной безопасности, является одной из популярных и развиваемых направлений компьютерного зрения. Использование видеокамер при построении систем содействия водителю подразумевает использование методов компьютерной обработки изображений водителя с целью определения присутствия объекта на изображении, нахождения его положения в системе координат пикселей исходного изображения и распознавания. В зависимости от выбора алгоритма распознавания положение объекта может быть определено координатами прямоугольника, ограничивающих объект, контуром этого объекта, или координатами точек, наиболее характерных для объекта. Стоит отметить, что в первую очередь алгоритмы поиска объектов на изображениях должны хорошо справляться с нахождением лиц людей и черт лица. Широко распространенные методы по распознаванию лиц на изображениях можно условно разделить на две группы: методы, использующие в своей работе некоторый заданный набор правил для обнаружения лица на изображении (сравнение с эталоном – *Template matching*, например метод Виола-Джонса (*Viola-Jones*) [108]) и метод, использующий вектор признаков для дальнейшей классификации изображения на классы (модели внешнего вида (*Appearance Models*, ААМ), включающие в себя такие методы как скрытые Марковские модели (*Hidden Markov Model*, НММ) [109], нейронные сети, линейный дискриминантный анализ и т.д.). Рассмотрим несколько методов каждой из этой категории.

Одним из основополагающих методов поиска объектов на изображении является алгоритм Виолы-Джонса, разработанный в 2001 г. Полом Виолой и Майклом Джонсом и изначально предназначенный для поиска лиц на изображениях в режиме реального времени. Метод является адаптивным, что означает, что для построения классификатора требуется некоторое количество обучающих изображений лиц и «не лиц», которые

вручную выбираются из базы изображений. Данный метод основывается на следующих принципах: использование изображений в интегральном представлении, которое позволяет быстро вычислять необходимые объекты; использование признаков Хаара, описывающих смежные прямоугольные области и позволяющих производить поиск нужного объекта (в данном контексте лица и его черт); использование эффективного алгоритма машинного обучения AdaBoost [110] (boosting, усиление) для выбора признаков, подходящих наилучшим образом для искомого объекта на данной части изображения; все признаки поступают на вход ранее построенного классификатора, который определяет принадлежность объекта к одному из известных классов и выдает результат «да» либо «нет»; применение каскадов признаков для быстрого отбрасывания областей, в которых не найдено лицо. Обучение классификаторов, выполняемое в качестве предварительного этапа по подготовке (препроцессинга) входных данных, идет достаточно медленно, но результаты поиска лица на изображении выдаются в режиме реального времени, именно поэтому данный метод распознавания лиц на изображении хорошо справляется со своей задачей. В своей работе алгоритм использует принцип сканирования скользящим «окном» для поиска лица и черт лица человека. Среди существующих методов обнаружения объектов на изображениях метод Виолы-Джонса показывает один из лучших результатов по соотношению показателей эффективности распознавания и скорость работы и, в том числе, обладает низкой вероятностью ложного обнаружения лица. Среди недостатков можно отметить, что данный метод накладывает определенные ограничения на пространственное положение лица и степень его освещенности. Алгоритм хорошо распознает черты лица только под небольшим углом, который не превышает 30 градусов. При угле наклона более 30 градусов процент обнаружений резко падает, что не дает возможность распознавать лицо человека при произвольном угле поворота.

Другим распространенным методом обнаружения объектов является использование нейронных сетей [111]. Отличительной особенностью нейронных сетей является ее обучаемость, которая позволяет с высокой эффективностью решать поставленную задачу. Обучение нейронной сети происходит на определенной выборке с помощью готовых примеров, в ходе которого выделяются ключевые признаки, и формируются взаимосвязи между ними. В дальнейшем, обученная нейронная сеть позволяет распознать ранее неизвестный ей объект, применив полученные в процессе обучения опыт. Сверточная нейронная сеть показывает наилучшие результаты в области распознавания, но считается наиболее сложной для реализации. Такие особенности сети, как общие веса (определение лица в любом месте на изображении), локальные рецепторные поля (участок с рецепторами двумерно связанных нейронов) обеспечивают устойчивость к различным искажениям (смещение, изменения масштаба и т. д.). Одним из преимуществ применения данного

метода является возможность обработки лицевых структур при различном угле наклона относительно вертикальной оси. В то же время метод имеет ряд существенных недостатков, одним из которых является ложное обнаружение объектов, отдаленно напоминающих лицо человека.

Обнаружение лица человека на изображении может выполняться другим адаптивным методом опорных векторов (SVM, Support Vector Machine). Метод опорных векторов рассматривает каждое изображение как точку в  $n$ -мерном пространстве, где  $n$  соответствует размерности данных или общему числу пикселей изображения. Каждая из этих точек принадлежит к некоторому классу. При этом задача распознавания заключается в нахождении такой гиперплоскости в  $n$ -мерном пространстве, которая бы отделяла все точки, соответствующие изображениям данного класса, от остальных, принадлежащих ему. Основной целью метода опорных векторов является поиск плоскости, расстояние до которой от ближайшей точки максимально в пределах множества вариантов и соответствующий ей оптимальный классификатор. В сравнение с обученной нейронной сетью, требующей незначительное количество вычислительных ресурсов, время работы SVM алгоритма может существенно увеличиться в случае, если число векторов значительно превышает размер выборки. К преимуществам данного метода можно отнести относительно небольшое время обучения и высокую точность распознавания лиц на изображениях.

Основными трудностями, возникаемыми при распознавании лиц на изображениях, являются пространственные характеристики положения лица и его масштаб, количество лиц на изображении, разрешение изображения, возможные искусственные помехи на лице (например, очки, макияж, маска, т.д.), условия освещенности, тени и отражение от окружающих объектов.

Рассмотренные выше алгоритмы распознавания лиц на изображениях обладают в той или иной мере как преимуществами, так и недостатками. При реализации метода обнаружения лиц в кадре на смартфоне наиболее подходящим алгоритмом является метод Виолы-Джонса, показывающий низкое количество ложных срабатываний и высокую точность обнаружения искомых объектов. При использовании метода Виола-Джонса определение признаков происходит быстрее, чем у методов со схожим принципом работы.

При обнаружении вероятности возникновения аварийной ситуации системы активной безопасности задействуют ряд технических методов с целью оповещения и предупреждения водителя о необходимости предпринять ряд мер с целью избежать аварийной ситуации. В качестве примера система контроля степени усталости водителя является одной из технологий, задействующих в своей работе методы компьютерной обработки и анализа изображений. На основе контроля процесса движения и угла поворота



рулевого колеса данная система способна заблаговременно распознавать признаки возникновения у водителя усталости или ослабленного внимания и подавать ему сигнал о необходимости сделать перерыв при вождении.

По уровню и силе восприятия все меры помощи водителю внутри кабины ТС можно разделить на три категории: информационные (например, предупредительный звуковой сигнал), вспомогательные (например, изменение силы продавливания педали акселератора) и частичное или полное вмешательство в управление ТС системой активной безопасности (например, уменьшение впрыска топлива при превышении определенной скорости).

К информационным оповещениям можно отнести следующие:

- звуковые уведомления, являющиеся звуковыми сигналами и голосовыми сообщениями и воспроизводимыми через встроенную акустическую систему автомобиля;
- визуальные уведомления в виде информационных сообщений на дисплее комбинации приборов или проекционном дисплее, который интегрируется в лобовое стекло автомобиля или поставляется как отдельный экран, устанавливаемый на уровне линии взгляда водителя (например, предупредительный индикатор, символ в виде чашечки кофе или вспомогательная информация о поездке (текущая скорость, указания направлений навигационной системы, т.д.);
- тактильные уведомления, проявляющиеся в виде предварительного натяжения ремня безопасности или пульсирующих вибраций рулевого колеса или левого или правого валика (подушки) сидения, сигнализирующие водителя о направлении угрозы ДТП (например, в системах удержания ТС в полосе движения).

**Анализ дорожной ситуации вне транспортного средства.** Анализ существующих проектов и исследований позволил выделить четыре категории технических устройств, применяемых при выявлении потенциальных опасных состояний в процессе движения. Рассмотрим устройства, используемые при мониторинге дорожной ситуации вокруг автомобиля.

Первой категорией устройств для мониторинга дорожной ситуации вокруг автомобиля являются радары ближнего и дальнего действия. В качестве данных устройств выступают датчики, в которых обнаружение объектов (другие транспортные средства, пешеходы, препятствия, т.д.) вокруг автомобиля и определение их точного расположения построено на основе использования радиоволн. На сегодняшний день радарный датчик является неотъемлемым компонентом современных систем активной безопасности. Радар позволяет обнаружить некоторый объект, определить расстояние до него, его положение и скорость движения. Преимуществами использования радара перед другими сенсорами, лидаром и ультразвуковым датчиком, является возможность работы в плохих погодных условиях (туман, дождь, снег) и при сильном загрязнении. Одной из технологий, часто

встречающихся в автомобилях премиум класса и использующих в своей работе радары для слежения за обстановкой вокруг автомобиля, является система предупреждения столкновений. На основе сигналов с радаров при выявлении угрозы столкновения системой безопасности автомобиля подаётся звуковое предупреждение о повышении риска возникновения аварийной ситуации; в случае резкого торможения (резкого воздействия на педаль тормоза) применяется максимально возможное усилие на педаль тормоза вне зависимости от реакции водителя; при отсутствии реакции с его стороны скорость движения может быть значительно автоматически снижена и водитель еще раз получит предупредительный сигнал в виде вибрации рулевого колеса, а в экстренном случае и вовсе произойдет автоматическое воздействие на органы управления автомобиля (тормозную систему, рулевое управление) до его полной остановки.

Второй категорией устройств для мониторинга дорожной ситуации вокруг автомобиля являются ультразвуковые датчики, представляющие собой сенсорное устройство, осуществляющее преобразование электрической энергии в ультразвуковые волны, представляющие собой механические колебания с частотой свыше 20 кГц. Принцип действия ультразвукового датчика схож с радаром (1 категория устройств) и заключается в определении наличия цели на основе интерпретации отраженного от нее сигнала. Ультразвуковой датчик обладает рядом особенностей, определяющих его область применения, которыми являются выраженная направленность сигналов, небольшая дальность действия, невысокая скорость распространения волн. Основным достоинством ультразвуковых датчиков является сравнительно низкая цена.

Третьей категорией устройств для мониторинга дорожной ситуации вокруг автомобиля являются внешние видеокамеры, широко используемые в системах слежения за безопасностью поведения водителя и обстановкой вокруг автомобиля. Примерами некоторых систем, в которых нашли применение видеокамеры, это система автоматического экстренного торможения, предупреждения о непреднамеренной (без включенного светового указателя поворота) смене полосы движения и удерживания автомобиля в ее границах разметки, помощи движению по полосе, помощи при перестроении, обнаружения пешеходов, распознавания дорожных знаков и т.д. Система распознавания дорожных знаков способна распознавать скоростные ограничения на дорожных знаках, запреты на въезд или обгон и в том числе информацию о снятии этих запретов и отображать их на дисплее комбинации приборов или проекционном дисплее. При выезде на дорогу под запрещающий знак и его наличии система выработает световое или звуковое предупреждение.

Последней категорией устройств для мониторинга дорожной ситуации вокруг автомобиля являются технология LIDAR (Light Detection and Ranging), работающая в

оптическом диапазоне и использующая в качестве источника излучения лазер. По своим функциям лидар выступает в качестве альтернативы первому типу устройств, поэтому другое его название лазерный радар. Принцип работы датчика основан на использовании электромагнитных волн инфракрасного диапазона, тем самым обеспечивая возможность определения расстояния до объекта (впередиидущего транспортного средства), а также его скорости. Стоит отметить, что данная категория радаров чувствительна к изменению рельефа дороги (например, лучи света могут отражаться от поверхности дорожного покрытия и искажать информацию). Точность работы лидара снижается в плохих погодных условиях (туман, дождь, снег), а также при загрязнении датчика.

В качестве дополнительных источников информации могут найти применение датчики, осуществляющие измерение характеристик автомобиля в конкретный момент движения. Одним из таких устройств является инерционный датчик движения (акселерометр), измеряющий направление движения автомобиля и помогающий определить его точное географическое расположение. Эти устройства объединяются в единое целое при помощи электронного блока управления.

Среди технических устройств, используемых водителем в процессе вождения для контроля дорожной обстановки, можно выделить видеорегистраторы (с функциями СПСП, СПФС), приобретаемые и устанавливаемые водителем самостоятельно.

Одной из аппаратно-программных систем, применяемых при слежении за окружающей обстановкой рядом с автомобилем, можно выделить технологию кругового обзора [112], состоящую из радаров, лидаров и видеокамер, размещаемых по всему периметру автомобиля. Специализированный модуль обработки данных объединяет видеосигнал с камер и датчиков в единое изображение, предоставляя возможность взглянуть на автомобиль в ракурсе «вид сверху» (bird-view) без слепых зон. Система обзора в 360 градусов находит применение в системах автоматического торможения, помощи при парковке и т.д.

Среди других современных систем, получающих широкое распространение и развитие в области активной безопасности автотранспорта, стоит отметить технологии взаимодействия Vehicle-to-Vehicle (V2V) и Vehicle-to-infrastructure (V2I), которые работают на основе Wi-Fi технологии IEEE 802.11p [113] и обеспечивают возможность обмена информацией между транспортными средствами и объектами транспортной инфраструктуры без участия водителя. За счет создания беспроводной сети между автомобилями и стационарными объектами становится возможным передача информации (например, скорость, ускорение, местонахождение автомобиля, интенсивность движения автомобилей, включенный сигнал светофора). Непрерывно обрабатывая полученные данные от других ТС и объектов инфраструктуры, система автомобиля V2V/V2I

своевременно предупреждает водителя о возможной опасной ситуации, которую создали другие автомобили, таким образом предотвращая ДТП.

#### **1.4 Основные сценарии использования систем активной безопасности мониторинга поведения водителя и дорожной обстановки**

В результате анализа публикаций и исследований, посвященных системам активной безопасности на дороге, были определены основные сценарии использования данных систем водителями транспортных средств. Отдельные сценарии применения систем активной безопасности, описывающие процесс взаимодействия с системой в качестве внешних запросов, могут быть объединены в пять крупных групп:

1) Снижение риска наступления аварийной ситуации при управлении личным транспортным средством. Водитель использует САБ с целью сокращения затрат на обслуживание транспортного средства и снижения рисков наступления дорожного происшествия. Шансы попасть в ДТП существенно увеличиваются, если водитель отвел взгляд от дороги и решил переключить свое внимание на мобильный телефон или сменить аудио трек. В этом случае системой активной безопасности подаются оповещения в виде звуковых сигналы с целью привлечения внимания водителя и выводится соответствующая информация на дисплей смартфона. Следование водителя контекстно-ориентированным рекомендациям (голосовые, звуковые, текстовые уведомления), генерируемым в результате непрерывного слежения за его поведением, позволяет снизить риск наступления аварийной ситуации. При помощи модуля поиска мест отдыха система обеспечивает информационную поддержку водителя при поиске ближайшего места отдыха в качестве кафе или отеля для остановки, учитывая его текущие координаты местоположения.

2) Улучшение стиля вождения водителя на основе статистики управления транспортным средством. Осуществляя контроль за каждым водителем ТС, накопленная статистика качества о стиле вождения водителя может быть использована с целью формирования рекомендаций по улучшению характеристик управления ТС. Так, например, превышение скоростного режима является сигналом к ухудшению показателей дисциплины поведения водителя за рулем, что в свою очередь может повысить риск наступления ДТП. В другом случае, например, по окончании поездки при анализе статистики вождения САБ может предупредить водителя о повышенном расходе топлива и, как следствие, дополнительных расходах на него при резком торможении или резком ускорении автомобиля.

3) Использование САБ компаниями, занимающимися перевозками грузов. По статистике большое количество аварий на дорогах происходит по причине того, что дальнбойщики не соблюдают установленные правила по режиму труда и отдыха, и как

результат в процессе движения они испытывают признаки ослабленного внимания или усталости. Использование системы помощи водителю логистическими компаниями может помочь снизить износ автомобиля из штата автопарка и уменьшить аварийность осуществления грузоперевозок, совершаемых при помощи автотранспорта и выстроить систему учета и контроля труда и отдыха водителей грузовых автомобилей и как результат снизить риск наступления ДТП и обеспечить безопасность водителя и сохранность перевозимых грузов.

4) Применение САБ автомобильными страховыми компаниями при предоставлении страховых услуг с целью формирования выгодных предложений водителю. Программы, предлагаемые страховыми компаниями, предполагают те или иные ограничения условий страхования, при которых стоимость оформления страховки, например, ОСАГО/КАСКО, может быть достаточно высокой. Использование специализированной разработанной системы РСПАС на смартфоне водителя, устанавливаемого в кабине ТС, в качестве мобильного приложения может помочь уменьшить стоимость страхования ТС и предоставить возможность отслеживать свой стиль вождения.

5) Визуализация статистики использования сервиса. Оценивая накопленную с разнообразных датчиков смартфона информацию о контексте в кабине ТС и статистику использования системы активной безопасности водителем (например, маршрут следования, расход топлива, стиль вождения, время поездки) наглядно на примере отчетов и графиков, после завершения поездки на автомобиле, водитель может обнаружить неэффективность в последовательности своих действий и осознать ситуации, в которых ему стоит улучшить свое управление автомобилем.

Рассмотренные сценарии использования системы активной безопасности определяют взаимодействие между водителями и системой, направленные на достижение безопасности управления транспортным средством.

## **1.5 Требования к построению распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций на основе мониторинга водителя**

Разработка системы предупреждения аварийных ситуаций повышения безопасности водителя в процессе управления ТС, реализующей функции выявления признаков ослабленного внимания и усталости у водителя в реальном времени, требует особого внимания к корректности и точности распознавания аварийных ситуаций и выработке рекомендаций, учитывающих текущий контекст водителя. На сегодняшний день существует достаточно большое количество аппаратно-программных комплексов, решающих задачи повышения безопасности водителя и автоматизации при управлении

транспортным средством, путем предупреждения водителя о возможных проблемах или вероятности столкновений. Сравнение типов систем мониторинга поведения водителя, упомянутых в обзоре, приведено в таблице 7.

Таблица 7 – Сравнение существующих систем мониторинга поведения водителя

№	Параметр / Система активной безопасности	Интегрируемые СССВ	МСГР	Видеокамеры внутри кабины ТС	Устройства носимой электроники
1	Ослабленное внимание	+	+	+	+
2	Усталость	+	+	+	+
3	Генерация рекомендаций	+	–	–	–
4	Персонализация к стилю вождения	–	–	–	–
5	Холодный старт	+	+/-	+	+
6	Использование на любом ТС	+/-	+	+	+
7	Стоимость решения	Высокая	Низкая	Умеренная	Умеренная

Современные реализации СССВ систем доступны в той или иной мере в заводских комплектациях новых автомобилей, а некоторые среди них приобретаются и устанавливаются отдельно. Стоит отметить, что такие технологии доступны не для всех транспортных средств, а ценовой диапазон таких решений остается достаточно высоким. В отличие от СССВ систем МСГР системы требуют от водителя только наличия смартфона средне-ценового сегмента с установленным на нем мобильным приложением, реализующим функции повышения безопасности поведения водителя в процессе вождения, что позволяет использовать системы контроля за поведением водителя и дорожной обстановкой в любом транспортном средстве. Существующие мобильные программные комплексы сильно ограничены в возможностях распознавания аварийных ситуаций в процессе движения, ни одно из подобных решений не оценивает в полной мере поведение водителя за рулем внутри кабины ТС.

На рисунке 3 представлена схема объединения сенсоров для считывания показаний, поступающих от различных сенсоров смартфона и используемых системой РСПАС, и способы воздействия на водителя ТС. Исходными данными для РСПАС являются показания встроенных в смартфон устройств, таких как фронтальная камера, GPS, акселерометр, гироскоп, магнитометр, микрофон и датчик освещенности. Получая изображение водителя с фронтальной камеры, мобильное приложение применяет ряд программных операций для выделения лицевых характеристик водителя для определения его опасного поведения. Изменения в скорости, ускорении или торможении автомобиля, вычисляемые GPS и акселерометром на основе спутниковых данных и ускорения силы тяжести, позволяют описать поведение водителя при управлении ТС. Положение в

пространстве смартфона и направление движения ТС, определяемые гироскопом и магнитометром, позволяют РСПАС точнее охарактеризовать то или иное поведение текущего водителя от других водителей системы. Микрофон, измеряющий уровень сигнала шума в кабине ТС, применяется при генерации рекомендаций водителю для определения ситуаций, когда водитель едет один или с пассажирами. Датчик освещенности смартфона используется РСПАС при выявлении темного времени суток, когда обработка изображений водителя с фронтальной камеры становится нецелесообразной ввиду невозможности распознавания лицевых характеристик. На основе информации с сенсоров смартфона РСПАС уведомляет водителя о наступлении опасной ситуации при помощи рекомендаций, поступающих водителю через графический дисплей, аудио динамики смартфона или вибрации устройства носимой электроники.

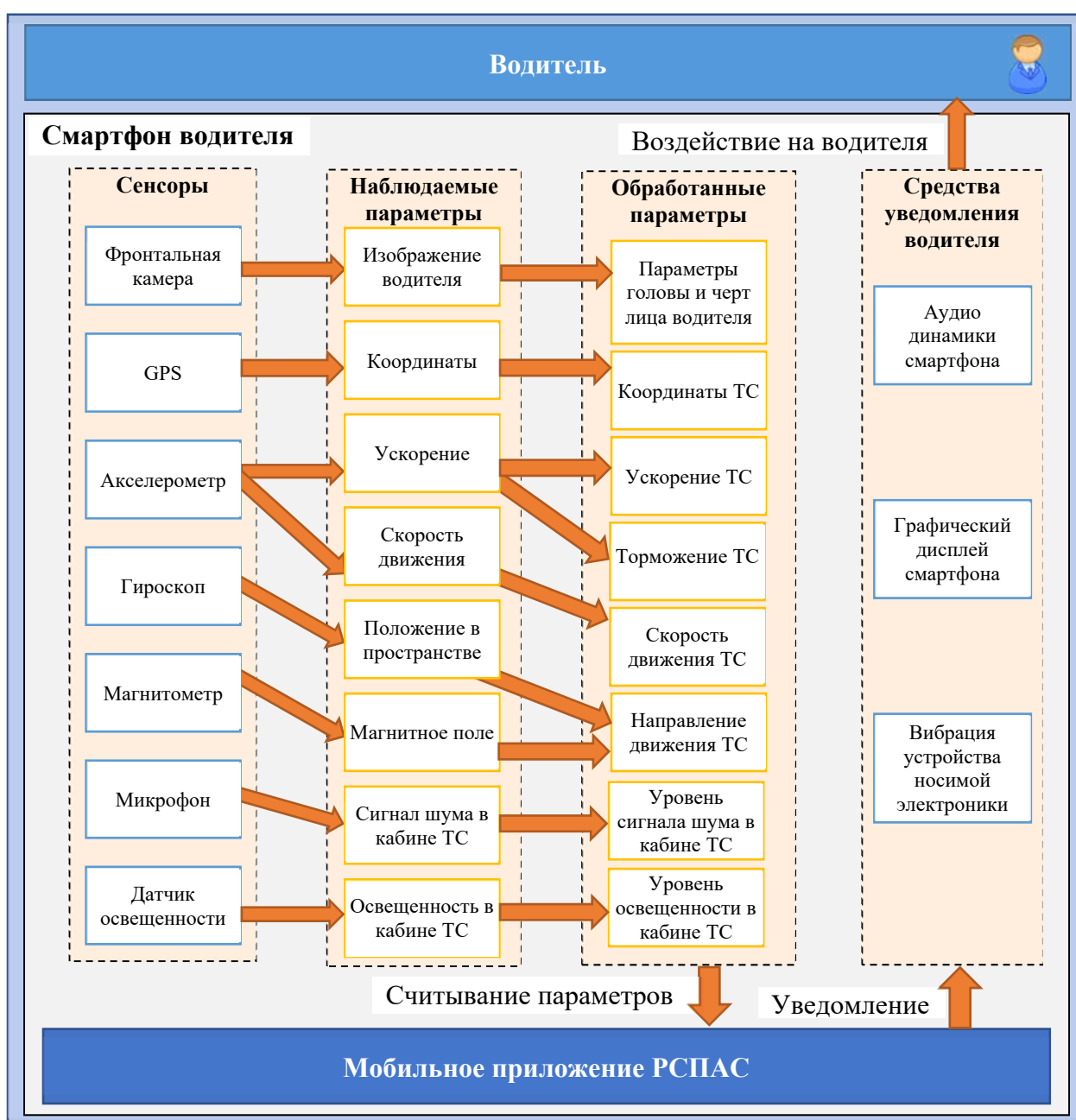


Рисунок 3 – Схема объединения сенсоров на основе использования смартфона

На основе анализа существующих проектов и исследований по разработке систем активной безопасности и поддержки водителей к построению системы предупреждения аварийных ситуаций на основе мониторинга поведения водителя были сформулированы следующие требования:

- Поддержка распознавания опасных состояний и последующая идентификация аварийных ситуаций усталости и ослабленного внимания водителя.
- Функционирование системы мониторинга аварийных ситуаций и выработки рекомендаций водителю при управлении транспортным средством в отсутствие подключения к сети Интернет.
- Заблаговременное предупреждение водителя об обнаруженном опасном состоянии при помощи информационного, звукового и вибросигнала.
- Генерация рекомендаций водителю, информирующие его о том, как можно предотвратить наступление или снизить последствия аварийной ситуации.
- Персонализация и адаптация системы РСПАС индивидуально к поведению и стилю вождения водителя. Персонализация системы позволяет адаптировать технологии повышения безопасности для каждого водителя путем улучшения его взаимодействия с системой за счет выработки подходящих контекстно-ориентированные рекомендаций для предотвращения наступления аварийной ситуации. Данное требование может быть выполнено за счет предоставления возможности калибровки водителем мобильного программного комплекса перед первым запуском, учета географическому местоположению нахождения водителя (при использовании в черте города или на загородной трассе).
- Просмотр истории использования системы РСПАС и статистики управления транспортным средством. Данное требование осуществлено за счет записи, хранения и анализа накапливаемых данных о контексте внутри кабины транспортного и дорожной ситуации и последующей синхронизацией информации с удаленным облачным сервисом.
- Поддержка режима непрерывной работы мобильного программного комплекса на переднем плане дисплея смартфона за счет своего расположения поверх всех остальных работающих приложений. Исполнение программного комплекса не должно прерываться работой сторонних приложений до явной остановки мобильного приложения водителем.
- Поддержка полной работоспособности программного комплекса на версиях мобильной операционной системы (ОС) Android 4.2 и выше. Данное требование обусловлено тем, что поддержка достаточно устаревших версий Android может затруднить разработку мобильного программного комплекса, увеличив время на поддержку таких версий. Стоит принять во внимание, что согласно статистике Google Dashboard – Platform versions [114] по состоянию на 6 августа 2018 г. доля всех мобильных устройств с версией



Android 4.2 и выше составляет 98.3%, что в свою очередь покрывает большую часть используемых на данный момент устройств на платформе Android.

- **Функционирование программного комплекса при ухудшении условий освещения** внутри кабины транспортного средства и окружающей обстановки. Уровень освещенности является одной из важнейших характеристик, влияющих на конечное качество изображения, получаемого с фронтальной камеры смартфона.

- **Непрерывность мониторинга за дорожной обстановкой и состоянием водителя в режиме реального времени.** Поведение системы должно осуществляться непрерывно, вне зависимости от запуска остальных приложений, установленных на смартфоне водителя. Чтобы обеспечить максимальную непрерывность и эффективность работы системы, незаметную для водителя, необходимо обеспечить длительность, непрерывность и корректность работы и таким образом найти оптимальный баланс между непрерывностью работы системы безопасности и энергосбережением смартфона водителя.

- **Осведомленность в реальном времени о текущей ситуации в кабине транспортного средства и дорожной обстановке.** Выполнение данного требования необходимо для формирования контекстно-ориентированных рекомендаций водителю в процессе движения. Такая осведомленность может быть статичной (информационный профиль водителя, картографические данные) или динамической (например, уровень освещенности в кабине, скорость движения автомобиля, текущие заторы, ДТП, прогноз погоды). Данная информация может быть в дальнейшем использована при персонализации системы индивидуально для водителя, например, с целью уточнения рекомендаций и динамического изменения маршрута следования ТС.

- **Конфиденциальность и безопасность.** С увеличением количества разрабатываемых систем активной безопасности, объема передаваемой информации и, как следствие, роста внимания к подобным системам, растут и требования к конфиденциальности и информационной безопасности. Подключенные к сети Интернет технические системы транспортных средств могут содержать множество точек потенциального взаимодействия. Непосредственными элементами такого взаимодействия можно выделить управление автомобильной системой и данные внутри нее. Управление системой можно понимать, как любую информацию, которая предоставляется системе любым участником обмена данными с целью повлиять на поведение системы таким образом, чтобы изменить ее состояние или состояние ее среды. Эффективность системы повышения безопасности обусловлена непрерывной обработкой и анализом пользовательских конфиденциальных данных, включая личный профиль водителя, его поведение за рулем автомобиля и физическое состояние в текущий момент времени, текущее местоположение и скорость транспортного средства. Чтобы достичь защиты

данных на устройстве от несанкционированного доступа и защищенной передачи информации по каналам связи требуется обеспечение методов защиты конфиденциальности на основе политик, криптографии и личного контроля за доступом к данным.

- **Расширяемость системы.** Программный комплекс РСПАС должен быть разработан таким образом, чтобы можно было легко внести дополнения и изменения, если это потребуется, и при этом не нарушить целостность системы. Данное требование может быть достигнуто в процессе реализации системы путем применения шаблонов и паттернов проектирования.

- **Надежность.** Процесс исполнения мобильного программного комплекса на смартфоне должен быть защищен как от внутренних (например, переполнение буфера), так и от внешних ошибок (например, использование недокументированных интерфейсов ОС или определенных моделей смартфонов) со стороны операционной системы и сторонних приложений. Журнал логирования действий, совершаемых в системе, и информация, накапливаемая в ней, должны периодически синхронизироваться с удаленным облачным сервисом на случай аварийного завершения приложения или случайного повреждения внутренней памяти смартфона с целью дальнейшего восстановления.

- **Энергоэффективность.** В последние годы энергосбережение и энергоэффективность мобильных телефонов становится серьезной проблемой. При реализации мобильного программного комплекса должен быть задействован ряд технических методов и подходов, направленных на эффективное и экономное использование возможностей смартфона с целью сбережения его заряда аккумулятора.

Опираясь на требования построения РСПАС и учитывая устройство и условия работы существующих современных моделей смартфонов, были сформулированы следующие обязательные требования к смартфону и разрабатываемой системе:

- Наличие сенсоров акселерометра, гироскопа и GPS в смартфоне, позволяющих считывать характеристики движения водителя во время движения;

- Наличие фронтальной камеры, осуществляющей захват изображения лица водителя для распознавания опасных состояний в процессе движения;

- Минимальное разрешение исходного изображения с фронтальной камеры равно 300 пикселям по каждой из сторон, определенное на основе проведенных экспериментов распознавания состояний ослабленного внимания и усталости водителя.

## 1.6 Выводы по главе 1

К настоящему времени в целях повышения безопасности поведения водителя за рулем ТС автопроизводителями разработаны аппаратно-программные комплексы, представляющие собой современные системы содействия водителю, включающие в той или иной мере такие технологии как СПСП, СПФС, СКБД и т.д.

Проведенный обзор существующих решений в области систем активной безопасности позволил выделить СССВ, существующие в виде аппаратно-программных комплексов и устанавливаемые на заводах производителей; МСГР, разрабатываемые на основе программных решений в виде мобильных приложений; видеокамеры, устанавливаемые в кабине ТС и представленные автомобильными видеорегистраторами, отдельными устройствами видеонаблюдения, направленными на водителя или дорогу; УНЭ, надеваемые и носимые водителем во время управления ТС.

Системы СССВ учитывают в той или иной мере контекстную информацию, описывающую дорожную обстановку и окружение внутри кабины транспортного средства. Преимуществами СССВ является высокая точность и скорость распознавания дорожных ситуаций, а время, необходимое для настройки и активации системы безопасности, минимально для водителя. Среди недостатков данных систем можно выделить высокую стоимость таких встраиваемых решений по сравнению с внутренними видеокамерами наблюдения и МСГР, затруднительную персонализацию при использовании ТС разными водителями и, как правило, отсутствие возможности для штатной установки в ТС в качестве дополнительного оборудования.

Другой категорией систем повышения безопасности водителя являются камеры слежения за обстановкой внутри кабины транспортного средства и направленные главным образом на водителя. Благодаря своей конструкции внутренние камеры наблюдения дают возможность водителю самостоятельно закрепить, например, на лобовом стекле ТС или демонтировать видеокамеру в любой момент без каких-либо трудностей или затрат. Стоит отметить, что такие системы имеют ряд ограничений, связанных с невозможностью адаптации систем индивидуально для водителя и отсутствием генерации ему контекстно-ориентированных рекомендаций. Несмотря на то, что подобные системы являются более доступными в приобретении, чем системы СССВ, стоимость таких камер видеонаблюдения соизмерима со стоимостью автомобильного видеорегистратора в среднем ценовом сегменте, а то и выше его в несколько раз. Популярной и распространенной категорией видеокамер наблюдения среди водителей ТС являются автомобильные видеорегистраторы, оснащаемые однокамерными модулями и ведущие наблюдение только за дорожной обстановкой впереди автомобиля, не учитывая поведение водителя ТС.

Специализированные устройства носимой электроники, надеваемые и носимые водителем при управлении ТС, могут обладать функцией обнаружения наступления признаков усталости и ослабленного внимания у водителя. Такие устройства позволяют заблаговременно распознать опасное поведение водителя за рулем ТС и вовремя его предупредить об опасности при помощи звукового сигнала. Преимуществом такого подхода является возможность использования устройств носимой электроники в кабине любого ТС. Среди недостатков можно выделить ограничения к использованию, заключающиеся в повседневном надевании носимого устройства перед началом движения и, как следствие, его ручной настройки каждый раз перед началом новой поездки, а также возможной несовместимости или неудобстве при надевании носимого устройства вместе с очками водителя.

Разрабатываемая распределенная система предупреждения аварийных ситуаций обладает рядом существенных преимуществ перед мобильными системами генерации рекомендаций, внутренними камерами видеонаблюдения, устанавливаемыми внутри кабины автомобиля и устройствами носимой электроники. Данная система позволит не только осуществлять мониторинг признаков усталости и ослабленного внимания у водителя за рулем автомобиля во время вождения, но также непрерывно самообучаться и адаптироваться к поведению и стилю вождения конкретного водителя, учитывая его особенности. Таким образом, адаптация системы РСПАС к поведению водителя за рулем ТС повысит точность и качество распознавания опасных состояний водителя и генерации ему контекстно-ориентированных рекомендаций, учитывающих предыдущий опыт использования системы и статистику взаимодействия между остальными участниками РСПАС. Стоит отметить, что одним из преимуществ использования систем РСПАС является не только более доступная стоимость смартфонов, но и в том числе то, что на сегодняшний день смартфоны широко распространены среди населения и зачастую необходимость в его приобретении для водителя отсутствует.

В ходе анализа решений, посвященных построению систем активной безопасности, осуществляющих мониторинг ситуации внутри кабины ТС и дорожной ситуации с целью выявления опасных состояний в процессе движения, были сформулированы основные требования, которые следует учитывать при разработке системы РСПАС, а именно:

1. Поддержка распознавания опасных состояний водителя;
2. Функционирование РСПАС в отсутствие подключения к сети Интернет;
3. Заблаговременное предупреждение водителя об опасном состоянии при помощи информационного, звукового и вибросигнала смартфона;
4. Генерирование рекомендаций водителю для принятия им мер по предотвращению наступления аварийной ситуации;

5. Персонализация и адаптация РСПАС индивидуально к поведению и стилю вождения водителя;
6. Поддержка просмотра истории использования мобильного программного комплекса и статистики управления ТС;
7. Поддержка режима работы РСПАС на переднем плане поверх сторонних приложений;
8. Поддержка полной работоспособности программного комплекса на версиях мобильной ОС Android 4.2 и выше;
9. Функционирование РСПАС при ухудшении условий освещения внутри кабины транспортного средства и окружающей обстановки;
10. Обеспечение непрерывности мониторинга за дорожной обстановкой и состоянием водителя во время движения;
11. Осведомленность о текущей ситуации в кабине транспортного средства и дорожной обстановке;
12. Конфиденциальность и безопасность;
13. Расширяемость системы;
14. Надежность;
15. Энергоэффективность.

Анализ существующих систем активной безопасности, включающих устройства и технологии, предупреждающих о вероятности наступления аварийной ситуации при вождении, показал, что не все решения в полной мере удовлетворяют сформулированным выше требованиям. Учитывая на сегодняшний день высокий рост интереса автопроизводителей и поставщиков автокомплектующих (радары, лидары, камеры, т.д.) к техническим аспектам активной безопасности автомобиля, разработка системы РСПАС, включающая соответствие перечисленным требованиям, является актуальной задачей, решение которой позволит повысить безопасность, эффективность передвижения водителя в автомобиле и его навыки управления транспортным средством.

## Глава 2. Подход и модели к построению контекстно-ориентированной системы предупреждения аварийных ситуаций на основе мониторинга поведения водителя

### 2.1 Принципы построения системы предупреждения аварийных ситуаций при вождении на основе обзора существующих проектов и исследований

На основе требований построения распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций, сформулированных в разделе 1.4, можно выделить следующие основные принципы, лежащие в основе разрабатываемой РСПАС:

- *Открытый исходный код.* Основные программные решения (библиотеки, фреймворки), помогающие в решении задач РСПАС и предоставляющие информацию для системы генерации рекомендаций водителю, должны иметь открытый исходный код и не должны иметь лицензионные ограничения на его использование и дальнейшую модификацию. Открытость программного обеспечения и независимость доступа множества пользователей к исходному коду позволит не только контролировать поведение программного средства, его безопасность, надежность, функциональное состояние и качество, а также при необходимости модифицировать исходный код.
- *Использование онтологий.* Несмотря на то, что системы заблаговременного обнаружения и предупреждения о наступлении дорожных происшествий набирают популярность и распространенность среди большого количества автопроизводителей, информация о данной категории систем в разной степени открыта и разрознена между разработчиками данных систем безопасности. Одним из основных преимуществ использования онтологий является системный подход к описанию предметной области. Онтологии [115, 116, 117] помогут определить метаданные модели предметной области и функциональные возможности информационной системы повышения безопасности водителя.
- *Заблаговременное предупреждение водителя о наступлении опасной ситуации.* Исходя из того, что разрабатываемый программный комплекс предназначен для повышения безопасности водителя за рулем транспортного средства, выявление опасных состояний и аварийных ситуаций должно происходить заблаговременно, чтобы водитель успел вовремя среагировать на поступившее предупреждение и принять решение по тому, как избежать или снизить последствия вероятного наступления аварийной ситуации.
- *Энергосбережение заряда аккумулятора смартфона.* Как известно, при активном использовании смартфоны достаточно быстро расходуют заряд встроенной батареи, что может привести к полной разрядке телефона и соответственно отключению

РСПАС. Водитель не всегда может обеспечить зарядку своего смартфона достаточной силой тока с целью поддержания или увеличения заряда батареи смартфона.

- *Использование контекстной информации.* Для персонализации результатов работы системы для водителя, выявления опасных состояний в поведении водителя, выработки оповещений и рекомендаций и адаптации системы к внутренним изменениям, система должна использовать имеющуюся информацию о водителе и его окружающей обстановке (контекст). К такой информации относятся информация о пользователе (имя, возраст, стаж вождения и др.), транспортном средстве (тип транспортного средства, уровень топлива, т.д.), параметрах вождения (тип поездки – на дальнее расстояние по трассе или в пределах города, время в пути без перерыва на отдых, т.д.) и дорожной ситуации (заторы, ДТП, дорожные перекрытия, погодные условия, т.д.).

- *Персонализация к поведению водителя.* Исходя из того, что основной целью системы является повышение безопасности при управлении транспортным средством, водитель должен быть обеспечен удобным инструментом, позволяющим незаметно для самого водителя учитывать его особенности вождения и осуществлять персонализацию работы с системой за счет предоставления информации, актуальной и интересной конкретному водителю на основе текущего контекста, анонимизированной информации от других участников РСПАС и фоновую поддержку водителя при следовании по маршруту. В процессе самообучения и персонализации системы к поведению водителя выполняется сбор, анализ и накопление информации, характеризующей текущего водителя в кабине транспортного средства и описывающей первичную калибровку системы на смартфоне, с функцией дальнейшей синхронизации в удаленный облачный сервис.

- *Работа в режиме реального времени.* С целью предотвращения и снижения последствий дорожных происшествий в сфере пассажирских и грузоперевозок система должна обладать актуальной информацией о текущей ситуации и предоставлять результаты обработки такой информации во время движения водителя. Поддержание контекста пользователя и информации о текущей дорожной ситуации в актуальном состоянии позволит максимально быстро выявлять текущие потребности водителя и вызывать соответствующие им реакции системы.

- *Конфиденциальность информации о водителях.* Необходимость сбора и анализа большого количества информации о водителях обусловлена персонализацией системы. Система должна обеспечить недоступность этой информации третьим лицам на основе контроля и разграничения прав доступа для разных типов участников РСПАС. Сбор информации, не связанной с персонализацией результатов работы системы, должен проходить исключительно в обезличенном виде для невозможности идентификации и последующей компрометации источника.

Сформулированные принципы (таблица 8) характеризуют правила построения программного комплекса предупреждения водителя об аварийных ситуациях, предполагающего наблюдение за поведением водителя транспортного средства с использованием онтологии и фронтальной камеры смартфона. Данное программное обеспечение нацелено на определение состояния усталости и ослабленного внимания водителя ТС. Осуществляя непрерывное наблюдение за физическим состоянием водителя при помощи фронтальной камеры смартфона и сенсоров смартфона, разрабатываемая система РСПАС фиксирует характеристики положения головы и лица человека и их отклонения от нормы. На основе анализа этих характеристик система выявляет вероятность наступления аварийных ситуаций водителя и генерирует рекомендации по предотвращению дорожно-транспортных происшествий.

Таблица 8 – Соответствие принципов требованиям построения РСПАС

№	Требование	Принцип
1	Поддержка распознавания ослабленного внимания и усталости водителя ТС	Использование онтологий; использование алгоритмов определения состояния ослабленного внимания и усталости в поведении водителя на основе изображений с фронтальной камеры и данных сенсоров смартфона
2	Функционирование РСПАС в отсутствие подключения к сети Интернет	Использование онтологий; работа в режиме реального времени; использование постоянной памяти смартфона для хранения вспомогательных файлов
3	Своевременное предупреждение водителя об опасной ситуации	Непрерывный активный мониторинг признаков опасных состояний водителя с использованием фронтальной камеры и сенсоров смартфона; работа в режиме реального времени; использование контекстной информации
4	Генерация рекомендаций водителю	Использование контекстной информации; использование алгоритмов выработки персонализированных рекомендаций; открытость источников информации
5	Персонализация и адаптация программного комплекса индивидуально к поведению и стилю вождения водителя	Кластеризация профилей водителей РСПАС на отдельные группы и выделение общих характеристик для каждой группы; использование модели облачного сервиса; использование контекстной информации; конфиденциальность информации о водителях
6	Поддержка режима непрерывной работы РСПАС	Энергосбережение заряда аккумулятора смартфона; запуск мобильного приложения РСПАС на переднем плане поверх сторонних приложений
7	Функционирование РСПАС при ухудшении условий освещения в кабине ТС и окружающей обстановке	Использование считываемых показаний с фронтальной камеры и сенсоров смартфона; генерирование предупреждающих сигналов; использование контекстной информации
8	Просмотр истории использования РСПАС и статистики управления ТС	Использование концептуальной, сценарной моделей системы РСПАС, онтологической модели водителя, информационной модели профиля водителя и модели облачного сервиса; использование онтологий
9	Конфиденциальность и безопасность	Разграничение прав доступа к просмотру и модификации информации о водителях и статистики вождения ТС в соответствии с ролью участника РСПАС; открытый исходный код программных средств



## 2.2 Контекстно-ориентированный подход к созданию распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций

Создание системы предупреждения аварийных ситуаций, учитывающей поведение водителя, характеристику движения ТС и текущие условия окружения, требует анализа различного рода информации, контекста, характеризующей ситуацию, в которой находится водитель транспортного средства [119]. Таким образом, предложен контекстно-ориентированный подход (Рисунок 4) к созданию распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций.

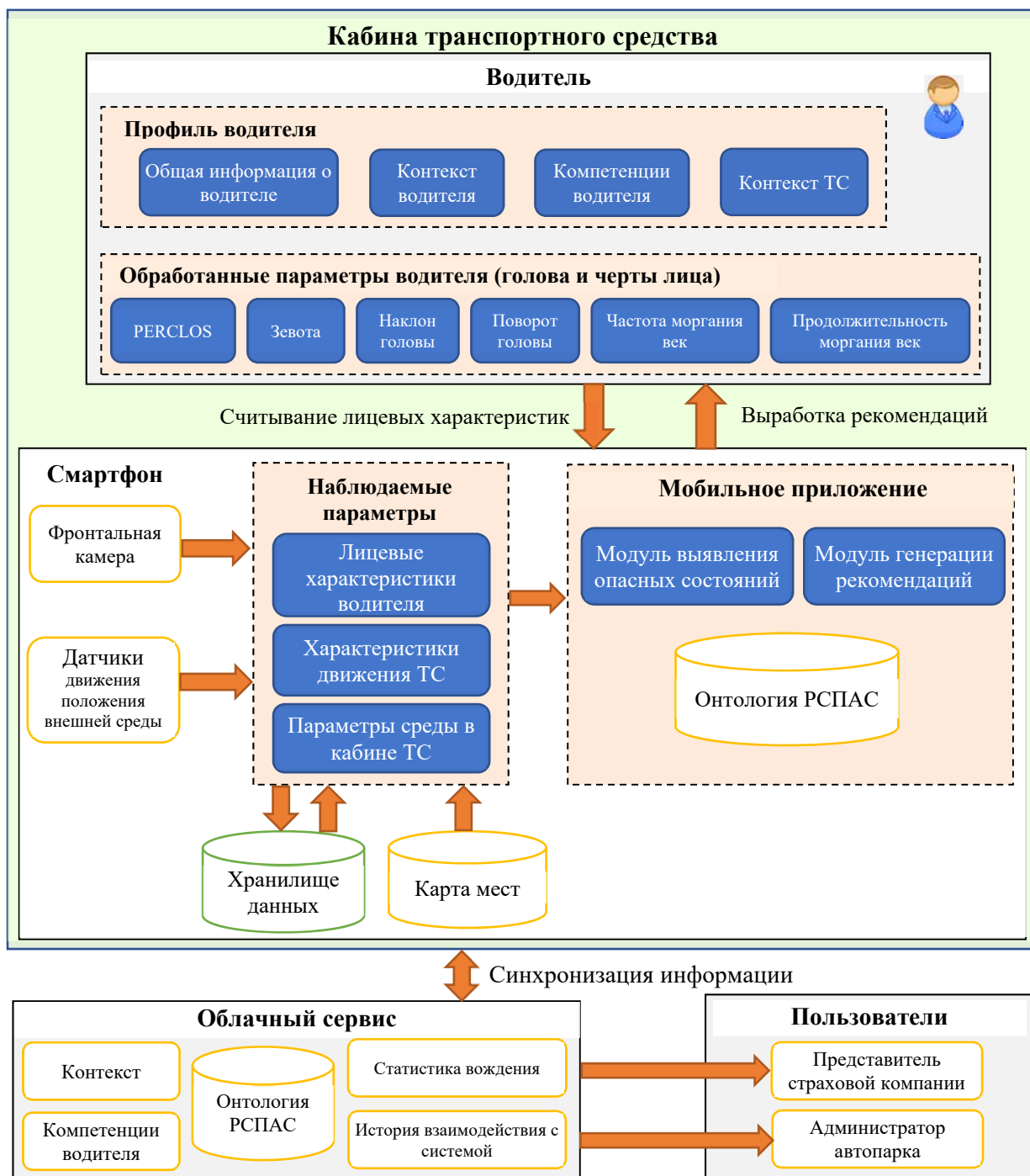


Рисунок 4 – Контекстно-ориентированный подход к созданию системы РСПАС

Контекстно-ориентированный подход заключается в распределенном накоплении, анализе общей информации о водителе, контекста, его компетенций и истории взаимодействия с РСПАС и классификации водителей системы. Данный подход включает четыре основных компонента: водитель, смартфон, облачный сервис и пользователи.

Компонент «Водитель», описывающий психофизиологические особенности водителя транспортного средства, является основным источником информации для системы РСПАС. Данный компонент состоит из модулей «профиль водитель» и «обработанные параметры водителя (голова и черты лица)». Первый модуль характеризуется общей информацией о водителе (имя, фамилия, пол, возраст, номер телефона, т.д.), его стиле вождения (манера торможения и ускорения, скоростной режим на участке, количество и резкость перестроений), навыками и стажем вождения, категорией водителя, к которой водитель отнесен в результате персонализации РСПАС под водителя на основе информации обо всех участниках) и знаниями правил дорожного движения (ПДД). Общая информация, описывающая водителя ТС, помогает не только явно идентифицировать водителя среди всех водителей-операторов, устанавливающих и использующих данный программный комплекс, но и также улучшить поиск и соотношение водителей со схожими характеристиками. В другом модуле, обработанные параметры водителя, психофизиологические показатели считываются и формализуются в режиме реального времени за счет использования методов и подходов компьютерной обработки изображений с фронтальной камеры и получения данных с сенсоров смартфона, а именно акселерометра и гироскопа. Признаки состояний ослабленного внимания и усталости у водителя характеризуется следующими наблюдаемыми параметрами: PERCLOS (PERcentage of eye CLOSure – доля времени, в течение которого глаза водителя закрыты) [122], поворот головы влево/вправо по отношению к туловищу, наклон головы вперед относительно туловища (момент, когда водитель «клюет носом»), продолжительность моргания век, частота моргания век, степень открытости рта человека (признаки зевоты). Манера езды или стиль вождения формируются для каждого водителя индивидуально и позволяют охарактеризовать того или иного оператора транспортного средства и в дальнейшем сформировать предложения по улучшению его навыков вождения ТС, повышая общую безопасность им управления. Стиль вождения определен на основе ряда параметров, включая темп и скорость передвижения, время разгона, резкое ускорение и торможение, поворот ТС, тип поведения водителя за рулем на дороге. Перечисленные параметры регистрируются при помощи встроенных датчиков в смартфон, к которым относятся акселерометр, гироскоп, GPS, магнитометр, микрофон. Перечисленные наблюдаемые показатели и обрабатываемые параметры помогают распознать небезопасное состояние водителя ТС, и снизить вероятность наступления опасного состояния, а именно

усталости или ослабленного внимания у водителя, что в свою очередь является одним из главных принципов построения системы предупреждения аварийных ситуаций.

Следующим компонентом мобильного программного комплекса является смартфон водителя, функционирующий на платформе ОС Android. Координирующим модулем РСПАС является мобильное приложение, устанавливаемое в постоянную память смартфона и выступающее в качестве связующего централизованного звена, через который протекают все процессы передачи информации. Разработанное мобильное приложение включает различного типа программные модули и выполняет следующие задачи: считывание информации с фронтальной камеры и сенсоров, выявление опасных состояний водителя, калибровка системы для водителя, генерация рекомендаций, поиск и построение маршрута к месту отдыха (например, кафе, отель или автозаправочная станция).

Современные смартфоны оснащаются различными сенсорами, позволяющими получить информацию о взаимодействии устройства с физическим миром, который его окружает, а именно направление движения, ориентация в пространстве и различные условия окружающей среды. Модуль считывания и обработки сенсорных данных собирает, анализирует и формализует показания с доступных датчиков смартфона непрерывно во время движения водителя ТС. Данный модуль предоставляет доступ к такой информации о поездке водителя, как видео-фрейм лица водителя в кабине ТС, скорость передвижения, текущая геопозиция, удаленность водителя от ближайших мест отдыха и событие перестроения в другую полосу движения или поворот налево/направо. Перечисленные типы показаний приходят от следующих датчиков:

- фронтальная камера, используемая для непрерывной съемки изображений положения головы и черт лица водителя в процессе движения. При видеосъемке задействуются такие параметры как разрешение выходного видеосигнала, автофокусировка, формат выходных изображений (YUV420 –цифровой формат для выходных изображений камеры на платформе Android).
- акселерометр (G-сенсор), относящийся к датчикам движения, позволяет определить ориентацию смартфона и ускорение силы тяжести по трем осям (X, Y, Z) (например, ускорение или торможение автомобиля).
- гироскоп, отслеживающий положение устройства в пространстве, или угол наклона (например, для поворота налево/направо, перестроения в соседнюю полосу движения).
- магнитометр, измеряющий величину напряженности магнитного поля вдоль трех осей смартфона. Данные с датчиков магнитометра и гироскопа могут объединяться для более точного определения направления движения ТС.

- система спутниковой навигации GPS/ГЛОНАСС, обеспечивающая измерение расстояния, времени и позволяющая получить текущее местоположение и абсолютную скорость движения ТС.
- микрофон, изначально являющийся обязательным датчиком каждого смартфона, позволяет с высокой точностью измерить уровень звукового сигнала во внешней среде. Данный датчик позволяет различать ситуации, когда водитель начинает разговор с одним из пассажиров в ТС, или слушает музыку или радио через мультимедиа систему.
- датчик освещенности, позволяющий определить изменение количества света, поступающего извне. Датчик может быть использован для измерения низкого уровня освещенности (например, в ночное время суток) в кабине транспортного средства, когда получение и обработка изображений с фронтальной камеры является нецелесообразным и невозможной соответственно на основании оценки освещения рабочего места водителя. В случае, если количество света в кабине транспортного средства недостаточно для полной работоспособности РСПАС, программный комплекс может предупредить водителя о временном и частичном отключении функции распознавания опасных состояний в процессе движения.

Начальным шагом для использования водителем системы РСПАС является ее первичная калибровка, осуществляемая модулем «калибровка системы для водителя», которая позволит мобильному приложению учесть параметры водителя (например, наклон головы водителя влево/вправо, вперед/назад по отношению к туловищу), параметры и возможности его смартфона (например, присутствие того или иного датчика, необходимого для полного функционирования РСПАС, уровень громкости предупреждений об опасной ситуации) и транспортного средства (легковой или грузовой автомобиль) и лучше адаптироваться под конкретного водителя.

На основе онтологии РСПАС, включающей знания о водителе, профиле, лицевых характеристиках, ТС и показаниях сенсоров смартфона, модуль выявления опасных состояний позволяет сопоставить обработанные параметры поведения водителя и опасные состояния, с которым он может столкнуться при управлении ТС, на основе текущей ситуации в кабине ТС. На основе выявленного опасного состояния и текущей ситуации, в которой находится водитель и транспортное средство, модуль рекомендаций вырабатывает практические рекомендации, нацеленные на снижение вероятности наступления аварийной ситуации. В случае, если сгенерированная рекомендация заключается о том, чтобы предложить водителю воспользоваться ближайшим местом отдыха, модуль поиска мест отдыха может найти подходящее место для остановки и отдыха и построить оптимальный маршрут до этого пункта назначения с учетом текущих дорожных условий. Стоит отметить,

что мониторинг опасных состояний и генерация рекомендаций водителю выполняются непосредственно на смартфоне водителя, обеспечивая возможность пользоваться системой РСПАС без подключения к сети Интернет.

Упорядоченное хранение и манипулирование сведениями о группе объектов обеспечивается за счет использования локального хранилища данных (ХД), представляющего собой информационную базу данных (БД) системы управления базами данных, и адаптированного для использования на мобильных устройствах платформы Android. Локальное ХД применяется при записи и хранении временных пользовательских данных и подготовки их с целью дальнейшей синхронизации и отправки в удаленный облачный сервис. Стоит отметить, что возможность работы программного комплекса без подключения к интернет (офлайн) обеспечивает хранилище данных, выполняющая логирование и запись событий и их характеристик в постоянную память устройства при обрыве связи, а при ее появлении – в облачный сервис.

Поскольку, механизм определения опасных состояний водителя, задействующий в своей работе модуль выявления признаков опасного поведения в составе мобильного приложения, локальное хранилище данных и непосредственно компонент «Водитель», сосредоточен на смартфоне водителя, накапливаемая информация о водителе является минимальной и достаточной для функционирования системы РСПАС в отсутствие подключения к сети Интернет. С возобновлением соединения с сетью Интернет в системе РСПАС становится возможным дополнить накапливаемую информацию на смартфоне той, которая является результатом работы программных модулей и алгоритмов, сосредоточенных в облачном сервисе, ориентированном на постобработку поступающих в него данных от водителей и других участников системы.

Облачный сервис получает от мобильного приложения такую информацию как характеристика вождения водителя (ускорение, торможение, плавность хода, переключение, путь следования и т.д.), опасные состояния в процессе движения, и статистика использования приложения. На основе данных, собираемых с мобильного устройства водителя, выделяются и формируются его паттерны поведения, уникальный стиль (манера) вождения, характеризующие конкретного водителя. Стоит отметить, что в качестве пользователей РСПАС определены администраторы автопарков и представители страховых компаний, осуществляющие мониторинг истории взаимодействия с системой и анализ статистики вождения водителей, соответственно. Кроме того, используя результаты работы облачного сервиса, РСПАС дает возможность пользователям системы повысить эффективность использования водителями ТС, снизив эксплуатационные расходы при обслуживании и улучшить взаимодействие с непосредственными клиентами той или иной компании. По мере взаимодействия водителей и пользователей с РСПАС, данная система

продолжает обучаться на основе накапливаемых данных и подстраиваться под каждого водителя с учетом его особенностей поведения за рулем и стиля вождения, что обеспечивает выполнение принципа непрерывной персонализации системы РСПАС и достижение возможности оценки навыков водителей по управлению ТС и улучшения эффективности его эксплуатации.

Общая схема работы распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций определена следующим образом. Устанавливаемый на смартфон мобильный программный комплекс РСПАС задействует аппаратные возможности смартфона в виде фронтальной камеры и сенсоров телефона для получения изображений водителя и параметров поездки (текущая скорость передвижения, ускорение, торможение, поворот налево/направо и текущие географические координаты ТС). Для поиска и извлечения характеристик головы и черт лица водителя (положение головы, PERCLOS, скорость моргания век, направление взгляда, степень открытости рта) его исходное изображение, поступающее на вход модулю обработки изображений, обрабатывается методами компьютерного зрения [123,124]. Используя онтологию водителя и ТС, характеристики его лица и показания с сенсоров смартфона, модуль выявления опасных состояний определяет наличие признаков небезопасного поведения водителя за рулем ТС. В зависимости от выявленного опасного состояния, усталости или ослабленного внимания, модуль генерации рекомендаций сигнализирует водителя о возникновении нештатной ситуации и выдает инструкции по тому, как можно предотвратить аварийную ситуацию или снизить последствия ее наступления.

Большое количество информации, получаемой и генерируемой в процессе непрерывного мониторинга поведения водителя за рулем ТС с использованием фронтальной камерой и многочисленными сенсорами смартфона, накапливается при работе системы помощи водителю. В результате одновременной работы локальной базы данных, хранящейся в приложении на смартфоне водителя и удаленного облачного сервиса, доступного для каждого водителя в любой момент времени, становится возможным хранение, управление, анализ и генерирование новых данных.

### **2.3 Информационная модель профиля водителя транспортного средства**

Анализ существующих систем активной безопасности и технологий, из составляющих, при управлении ТС, устанавливаемых в автомобили на заводах автопроизводителей или специализированных сервисах или вручную после приобретения ТС, представленных в качестве МСГР или УНЭ позволил выделить следующую информацию об операторе (водителе) РСПАС транспортного средства: общая информация о водителе, контекст, компетенции водителя и история взаимодействия с системой.

Разработанная информационная модель профиля водителя системы РСПАС при управлении транспортным средством показана на рис. 5.

В качестве главного действующего лица для информационной модели был выбран водитель ТС на основе того, что он предоставляет информацию системе на основе совокупности параметров и связей между ними, позволяющей модели моделировать различные состояния оператора (водителя) на основе передачи информации.

Раздел «Общая информация о водителе» включает в себя следующую информацию: уникальный идентификатор водителя, имя, фамилия, пол, дата рождения, семейное положение, стаж вождения, номер мобильного телефона. Данная информация является базовой и первоначально характеризует водителя.



\*Атрибуты «Контекст» и «Компетенции водителя» являются экземплярами категорий «Контекст» и «Компетенции водителя» соответственно.

Рисунок 5 – Информационная модель профиля водителя

Раздел «контекст» описывает всю информацию, характеризующую окружающую обстановку, в котором находятся водитель и транспортное средство и состоит из двух подразделов «Контекст водителя» и «Контекст ТС». Раздел «Контекст водителя» содержит информацию об операторе мобильного программного комплекса, которая изменяется в зависимости от текущей ситуации в кабине транспортного средства и дорожной обстановке. В данный раздел включены следующие атрибуты: параметры калибровки системы РСПАС, используемое оборудование и программное обеспечение, психофизиологические особенности водителя, симптомы небезопасного поведения и количество часов без перерыва на отдых. Атрибут «параметры калибровки системы» определяет настройки калибровки мобильной системы помощи водителю, осуществляемые

при первом запуске приложения и позволяющие лучше подстроиться под конкретного водителя транспортного средства (угол наклона головы водителя по умолчанию, фокусное расстояние объектива, расстояние от фронтальной камеры смартфона до водителя, предпочитаемый уровень громкости звука смартфона). Атрибут «используемое оборудование» описывает технические характеристики смартфона, используемого водителем ТС. Атрибут «используемое программное обеспечение» характеризует программный комплекс, устанавливаемый и настраиваемый на смартфоне водителя и предназначенный для прогнозирования вероятности наступления аварийных ситуаций. Атрибут «психофизиологические особенности» описывает состояние водителя в текущий момент времени, характеризуя его скорость реакции, точность и последовательность действий. Атрибут «симптомы небезопасного поведения» содержит информацию о выявленном небезопасном поведении водителя за рулем автомобиля с целью дальнейшей выработки рекомендаций для предотвращения наступления аварийной ситуации (например, количество часов непрерывного управления ТС, отражающее информацию о времени нахождения водителя за рулем автомобиля при непрерывном движении без перерыва на отдых). Атрибут «состояние обстановки внутри салона кабины ТС» описывает различные параметры и условия обстановки в кабине ТС (например, уровень освещенности, уровень сигнала шума).

Раздел «Контекст ТС» описывает информацию, связанную с транспортным средством, такую как его категория (легковой или грузовой), характеристики, местоположение и дорожные условия. Атрибут «характеристики движения» содержит информацию о направлении и скорости движения водителя в конкретный момент времени. Атрибут «местоположение» содержит информацию о текущем географическом местоположении ТС и близлежащих мест отдыха, используемых при формировании рекомендаций. Сведения о местах отдыха описывают придорожные остановки (кафе, отели, автомобильные заправочные станции), которыми водитель может воспользоваться при наступлении усталости или ослабленного внимания и сделать небольшой отдых в 20-30 минут, выпив тонизирующий напиток или же воспользоваться полноценным 7-8 часовым сном, восстановив силы перед следующей поездкой. Атрибут «дорожные условия» описывает время в пути и оставшееся время до конечного пункта назначения, текущее время суток и отражает текущую степень загруженности автомобильных дорог.

Раздел «Компетенции водителя» описывает способность и стремление водителя к действиям на основе его личностных параметров, знаний, навыков и включает группы водителей, соблюдение правил дорожного движения и паттерны поведения. Компетенции водителей заполняется системой автоматически на основе истории работы с системой, паттернов поведения и стиля вождения водителя. Паттерны поведения описывают



успешность, последовательность и время выполнения тех или иных действий каждого конкретного водителя в момент времени на основе использования считываемых сенсорных данных и информации, определяющей профиль водителя. Примером паттерна поведения водителя может служить ситуация, описывающая процесс торможения ТС перед красным сигналом светофора на некотором промежутке времени. В данном случае паттерн поведения водителя включает почти неизменное движение ТС в направлении прямо, регистрируемое гироскопом и магнитометром; снижение скорости движения ТС, регистрируемого сенсором GPS; отрицательные значения, считываемые при помощи акселерометра смартфона и свидетельствующие о торможении ТС и, наконец, прекращение движения ТС и установление его скорости равной нулю. Группы водителей включают в себя выявляемую информацию о принадлежности к той или иной группе, к которой система отнесла данного водителя. Формализация компетенций позволяет осуществить автоматическую кластеризацию водителей посредством формирования поведенческих профилей с последующим выявлением групп водителей со схожими характеристиками в управлении ТС (паттерны поведения, стиль вождения).

Раздел «История взаимодействия» включает историю работы водителя с системой РСПАС. В данном разделе сохраняется статистика использования системы РСПАС (протоколирование действий водителя), собираемая в основном неявным образом, контекст водителя и его компетенции. Данная информация используется для дальнейшей синхронизации с облачным сервисом и офлайн анализа действий водителя и обновления в автоматическом режиме раздела «Компетенции водителя». С целью выделения групп водителей со схожими характеристиками на основе информации об их поведении за рулем транспортного средства используется метод классификации их профилей.

#### **2.4 Онтологическая модель распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций**

Процессы формирования контекстно-зависимых решений модулем выявления и предупреждения опасных состояний в процессе вождения и выполнения персонализации системы РСПАС для водителя требуют обеспечения формализации текущей ситуации в кабине транспортного средства. Инструментом, решающим данную задачу, была выбрана онтология [120, 121], описывающая предметную область в виде модели, в которой концептам и связям даны уникальные имена и определения. Онтологическая модель позволит не только достичь семантической интероперабельности во взаимодействии отдельных компонентов в системе РСПАС, но и при необходимости вносить изменения в поведение системы, не перепрограммируя составляющие ее компоненты и модули.

Разрабатываемая система РСПАС описана с использованием онтологической модели, построенной на основе знаний о следующих объектах при помощи четырех высокоуровневых классов: «Водитель» (поведение водителя в кабине ТС), «ТС» (характеристики управления транспортным средством), «Смартфон» (смартфон водителя, объединяющий в себе фронтальную камеру и сенсоры и использующийся для функционирования мобильного программного комплекса) и «ОпасныеСостояния» (небезопасные состояния, с которыми водитель может столкнуться при управлении транспортным средством). Данная онтологическая модель ориентирована на достижение следующих задач: выявление опасных состояний водителя на основе наблюдаемых и обработанных параметров с фронтальной камеры и сенсоров смартфона; генерация рекомендаций на основе определенных опасных состояний для предотвращения наступления дорожно-транспортных происшествий. Общая схема онтологической модели РСПАС представлена на рис. 6.



Рисунок 6 – Общая схема онтологической модели системы РСПАС

С целью наглядного и упрощенного представления знаний о контексте в кабине транспортного средства онтологическая модель РСПАС условно разделена на онтологию выявления опасных состояний усталости и ослабленного внимания в поведении водителя (рис. 7) и онтологию предупреждения водителя об аварийных ситуациях путем генерации ему рекомендаций с целью недопущения наступления аварийной ситуации (рис. 8). Рассмотрим онтологию определения опасных состояний водителя.

Онтологическая модель выявления опасных состояний позволяет сопоставить наблюдаемые сигналы поведения водителя и опасные состояния, с которыми он может

столкнуться при управлении ТС. Понятие «Водитель» характеризуется и формируется на основе наблюдаемых (класс «НаблюдаемыеПараметрыВодителя») параметров, непосредственно считываемых с фронтальной камеры (класс «ФронтальнаяКамера») и обработанных (класс «ОбработанныеПараметрыВодителя») параметров в поведении водителя. Наблюдаемые параметры являются первичными значениями с фронтальной камеры смартфона, которые проходят предварительную обработку, и описывают лицевые характеристики водителя, включая (отношение «являются») в себя такие объекты как «ГлазаОткрыты», «ГлазаЗакрыты», «СтепеньОткрытостиРта» и «ПоложениеГоловы». На основе распознанных лицевых характеристик система РСПАС вычисляет (обработанные) параметры, представляющие собой предобработанные сведения о водителе в кабине ТС и используемые в дальнейшем для выявления возможных опасных состояний. К обработанным параметрам относятся (отношение «являются») такие визуальные объекты как «PERCLOS» (доля времени, в течение которого глаза закрыты), «ЧастотаМорганияВек» (частота смыкания век в течение времени), «ПродолжительностьМорганияВек» (время мигания век), «ПоворотГоловы» (угол поворота головы водителя влево/вправо), «Зевота» (отношение высоты и ширины рта водителя) и «НаклонГоловы» (угол наклона головы водителя вниз/вверх).

Другим составляющим классом онтологии является «ТС», включающий (отношение «являются») различные параметры и атрибуты управления ТС водителем, формирующиеся на основе наблюдаемых («НаблюдаемыеПараметрыТС») и обработанных («ОбработанныеПараметрыТС») характеристик движения. Наблюдаемые параметры являются первичными значениями, формирующимися при помощи получаемых данных с сенсоров (класс «Сенсоры», объединяющий (отношение «являются») в себе объекты: «Акселерометр» (датчик, измеряющий ускорение и скорость ТС), «Магнитометр» (датчик, измеряющий направление движения ТС), «Гироскоп» (датчик, измеряющий положение ТС в пространстве), «GPS» (датчик, использующийся при вычислении текущей скорости и географического местоположения), «Микрофон» (датчик, вычисляющий уровень звукового сигнала извне), «ДатчикОсвещенности» (датчик, измеряющий уровень освещенности в кабине ТС), каждый из которых соответствует одноименному сенсору) смартфона, включая следующие параметры: «ЛинейноеУскорение», «СкоростьДвижения», «УровеньШумаВКабинеТС», «НаправлениеДвиженияТС», «КоординатыМестоположения» и «СтепеньОсвещенностиВКабинеТС». На основе анализа характеристик движения ТС система РСПАС переходит к обработанным параметрам, используемым при выявлении опасных состояний, а именно «ПоворотТС» (угол поворота ТС, вычисляемый на основе измерений с гироскопа), «УскорениеТС» и «ТорможениеТС» (ускорение и торможение ТС, определяемое при помощи данных с

акселерометра), «ПолнаяОстановкаТС» (остановка ТС фиксируется при скорости движения 0 км/ч), «СредняяСкоростьДвиженияНаУчастке» (определяется на основе данных с GPS и акселерометра), «ГеографическоеМестоположение» и «ГолосЧеловека» (определение присутствия других людей в кабине ТС помимо водителя по входному аудио сигналу с микрофона). На основе обработанных параметров, описывающих поведение водителя и характеристики движения ТС, система РСПАС принимает решение о присутствии или отсутствии признаков опасного состояния у водителя («ОпасныеСостояния»), к которым относятся (отношение «являются») усталость (объект «Усталость») и ослабленное внимание (объект «ОслабленноеВнимание»).

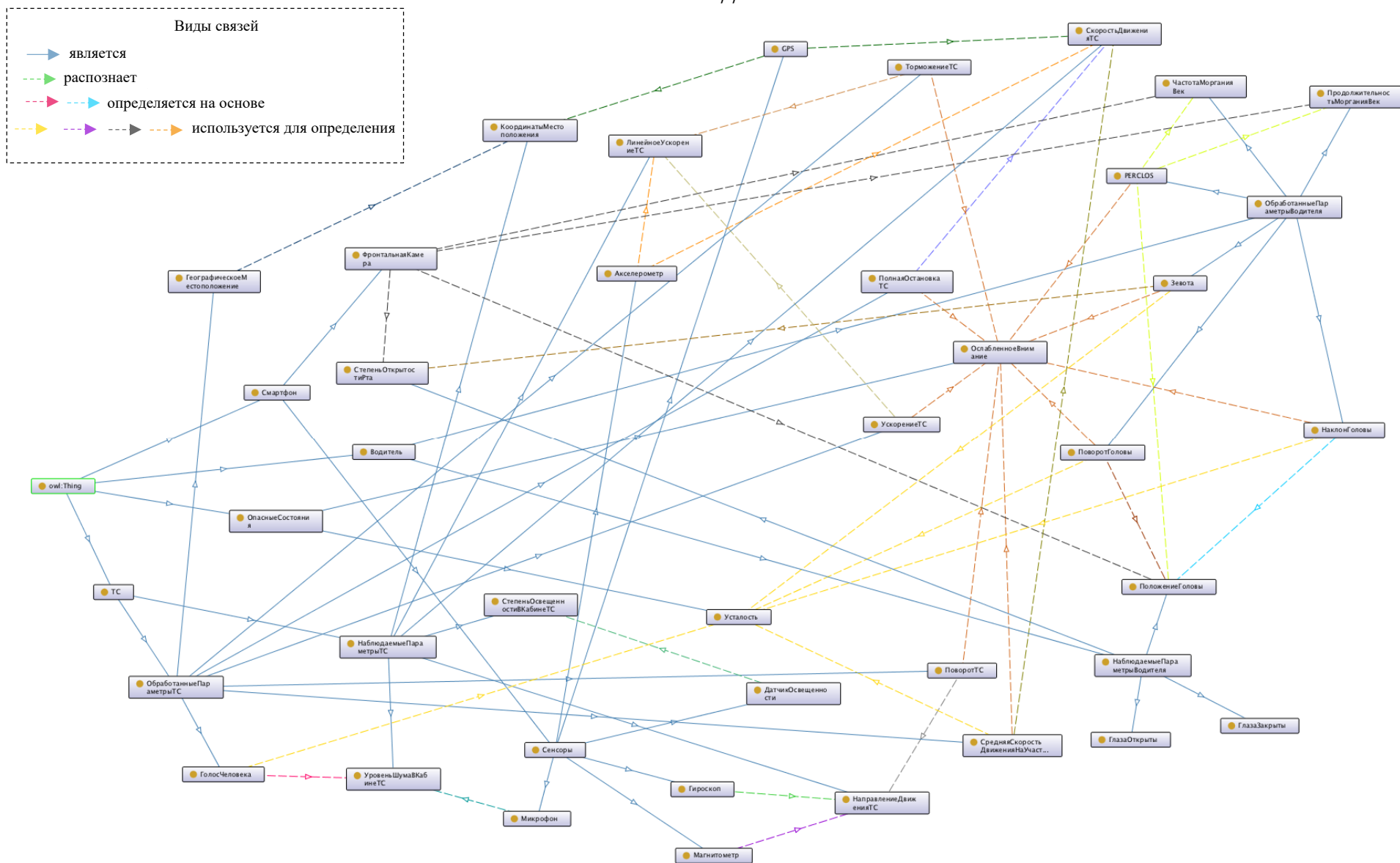


Рисунок 7 – Онтология выявления опасных состояний в поведении водителя

Далее, результаты распознавания опасного состояния водителя являются начальной точкой входа для онтологии предупреждения водителя и выработки ему контекстно-ориентированных рекомендаций. С целью оповещения водителя об опасном состоянии и генерации рекомендаций системой РСПАС задействуются информационные оповещения (класс «ИнформационныеОповещения»), включающий (отношение «являются») такие виды уведомлений смартфона, как вибрация (колебания) (класс «Вибрация»), текстовое сообщение (например, отображение на дисплее смартфона) (класс «ТекстовоеСообщение») и звуковое уведомление (например, при помощи динамика смартфона) (класс «ЗвуковоеУведомление»). При обнаружении признаков состояния усталости у водителя ему генерируются (отношение «являются») следующие рекомендации (класс «Рекомендации»): выключить радио или музыку, съехать на обочину и отдохнуть или закончить разговор. В случае определения признаков состояния ослабленного внимания у водителя ему генерируются (отношение «являются») следующие рекомендации: съехать на обочину и отдохнуть, включить радио или музыку, выпить тонизирующий напиток (кофе), начать разговор с пассажиром, напеть мелодию или проветрить салон транспортного средства.

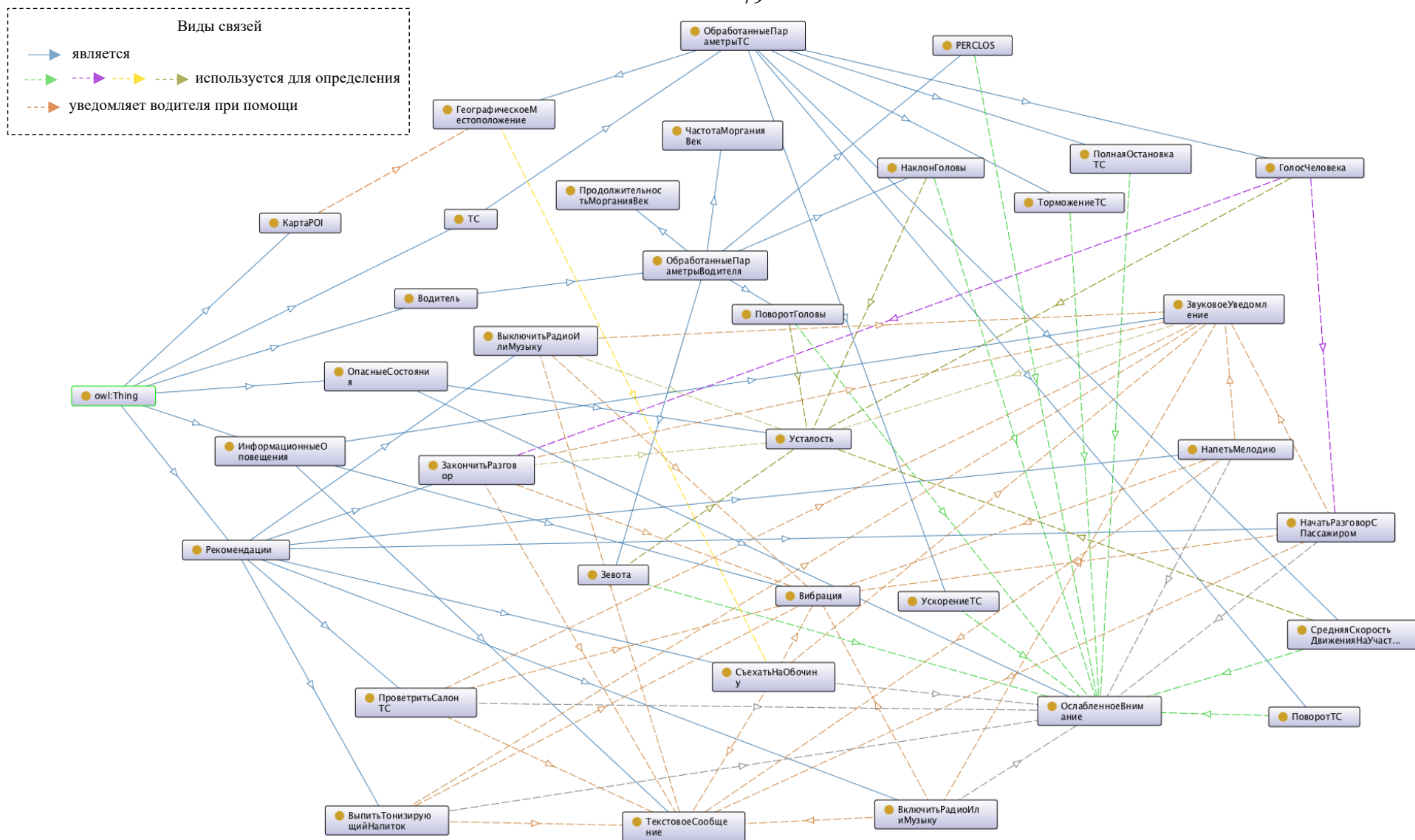


Рисунок 8 – Онтология предупреждения водителя об опасном состоянии и генерации ему рекомендаций

За счет присутствия общего класса «ОпасныеСостояния» (состояния усталости и ослабленного внимания) является возможным объединить построенные и описанные выше онтологии (рис. 7, рис. 8) и сформировать онтологическую модель системы РСПАС, ориентированную на выявление опасных состояний в поведении водителя и предупреждение водителя и генерацию ему рекомендаций на основе входных данных с фронтальной камеры и сенсоров смартфона. С целью целостного понимания знаний о предметной области рассмотрим единую совместную (общую) онтологию системы РСПАС (рис. 9).

Общая онтологическая модель системы РСПАС позволяет дополнить модель поведения водителя параметрами и атрибутами, характеризующими взаимодействие водителя с ТС и использующимися при определении признаков усталости и ослабленного внимания у человека.



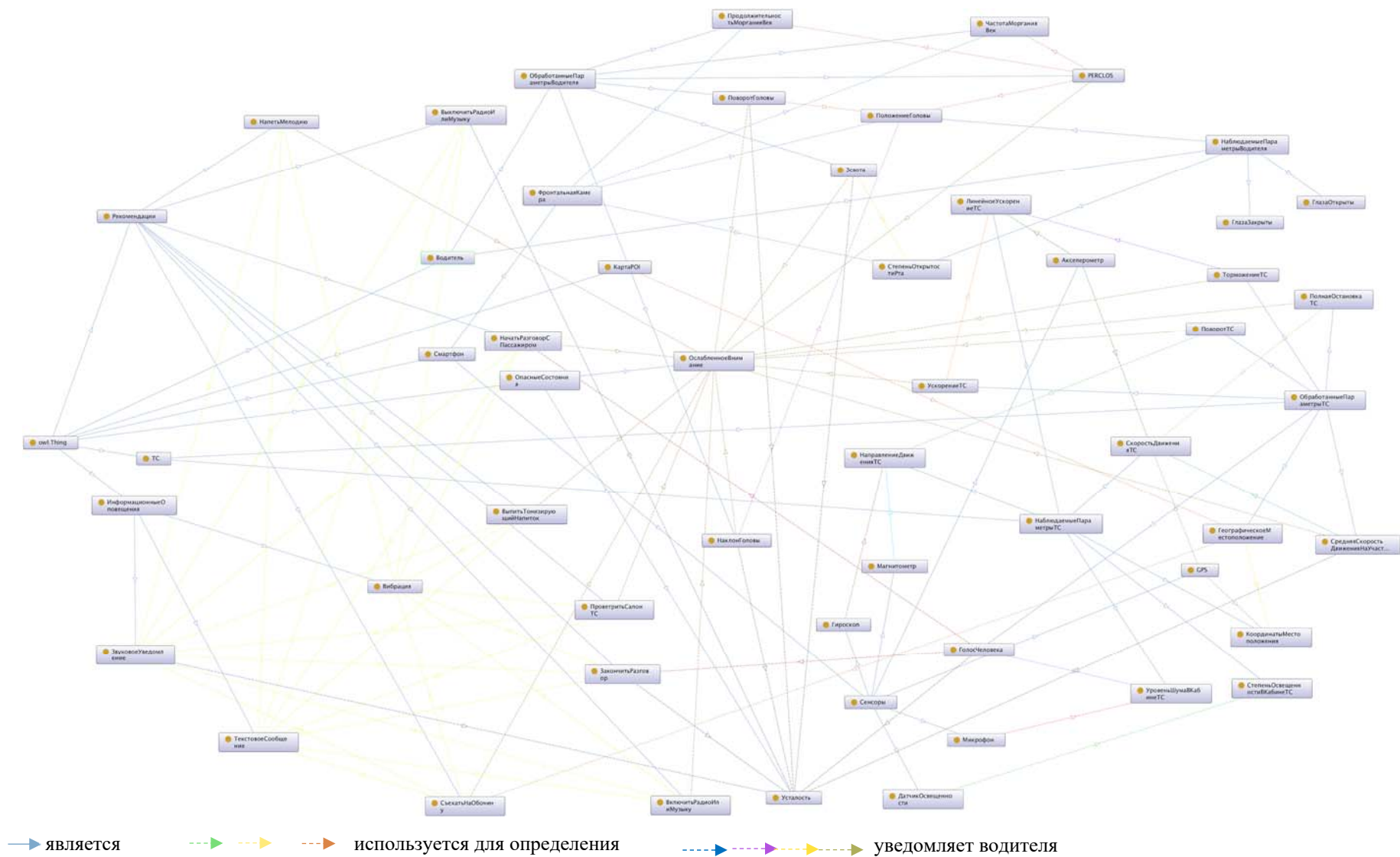


Рисунок 9 – Общая онтологическая модель системы РСПАС при управлении ТС

## 2.5 Сценарная модель распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций и выработки контекстно-ориентированных рекомендаций для водителя транспортного средства

На основе сформулированных принципов рассмотрены четыре варианта ролей актеров (действующих лиц – людей), участвующих в процессе взаимодействия с РСПАС, намеревающихся достигнуть определенных целей и представленные в виде сценарных моделей.

*Вариант использования РСПАС водителем личного ТС.* Данный вариант подразумевает использование РСПАС при вождении частными водителями, владеющими и управляющими собственным (личным) ТС (рис. 10). В этом случае водитель устанавливает систему РСПАС на свой смартфон и использует ее в удобное для него время. Преимуществами такого взаимодействия водителя с РСПАС является стремление водителя к повышению собственной безопасности за рулем транспортного средства за счет реагирования на генерируемые мобильным приложением рекомендации, учитывающие текущий контекст.

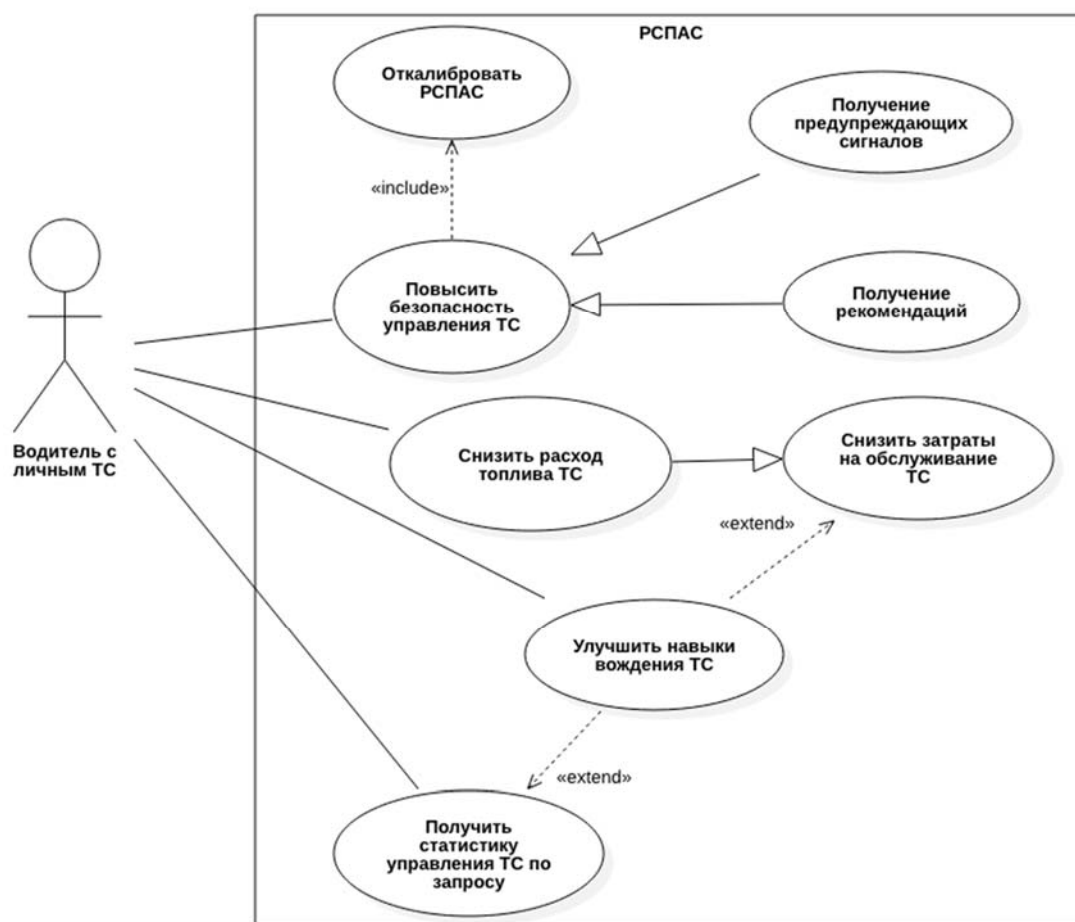


Рисунок 10 – UML-диаграмма сценария использования РСПАС водителем личного автомобиля

В качестве одного из результатов взаимодействия водителя с системой РСПАС является оценка его стиля вождения на основе анализа совершенных поездок и, как следствие, непрерывное повышение безопасности движения и сокращение расходов на обслуживание ТС путем повышения эффективности его эксплуатации.

*Вариант использования РСПАС администратором автопарка.* Несмотря на то, что дорожные аварии по вине грузового автотранспорта происходят гораздо реже, чем по вине легковых автомобилей, смертность в ДТП с грузовыми автомобилями остается крайне высокой. Среди факторов, вызывающих снижение бдительности водителя и, как следствие, приводящих к происшествиям с участием грузового автотранспорта, можно выделить такие как плотные рабочие графики, неверно спланированный маршрут или проявление торопливости со стороны работодателя или заказчика. В этом случае РСПАС могут с легкостью найти применение в логистических компаниях, осуществляющих грузовые перевозки (рис. 11).

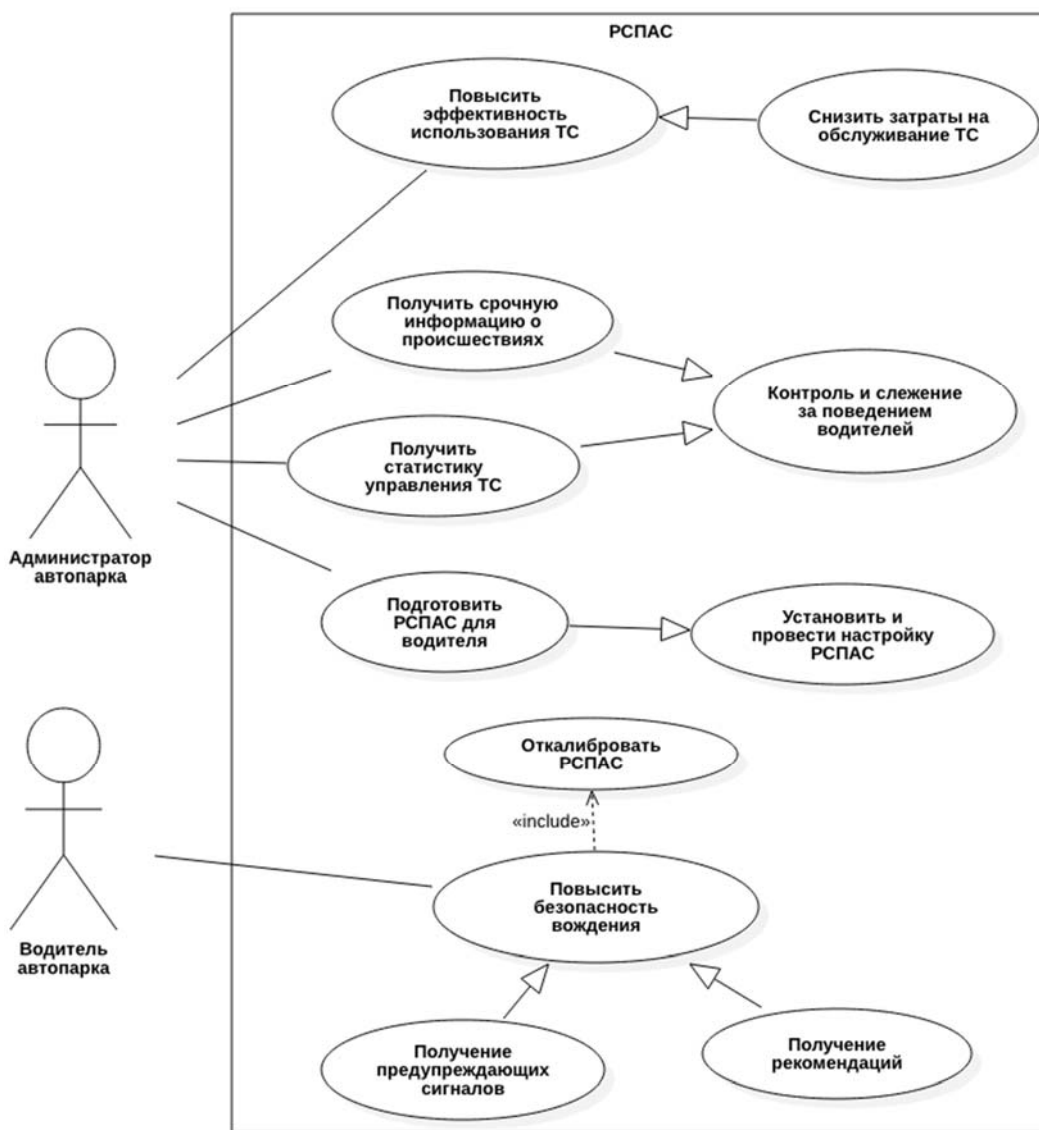


Рисунок 11 – UML-диаграмма сценария использования РСПАС водителем из штата и администратором автопарка

Другой сферой применения системы РСПАС являются таксомоторные компании, осуществляющие пассажирские перевозки и предлагающие услуги такси. Предлагаемый вариант подразумевает мониторинг осуществляемых поездок администратором автопарка и использование системы генерации рекомендаций штатными водителями автопарка. Преимуществами данного варианта использования РСПАС является стремление администратора автопарка обеспечить каждого водителя смартфоном с установленным на нем РСПАС, что в свою очередь позволит непрерывно отслеживать местонахождение водителя, его психофизиологическое состояние и вести контроль учета отдыха водителя в режиме реального времени.

*Вариант применения системы РСПАС страховой компанией для использования водителем.* Принцип Usage Based Insurance («Страхование на основе фактического использования») (UBI) [118] был введен на рынок моторных ТС еще 10 лет назад. Вместо того, чтобы рассчитывать стоимость страхового полиса на основе марки и модели автомобиля, стажа водителя, его возраста и истории вождения, принцип UBI описывает модель, согласно которой риск вычисляется в зависимости от индивидуального стиля вождения водителя на основе различных параметров (например, время использования, пройденное расстояние, скорость движения, опасные маневры, поведение водителя и места поездок). На данный момент существует два вида моделей UBI: Pay As You Drive (PAYD) и Pay How You Drive (PHYD). В настоящее время страховые компании все чаще применяют технику PHYD в области автострахования, в результате работы которой проводится анализ поведения водителя за рулем ТС и динамически рассчитывается стоимость страхования транспортного средства при последующем оформлении. Для применения подобной техники данные компании задействуют либо телеметрическое оборудование, подключаемое, как правило, через диагностический порт ТС, или смартфон водителя с установленным на нем соответствующим мобильным приложением. В качестве мобильного приложения может выступать разрабатываемая система РСПАС. В процессе эксплуатации ТС мобильное приложение предоставляет страховой компании необходимые данные о водителе. За счет анализа полученных сведений с сенсоров (например, акселерометр, гироскоп, GPS) о стиле вождения водителя страховая компания предоставляет возможность скорректировать тарифный план страхования ТС. В этом случае, с целью «поощрения» водителей страховыми компаниями могут применяться некоторые из следующих программ: выгодное предложение при пролонгации полиса (окончание срока страхования), снижение стоимости тарифного плана при оформлении полиса и использовании телеметрического оборудования. Преимуществом применения данного сценария (рис. 12) является стремление страховых компаний повысить

безопасность дорожного движения, снизить расходы на оформление страховых полисов для водителей и, как результат, привлечь больше клиентов.

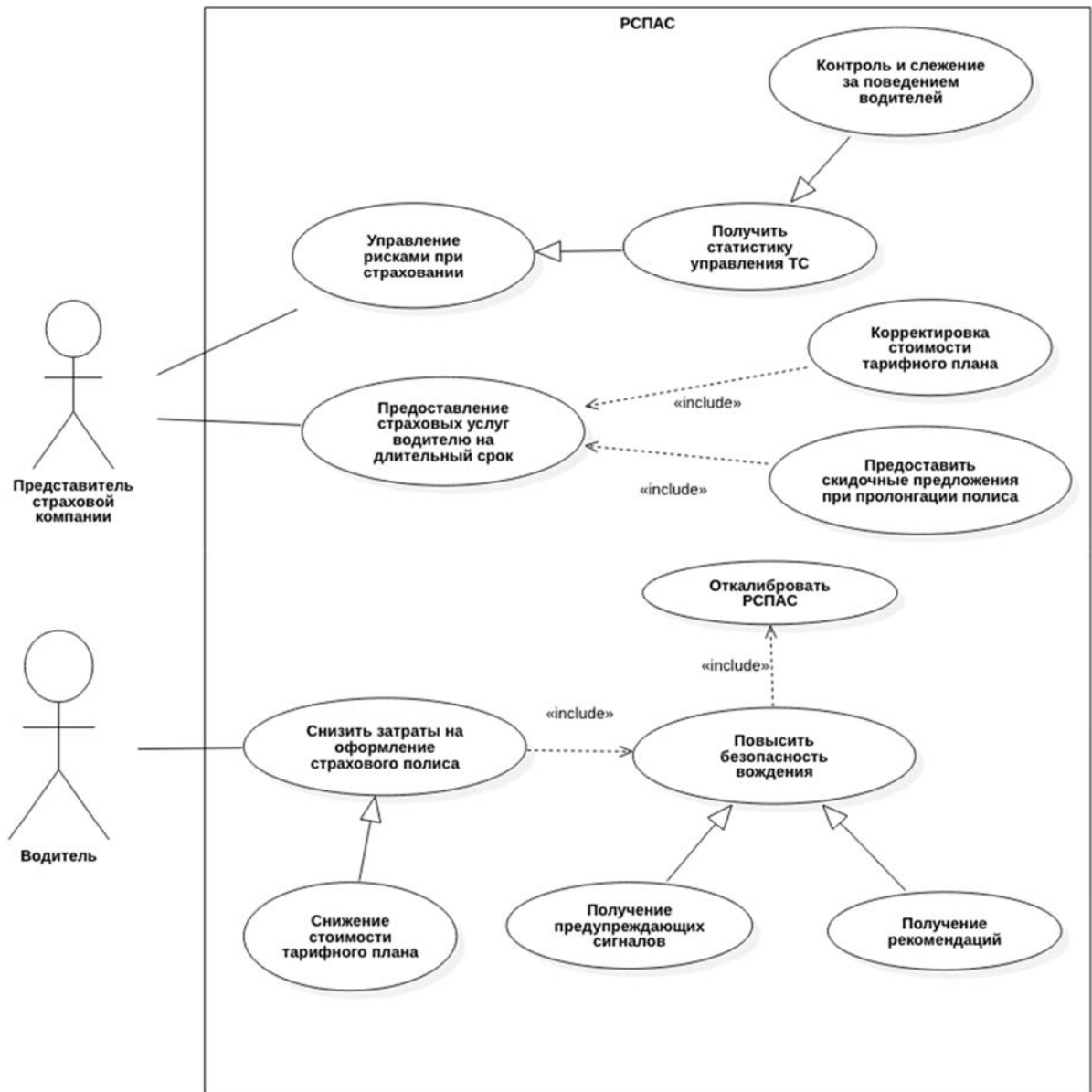


Рисунок 12 – UML-диаграмма сценария использования РСПАС водителем в рамках страхования

Рассмотрим общую схему взаимодействия РСПАС ее участниками, представленную в виде диаграммы последовательности (Рисунок 13), на примере водителя. Водитель ТС, осуществляющий взаимодействие главным образом с РСПАС при помощи смартфона (участник процесса), задействует модули калибровки системы под водителя, считывания информации с камеры и сенсоров, выявления опасных состояний, генерации рекомендаций, поиска мест отдыха и синхронизации информации с облачным сервисом.

Использование водителем РСПАС в кабине ТС начинается с модуля калибровки системы, подстраивающейся под текущего водителя с учетом его внешних характеристик лица и его черт, а также предпочтений при использовании программного комплекса на смартфоне (например, уровень громкости предупреждающих уведомлений, рекомендаций).

Далее, наблюдаемая информация о водителе, собираемая и накапливаемая модулем считывания информации с сенсоров смартфона, обрабатывается и поступает в модуль выявления опасных состояний для дальнейшего обнаружения признаков ослабленного внимания и усталости у водителя. При распознавании опасного поведения модуль генерации рекомендаций уведомляет водителя о небезопасной ситуации при помощи звукового сигнала и контекстно-ориентированных рекомендаций за счет голосовых или текстовых сообщений о принятии надлежащих мер с его стороны по предотвращению аварийной ситуации. В случае, если в области видимости водителя расположены зоны отдыха, модуль поиска мест отдыха оповестит его о таких местах и предложит воспользоваться одним из найденных вариантов. Одним из ключевых аспектов функционирования РСПАС является персонализация к стилю вождения индивидуально для водителя. Данная функция РСПАС выполнима за счет синхронизации информации через облачный сервис при помощи соответствующего модуля в фоновом режиме (без прерывания остальных функций РСПАС) непрерывно на всем протяжении работы программного комплекса. Информация, накапливаемая в процессе управления транспортным средством, при наличии Интернет-соединения периодически синхронизируется в фоновом режиме с удаленным облачным сервисом (модуль синхронизации информации с облачным сервисом) с целью обмена информацией о паттернах поведения конкретного водителя и дальнейшего повышения точности модуля выявления опасных состояний. В том числе, данный модуль предоставляет возможность запроса статистики взаимодействия водителя с РСПАС на любом участке движения.

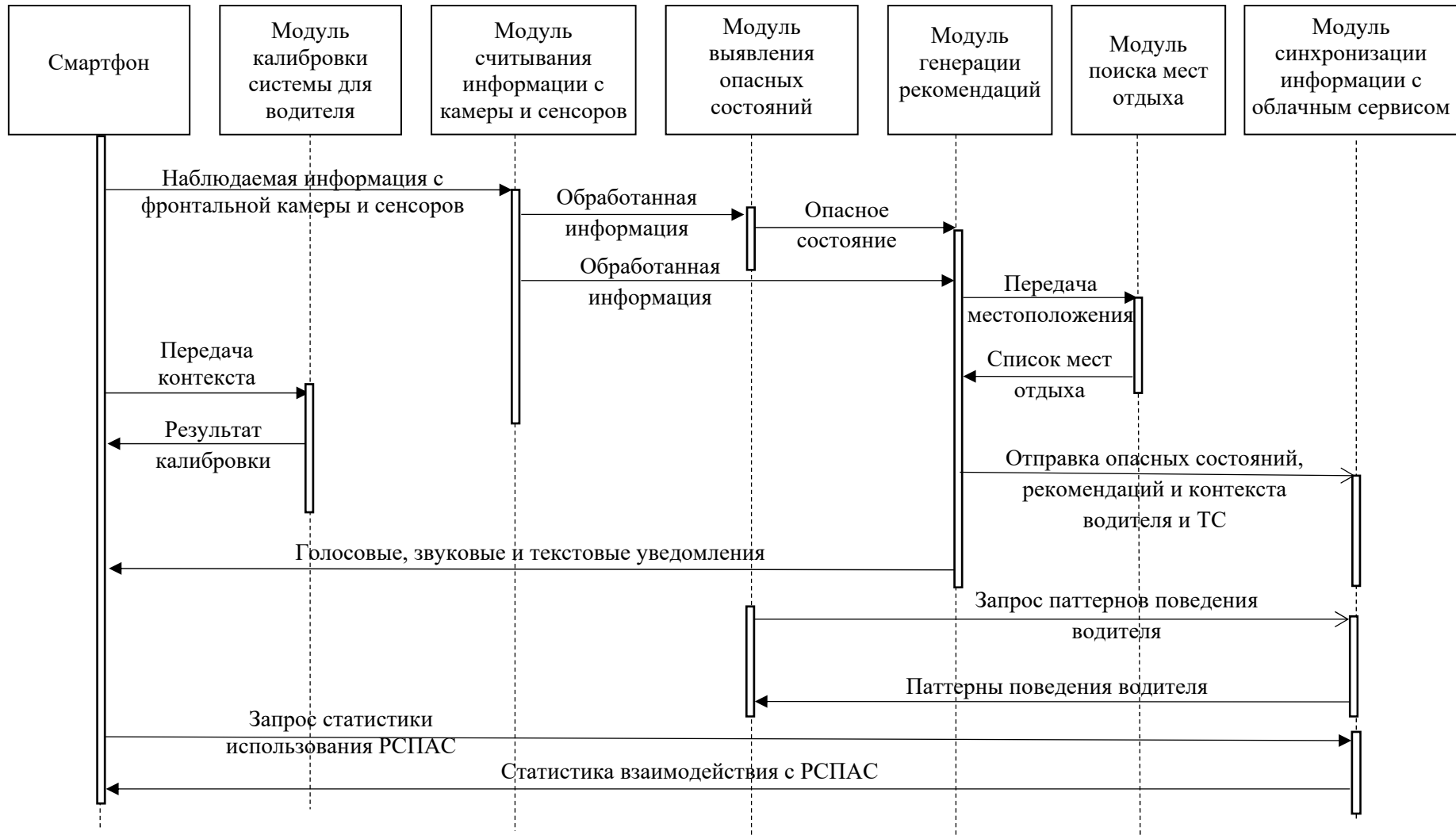


Рисунок 13 – Общая диаграмма использования участниками РСПАС

## **2.6 Эталонная модель облачного сервиса, осуществляющего хранение, анализ и обработку пользовательской информации**

Облачный сервис является неотъемлемым компонентом разрабатываемого мобильного программного комплекса, нацеленного на повышение точности распознавания аварийных ситуаций, своевременного предупреждения водителя ТС о наступлении ДТП и выработки актуальных рекомендаций по предотвращению дорожных происшествий. Исходя из того, что модель облачного сервиса системы РСПАС (Рисунок 14) построена на основе контекстно-ориентированного подхода, онтологической модели системы РСПАС и информационной модели профиля водителя ТС, представленных в разделах 2.1, 2.2 и 2.3 соответственно, данная модель состоит из следующих компонентов: смартфон водителя, база знаний, вычислительный блок, компетенции водителя и веб-сервис администратора автопарка для мониторинга информации о поездке водителя из штата.

Одним из основных результатов работы облачного сервиса являются группы профилей водителей, паттерны их поведения и список нарушений ПДД. Под паттернами поведения будем понимать шаблоны действий водителей для различных ситуаций при управлении транспортным средством. Паттерны поведения водителя основываются на характеристиках поведения водителя за рулем, накапливающихся и хранящихся в базе знаний, состоящей из двух самостоятельных источников информации, которыми являются база данных (далее БД) и построенная ранее онтология водителя. Характеристики позволяют выделить ряд параметров и действий, характеризующих каждого водителя РСПАС в той или иной мере. В основе паттернов поведения водителя в кабине автомобиля лежат параметры калибровки, описывающие начальные корректирующие параметры о водителе (начальный поворот головы водителя по отношению к направлению движения, начальный наклон головы водителя) и обрабатываемые параметры, считываемые в процессе движения (угол поворота головы водителя влево/вправо при повороте ТС, угол наклона головы водителя вверх/вниз, PERCLOS, признаки зевоты, продолжительность моргания век, частота моргания век). Паттерны поведения водителя включают среднюю скорость движения на определенном участке маршрута, резкое торможение и резкое ускорение в соответствии с текущей скоростью, частоту ускорения или торможения во время движения, превышение скоростного режима на участке движения и резкий поворот ТС влево или вправо по отношению к направлению движения прямо. Полученные паттерны поведения водителя позволяют перейти к формированию списка групп водителей системы РСПАС на основе их поведения, число которых заранее неизвестно. Учитывая накопленную информацию о водителях и их связях друг с другом за время использования системы РСПАС, представленную паттернами поведения и профилями личной



информации, применение метода кластеризации позволяет разбить всех водителей со схожими паттернами поведения на конечное число групп.

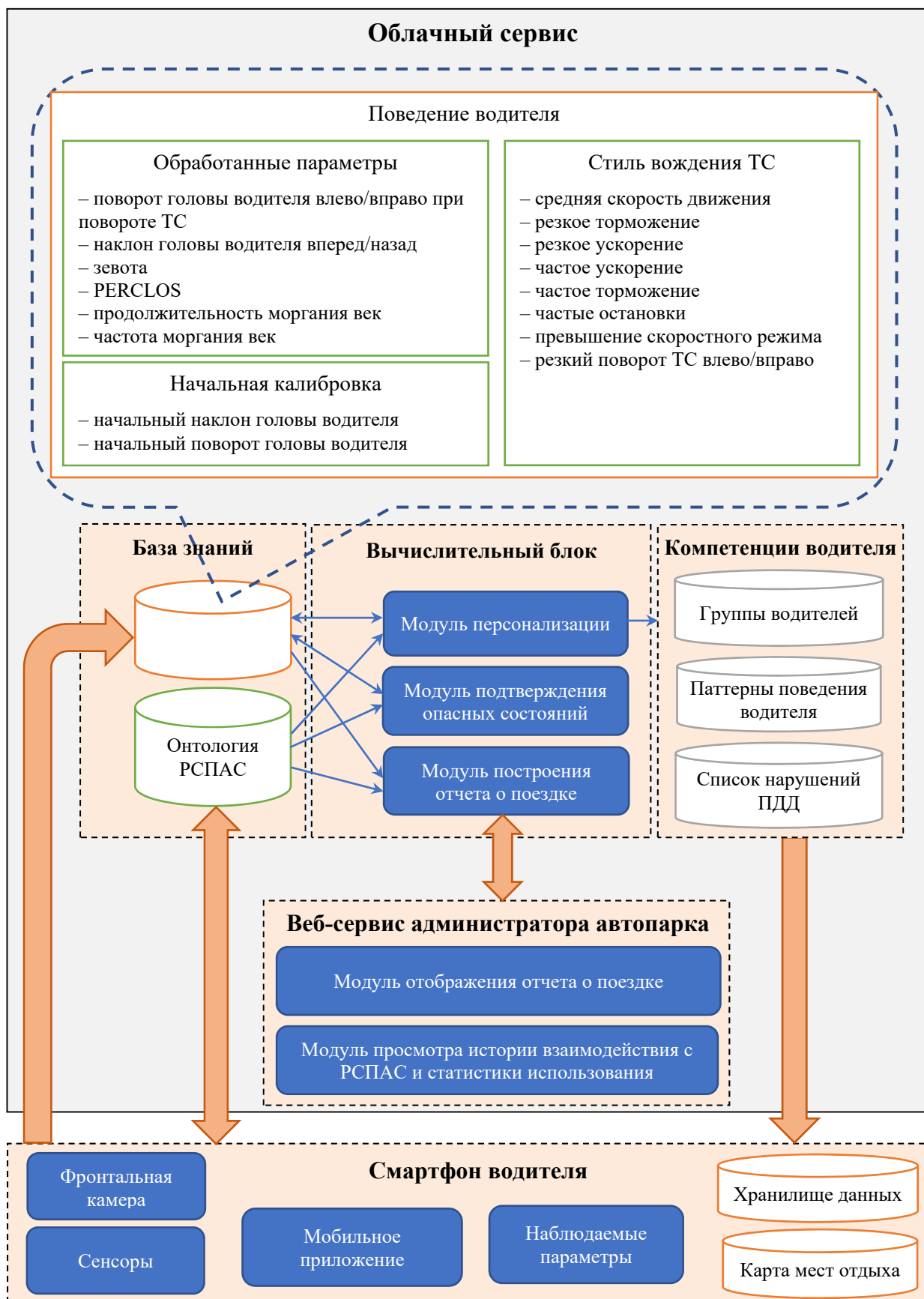


Рисунок 14 – Модель облачного сервиса

Определенная группа, к которой был отнесен тот или иной водитель, явно характеризует его определенным набором атрибутов и действий. Группы водителей дают возможность выявить общие, добавить новые или дополнить недостающие сведения у водителя той или иной группы, тем самым непосредственно повысив точность и полноту знаний о водителях. В итоге группирование водителей позволит адаптировать систему РСПАС под каждого конкретного водителя, что позволит в итоге снизить вероятность наступления ДТП. Процесс формирования групп водителей является непрерывным, итеративным, повторяющимся с определенной периодичностью по мере изменения количества водителей и их статистики использования системы и, как результат, группа водителя, с которой он был ранее соотнесен, может как-то видоизмениться или вовсе смениться.

Неотъемлемым участником взаимодействия с облачным сервисом является смартфон водителя, оборудованный фронтальной камерой и сенсорами, с установленным на нем мобильным приложением, которое производит накопление, анализ и передачу информации о текущей или совершенной поездке. Смартфон водителя осуществляет непрерывное накопление статистики в локальной базе данных, ее предобработку и передачу в виде наблюдаемых параметров. Данные параметры представлены лицевыми характеристиками, считываемыми в процессе движения в кабине транспортного средства, о транспортном средстве и окружающей обстановке с целью их дальнейшей передачи вычислительному блоку облачного сервиса. Все задачи по нормализации, анализу и обработке данных сконцентрированы в вычислительном блоке.

Другими составляющими вычислительного блока являются модуль подтверждения или отклонения опасных состояний и модуль построения отчета о поездке. С целью адаптации системы под конкретного водителя РСПАС позволяет проанализировать все распознанные опасные ситуации в течение совершенной поездки и подтвердить (правильно распознанные) или отклонить (неверно распознанные) те или иные обнаруженные события, тем самым скорректировав дальнейшую работу системы РСПАС. Данный модуль предназначен для использования как водителем с личным транспортным средством, так и водителем из штата автопарка. Путем сохранения и накопления информации о совершаемых поездках модуль построения отчетов предоставляет возможность водителям и администраторам автопарков экспортировать всю информацию о той или иной поездке из облачного сервиса путем создания и выгрузки отчетов об управлении транспортным средством в удобном формате.

Специализированным программным инструментом для слежения и контроля за деятельностью водителей из штата корпоративного автопарка является веб-сервис администратора автопарка. Он включает в себя модуль просмотра истории взаимодействия

водителя с системой РСПАС и статистики использования и модуль отображения отчета о совершенной поездке.

Модуль просмотра истории взаимодействия и статистики использования мобильного программного комплекса водителем обеспечивает запись, обработку и отображение действий водителя ТС на протяжении всего маршрута следования в каждый конкретный момент времени. Данный модуль протоколирования действий водителя позволяет не только внести корректирующие улучшения в алгоритмы обработки данных и принятия решений о наступлении дорожных происшествий, но и в том числе сформировать и предоставить статистику использования РСПАС водителями транспортных средств.

Модуль отображения отчета о поездке статистики позволяет просматривать статистику управления ТС как частному водителю, так и администратору автопарка. Данный модуль способен предоставить такую информацию как средняя скорость движения, ускорение, торможение ТС в конкретный момент времени пройденного маршрута и т.д.

## **2.7 Выводы по главе 2**

В рамках главы 2 были сформулированы принципы, лежащие в основе разрабатываемой системы повышения безопасности водителя при управлении транспортным средством, среди которых можно выделить открытость и доступность используемых вспомогательных библиотек, поставляемых сторонними разработчиками; онтологический подход к описанию предметной области систем обеспечения безопасности водителя; заблаговременное предупреждение водителя о риске возникновения аварийной ситуации; адаптация и персонализация системы к поведению водителя за счет генерации контекстно-ориентированных рекомендаций; реагирование системы на события из внешней среды в пределах допустимого временного интервала; и обеспечение конфиденциальности накапливаемой и анализируемой информации о водителях в рамках разрабатываемой системы.

Выработанные принципы позволили сформировать ограничения и характеристики разрабатываемой распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций, нацеленной на обнаружение признаков усталости и ослабленного внимания у водителя и предотвращение возникновения аварийной ситуации при помощи контекстно-ориентированных рекомендаций.

Разработаны контекстно-ориентированный подход к построению системы предупреждения аварийных ситуаций, включающий анализ контекстной информации о водителе, полученной от фронтальной камеры и датчиков смартфона; информационная модель профиля водителя, объединяющая доступную информацию о водителе,

транспортном средстве и окружающей обстановке; онтологическая модель системы РСПАС, описывающая процесс выявления опасных состояний и предупреждения водителя о принятии мер по предотвращению аварийных ситуаций; сценарная модель, рассматривающая варианты применения системы РСПАС частными водителями для личного пользования и логистическими водителями из штата автопарков с целью снижения дорожной аварийности и, как следствие, затрат на обслуживание автопарка, и страховыми компаниями с целью привлечения и удержания клиентов путем снижения стоимости страховых услуг; и модель облачного сервиса, осуществляющая сбор и анализ пользовательской информации с целью предоставления истории взаимодействия с сервисом, статистики следования водителя по маршруту, классификации водителей и осуществления персонализации каждого конкретного водителя для обеспечения высокой точности распознавания признаков опасного поведения за рулем.

Представленные модели позволяют обеспечить учет контекстной информации при принятии решений по повышению безопасности водителя в кабине транспортного средства и комплексное взаимодействие модулей в составе разработанной системы. С целью более полного соответствия текущей дорожной ситуации модули способны вносить изменения в профили водителей, что позволяет адекватно и своевременно реагировать на изменения условий внешней среды.

## **Глава 3. Архитектура и алгоритмы системы предупреждения аварийных ситуаций на основе мониторинга поведения водителя**

### **3.1 Архитектура системы предупреждения аварийных ситуаций**

На основе предоставленных и описанных в главе 2 контекстно-ориентированного подхода и моделей разработана архитектура системы РСПАС (Рисунок 15), реализующая главным образом функции определения усталости и ослабленного внимания у водителя и генерации ему контекстно-ориентированных рекомендаций.

Архитектура системы РСПАС основана на сервис-ориентированном подходе, основанном на использовании слабо связанных, распределенных компонентов и обеспечивающая полную независимость от платформы реализации и интерфейсов на основе механизмов абстракции и стандартизации, возможность работы сервисов в рамках другой инфраструктуры или архитектуры и возможность применения одного и того же сервиса в различных сценариях.

В качестве участников системы РСПАС, инициирующих начальное взаимодействие с системой предупреждения аварийных ситуаций, выступают водитель транспортного средства, администратор автопарка и представитель автомобильной страховой компании. Компонент «Участники», включающий в себя модули «Водитель», «Администратор автопарка» и «Представитель страховой компании», подразумевает применение сценариев использования системы РСПАС водителями, владеющих личными транспортными средствами с целью повышения собственной безопасности в кабине ТС; администраторами автопарков, осуществляющих мониторинг и слежение за выполнением рабочего графика водителями из штата их автопарков в течение всего маршрута следования для снижения затрат на выполнение грузоперевозок; и представителями страховых компаний, оптимизирующих риски при страховании и предлагающих водителю более выгодные тарифные планы на страховые услуги на основе анализа его показателей вождения ТС.

Все операции выполнения сетевых запросов между участниками системы РСПАС, мобильным программным комплексом и облачным сервисом осуществляются при помощи протокола прикладного уровня передачи данных HTTP [126] и архитектурного стиля взаимодействия в сети REST API [127]. Использование REST API позволяет не только достичь использования клиент-серверной архитектуры, отсутствия внутреннего состояния на сервере, кэширования ответов на запросы, унифицированного интерфейса доступа к удаленным ресурсам, но и обеспечить слабую связность клиента и сервера и, таким образом, упростить интероперабельность системы.

В качестве типа операций, используемых при обращении к удаленным ресурсам и компонентам системы, применяются HTTP-запросы с указанием типа запросы при помощи методов GET и POST. Метод GET, возвращающий текущее состояние ресурса, применяется при получении коллекции объектов (например, список профилей водителей). Метод POST, осуществляющий отправку команды для изменения состояния ресурса, используется системой РСПАС для отправки сенсорных данных в облачный сервис и их обновления.

Водитель транспортного средства, представленный соответствующим модулем компонента «Участники», осуществляет непосредственное взаимодействие со смартфоном. Встроенная в смартфон фронтальная камера, выполняющая сканирование и захват изображения лица и головы водителя, должна быть направлена на него таким образом, чтобы лицевые характеристики и положение головы находились в границах видеосъемки камеры, были размещены в той же плоскости, что и сама камера и в кадре отсутствовали какие-либо объекты, перекрывающие видимость лица водителя.

Встроенная камера смартфона на платформе Android, для которой ведется разработка системы РСПАС, позволяет получить массив байт, описывающих изображение лица водителя в формате для изображений YUV\_420\_888, представленным цветовым пространством YCbCr. Далее, исходный массив байт передается модулю обработки входного изображения с фронтальной камеры смартфона, который располагается в компоненте обработки сенсоров, где в процессе предварительной обработки применяется последовательность программных операций, направленных на подготовку последующей обработки и преобразования изображения. К таким программным операциям относятся конвертирование массива байт в битовую карту (bitmap), его пропорциональное масштабирование и конвертирование в однотонное изображение (grayscale, градации серого). Grayscale обозначает цветовой режим, в котором каждый пиксель на изображении представлен одним уровнем яркости в диапазоне от 0 (черный цвет) до 255 (белый цвет) с промежуточными значениями, обозначающим различные оттенки серого цвета, с целью увеличения скорости работы алгоритмов по детектированию объектов на изображении.

Детектор лицевых характеристик, сформированный программными библиотеками OpenCV [128] и Dlib [129], выполняет распознавание наблюдаемых и вычисление обработанных параметров водителя (открытость и закрытость глаз; продолжительность моргания век; направление взгляда; угол поворота головы, угол наклона головы), необходимых при анализе опасного состояния, ослабленного внимания и усталости в каждый момент времени.

Другим источником данных, предоставляемых смартфоном водителя, являются параметры, считываемые встроенными сенсорами, среди которых стоит выделить акселерометр (ускорение), магнитометр (сила притяжения), гироскоп (положение

смартфона в пространстве по трем осям X, Y, Z), микрофон (уровень шума/звукового сигнала), GPS (текущее местоположение – широта и долгота), датчик освещенности (степень освещенности) и текущий контекст внешних условий, в которых находится мобильное устройство. Помимо входного изображения лица водителя с фронтальной камеры сенсорные данные (текущая скорость ТС, ускорение ТС, торможение ТС, т.д.), прошедшие анализ и обработку в модуле обработке данных с сенсоров, могут дополнительно охарактеризовать ту или иную дорожную ситуацию и тем самым помочь заблаговременно обнаружить признаки опасного поведения у водителя и сгенерировать соответствующую рекомендацию.

Дополнительным источником информации, используемым при формировании рекомендаций водителю для построения маршрута к выбранному объекту на карте, являются сведения о потенциальных местах отдыха. Данные сведения, хранящиеся в локальной БД SQLite, доступны для чтения по запросу мобильного программного комплекса во время поездки водителя. Каждая отдельная запись о месте отдыха содержит такие поля как название объекта, его категория (кафе, отель или заправочная станция), географические координаты (широта и долгота) и часы работы.

В качестве временного хранилища, находящемся на смартфоне водителя и используемым системой РСПАС, применяется локальная БД событий SQLite, отвечающая за регулярное сохранение и накопление последних данных о истории взаимодействия водителя с РСПАС и статистики поездки. Собираемая информация может быть использована при анализе поведения того или иного водителя, а также при построении и экспорте отчетов о поездках водителей. С целью адаптации системы РСПАС под конкретного водителя записи из БД событий периодически синхронизируются с удаленным облачным сервисом, передавая необходимую информацию модулю кластеризации профилей водителей. В случае, если передача данных по сети Интернет становится невозможной ввиду ухудшения или вовсе отсутствия соединения, вся контекстная информация, накапливаемая на смартфоне водителя, продолжает поступать в локальную БД. Как только Интернет-соединение восстанавливается, данные со смартфона передаются в удаленный облачный сервис.

Для накопления и хранения статистики управления водителями ТС выбрана аналитическая СУБД ClickHouse [130], поддерживающая диалект языка SQL для выполнения запросов и позволяющая их выполнять по данным, поступающим в облачный сервис в режиме реального времени. Другим преимуществом выбранной СУБД является то, что отсутствует необходимость в использовании сторонних облачных сервисов, а ее функционирование возможно в любой инфраструктуре.

Персонализацию системы РСПАС обеспечивает модуль кластеризации профилей водителей облачного сервиса, выполняющий выделение групп водителей со схожими характеристиками и размещение новых или измененных данных о группах профилей водителей в отдельном хранилище MongoDB. Предполагается использовать модуль кластеризации профилей водителей и СУБД ClickHouse в одной и той же облачной инфраструктуре.

В том числе облачный сервис позволяет получить статистику вождения водителей в том или ином формате. Данный сервис включает веб-сервис построения и экспорта детального отчета о поездке (в формате CSV) для администратора автопарка с целью отслеживания маршрутов осуществления грузоперевозок; веб-сервиса просмотра истории взаимодействия и статистики использования, предназначенного для частных водителей, администраторов автопарков и представителей страховых компаний.

Используя контекстную информацию о водителе и ТС, поступающую от сенсоров и различных источников информации, подмодуль выявления опасных состояний распознает наличие признаков того или иного опасного поведения водителя в кабине транспортного средства.

Анализируя результаты работы подмодуля выявления опасных состояний, система РСПАС, используя, при необходимости, список объектов мест отдыха, предупредит водителя при помощи звукового сигнала, привлекая тем самым его внимание и произведет поиск близлежащих к водителю работающих кафе, отелей и заправочных станций и построит маршрут до выбранного места. В качестве генерируемых рекомендаций водителю может быть предложено остановиться на ночлег, выпить тонизирующий напиток, включить радио или музыку, начать диалог с пассажиром, проветрить салон ТС, напеть себе мелодию или съехать на обочину и сделать краткосрочный отдых. Таким образом, модуль оповещения помогает водителю обратить внимание на текущую дорожную ситуацию.

Описанные компоненты, модули и сервисы в рамках архитектуры РСПАС обеспечивают достаточную гибкость и функциональность при ее реализации.



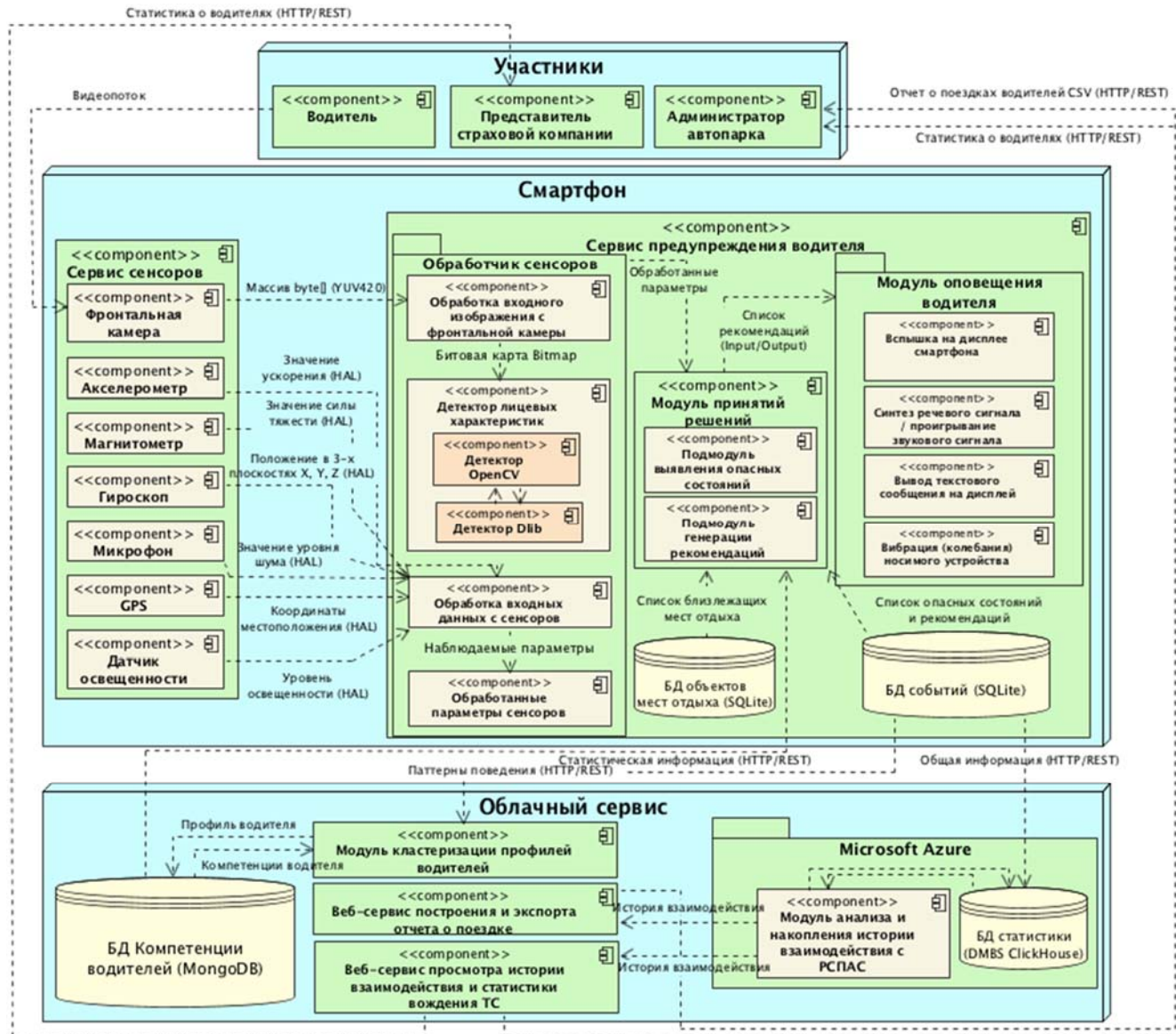


Рисунок 15 – Сервис-ориентированная архитектура системы РСПАС

### 3.2 Алгоритм распознавания опасного состояния в поведении водителя при управлении транспортным средством

Лицевые характеристики водителя, проявляемые им во время вождения, являются основной информацией профиля, используемой при мониторинге его поведения в кабине транспортного средства на присутствие того или иного опасного состояния. Поведение водителя во время управления ТС характеризуется проявлением опасных ситуаций, распознанных в некоторый момент времени, совокупность которых позволяет системе РСПАС принимать или не принимать решение о присутствии опасного состояния, усталости или ослабленного внимания, на некотором промежутке времени.

Каждый кадр, полученный с фронтальной камеры смартфона, позволяет считывать и распознавать лицевые характеристики водителя с целью дальнейшего анализа возможной опасной ситуации, в которой он находится, в тот или иной момент времени. Алгоритм обработки и анализа изображения водителя с фронтальной камеры смартфона представлен в листинге 1.

Листинг 1 – Алгоритм распознавания опасного состояния по изображению водителя с фронтальной камеры смартфона

#### Параметры:

*EVD\_RATIO* – порог опасных ситуаций к общему числу событий (по умолчанию 0,75);  
*IM* – очередь из изображений водителя с фронтальной камеры смартфона;  
*EV* – список обработанных событий; *EVD* – список обнаруженных опасных ситуаций;  
*timeS*, *timeE* – время начала и конца определения опасного состояния, соответственно (мс);  
*speed* – текущая скорость движения ТС (км/ч); *MIN\_N* – мин. количество опасных ситуаций (1-101).

#### Begin

```

1.   For each im ∈ IM do
2.     if speed < 10 continue
3.     rotatedBitmap ← rotateImageIfNeed(im) //поворот изображения
4.     resizedImage  ←  downscaleImage(rotatedBitmap)    //масштабирование
        изображения
5.     grayscaleImage ← makeGrayscale(resizedImage) //перевод в градации серого
6.     faceLandmarks ← detectLandmarks (grayscaleImage) //характеристики лица
7.     poseState ← detectHeadPoseState (faceLandmarks) //положение головы
        водителя
8.     if headRotateAngle (poseState) > 15 or headTiltAngle (poseState) > 15 do
        event ← distraction
9.     else do
10.      eyeState ← detectEyeState (faceLandmarks) //состояние глаз водителя
11.      perclos ← detectPerclos (eyeState)
12.      if perclos >= 0,28 do event ← drowsiness
13.      else detectYawning (faceLandmarks) >= 2,5 do event ← yawning //зевота
14.      addEvent (EV, event)
15.      if isDetectDanger (event) do addEvent (EVD, event) //распознана опасная
        ситуация
16.      if (timeE - timeS) > 1500 and notEmpty (EV) or size (EV) >= MIN_N do
17.        ratio ← count (EVD) / count (EV) //доля опасных состояний к общему
        числу
18.        if ratio > EVD_RATIO do
19.          notifyEmergency () //уведомление водителя об опасном состоянии

```

20.           clear(EV) clear(EVD)  
**End**

Полученные с фронтальной камеры изображения непрерывно заполняют очередь фреймов из видеоряда и автоматически заменяются при получении новых изображений, что позволяет своевременно и с большей скоростью обрабатывать графическую информацию.

Цифровая обработка и анализ изображений для определения лицевых характеристик водителя включает в себя множество операций, и многие из них требуют определенных временных затрат, которые могут сказаться на качестве и скорости работы РСПАС в целом. Стоит принять во внимание, что количество вычислений увеличивается с размером обработанного изображения, что снижает эффективность данного алгоритма, а при работе с последовательностью видео фреймов и вовсе становится критичной для всей системы РСПАС. В связи с этим в процессе обработки изображений применяется ряд методов, направленных на уменьшение времени обработки одного графического фрейма.

В качестве оптимизационных методов для увеличения показателя FPS (Frames per second – число кадров в секунду) используется первоначальная предобработка изображения, к которой относятся пропорциональное масштабирование (уменьшение) разрешения изображения и последующее конвертирование всех пикселей изображения в палитру градаций серого цвета. Преобразование изображения в режим градации серого с 256 оттенками серого осуществляется следующим образом:

$$Y = 0.299 * R + 0.587 * G + 0.114 * B \quad (1)$$

где  $R, G, B$  – интенсивность в диапазоне от 0 до 255,  $Y$  – интенсивность канала для каждого канала нового цвета пикселя. Далее, изображение проходит процедуру нормализации, в результате которой проверяется, совпадает ли ориентация изображения с данными с фронтальной камеры и меняется ориентация в случае, если не совпадают.

На каждом кадре оцениваются лицевые характеристики водителя с целью анализа возможной опасной ситуации, в которой он находится, в тот или иной момент времени. Поиск и локализация объектов лица водителя (открытость и закрытость глаз; угол поворота и наклона головы) осуществляется при помощи фреймворков OpenCV, Dlib при помощи алгоритмов компьютерного зрения и использования заранее построенных классификаторов признаков и HOG дескрипторов (Рисунок 16).



Рисунок 16 – Схема определения положения головы водителя

Вычисленный набор лицевых точек водителя позволяет определить положение его головы, угол наклона вперед/назад и поворота влево/вправо, за счет отображения данных 2D координат и антропометрических координат характеристик модели головы человека в трехмерной системе координат (2):

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

где  $f_x, f_y$  – длины фокуса фронтальной камеры смартфона (пиксели),  $c_x, c_y$  – как правило, координаты центра изображения (пиксели),  $X, Y, Z$  – координаты в трехмерной системе координат,  $(u, v)$  – координаты точек проекции (пиксели).

Распознанные параметры позволяют выявлять опасные состояния (состояние усталости, ослабленного внимания), оказывающие влияние на безопасность водителя при управлении ТС.

Представим распознавание опасного состояния  $t_s$  на временном промежутке (Рисунок 17), в течение которого непрерывно производится считывание параметров поведения водителя за рулем ТС на основе данных с фронтальной камеры и сенсоров смартфона, характеризующих ту или иную опасную ситуацию  $t_e$ .

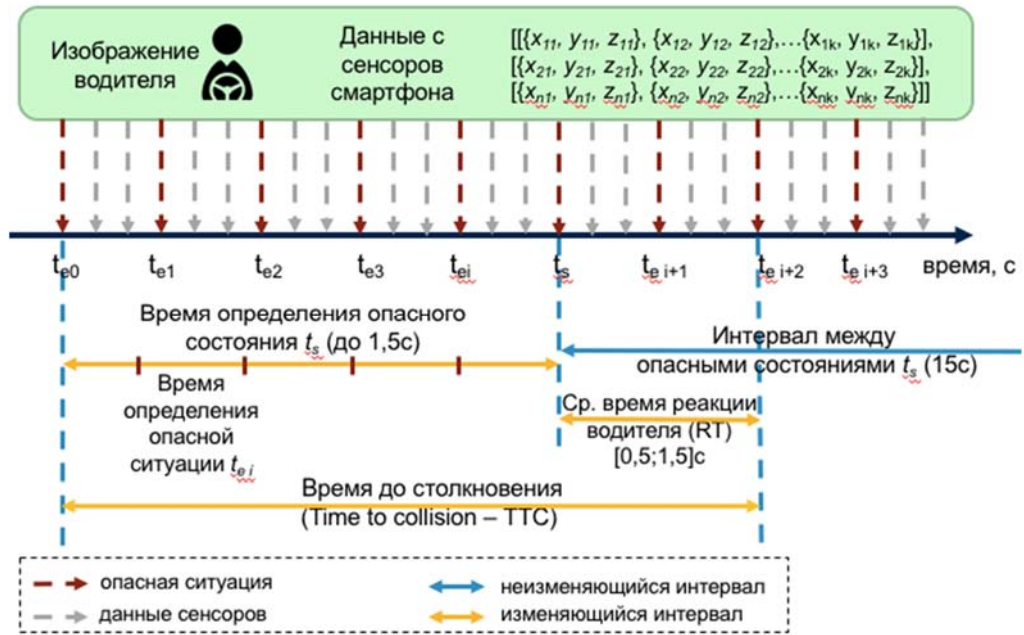


Рисунок 17 – Схема определения опасного состояния

В результате анализа публикаций, посвященных безопасности вождения ТС, было установлено, что при мониторинге опасных состояний в системах активной безопасности используется параметр «Время до столкновения» (TTC – Time-To-Collision), определенный в качестве значения на интервале [2;3] сек. TTC зависит не только от текущих условий движения, но и, главным образом, от времени реакции водителя (RT – Reaction Time), характеризующей момент обнаружения опасного состояния до начала принятия водителем мер и равной [0,5;1,5] сек. индивидуально для водителя и времени, составляющего распознавание опасного состояния  $t_s$ , включающего  $i$  число ситуаций  $t_e$ , обозначающих это состояние.

Одним из ключевых входных параметров, не определенных заранее, является совокупное  $i$  число опасных ситуаций (мин.) на временном интервале ( $n$ ), описывающих то или иное опасное состояние  $t_s$ , равным TTC, за исключением реакции водителя. Данный параметр зависит от времени обработки опасных ситуаций  $t_e$  и времени реакции водителя  $t_{reaction}$  [131]. На основе исследований в области анализа RT и TTC и самостоятельно проведенных экспериментов по обработке изображений водителя с фронтальной камеры смартфона была выведена следующая формула определения числа опасных ситуаций:

$$n = 1 + \left( \frac{E}{t_{reaction} + 0,5} * 2 \right)^2 \quad (3)$$

где  $n$  – безразмерная величина, равная числу измеряемых опасных ситуаций  $\in [1, 101]$ ,  $E$  – коэффициент вычислительной способности смартфона  $\in [1, 5]$ с,  $t_{reaction}$  – время реакции водителя  $\in [0,5, 1,5]$ с. Таким образом, с уменьшением (увеличением) времени обработки одной опасной ситуации или уменьшением (увеличением) времени реакции водителя параметр  $n$  растет (уменьшается), позволяя тем самым более точно распознавать опасное

состояние в его поведении, учитывая большее число потенциальных опасных ситуаций за отведенное время и, наоборот, увеличивая вероятность пропуска или ложного срабатывания определения того или иного опасного состояния, влияющего на дальнейшую работу модуля генерации рекомендаций водителю.

отслеживать большее число потенциальных опасных ситуаций за отведенное время и наоборот, ограничивая общую точность и полноту определения того или иного опасного состояния.

Стоит отметить, что среднее время  $RT$  реакции водителя на опасное состояние зависит не только от индивидуальных особенностей водителя, его пола [132], возраста [132], но также и текущего времени его в пути, скорости ТС [133]. В соответствии с перечисленными параметрами, среднее время  $RT$  было предложено определять следующим образом:

$$t_{reaction} = \frac{A \times \omega_1 + G \times \omega_2 + DT \times \omega_3}{V \times \omega_0} \quad (4)$$

где  $t_{reaction}$  – время реакции водителя,  $A$  – возраст водителя (от 18),  $G$  – пол водителя (мужской/женский),  $DT$  – время в пути (мин.),  $V$  – скорость ТС (км/ч), а  $\omega_0, \omega_1, \omega_2, \omega_3$  – представляют собой коэффициенты (веса) для каждого из перечисленных параметров, соответственно.  $V$  является единственным обратно пропорциональным параметром ко всем остальным в формуле определения реакции водителя, увеличение (уменьшение) которого влечет за собой уменьшение (увеличение) времени реакции водителя реагирования на опасную ситуацию и наоборот.

Зависимость числа опасных ситуаций от времени реакции водителя и вычислительной способности смартфона наглядно отражена на рис. 18.

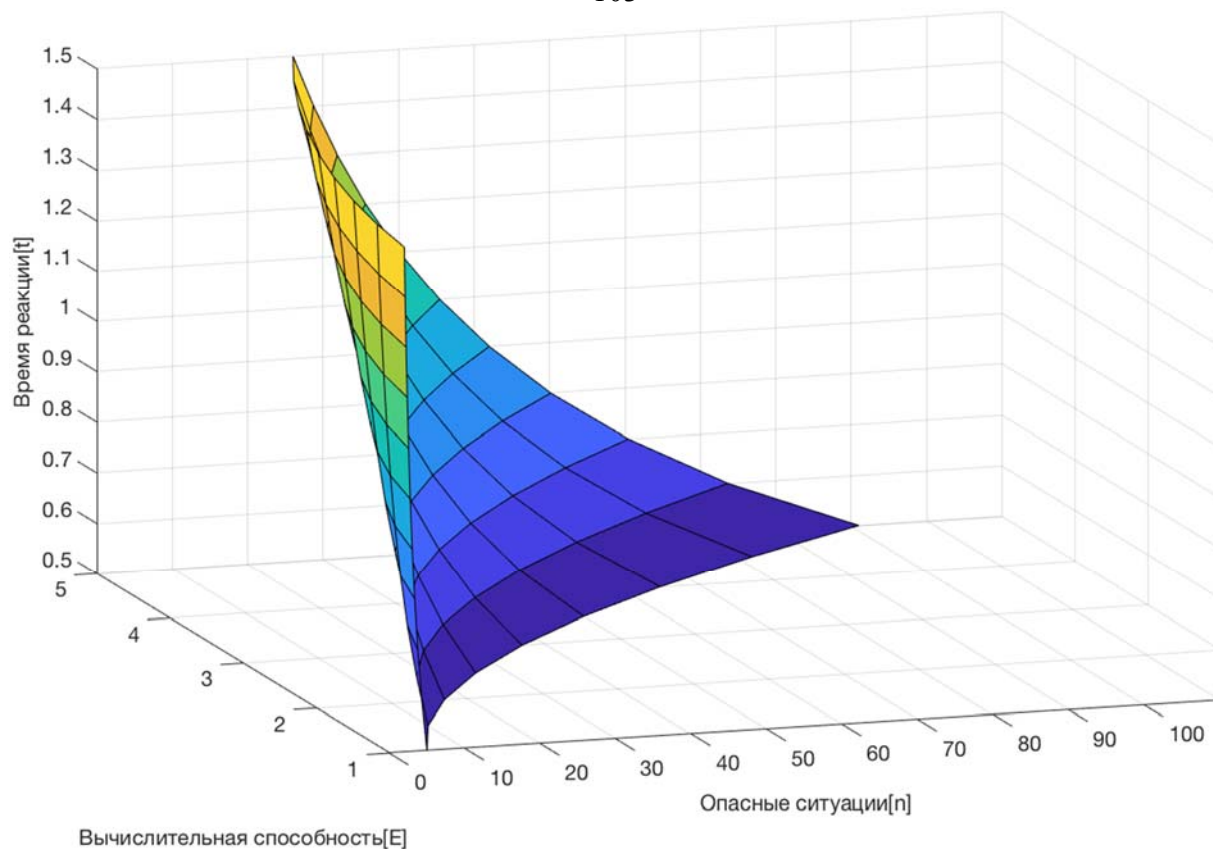


Рисунок 18 – Зависимость числа опасных ситуаций от времени реакции водителя и производительности смартфона

При ухудшении реакции водителя или ограниченных вычислительных ресурсах смартфона число обработанных кадров лица водителя  $n$  по изображению с фронтальной камеры смартфона уменьшается и наоборот.

Рассмотрим разработанную схему распознавания опасных состояний в поведении водителя, наблюдаемых внутри кабины транспортного средства, на основе изображений с фронтальной камеры смартфона (Рисунок 19).

Наиболее перспективным с точки зрения удобства использования, качества сигнала и информативности регистрируемых параметров является метод анализа окуломоторных реакций [134]. В данной работе использовался метод видеоокулографии (eye-tracking), который сочетает в себе все указанные достоинства.



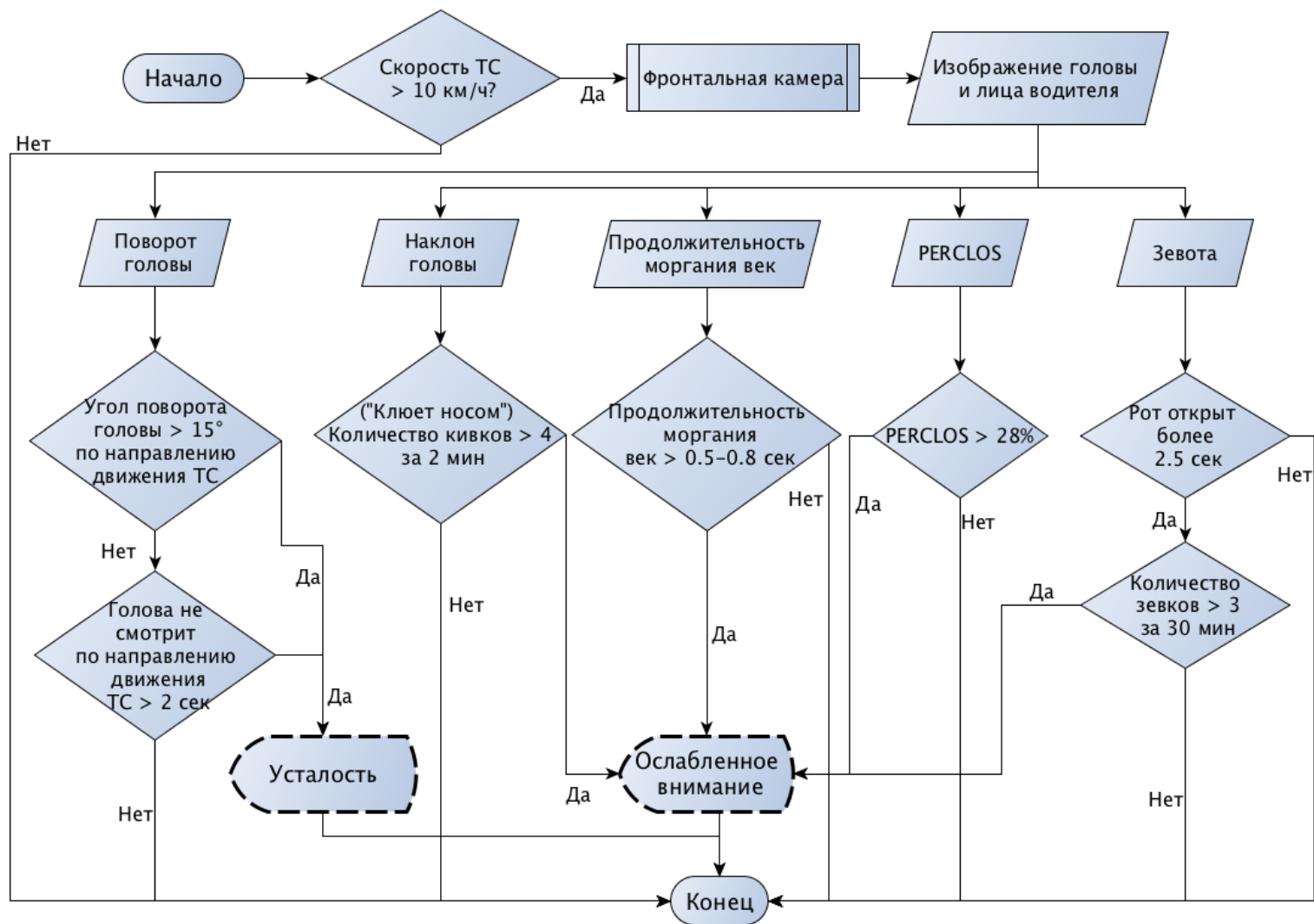


Рисунок 19 – Схема распознавания аварийных ситуаций в кабине транспортного средства на основе изображения с фронтальной камеры смартфона



Были выделены следующие психофизиологические признаки, которые позволяют определить состояния усталости [135] и ослабленного внимания [136] водителя ТС: PERCLOS, зевота, поворот и наклон головы, частота и скорость моргания век.

1) Под сонливостью понимается чувство усталости и «слипания глаз», являющееся следствием нарушения сна и сопровождающееся постоянным или периодическим желанием уснуть во время, не предназначенное для сна. Скорость реакции замедляется, затрудняется принятия решений, а также понижается внимание, память, страдает координация движений. Стоит отметить, что водители сами зачастую не осознают, что находятся в состоянии сонливости.

Существующие на данный момент научные исследования показали, что параметр PERCLOS является проверенным и надежным критерием определения сонливости водителя. Параметр PERCLOS характеризует долю времени, в течение которого веки водителя закрыты более чем на 80% по оценкам наблюдателя или соответствующей прикладной программы. Если показатель PERCLOS наблюдается более 28% [137] времени в течение одной минуты, то считается, что человек находится в состоянии сонливости.

При развитии состояния усталости или ослабленного внимания время моргания глаз может стать более продолжительным и более медленным, может варьироваться частота моргания, и/или при моргании веки могут начать опускаться с небольшой амплитудой, например, пока глаза не начнут закрываться на время краткосрочных «микроснов», то есть состояний сна, которые длятся в течение приблизительно от трех до пяти секунд или дольше, или до продолжительного сна [138].

Дополнительным критерием определения сонливости служит частота моргания глаз. Безопасный для водителя интервал, в течение которого допускается моргание глаза, равен от 0.5 сек. до 0.8 сек [139]. Увеличение времени моргания характеризует степень усталости водителя.

Другим индикатором определения состояния сонливости является зевота [140,141]. Считаем, что у водителя присутствуют признаки ослабленного внимания, если при управлении ТС он совершает более 3 зевков в течение 30 минут.

Одним из заметных признаков ослабленного внимания является момент, когда водитель «клюет носом», то есть ему трудно становится удерживать голову в обычном положении [142]. Если приложение фиксирует, что водитель совершил более 2 кивков головой в течение 2 минут, фиксируется обнаружение опасного состояния.

2) В результате исследований авторов работы [143] было установлено, что постоянное управление транспортом на протяжении 4 часов понижает скорость реагирования автомобилиста на изменение дорожной обстановки в 2 раза, а в течение 8 часов — до 5-7 раз. Термин «невнимательное вождение» подразумевает под собой

управление ТС, при котором водитель не полностью сосредоточен на дорожных условиях. Были выявлены следующие три варианта невнимательного вождения.

При выявлении состояния ослабленного внимания водителя используется определение положения его головы относительно туловища. В первом варианте рассматривается ситуация, при которой голова водителя должна быть направлена прямо по направлению движения ТС. У водителя обнаружены признаки ослабленного внимания, если его голова не смотрит по направлению движения ТС более двух секунд (направление скорости фиксируется акселерометром смартфона), или же она не направлена в сторону поворота (определяется по данным с гироскопа) ТС [144].

Во втором случае осуществляется наблюдение за прохождением водителем поворотов налево и направо, путем отслеживания направления движения ТС и фиксации его поворотов налево или направо. Предполагается, что у водителя обнаружены признаки ослабленного внимания, если при повороте ТС угол поворота головы водителя составляет менее  $15^\circ$  по направлению движения ТС или попросту отсутствует.

И, наконец, в третьем случае контролируется процесс перестроения ТС в соседнюю полосу движения (водитель должен убедиться в безопасности маневра, проверив наличие автомобилей при помощи боковых зеркал).

### **3.3 Алгоритмы генерации рекомендаций водителю транспортного средства при выявлении опасного состояния**

Каждому опасному состоянию в поведении водителя соответствует специализированная схема генерации рекомендаций по предотвращению наступления аварийной ситуации. В качестве первоочередных мер для предотвращения ДТП водителями применяется остановка на ночлег, употребление тонизирующего (кофеиносодержащего) напитка (например, кофе, чай), прослушивание радио или музыки, инициирование диалога с пассажиром, проветривание салона ТС, напевание себе мелодии, съезд на обочину и краткосрочный отдых.

Исходящие предупреждающие уведомления, генерируемые смартфоном, о нахождении в опасном состоянии могут быть сгенерированы водителю следующими способами:

- голосовое уведомление (синтез речевого сигнала на основе печатного текста) при помощи динамиков смартфона;
- звуковой сигнал при помощи динамиков смартфона;
- вибрация (колебания) смартфона;
- визуальное представление в виде графической иконки на экране смартфона;
- текстовое сообщение на экране смартфона;

- яркая вспышка на экране смартфона.

При обнаружении признаков ослабленного внимания у водителя система РСПАС предупредит его при помощи звукового сигнала, привлекая тем самым внимание и, учитывая удаленность мест отдыха и текущее местоположение водителя, произведет поиск близлежащих к водителю работающих кафе, отелей и заправочных станций. Ввиду ограничений навигационных приложений построение маршрута не всегда возможно при отсутствии (офлайн режим) соединения с сетью Интернет. Поэтому маршрут до того или иного объекта на карте будет построен только при активном (онлайн режим) Интернет-соединении. Например, если водитель находится на загородной трассе и оставшееся время в пути до места назначения превышает расстояние в 100 км, мобильное приложение произведет поиск ближайших к водителю мест отдыха в радиусе 50 км от текущего местоположения. В ином случае, если водитель движется в населенном пункте, радиус поиска возможных мест отдыха будет ограничен 20 минутами поездки. Если место для отдыха было найдено, приложение предложит водителю построить навигационный маршрут до него. Если в качестве места отдыха был выбран отель, водителю будет предложено остановиться на ночлег, а в ином случае выпить кофеиносодержащий напиток. Если в процессе движения водителя по маршруту в области поиска мест отдыха от текущего местоположения ТС не оказалось ни кафе, ни отелей, ни заправочных станций, водителю будет предложен ряд рекомендаций, нацеленных на преодоление у него признаков ослабленного внимания. В качестве рекомендаций привлечения внимания водителю может быть предложено включить радио или музыку, начать диалог с пассажиром, при этом, не отвлекаясь от органов управления транспортного средства, проветрить салон ТС, напеть себе мелодию или съехать на обочину и сделать краткосрочный отдых (20-30 минутный сон). Алгоритм генерации рекомендаций по предотвращению аварийной ситуации при наступлении опасного состояния водителя описан на рис. 20. В данном алгоритме все рекомендации, генерируемые мобильным приложением водителю в процессе движения, обозначены прямоугольниками, у которых граница объекта выделена жирным начертанием.

С целью наглядного представления схема действий при рекомендациях может быть описана при помощи конечного автомата (FSM, Finite State Machine) [145], представляющего собой математическую модель с конечным числом состояний некоторого объекта и правилами перехода между ними. В данном алгоритме FSM находит свое применение при описании логики выбора типа рекомендации водителю. Конечный автомат (Рисунок 21) представлен в виде диаграммы состояний, в которой каждое состояние обозначено кружком, а переход конечно автомата – стрелкой.

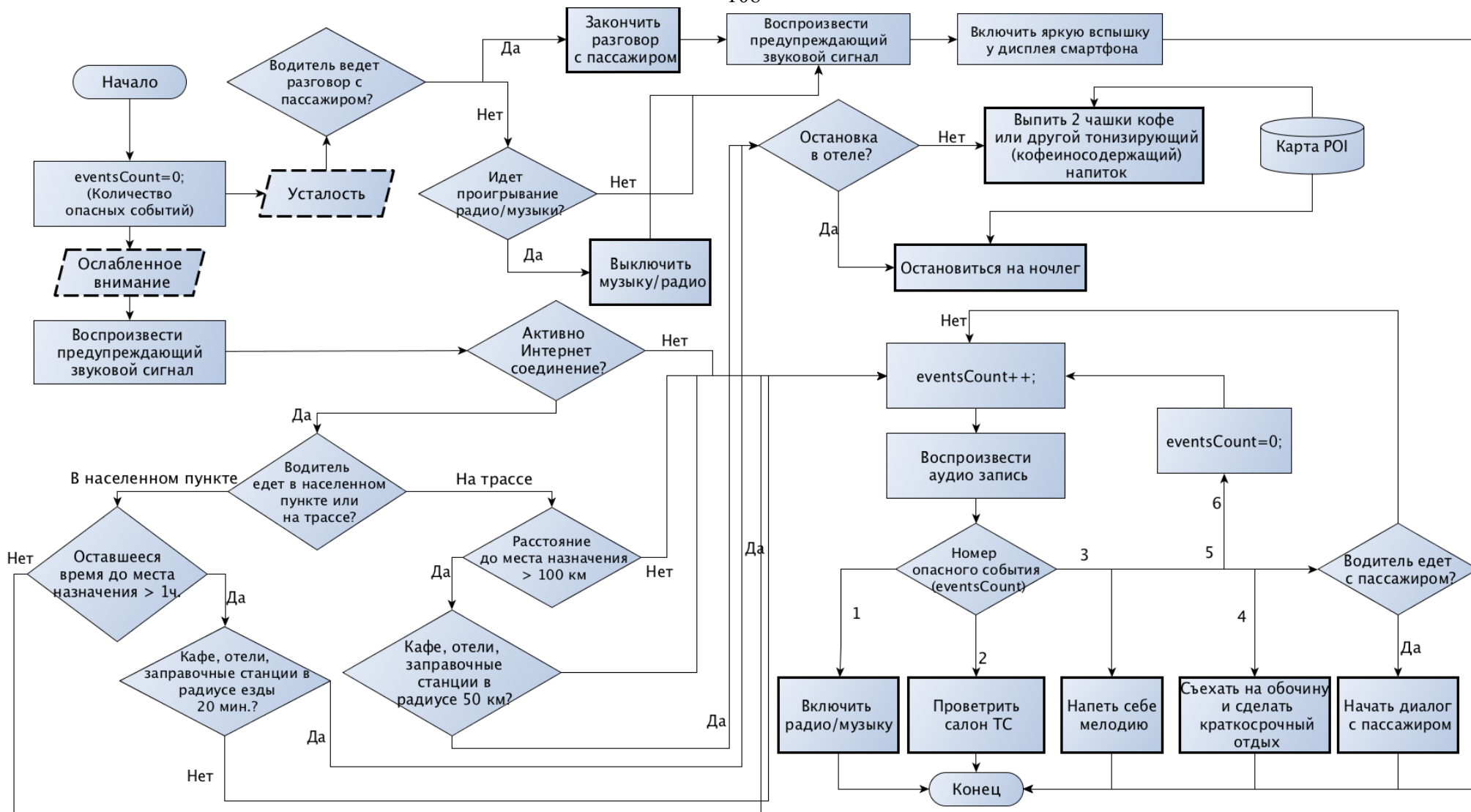


Рисунок 20 – Диаграмма генерации рекомендаций при обнаружении опасного состояния в поведении водителя

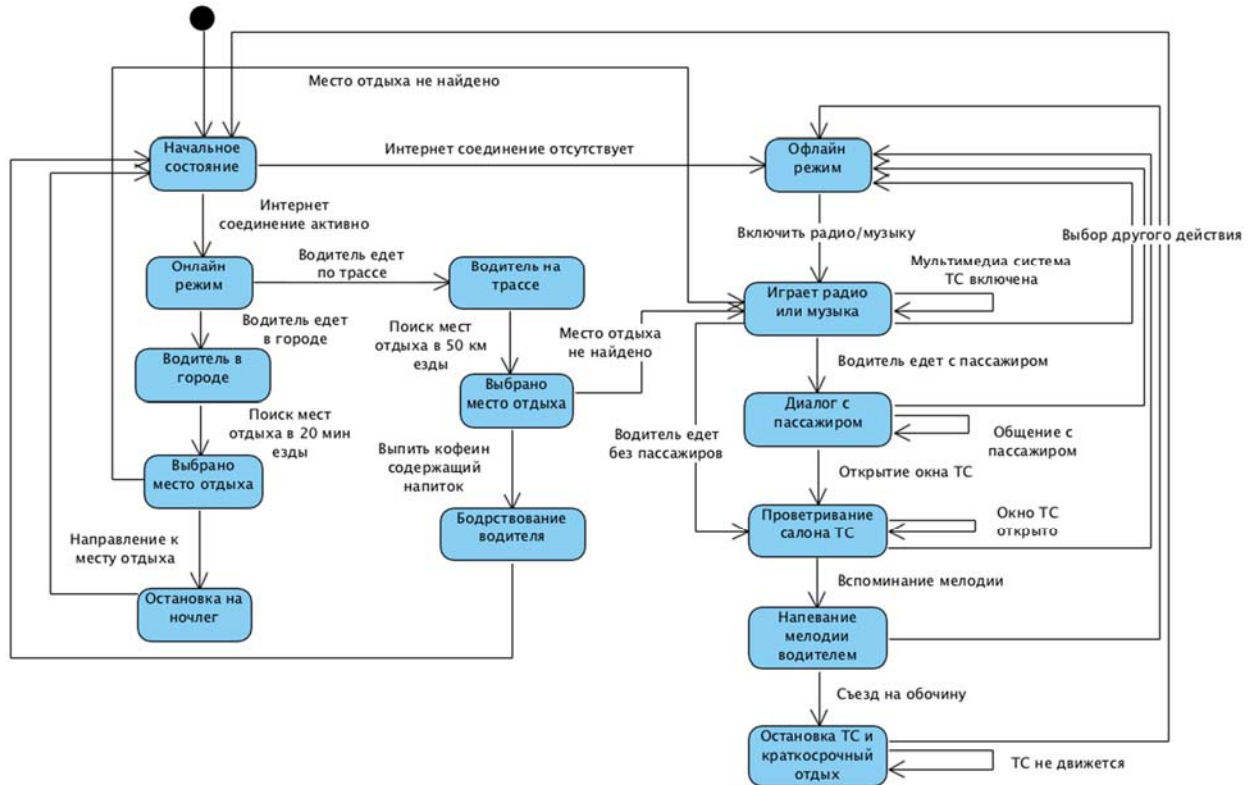


Рисунок 21 – Алгоритм выработки рекомендаций на примере конечного автомата

Другим опасным поведением для водителя за рулем ТС является усталость. В случае, если мобильное приложение распознает состояние усталости у водителя, приложение уведомит его о возможности возникновения аварийной ситуации при помощи голосового сообщения, звукового сигнала и яркой подсветки экрана смартфона. В случае, если водитель ведет диалог с пассажиром, приложение воспроизведет предупреждающий звуковой сигнал и порекомендует закончить разговор. Если в салоне ТС у водителя идет проигрывание радио или музыки, мобильное приложение посоветует ее приглушить или выключить совсем. При обнаружении опасного состояния приложение воспроизводит предупреждающий звуковой сигнал и включает яркую подсветку телефона, тем самым привлекая внимание водителя к обнаруженной нештатной ситуации.

### 3.4 Алгоритм калибровки системы на основе данных с камеры, сенсоров и настроек смартфона водителя

Условия окружения, в котором предполагается использовать систему РСПАС, формируемые водителем в кабине транспортного средства и используемым смартфоном, непосредственно влияют на работоспособность мобильного приложения в той или иной мере, изменяя скорость, точность и функциональность мобильного приложения. Варианты размещения (крепления) смартфона в кабине транспортного средства и использования заранее установленного на нем мобильного приложения генерации рекомендаций на смартфоне могут сильно различаться среди всех водителей, которые в свою очередь могут

значительно повлиять на работу мобильного сервиса. В том числе, стоит отметить, что в реальной обстановке смартфоны работают с не всегда полными и точными данными.

С целью уменьшения погрешностей и ошибок при различных вычислениях числовых значений физических величин и обеспечения единства измерений в процессе работы системы РСПАС предполагается использовать обязательный метод калибровки, подстраивающийся под текущий контекст водителя и транспортного средства. Калибровка учитывает входную информацию о водителе, транспортном средстве и смартфоне. С технической точки зрения метод калибровки некоторого параметра представляет собой определение характеристик отклонения той или иной физической величины, связанных с условиями измерений, а именно сравнение числового значения физической величины, измеренной при помощи смартфона водителя, со отдельным значением или попаданием в диапазон измерений, заранее измеренным и установленным на основе проанализированных научных исследований и тестовых данных водителей системы РСПАС. За счет анализа и учета профильной и контекстной информации о водителе и характеристик аппаратного и программного обеспечения смартфона по характеру выполнения было выделено два режима калибровки, которыми являются первоначальная ручная калибровка, осуществляемая непосредственно водителем ТС и автоматическая калибровка – уже в процессе использования мобильного приложения.

Ручная калибровка системы РСПАС (Рисунок 22) является обязательной при первом запуске после установки и может быть рекомендована водителю в случае, если возникла необходимость в повторной настройке и адаптации мобильного приложения под текущие условия использования. Данный вид калибровки предназначен для того, чтобы обеспечить начальную корректную работу системы РСПАС. При использовании ручной калибровки калибрируемыми параметрами являются положение и размер лица и головы водителя (лицо направлено на фронтальную камеру смартфона, в зоне видимости отсутствуют мешающие обзору посторонние объекты, а само лицо не выходит за границы видоискателя камеры смартфона), уровень громкости звуковых предупреждающих сигналов, т.д. Параметрами, характеризующими положение головы водителя, являются угол наклона и угол поворота головы. При данном режиме калибровки происходит вычисление угла отклонения головы водителя по отношению к плоскости фронтальной камеры смартфона (листинг 2). Данная информация о положении головы позволяет выявить опасное отклонение угла наклона/поворота головы от заданного в настройках приложения.

Листинг 2 – Определение угла поворота/наклона головы водителя

**Begin**

```

1.   diff ← dAngle - offsetAnglePref
2.   cAngle ← diff * (if diff < 0) do (-1) else 1)
3.   isDangerAngle ← cAngle > anglePref or cAngle < -angePref

```

End

где  $dAngle$  – распознанный угол поворота/наклона головы по отношению к плоскости камеры,  $offsetAnglePref$  – угол отклонения поворота/наклона головы от нуля градусов,  $anglePref$  – допустимый угол поворота/наклона головы (неотрицательное значение),  $cAngle$  – угол положения головы водителя с учетом заданного отклонения.

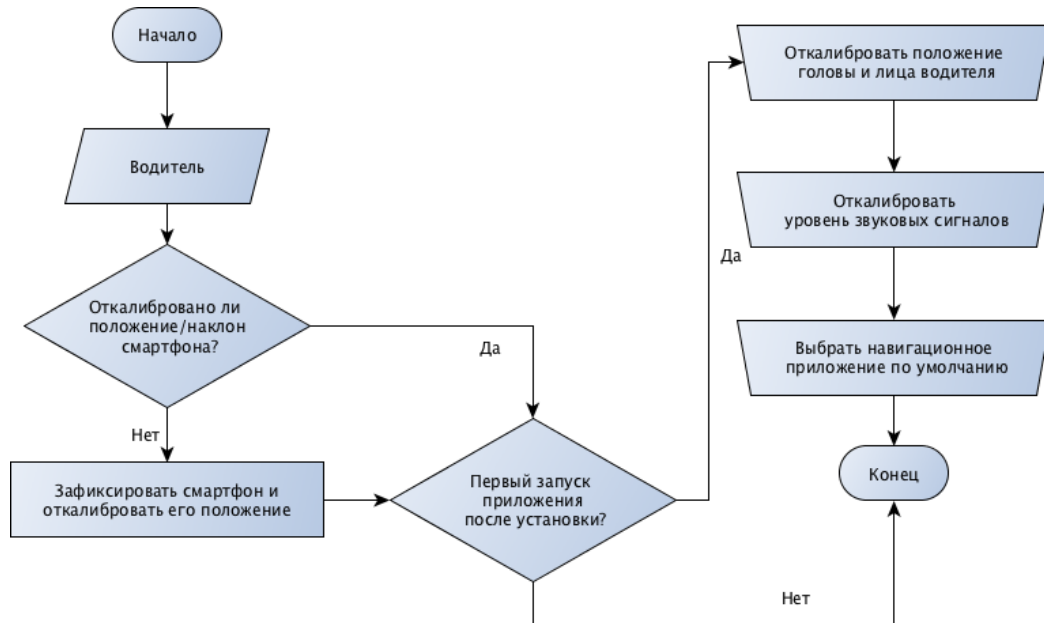


Рисунок 22 – Алгоритм ручной калибровки мобильного приложения

В дополнение к ручному режиму другим вариантом использования калибровки является автоматический режим, заключающийся в программной настройке и адаптации параметров мобильного программного комплекса системы РСПАС без участия водителя во время работы приложения. Автоматический режим калибровки главным образом применяется в случае, когда в процессе функционирования системы РСПАС происходит большое количество подряд ложных срабатываний предупреждений об опасных состояниях в отсутствие реакции от водителя, подтверждающего или отклоняющего то или иное событие. В этом случае в результате применения данного режима калибровки опасные состояния, выявленные системой РСПАС, переводятся в категорию «неопасные» и учитываются системой при дальнейшей адаптации мобильного программного комплекса под стиль вождения водителя.

Более детально автоматический режим калибровки описывается следующим образом. Изображения лица одного водителя, полученные в результате работы фронтальной камеры смартфона при различных положениях его головы, включая угол поворота влево или вправо или ее угол наклона вперед или назад, являются одним из основных источников информации, используемой системой РСПАС при определении опасного состояния. Таким образом, характеристики положения головы оказывают

непосредственное влияние на работу модуля распознавания лицевых характеристик с фронтального изображения лица водителя.

Алгоритм автоматического режима калибровки (Рисунок 23) заключается в итеративной и регулярно повторяющейся настройке лицевых характеристик водителя путем оценки и учета отклонений углов наклона и поворота головы в плоскости фронтальной камеры смартфона.

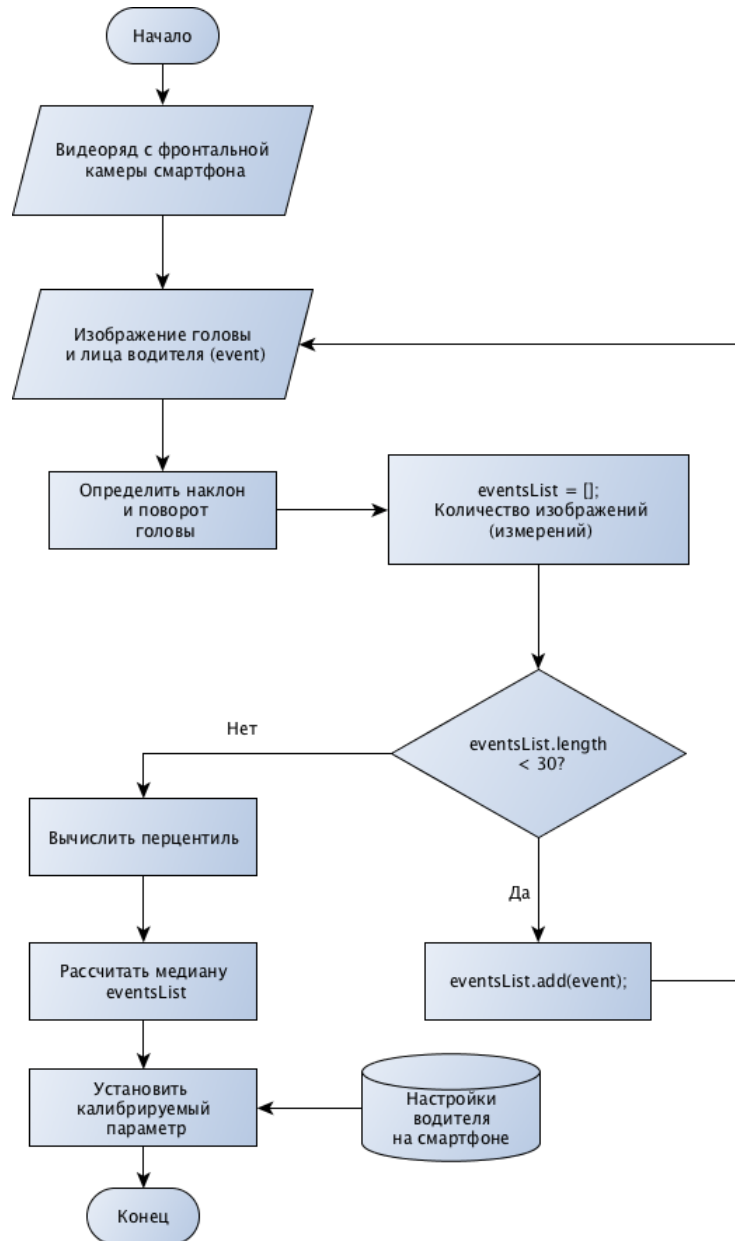


Рисунок 23 – Алгоритм автоматической калибровки мобильного приложения

Заранее определенное число измерений (наблюдений) углов положения головы водителя, собранные за определенный временной ряд в процессе выполнения автоматической калибровки, позволяют описать каждое входное изображение из видеоряда фронтальной камеры смартфона набором тех или иных вещественных чисел, обозначающих градус поворота и наклона головы в диапазоне от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ . К полученному интервальному набору чисел, рассчитанных для каждого изображения, применяется



пороговая операция, позволяющая отфильтровать значения, зашумляющие набор несогласующимся значениями. Например, в качестве пороговой операции, можно выбрать нижний (или верхний) порог так, чтобы количество фреймов из видеоряда, в которых угол наклона (или поворота) превосходит порог, было меньше (или больше) предсказанной доли всех наблюдаемых изображений с фронтальной камеры смартфона. Описываемый метод основан на использовании перцентиля, представленного таким числом, что заданная случайная величина не превышает его лишь с фиксированной вероятностью, заданной в процентах. Завершающим шагом в режиме автоматической калибровки вычисление медианы отфильтрованного диапазона значений позволит определить калибруемый наблюдаемый параметр (наклон или поворот головы) и сохранить его в настройки водителя, хранящиеся на смартфоне.

Использование обоих режимов калибровки, ручной и автоматической, дает возможность водителю установить первоначальные параметры использования системы РСПАС и вовремя отреагировать на изменение текущего контекста, соответственно.

### **3.5 Алгоритм персонализации системы индивидуально для водителя на основе статистических данных**

Информация о паттернах поведения водителя в кабине транспортного средства оказывает большое влияние на распознавание опасных состояний и генерацию рекомендаций, ориентированных на помощь водителю для предотвращения наступления аварийной ситуации. Для решения проблемы неполноты знаний о водителе предлагается решить задачу реализации самообучения и адаптации системы для каждого водителя путем применения методов машинного обучения, работающих, чаще всего, с численными значениями. Данные методы должны быть предназначены для решения задач распознавания образов на основе использования методов кластеризации и идентификации объектов, характеризующихся конечным набором некоторых признаков. В результате работы алгоритма машинное обучение позволит построить модель, предсказывающую недостающие атрибуты (признаки) поведения водителя в конкретный момент времени.

В общем случае алгоритм персонализации системы РСПАС индивидуально для водителя (Рисунок 24) описывается следующим образом. Данный алгоритм включает в себя решение следующих задач: выделение характерных признаков в поведении водителя в кабине ТС, считывание и преобразование сенсорных данных, классификация событий по правилам, сегментирование путей движения, отбор признаков SMA (Simple Moving Average – простое скользящее среднее) для данных, кластеризация профилей водителей на группы, соотнесение водителя с группой.

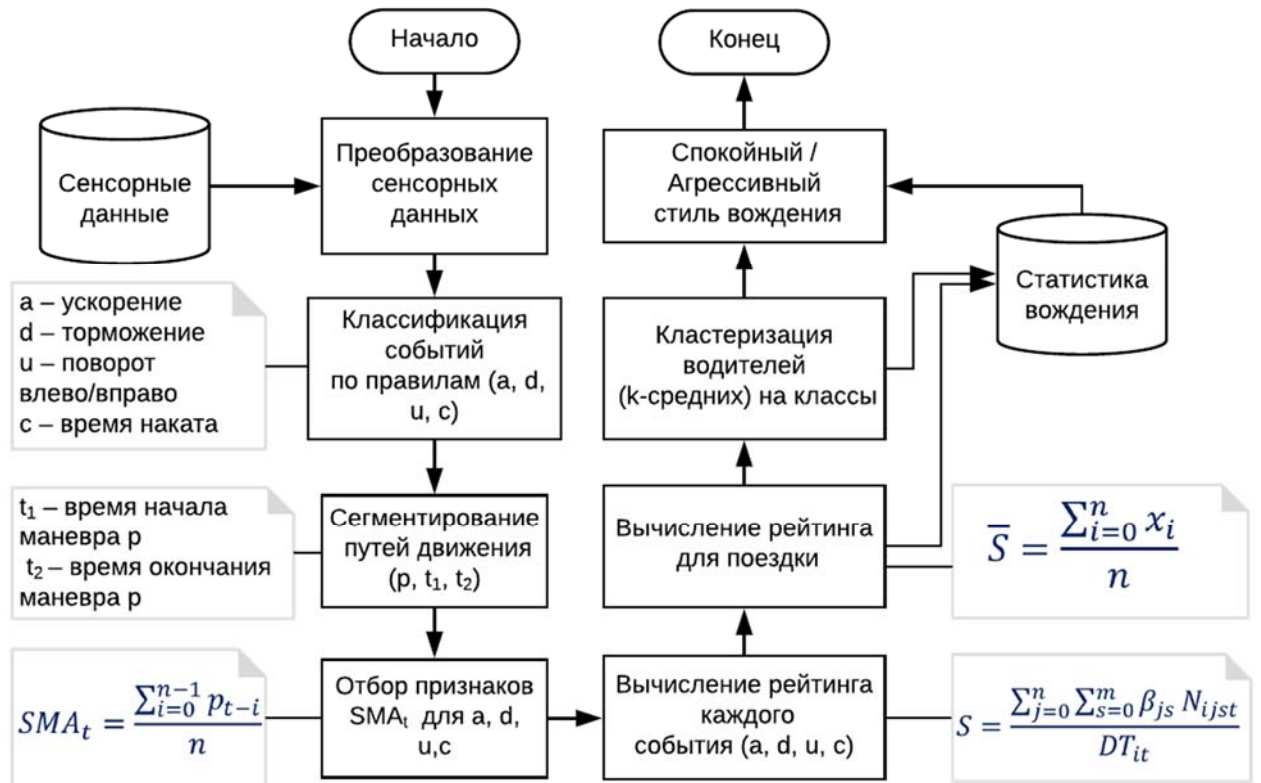


Рисунок 24 – Общая схема алгоритма определения стиля вождения водителя

Одной из первостепенных задач предлагаемого алгоритма является построение связей между наблюдаемыми характеристиками поведения водителя и обрабатываемыми измерениями контекста водителя и транспортного средства. Входными данными для данного алгоритма являются сенсорные данные с датчиков смартфона, включающие акселерометр, гироскоп, GPS и магнитометр. Такая связь формируется за счет отображения (mapping) параметров поведения водителя, к которым относятся лицевые характеристики: угол поворота головы влево и вправо, наклон вперед и назад, продолжительность и частота моргания век, PERCLOS; характеристики управления ТС: скорость движения, ускорение и торможение транспортного средства на конкретном дорожном участке и список грубых нарушений ПДД: вождение в алкогольном опьянении, превышение скоростного режима, использование мобильного телефона во время движения. Результатом работы отображения (распознавания) является совокупность атрибутов (дискриминантных признаков), характеризующих стиль вождения того или иного водителя индивидуально или, другими словами, атрибуты, которые отличают стиль вождения конкретного водителя от стиля остальных участников системы РСПАС. Данные с сенсоров смартфона классифицируются следующим образом:

— бинарные, ответом на который является: «да» или «нет» (1 или 0) (пол водителя, усталость, ослабленное внимание);

— порядковые, ответом на который является конкретный класс (степень усталости, степень ослабленного внимания, уровень громкости звуковых сигналов смартфона, уровень освещенности в кабине ТС);

— количественные, ответом на который является число, характеризующее конкретную меру (возраст водителя, стаж вождения, PERCLOS, продолжительность моргания век, открытость рта, угол наклона и поворота головы).

Примером входных данных являются данные с акселерометра смартфона по оси Z, характеризующие продольное ускорение текущего ТС (Рисунок 25). Положительные значения продольного ускорения позволяют охарактеризовать ускорение ТС, а отрицательные значения – торможение ТС.

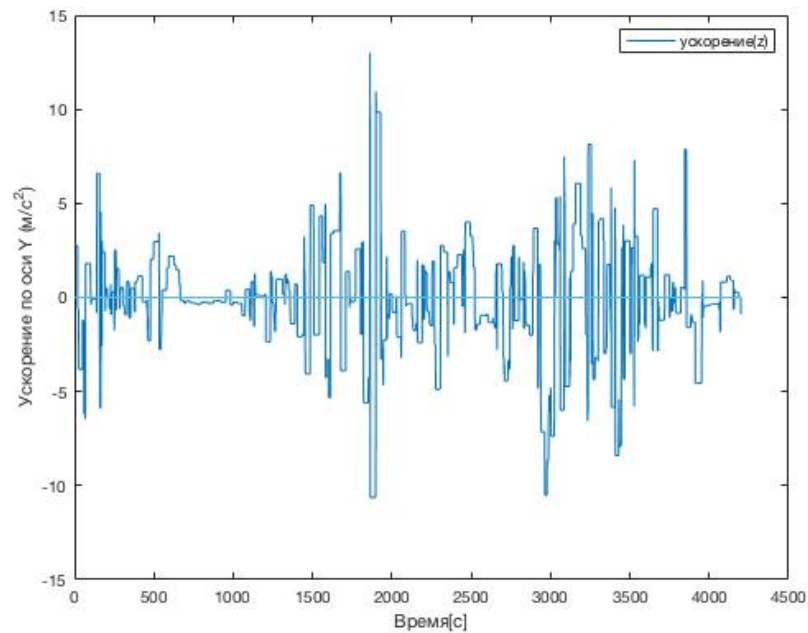


Рисунок 25 – Продольное ускорение водителя на основе полученных данных с акселерометра

Далее, атрибуты и события, выявленные в результате работы алгоритма на первом этапе, проходят процесс фильтрации и предобработки «выбывающихся» значений в рамках того или иного признака. Для решения данной задачи в качестве первого шага используется алгоритм sliding window (Рисунок 26), позволяющий выбирать данные за определенный промежуток времени из непрерывного потока данных таким образом, что отфильтровываются наиболее устаревшие наборы данных.

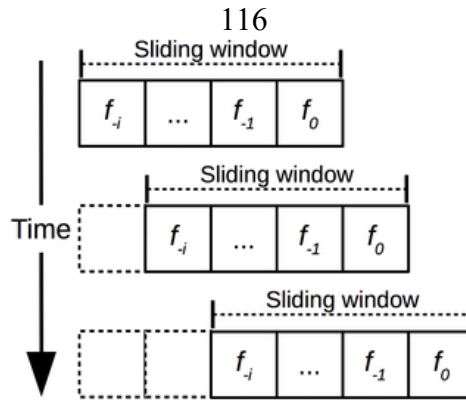


Рисунок 26 – Схема алгоритма sliding window

Далее, на втором шаге применяется фильтр нижних частот (LPF, low-pass filter), пропускающий спектр сигнала ниже некоторой частоты и подавляющий частоты сигнала выше этой частоты. Алгоритм фильтра LPF описывается следующим образом:

$$\text{output}[i] \rightarrow \text{output}[i] + \alpha * (\text{input}[i] - \text{output}[i]) \quad (5)$$

где  $\alpha$  – коэффициент сглаживания фильтра,  $input$  – массив входных значений,  $output$  – массив выходных значений.

Атрибуты формируются в виде векторов признаков для каждого  $i$  водителя, где  $x$  – атрибут,  $Y$  – категория, показывающая вид распознанного опасного состояния у водителя:

$$X^{(i)} = \{x^{(i)}_1, x^{(i)}_2, \dots, x^{(i)}_n\} \text{ и класс } Y^{(i)}.$$

На втором этапе работы алгоритма производится классификация и отбор событий (ускорение (a), торможение (d), поворот руля (u), время наката (c)) по их типу на основе заранее определенных правил:

- a  $\rightarrow$  if ( $a_{Ln} > 0.1$ )  $\wedge$  ( $v > 0$ )
- d  $\rightarrow$  if ( $a_{Ln} < 0$ )  $\wedge$  ( $v > 0$ )
- u  $\rightarrow$  if ( $a_{Lt} > 0$ )  $\wedge$  ( $a_{Lt} > a_{Ln}$ )  $\wedge$  ( $v > 0$ )
- i  $\rightarrow$  if ( $v = 0$ )

Как только каждое событие было идентифицировано, на следующем этапе происходит свертка событий одинакового типа и формирование вектора  $\{e, t_0, t_1, l\}$  для каждого нового объекта, где  $e$  – тип события,  $t_0$  – время начала события (мс., прошедшие с полуночи 01.01.1970 по UTC),  $t_1$  – время окончания события (мс., прошедшие с полуночи 01.01.1970 по UTC),  $l$  – географические координаты события (долгота, широта и высота). Данная операция обрабатывает событий, полученные в результате разделения времени поездки на интервалы в 10 секунд.

На следующем шаге алгоритма происходит вычисление SMA признаков для событий a, d, u, c с целью нахождения среднего арифметического значений событий на интервале по следующей формуле:

$$SMA_t = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} e_{t-i} \quad (6)$$

где  $SMA_t$  — значение простого скользящего среднего в точке  $t$ ;  $n$  — количество значений исходной функции для расчёта скользящего среднего;  $e_{t-i}$  — значение исходной функции в точке  $t - i$ .

Порог чувствительности для каждого из событий, указанный в таблице 5, позволяет охарактеризовать то или иное событие по степени резкости совершенного водителем маневра.

Таблица 5 – Порог чувствительности событий

Тип события	Порог чувствительности (м/с <sup>2</sup> )		
	Низкий	Средний	Высокий
Ускорение ТС	$0,1 < a_z < 0,5$	$0,5 < a_z < 1,5$	$a_z > 1,5$
Торможение ТС	$-0,1 < a_z < -0,5$	$-0,5 < a_z < -1,5$	$a_z < -1,5$
Поворот ТС влево/вправо	$0,1 <  a_x  < 0,5$	$0,5 <  a_x  < 1,5$	$ a_x  > 1,5$

Далее происходит вычисление рейтинга для каждого события по формуле:

$$S_{it} = \frac{1}{DT_{it}} \sum_{j=0}^n \sum_{s=0}^m \beta_{js} N_{ijst} \quad (7)$$

где  $S_{it}$  – рейтинг события за период времени  $t$ ,  $DT$  – время вождения за весь период,  $N_{ijst}$  – количество маневров типа  $j$  и опасности (резкости)  $s$ , которые водитель совершил,  $\beta_{js}$  – веса (коэффициенты) различных маневров.

Вычисление рейтинга для всей совершенной поездки производится по следующей формуле:

$$\bar{S} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n x_i \quad (8)$$

где  $\bar{S}$  — среднее значение рейтингов всех событий;  $n$  — количество значений исходной функции для расчёта скользящего среднего;  $x_i$  — значение рейтинга функции в точке  $i$ .

На последнем этапе работы алгоритма производится оценка стиля вождения водителя (в интервале значений  $[0;1]$ , где 0 – спокойной стиль вождения, а 1 – агрессивный) на основе препроцессинга агрегированных атрибутов (признаков). Процессинг представляет собой отображение данных (пол, возраст, стаж вождения водителя, тип кузова транспортного средства) в формат, пригодный для обучения модели. Можно выделить две основных операции, производимых на этапе препроцессинга:

1) Создание векторного пространства признаков, где будут расположены примеры обучающей выборки. По сути, это процесс приведения всех данных в числовую форму, позволяющий отойти от категориальных, булевых и остальных не числовых типов.

2) Процесс нормализации данных, в результате которого необходимо изменить шкалу измерений таким образом, чтобы среднее значение каждого признака по всем данным было равно нулю, а стандартное отклонение – одному. В общем виде нормализация данных выглядит следующим образом:

$$X = (X - \mu) / \sigma \quad (9)$$

С целью разбиения всех водителей системы РСПАС на конечное число групп (кластеров), характеризующих степень схожести водителей по стилю вождения, решим задачу кластеризации. Входными данными для метода кластеризации выступает сформированный на основе накопленных сведений профиль водителя системы РСПАС, а в качестве класса – стиль вождения водителя (в интервале множества значений [0;1] от спокойного до агрессивного).

В настоящее время кластеризация является одной из основополагающих задач в области анализа данных [146] и Data Mining [147]. Существует большое количество методов кластеризации, которые можно условно разделить на следующие основные группы: применяющие вероятностный подход (K-means, EM-алгоритм), методы искусственного интеллекта (генетические алгоритмы, нейронные сети), использующие иерархические алгоритмы и теоретико-графовые модели. Учитывая существующие ограничения по скорости и объему обработки данных для выявления групп пользователей со схожими предпочтениями (User-User CF) был выбран метод кластеризации k-средних (K-means). В целом данный статистический метод является простым в реализации и хорошо масштабируемым. Вычислительная сложность данного алгоритма равна  $O(nkl)$ , где  $n$  – число объектов,  $k$  – число кластеров,  $l$  – число итераций. Одним из недостатков данного метода является необходимость заранее задавать число кластеров для разбиения. Для решения данной задачи производится предварительный анализ исходных данных, позволяющий выявить оптимальное число кластеров для разбиения посредством минимизации суммы внутрикластерных расстояний. Исходя из вышеперечисленного, для кластеризации профилей водителей был выбран алгоритм k-means.

Разобьем множество объектов  $x$  (всех участников системы РСПАС) на конечное число непересекающихся классов  $S_1 \dots S_m$ , каждый из которых соответствует определенному стилю вождения водителя.

$$X^n = \{x_1, \dots, x_n\} \text{ — на } M \text{ непересекающихся классов} \quad (10)$$

Суть алгоритма k-means заключается в том, что он стремится минимизировать суммарное квадратичное отклонение точек кластеров от центров этих кластеров:

$$S = \sum_{j=1}^k \sum_{x \in S_j} (x - \mu_j)^2 \quad (11)$$

где  $k$  — число кластеров,  $S_j$  — полученные кластеры,  $\mu_j$  — центры масс всех векторов  $x$  из кластера  $S_j$ . Последним этапом работы алгоритма кластеризации является сопоставление каждого водителя системы РСПАС с определенным номером кластера, или, иначе говоря, за каждым водителем закрепляется метка кластера, характеризующая группу водителей со схожим стилем вождения ТС. Стоит отметить, что алгоритм кластеризации профилей водителей периодически повторно запускается при изменении числа водителей или поступлении новой информации о статистике их вождения ТС в облачный сервис системы РСПАС.

В дальнейшем, результаты работы кластеризации используется системой РСПАС при оценке паттернов поведения того или иного водителя во время вождения. Оценка паттернов поведения водителя, определенная заранее для тех или иных условия вождения (контекста), помогает скорректировать мониторинг опасного поведения водителя в кабине транспортного средства и тем самым точнее сформировать контекстно-ориентированные рекомендации, необходимые для принятия мер по предотвращению аварийной ситуации. Так, например, алгоритм выявления опасных состояний в поведении для водителя с более агрессивным стилем вождения работает с видоизмененными входными параметрами (время распознавания, доля опасных состояния к общему числу событий, т.п.).

### 3.6 Выводы по главе 3

В рамках главы представлена сервис-ориентированная архитектура распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций, основанная на использовании смартфона, программного комплекса для обработки входных данных и облачного сервиса, осуществляющего поддержку и работоспособность системы РСПАС.

Разработан алгоритм выявления признаков усталости и ослабленного внимания в поведении водителя при управлении транспортным средством.

Разработан алгоритм формирования контекстно-ориентированных рекомендаций водителю при обнаружении опасного состояния, учитывающий текущие данные с сенсоров смартфона.

Для минимизации влияния внешних условий на работоспособность мобильного приложения и максимальной адаптации системы для водителя разработаны алгоритмы автоматической и ручной калибровки системы РСПАС на основе данных с камеры, сенсоров и настроек смартфона водителя.

С целью повышения точности распознавания опасных состояний в поведении водителя во время вождения разработан алгоритм персонализации системы РСПАС индивидуально для водителя, учитывающий предыдущий опыт использования системы и историю взаимодействия между остальными участниками РСПАС. Результаты работы данного алгоритма применяются при формировании отчетов участникам системы, представителям страховых компаний и администраторам автопарков. Стоит отметить, что данный алгоритм позволяет оценить стиль вождения каждого водителя в отдельности, тем самым обратив его внимание на навыки управления ТС.

Для накопления, хранения и анализа данных о статистике поездках водителей и оценки стиля вождения каждого водителя системы РСПАС применяется специально разработанный облачный сервис, ориентированный на использование программным комплексом смартфона и веб-сервисом администратора автопарка.



## **Глава 4. Разработка программного комплекса для предупреждения аварийных ситуаций водителя с использованием камеры и сенсоров смартфона**

### **4.1 Реализация алгоритма распознавания опасных состояний в поведении водителя**

Реализация алгоритма распознавания опасного состояния (Листинг 3) в поведении водителя на промежутке времени построена на основе работы с фронтальной камерой смартфона, позволяющей захватить изображение лица и головы водителя и, выявить признаки наступления опасных состояний.

Высокое разрешение обрабатываемого изображения с фронтальной камеры смартфона влечет за собой увеличение времени обработки и анализа одного кадра, что сказывается на скорости и точности работы системы РСПАС в целом. В результате проведенных экспериментов было установлено, что разрешение обрабатываемого изображения по ширине и длине, не превышающей значение в 300 пикселей по каждой из сторон, является достаточным для большинства современных моделей смартфонов.

Обработка критически важной области, состояния поведения водителя на изображении, реализована на языке программирования C++ при помощи программных библиотек компьютерного зрения OpenCV и Dlib, а JNI интерфейсы были реализованы на языке Java. Открытая кроссплатформенная библиотека компьютерного зрения OpenCV, разработанная компанией Intel, также, как и библиотека машинного обучения Dlib, значительно упрощают программирование в области компьютерного зрения, предоставляя удобный интерфейс для детектирования, отслеживания и распознавания лиц. Важным компонентом в OpenCV является математический аппарат и функциональные возможности по обработке изображений.

В общем случае процесс обработки изображения и поиска лиц состоит из следующих последовательных шагов: детектирование и локализация лица на изображении, выравнивание изображения лица (геометрическое и яркостное), вычисление признаков и непосредственно распознавание – сравнение вычисленных признаков с заложенными в базу данных эталонами.

Для каждого кадра, поступающего с фронтальной камеры смартфона, применяется подход для анализа лицевых характеристик, основанный на объединении алгоритмов обработки изображений из библиотек Dlib и OpenCV, реализованный на языке C++ и ориентированный на выделение лиц, ключевых точек на нем и работу с этими точками

(Листинг 3). Для поиска и выделения лицевых характеристик на изображениях применяются следующие алгоритмы, входящие в состав пакета из Dlib:

- Вычисление дескрипторов по методу гистограммы направленных градиентов (HOG, Histogram of Oriented Gradients) и поиск лиц на изображении;
- Использование метода опорных векторов для классификации дескрипторов;
- Применение множества решающих деревьев (Random Forest) [148] для выделения 68 ключевых точек [149] на лице человека.

Листинг 3 – Алгоритм распознавания лицевых характеристик водителя по изображению

```

1.  jint JNIEXPORT JNICALL
DLIB_JNI_METHOD(jniBitmapExtractFaceGazes)(JNIEnv* env, jobject this,
2.  jobject bitmap, jobject gazesList) {
3.  if (gHeadPoseEstimationPtr) {
4.  cv::Mat rgbaMat;
5.  cv::Mat bgrMat;
6.  jnicommon::ConvertBitmapToRGBAMat(env, bitmap, rgbaMat, true, false,
false);
7.  cv::cvtColor(rgbaMat, bgrMat, cv::COLOR_RGBA2BGR);
8.  gHeadPoseEstimationPtr->detect(bgrMat);
9.  auto faces = gHeadPoseEstimationPtr->getFaces();
10. int i = 0;
11. jobject gaze_found = NULL;
12. for(auto face : faces) {
13. auto angles = gHeadPoseEstimationPtr->detectEuler(face);
14. double yaw = angles.at(0);
15. double pitch = angles.at(1);
16. double roll = angles.at(2);
17. // Call add method on an object created from another method call
18. gaze_found = env->NewObject(HeadPoseGaze, HeadPoseGazeConstructor, yaw,
pitch, roll);
19. dlib::rectangle rect = face.headRect;
20. env->CallVoidMethod(gaze_found, HeadPoseGazeSetRect, (int)rect.left(),
(int)rect.top(), (int)rect.right(), (int)rect.bottom());
21. dlib::full_object_detection shape = face.shape;
22. for (unsigned long j = 0; j < shape.num_parts(); j++) {
23. int x = (int) shape.part(j).x();
24. int y = (int) shape.part(j).y();
25. env->CallBooleanMethod(gaze_found, HeadPoseGazeAddLandmark, x, y); }
26. auto blink = gHeadPoseEstimationPtr->detectBlink(face.shape);
27. env->CallVoidMethod(gaze_found, HeadPoseGazeSetEye, blink);
28. auto isMouthOpened = gHeadPoseEstimationPtr->isMouthOpened(face.shape);
29. env->CallVoidMethod(gaze_found, HeadPoseGazeSetMouth, isMouthOpened);
30. env->CallBooleanMethod(gazesList, ArrayListAdd, gaze_found); }

```

```

31. cv::Mat rgbaResultMat;
32. cv::cvtColor(gHeadPoseEstimationPtr -> resultMat, rgbaResultMat,
cv::COLOR_BGR2RGBA);
33. jnicommon::ConvertRGBAMatToBitmap(env, bitmap, rgbaResultMat, true);
34. return JNI_OK; } else return JNI_ERR; }

```

С целью определения положения головы водителя, находящейся не строго параллельно, а под некоторым углом к плоскости камеры смартфона, вычислим углы Эйлера, описывающие поворот объекта в трехмерном евклидовом пространстве (Листинг 4). Данный алгоритм основан на использовании функции *solvePnP* из библиотеки OpenCV, основанной на использовании алгоритма оптимизации Левенберга-Марквардта и позволяющей найти преобразование между системой координат калибруемого объекта и системой координат камеры смартфона. Параметрами для данной функции являются 3D координаты модели головы человека (массив точек *head\_points*), 2D координаты изображения (массив точек *detected\_points*) и параметры устройства камеры (фокусное расстояние *focalLength* и т.д., образованные матрицей *projection*).

#### Листинг 4 – Определение положения головы водителя

```

1. head_pose HeadPoseEstimation::pose(size_t face_idx) const {
2. cv::Mat projectionMat = cv::Mat::zeros(3,3,CV_32F);
3. cv::Matx33f projection = projectionMat;
4. projection(0,0) = focalLength;
5. projection(1,1) = focalLength;
6. projection(0,2) = opticalCenterX;
7. projection(1,2) = opticalCenterY;
8. projection(2,2) = 1;
9. std::vector<Point3f> head_points;
10. head_points.push_back(P3D_SELLION);
11. head_points.push_back(P3D_RIGHT_EYE);
12. head_points.push_back(P3D_LEFT_EYE);
13. head_points.push_back(P3D_RIGHT_EAR);
14. head_points.push_back(P3D_LEFT_EAR);
15. head_points.push_back(P3D_MENTON);
16. head_points.push_back(P3D_NOSE);
17. head_points.push_back(P3D_STOMMION);
18. std::vector<Point2f> detected_points;
19. detected_points.push_back(coordsOf(face_idx, SELLION));
20. detected_points.push_back(coordsOf(face_idx, RIGHT_EYE));
21. detected_points.push_back(coordsOf(face_idx, LEFT_EYE));
22. detected_points.push_back(coordsOf(face_idx, RIGHT_SIDE));
23. detected_points.push_back(coordsOf(face_idx, LEFT_SIDE));
24. detected_points.push_back(coordsOf(face_idx, MENTON));
25. detected_points.push_back(coordsOf(face_idx, NOSE));

```

```

26. auto stomion = (coordsOf(face_idx, MOUTH_CENTER_TOP) +
coordsOf(face_idx, MOUTH_CENTER_BOTTOM)) * 0.5;
27. detected_points.push_back(stomion);
28. Mat rvec, tvec;
29. solvePnP(head_points, detected_points, projection, noArray(), rvec,
tvec, false, cv::ITERATIVE);
30. std::vector<double> ax;
31. tvec.copyTo(ax);
32. cv::Mat rotationMat = cv::Mat::zeros(3,3,CV_32F);
33. cv::Matx33f rotation = rotationMat;
34. Rodrigues(rvec, rotation);
35. head_pose pose = {
36. rotation(0,0), rotation(0,1), rotation(0,2),
tvec.at<double>(0)/1000,
37. rotation(1,0), rotation(1,1), rotation(1,2),
tvec.at<double>(1)/1000,
38. rotation(2,0), rotation(2,1), rotation(2,2),
tvec.at<double>(2)/1000,
39. 0, 0, 0, 1};
40. return pose;}

```

Далее, заполненные значениями результатов алгоритмов структуры, описывающие области распознанных объектов, поступают в модуль анализа данных, где уже принимается решение о наличии той или иной небезопасной ситуации. Логика работы данного модуля, обрабатывающего результаты алгоритма выделения лицевых характеристик, описана при помощи языка *Kotlin*.

Минимальное число FPS, обрабатываемых на смартфоне водителя, равно трем кадрам. Данное число установлено экспериментально на основе проведенных измерений изменения количества кадров, обрабатываемых на смартфоне за одну секунду при разном разрешении входного изображения при распознавании опасных состояний водителя (Рисунок 27).

В таблице 9 приведены результаты нескольких экспериментов и координаты и размеры найденных областей объектов на изображении и временная оценка работы алгоритма на смартфоне Google Pixel. Значения переменных X и Y описывают координаты, а W и H – ширину и высоту найденного объекта соответственно. Как можно заметить, значения как X и Y, так и W и H изменялись и это объясняется тем, что найденный объект то приближался, то отдалялся и соответственно менялось его расположение. Время распознавания также незначительно менялось и это можно связать с особенностями работы мобильной ОС Android и самим смартфоном, на котором было запущено данное приложение.

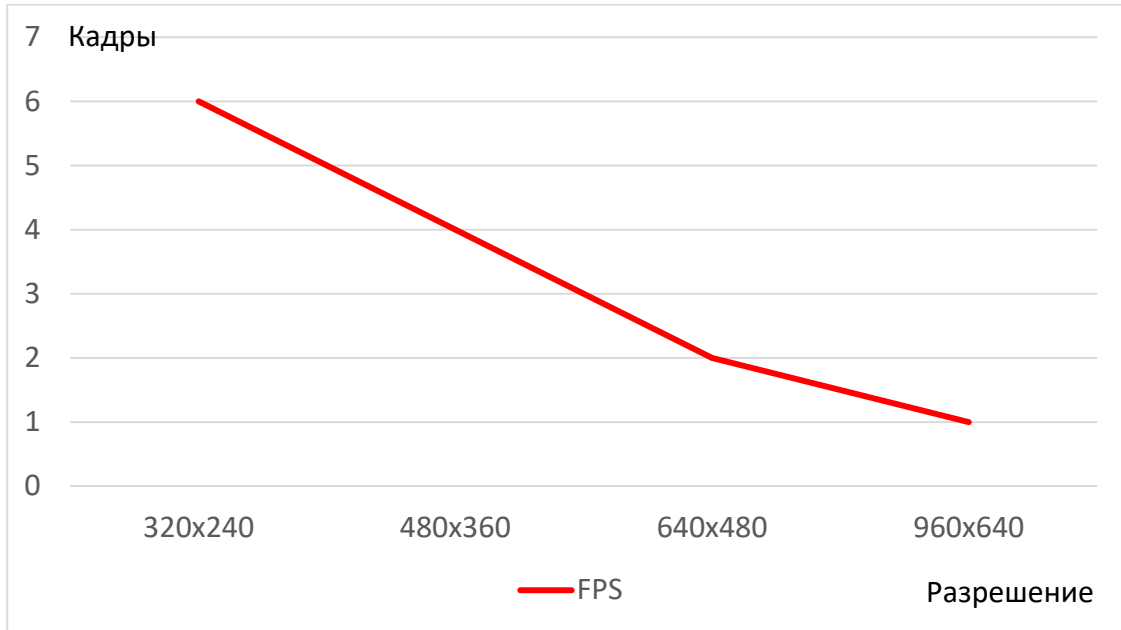


Рисунок 27 – Зависимость количества обрабатываемых кадров в секунду от разрешения изображения водителя с фронтальной камеры смартфона

Таблица 9 – Значения переменных найденных объектов на изображении

Лицо				Левый глаз				Правый глаз				Левый зрачок				Правый зрачок				Время
X	Y	W	H	X	Y	W	H	X	Y	W	H	X	Y	W	H	X	Y	W	H	Time
243	108	372	372	429	190	163	124	266	190	163	124	1	1	22	22	1	1	22	22	119
253	106	368	368	437	187	161	122	276	187	161	122	1	1	22	22	1	1	22	22	57
75	276	203	203	176	321	89	67	87	321	89	67	1	1	22	22	1	1	22	22	94
75	276	203	203	176	321	89	67	87	321	89	67	1	1	22	22	1	1	22	22	70

Стоит заметить, что в качестве частоты дискретизации считывания данных с сенсоров смартфона установлено значение в 10Hz. Временной интервал распознавания независимых опасных состояний составляет 15 сек., не допускающий генерацию повторных предупреждений водителю и в то же время не пропускающий изменения характеристик его поведения во время движения.

#### 4.2 Модуль калибровки системы предупреждения аварийных ситуаций индивидуально для водителя

При реализации модуля калибровки использовался подход, анализирующий простое скользящее среднее (Simple Moving Average, SMA) на интервале поступающих значений с сенсоров. Механизм ручной калибровки включает определение отклонения положения головы водителя от ориентации смартфона (точнее, ориентации Земли) с целью корректной работы алгоритма распознавания опасного состояния, усталости, в поведении водителя. Чтобы обеспечить полноту и точность вычисляемых параметров, мобильным приложением устанавливается временной период равный 10 секунд, в течение которого происходит

накопление результатов анализа лицевых характеристики водителя с фронтальной камеры смартфона. Данная задача выполняется при помощи встроенного в Android класса *CountDownTimer*, позволяющего реализовать программный таймер с обратным отсчетом. В процессе данной калибровки голова водителя должна быть направлена прямо по направлению движения ТС. Вычисление калибруемых параметров наклона и поворота головы водителя реализовано на языке *Kotlin* (Листинг 5). Типом входящего параметра для реализованной функции *findAverage* является структура данных очередь типа FIFO (first in, first out; «первый пришёл — первый вышел») [150] с фиксированным размером, в которой при заполнении всех мест первый (самый «старый») элемент очереди заменяется на вставляемый. Класс *CircularFifoQueue* представляет собой стандартную реализацию данного типа очереди из библиотеки *Apache Commons Collections*. Возвращаемым параметром функции *findAverage* является объект системного класса *Pair*, содержащий в качестве первого аргумента SMA для угла поворота головы влево/вправо, а второго аргумента SMA для угла наклона головы водителя вперед/назад.

Листинг 5 – Вычисление калибруемых параметров головы водителя на интервале

```
private fun findAverage(list: CircularFifoQueue<PureDistraction>):
Pair<Float, Float> {
    val iter = list.iterator()
    var sumYawAngle = 0f
    var sumPitchAngle = 0f
    while (iter.hasNext()) {
        val item = iter.next()
        sumYawAngle += item.yawHead.angleHead.detectedAngleValue
        sumPitchAngle += item.pitchHead.angleHead.detectedAngleValue
    }
    val size = list.size.toFloat()
    val yaw = sumYawAngle / size
    val pitch = sumPitchAngle / size
    return Pair(yaw, pitch)
}
```

Экран калибровки положения головы водителя представлен на левой части рисунка 28. Внешняя граница прямоугольника обозначает область, в которой должна находиться голова водителя. Внутренняя граница прямоугольника и точки на лице водителя показывают результат поиска и распознавания его лицевых характеристик. При необходимости водитель может приблизить или отдалить (функция «Зуммирование») изображение с фронтальной камеры смартфона при помощи ползунка, тем самым найдя подходящее для модуля калибровки разрешение для изображения лица. На правой части рисунка 28 изображен экран настройки громкости уведомлений для предупреждающих сигналов и рекомендаций водителю.

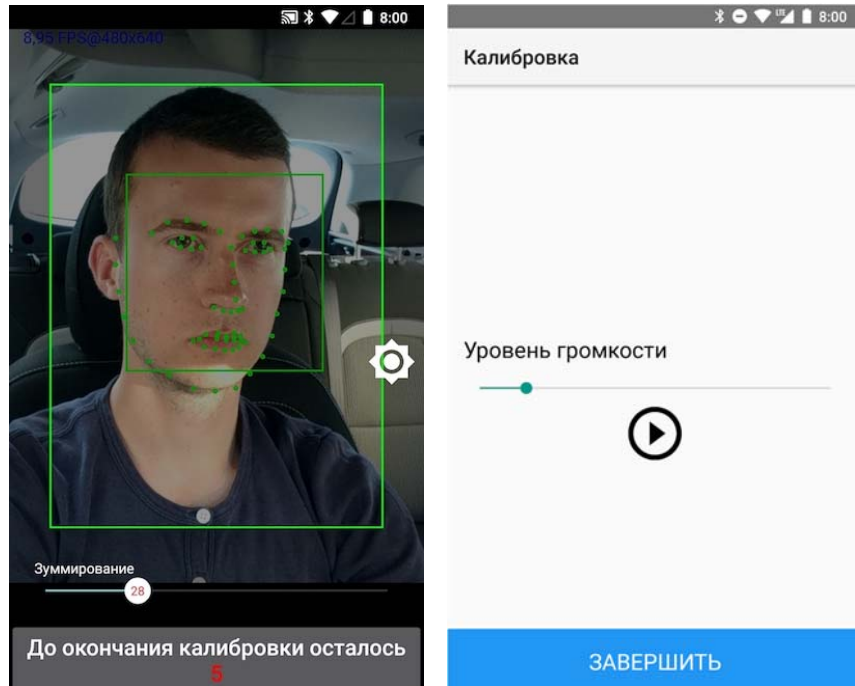


Рисунок 28 – Этапы калибровки приложения. Слева показан экран калибровки положения головы водителя, а справа – экран настройки громкости звуковых уведомлений.

### 4.3 Модуль формирования рекомендаций водителю транспортного средства при наступлении аварийной ситуации

Модуль формирования рекомендаций водителю ТС реализован на основе схемы, представленной в разделе 3.3 и написан при помощи высокоуровневого языка программирования Kotlin, имеющего лаконичный и более простой синтаксис в сравнение с языком Java.

В качестве рекомендаций (Листинг 6) водителю может быть предложено остановиться на ночлег, выпить тонизирующий напиток, включить радио или музыку, начать диалог с пассажиром, проветрить салон ТС, напеть себе мелодию или съехать на обочину и сделать краткосрочный отдых.

Листинг 6 – Алгоритм генерации рекомендаций водителю

#### Параметры:

tDest – оставшееся время до места назначения (ч.);

tPoi – время поездки до места отдыха (кафе, отель, заправ. станция) (мин.);

dDest – расстояние до пункта назначения (км);

dPoi – расстояние до места отдыха (км);

location – текущие координаты местоположения водителя;

poi – список объектов мест отдыха;

i – номер опасного события (по умолчанию 0);

#### Begin

```

1.   if isInternetConnected() do
2.       isHighway ← isDrivingHighwayRoad(location) //водитель едет по трассе?
3.       if isHighway and tDest > 1 and tPoi <= 20 or not isHighway and dDest
>= 100 and dPoi <= 50 do
4.           If isDriverSelectedHotel()
5.               recommendStayHotel(poi)
6.           else do

```

```

7.         recommendDrinkCoffee (poi)
8.         return
9.     else do
10.        playAudioTune () //воспроизвести звуковой сигнал
11.        rec ← init ()
12.        switch (i)
13.            case 1: rec ← recommendPlayMusic ()
14.            case 2: if isDrivingNotAlone () do
15.                rec ← recommendStartDialog ()
16.            case 3: rec ← recommendCoolCarInterior ()
17.            case 4: rec ← recommendSingYourself ()
18.            case 5: rec ← recommendPullOverAndTakeNap ()
19.            i ← i + 1
20.        default:
21.            i ← 0
22.        outputRecommendation (rec) //воспроизвести рекомендацию
End

```

#### 4.4 Реализация облачного сервиса анализа профилей водителей

Облачный сервис анализа профилей водителей реализован с использованием языка программирования Python. Данный сервис построен на основе модуля кластеризации профилей водителей и модуля анализа статистики взаимодействия водителей с РСПАС.

Модуль анализа статистики взаимодействия водителей с РСПАС отвечает за получение данных со смартфона водителя, их анализ, обработку и фильтрацию с целью дальнейшей записи в БД *ClickHouse*. Для данной задачи в выбранной базе данных заранее создана таблица *pure\_stat\_events* (Листинг 7), содержащая данные об опасных ситуациях и таблица *pure\_critical\_event*, содержащая данные об опасных состояниях для каждого водителя системы РСПАС.

Другой задачей БД *ClickHouse* является предоставление хранящихся данных для модуля кластеризацией профилей водителей с целью дальнейшего определения стиля вождения каждого из них. Запрос выборки данных (Листинг 7) позволяет получить необходимые данные для кластеризации профилей водителей.

Листинг 7 – Запрос выборки данных для кластеризации

```

SELECT * FROM `pure_critical_event` p
INNER JOIN `pure_stat_events` ps ON ps.id = p.event_id

```

#### 4.5 Развертывание программного комплекса системы предупреждения аварийных ситуаций

С целью оптимизации, повышения эффективности процесса сборки, доставки мобильного приложения пользователям РСПАС и контроля его качества была выбрана практика программного обеспечения Непрерывная интеграция (CI, Continuous Integration) [151]. Рассмотрим схему развертывания программного комплекса, описывающую процесс сборки и доставки мобильного приложения пользователям (Рисунок 29).



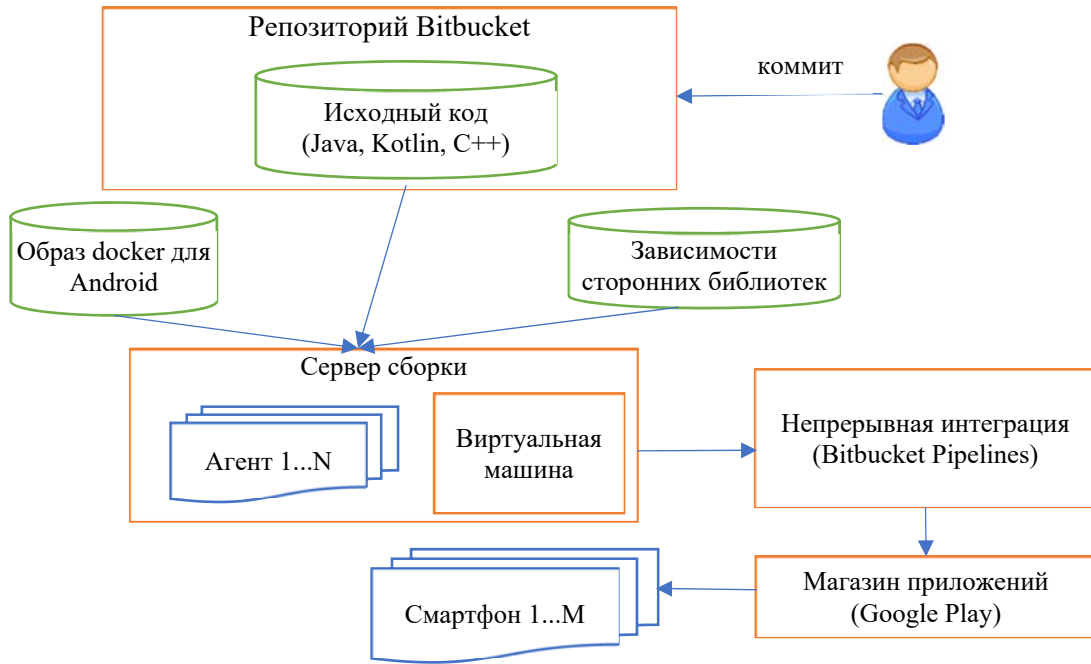


Рисунок 29 – Схема развертывания программного комплекса

В качестве репозитория, отвечающего за хранение исходного кода программного комплекса, выбрана платформа *BitBucket*, позволяющая гибко управлять и настраивать программные проекты. Для облегчения работы с разными версиями кода программного комплекса в качестве системы контроля версий кода используется распределенная система *Git*, позволяющая хранить несколько версий одного и того же файла, обращаться к более ранним версиям и структурировано отслеживать изменения в исходном коде приложения.

Процесс сборки инициируется разработчиком посредством внесения изменений в репозиторий исходного кода проекта, которые подхватываются системой сборки *BitBucket*. На каждый коммит в репозиторий исходного кода CI система *Bitbucket Pipeline*, интегрированная с хранилищем репозитория *BitBucket*, инициирует сборку мобильного программного комплекса. Исходя из того, что в системе *Bitbucket Pipelines* сборка осуществляется внутри *Docker* контейнеров в инфраструктуре *BitBucket*, в начале указывается образ ОС *Android*, на основе которого непосредственно производится процесс сборки программного комплекса. Обязательными параметрами для сборки является название ветки, для которой происходит процесс построения проекта и набор команд, описывающих сам процесс сборки в файле *bitbucket-pipelines.yml*, находящимся в корневом каталоге проекта (Листинг 8).

Листинг 8 – Список команд, управляющих процессом сборки мобильного приложения

```

image: uber/android-build-environment:latest
pipelines:
  default:
    - step:
      script:
  
```

```

- echo y | android update sdk --filter "extra-android-
m2repository" --no-ui -a
- mkdir "${ANDROID_HOME}/licenses" || true
- echo "8933bad161af4178b1185d1a37fbf41ea5269c55" >
"${ANDROID_HOME}/licenses/android-sdk-license"
- echo "d56f5187479451eabf01fb78af6dfcb131a6481e" >>
"${ANDROID_HOME}/licenses/android-sdk-license"
- ./gradlew assembleRelease
- . ./setup_export.sh
- curl -X POST --user "${BB_AUTH_STRING}"
"https://api.bitbucket.org/2.0/repositories/${BITBUCKET_REPO_OWNER}/${BITBUCKET_REPO_SLUG}/downloads" --form files=@"${LATEST_APK}"

```

Процесс построения мобильного приложения на основе системы сборки *Gradle* [152], позволяющей гибко настраивать конфигурации создания итоговых бинарных файлов *.apk*, совместимых с платформой Android, на предметно-ориентированном языке *Groovy*. Далее CI система сохраняет результат работы системы сборки в виде файла *.apk* для дальнейшей публикации итогового мобильного программного комплекса в магазине приложений Google Play Store.

#### 4.6 Реализация прототипа мобильного программного комплекса предупреждения аварийных ситуаций

Мобильное приложение, устанавливаемое на смартфон водителя, разработано для устройств на базе операционной системы Android с минимальной поддерживаемой версией Android 4.2 (переменной *minSdkVersion* равной 16) и целевой версией, равной Android 8.1 (переменной *targetSdkVersion* равной 27), обозначающей, что приложение полностью с ней протестировано и совместимо.

Мобильный программный комплекс построен на основе применения статически типизированных языков программирования, официально поддерживаемых платформой Android, которыми являются Java, Kotlin, C++. Несмотря на то, что первоначально стандартным языком разработки мобильных приложений для Android был Java, язык Kotlin [153] обеспечивает безопасность на уровне компиляции кода, имеет лаконичный и простой синтаксис, обратную совместимость с Java. Ввиду того, что язык Kotlin начал использоваться при разработке мобильного приложения после его официальной поддержкой компанией Google в платформе Android, прежняя часть проекта остается на языке Java.

Анализ поведения водителя ТС на основе детектирования, отслеживания и распознавания его лицевых характеристик на изображении реализован на языке программирования C++ при помощи программных библиотек компьютерного зрения

OpenCV и машинного обучения Dlib. Для выполнения программного кода, написанного на C++ и скомпонованного в виде динамических библиотек (с расширением *.so*), из языка *Java* были использованы JNI интерфейсы, реализующие механизм позднего связывания. Другие компоненты, такие как модуль принятия решений, модуль генерации рекомендаций и планирования задач, были написаны на языках *Java* и *Kotlin*.

Анализ и оценка характеристик управления водителем ТС был бы невозможен без использования данных сенсоров смартфона в отсутствии дополнительных устройств или использовании технических возможностей автомобиля. Вследствие того, что в реальной обстановке смартфоны работают с «зашумленными», неполными и не всегда точными данными, при обработке сенсорных данных применяется подход слияния данных (технология Sensor Fusion/Data) датчиков, объединяющий показания из разрозненных сенсоров смартфона таким образом, что полученная информация становится более полной, точной и надежной, чем если бы эти сенсоры использовались каждый в отдельности. Достоинствами такого объединения показаний датчиков являются сохранение надежности системы в случае отказа какого-либо датчика, снижение вероятности ложных тревог и рост вероятности обнаружения небезопасных состояний в процессе движения в результате получения более полной и точной информации об обстановке, поступающей от множества разнородных датчиков. С точки зрения разработки программного обеспечения, сенсоры на платформе Android можно условно разделить на физические, являющиеся составной частью настоящего смартфона и виртуальные (*TYPE\_LINEAR\_ACCELERATION*, *TYPE\_GRAVITY* или *TYPE\_ROTATION\_VECTOR*), образованные путем объединения одного или нескольких физических сенсоров (акселерометр, гироскоп, магнитометр, GPS, т.п.) для достижения возможности получения более точных или стабильных результатов показаний. Последняя категория сенсоров выдает не те данные, которые непосредственно зарегистрированы на основе данных физических сенсоров из окружающей обстановки, а уже предобработанные – путем применения тех или иных алгоритмов, реализующих механизмы фильтрации измерений и используемых системой РСПАС. Несмотря на то, что реализация работы данных сенсоров может меняться от версии к версии платформы Android, сенсором, используемым системой РСПАС при определении величины ускорения ТС, является *TYPE\_LINEAR\_ACCELERATION*, описывающий линейное ускорение и предоставляющий показания физического сенсора, акселерометра, исключая силу тяжести. Отрицательные значения данного сенсора свидетельствуют о торможении ТС. Для определения положения и направления смартфона в пространстве системой РСПАС применяется сенсор *TYPE\_ROTATION\_VECTOR*, использующий в своей работе показания от гироскопа и компаса, и алгоритма фильтрации нижних частот Калмана, работающего с неполными или зашумленными измерениями датчиков смартфона. В качестве сенсора,

измеряющего освещенность в кабине ТС, применяется специально предназначенный датчик *Sensor.TYPE\_LIGHT*, показывающий степень освещения в Lux.

В качестве системы автоматической сборки мобильного приложения выбрана система Gradle, являющаяся стандартной системой сборки для Android Studio и предлагающая предметно-ориентированный язык использования Groovy для описания конфигурации проекта.

Скомпилированная Java компилятором и собранная утилитой *apkbuilder* сборка мобильного приложения в формате «apk» для платформы Android и использования в системе РСПАС занимает 100 Мб в памяти смартфона, а после установки на устройство водителя – 120 Мб. Объем программного кода мобильного приложения составляет примерно 109 тысяч строк кода файлов с расширением .java, .kt.

Сегодня производители мобильной электроники постоянно совершенствуются в производстве смартфонов, постоянно уменьшая их вес, делая их тоньше и при этом увеличивая мощность процессоров и размеры экранов, что в свою очередь вызывает большой расход энергии и как следствие быстрый расход аккумуляторной батареи устройств. Учитывая технологический прогресс при производстве мобильных устройств, постоянно растущую ресурсоемкость программного обеспечения и частоту использования смартфона, экраны оказывают существенную нагрузку на литий-ионные аккумуляторы и соответственно быстро снижают заряд и длительность непрерывной работы смартфона. В условиях наличия постоянного источника тока и при непрерывной работе мобильного приложения на устройстве, заряда аккумуляторной батареи может быть недостаточно для поддержания и увеличения уровня заряда смартфона. Исходя из того, что на скоростях движения менее 10 км/ч ДТП происходят редко, а если случаются, то последствия подобных столкновений незначительны, с целью экономии (энергосбережения) уровня заряда смартфона программный комплекс может выключать или снижать яркость экрана или приостанавливать работу модуля распознавания опасных состояний до момента превышения указанной скорости.

Текущая реализация прототипа мобильного приложения устроена таким образом, что как только глаза водителя закрываются в момент времени, программный таймер активируется и начинается отсчет продолжительности времени (по умолчанию равен 1,5с), в течение которого определяется доля времени, в течение которого глаза водителя находились в закрытом состоянии. Если был превышен безопасный порог процента времени закрытости глаз водителя, приложение уведомит его о наступлении состоянии ослабленного внимания при помощи аудио сигнала.

Похожий на вышеописанный алгоритм такой соответствует и состоянию усталости. Каждый раз, когда лицо водителя не направлено по направлению движения транспортного

средства, программный таймер активируется для отсчета продолжительности текущего состояния. Если данный интервал превышает две секунды, приложение сообщает водителю о наступлении усталости при помощи соответствующего графического и звукового уведомления.

Производительность разработанного мобильного приложения в рамках работы системы РСПАС была протестирована на смартфонах LG G3, Google Pixel, Google Pixel 2 XL, Asus Zenfone 3 Deluxe 5.5, Asus Zenfone 3 ZE520KL, Samsung Galaxy S6, Samsung Galaxy S8+, Samsung Galaxy J1 Mini, Samsung Galaxy A3, Samsung Galaxy Tab Pro 8.4, Samsung Galaxy Alpha, Huawei Honor 9, Huawei P8 Lite, Huawei Nova, Xiaomi Mi 5, Xiaomi Redmi Note 3, Xiaomi Redmi 4, Xiaomi Redmi 1S.

В тестировании системы приняло участие 30 водителей с личным ТС, среди которых были и мужчины, и женщины. Вариант взаимодействия водителя с системой РСПАС, запущенной на смартфоне и закрепленного на лобовом стекле автомобиля, представлен на рис. 30.

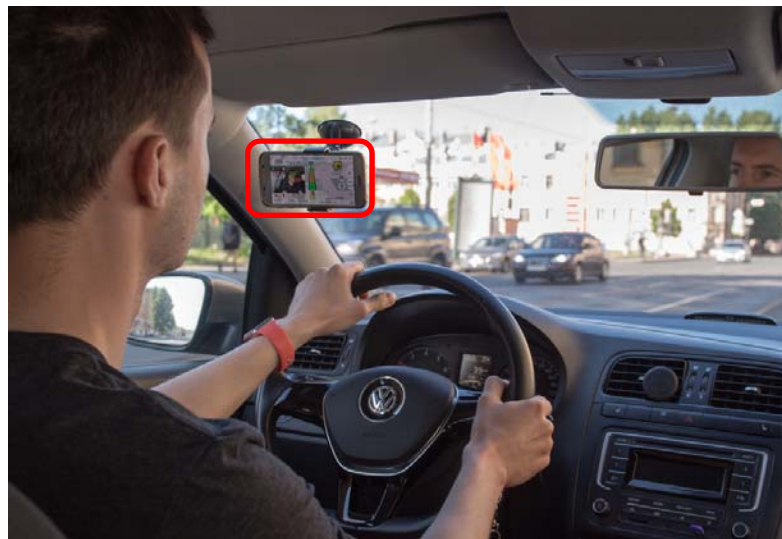


Рисунок 30 – Пример взаимодействия водителя с системой РСПАС

Для удобства водителя мобильное приложение запускается совместно с привычной ему навигационной системой (Рисунок 31), отображаясь на переднем плане поверх остальных приложений перед водителем. Данный режим может быть полезен при работе с картографическими приложениями. Левая часть рисунка сигнализирует нормальное состояние водителя, говоря о том, что от водителя не требуется предпринимать какие-то дополнительные действия для стабилизации ситуации. В правой части рисунка отображается предупреждение, сигнализирующее о распознанном состоянии ослабленного внимания у водителя ТС. Предупреждающие графические иконки, накладывающиеся на изображение с фронтальной камеры, сигнализируют о приближающейся опасности. Как только распознается лицо водителя, глаза водителя и остальные лицевые характеристики





IntervalBetweenDetectDangersBetween(ms)	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000
PeriodInDetectDanger(ms)	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
CoffeeCupDialogTimeout(sec)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
SettingPictureContrast(0-10)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SettingPictureBrightness(-255,255)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

В ходе тестирования мобильного программного комплекса было проведено два независимых эксперимента при участии случайной тестовой выборки людей разных пола и возрастов (Рисунок 32). В первом случае оценивалась точность распознавания опасных состояний в зависимости от уровня окружающей освещенности (Lux 0, 1, 30, 115) (Рисунок 33).

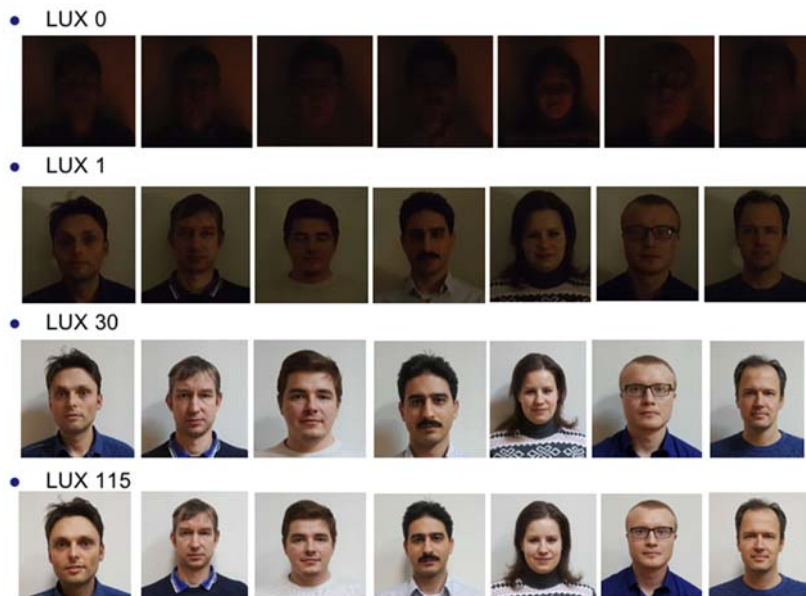


Рисунок 32 – Тестовая выборка из мужчин и женщин при разном уровне освещенности

Как можно заметить, точность распознавания лицевых характеристик человека становится приемлемой (0,8) при уровне окружающей освещенности равной 30 Lux.



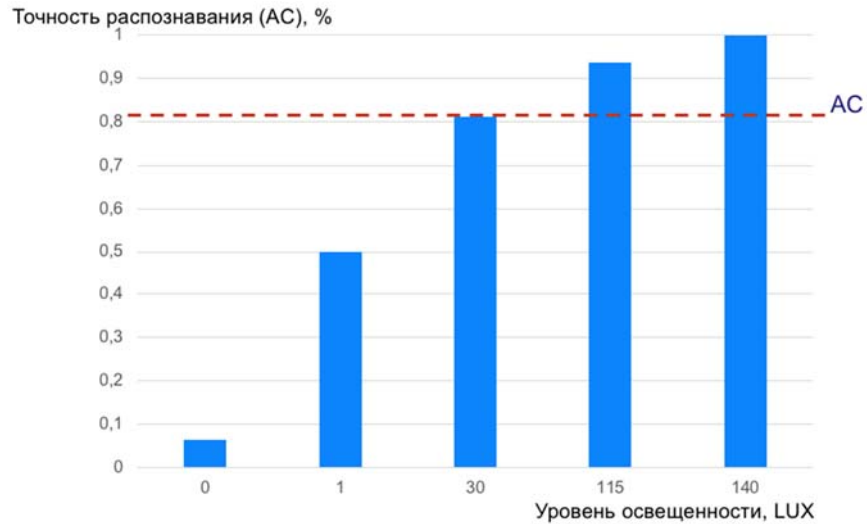


Рисунок 33 – Зависимость точности распознавания лицевых характеристик от уровня освещенности

Сравнение времени распознавания опасной ситуации на всех использованных смартфонах приведено на рис. 34,

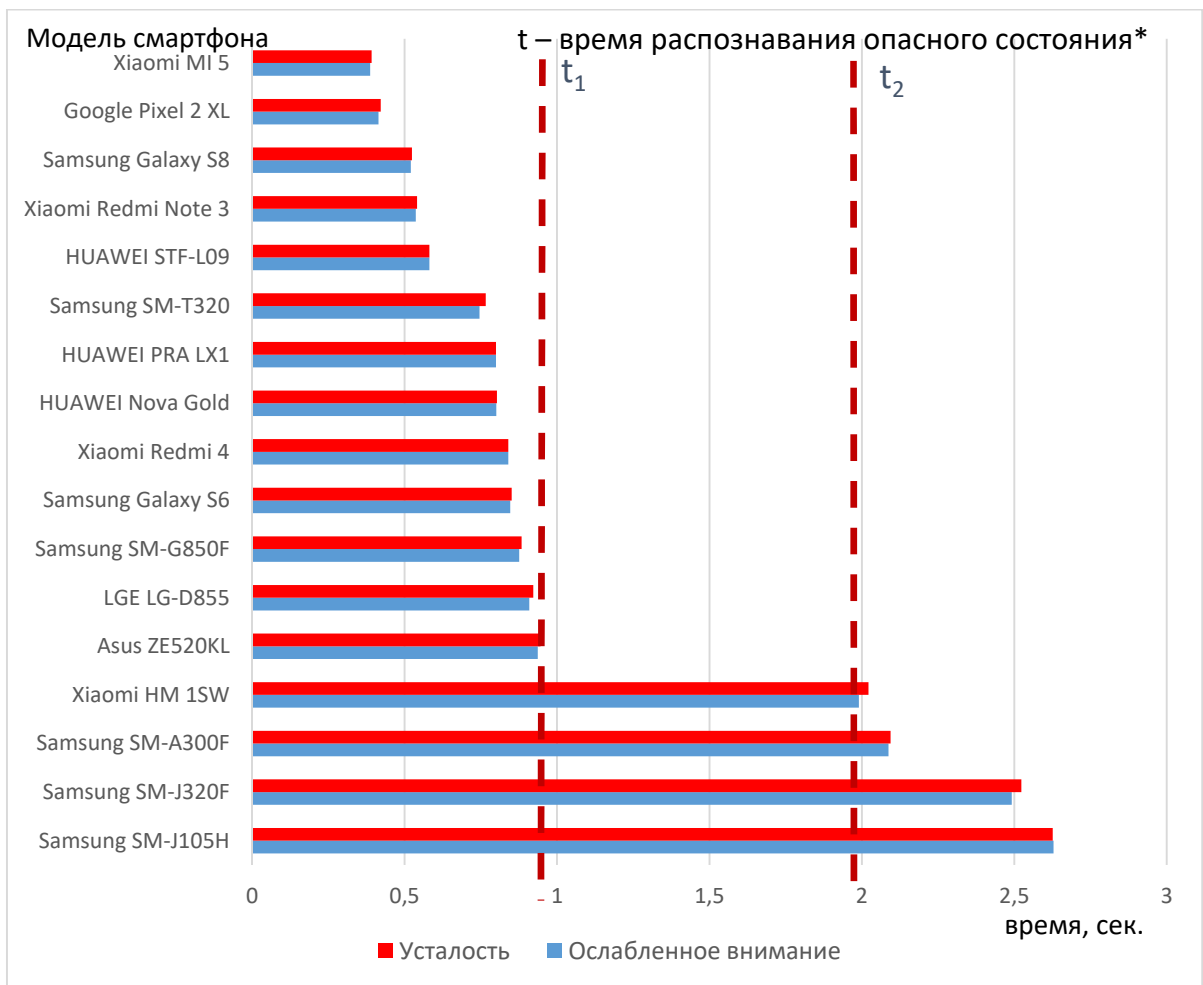


Рисунок 34 – Оценка времени распознавания ослабленного внимания и усталости в РСПАС

где время  $t_2$  – это максимально допустимое время распознавания опасного состояния, а время  $t_1$  – время, за которое большая часть современных смартфонов успевает определить опасное состояние на временном промежутке.

#### **4.8 Апробация системы предупреждения аварийных ситуаций в учебных и научно-исследовательских целях**

Разработанные модели и архитектура были использованы при разработке систем предупреждения аварийных ситуаций при движении транспортного средства в научно-исследовательских и учебных организациях.

Результаты диссертационной работы использованы в работах исследовательской группы интеллектуальной мобильности при инновационном центре робототехники Национального института передовой промышленной науки и технологии (AIST) (Токио, Япония):

- Программный комплекс распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций для определения опасного состояния водителя двухколесного самобалансируемого средства передвижения.
- Программный комплекс распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций для анализа угла поворота лица водителя к траектории движения при езде стоя на персональном мобильном транспортном средстве.

Результаты диссертационной работы были применены в рамках ведущихся исследованиях и разработках компании ООО «Опти-Софт», Петрозаводск, Республика Карелия, посвященных транспортной логистике:

- Алгоритмы распознавания опасных состояний в поведении водителя во время движения транспортного средства.
- Программный комплекс распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций на основе мониторинга поведения водителя транспортного средства и генерации ему контекстно-ориентированных рекомендаций.

По разработанному программному комплексу получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Мобильный сервис для предотвращения аварийных ситуаций и генерации рекомендаций водителю транспортного средства во время движения с использованием фронтальной камеры и сенсоров смартфона (Drive Safely)» // Смирнов А.В., Кашевник А.М., Лашков И.Б., № 2017614256 от 10 апреля 2017.

#### 4.9 Выводы по главе 4

В главе представлены особенности реализации программного комплекса системы предупреждения аварийных ситуаций, возникшие при разработке мобильного приложения для платформы Android.

Для управления процессом сборки и непрерывной доставки программного обеспечения пользователям системы представлена диаграмма развертывания распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций.

Тестирование разработанного мобильного приложения проводилось с участием мужчин и женщин разных возрастов. Ряд проведенных экспериментов позволил оценить точность и полноту распознавания опасных состояний в поведении водителя в условиях разной освещенности и на моделях смартфонов разных производителей.

Использование разработанной в диссертационной работе системы РСПАС позволяет снизить вероятность возникновения аварийной ситуации в процессе движения, а также оценить и улучшить навыки управления ТС за счет генерации контекстно-ориентированных рекомендаций, нацеленных на своевременное предупреждение водителя об опасном поведении в кабине ТС.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе предложено решение актуальной научно-технической задачи, заключающейся в повышении эффективности системы мониторинга поведения водителя на основе разработки моделей и алгоритмов распознавания опасных состояний в кабине транспортного средства и генерации контекстно-ориентированных рекомендаций с использованием фронтальной камеры и сенсоров смартфона.

Разработанная система предупреждения аварийных ситуаций позволяет водителю не только смягчать последствия дорожных происшествий, но и помогает ему избегать их, своевременно обращая внимание на возникающие опасности, если надлежащая реакция со стороны водителя недостаточна или отсутствует, за счет генерации соответствующих предупреждающих сигналов и контекстно-ориентированных рекомендаций. Также, разработанный программный комплекс обладает способностью к оценке стиля вождения водителя за счет анализа проявляемых им паттернов поведения для повышения безопасности во время управления транспортным средством.

В процессе решения данной задачи были получены следующие результаты:

1. Предложен контекстно-ориентированный подход к созданию распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций водителя и генерации ему рекомендаций с использованием фронтальной камеры и сенсоров смартфона, позволяющий системе адаптироваться к стилю вождения водителя в процессе ее функционирования за счет анализа и группирования профилей водителей и выделения паттернов их поведения в кабине транспортного средства.

2. Разработаны онтологическая модель системы РСПАС и информационная модель профиля водителя, позволяющие использовать облачный сервис для накопления, анализа и предоставления статистики использования программного комплекса и информации о водителях, генерировать персонализированные контекстно-ориентированные рекомендации для предотвращения наступления аварийной ситуации и сценарная модель мониторинга поведения водителя, позволяющая использовать РСПАС водителями, администраторами корпоративных автопарков и представителями страховых компаний.

3. Предложена сервис-ориентированная архитектура распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций водителя, позволяющая использовать облачный сервис для поддержки ресурсоемких вычислений в процессе обучения системы за счет накопления и анализа статистики использования программного комплекса и информации о водителях.

4. Разработаны алгоритмы распознавания опасных состояний в поведении водителя транспортного средства и генерации ему персонализированных рекомендаций, позволяющие учитывать контекстную информацию и результаты работы персонализации взаимодействия водителя с распределенной системой предупреждения аварийных ситуаций.

5. Разработан программный комплекс на основе предложенных моделей и архитектуры для мониторинга поведения водителя в кабине ТС, позволяющий генерировать рекомендации водителю с целью предотвращения наступления аварийной ситуации во время движения, своевременно обращая его внимание на возникающие опасности, с использованием фронтальной камеры и сенсоров смартфона.

Сформулированы рекомендации по применению результатов работы в грузопассажирских перевозках и логистических компаниях. Результаты, полученные в диссертационной работе, использованы при создании нового класса систем для мониторинга поведения водителя транспортного средства во время движения с целью выявления опасных состояний и формирования контекстно-ориентированных рекомендаций. Полученная информация о распознанном ослабленном внимании или усталости водителя, а также контекст и информация из облачного сервиса, позволяют заблаговременно его предупредить и сформировать рекомендацию, ориентированную на принятие водителем мер по предотвращению наступления аварийной ситуации. Также, полученные в диссертации результаты позволили реализовать распределенную систему предупреждения об аварийных ситуациях на основе мониторинга поведения водителя транспортного средства за счет использования фронтальной камеры и сенсоров смартфона на платформе Android. Представленные решения могут использоваться водителями с личным автомобилем, администраторами автопарков при учете труда и отдыха водителей, контроля совершения ими поездок и представителями страховых компаний в целях повышения безопасности водителей и предоставлении страховых услуг на длительный период.

В качестве перспектив дальнейшей разработки стоит обратить внимание на исследования, связанные с анализом физиологических сигналов водителя, регистрируемых при помощи устройств носимой электроники на основе таких показателей как количество ударов сердца в мин. (частота пульса), электрическая активность мышц (электромиография), активность глазного яблока (электроокулография). Дополнительные индикаторы позволяют точнее детектировать состояние водителя при различных условиях освещенности и распознавать больше число опасных состояний в поведении водителя,

повышая его безопасность в кабине ТС и применимость программного комплекса в целом. Стоит отметить, что исследования, проведенные в диссертационной работе, затрагивают только анализ поведения водителя, исключая мониторинг состояния дорожной обстановки впереди ТС. Также представляется интересным исследование влияния формируемых системой рекомендаций водителю на динамику его стиля вождения и, как следствие, эффективность эксплуатации транспортного средства.

Полученные результаты соответствуют п. 3 «Модели, методы, алгоритмы, языки и программные инструменты для организации взаимодействия программ и программных систем» и п. 8 «Модели и методы создания программ и программных систем для параллельной и распределенной обработки данных, языки и инструментальные средства параллельного программирования» паспорта специальности 05.13.11 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей»

## Словарь терминов

Контекст — любая информация, которая может быть использована для описания ситуации, в которой находится в определенный момент некоторый объект (человек, транспортное средство или сервис).

Онтология — формально представленные на базе концептуализации знания, предполагающие описание множества объектов и понятий, знаний о них и связей между ними.

Сервис — механизм для предоставления доступа к одной или многим возможностям, в котором доступ предоставляется с помощью описанного заранее интерфейса и осуществляется в соответствии с ограничениями и политиками, определенными в описании сервиса.

Сервис-ориентированная архитектура — модульный подход к разработке программного обеспечения, основанный на использовании распределённых, слабо связанных заменяемых компонентов, оснащённых стандартизированными интерфейсами для взаимодействия по стандартизированным протоколам.

LIDAR (Light Identification Detection and Ranging, «лидар») — технология считывания и анализа информации об удаленных объектах на основе использования явления отражения света и его рассеивания.

Интероперабельность — способность системы, интерфейсы которых полностью открыты, взаимодействовать и функционировать с системами без каких-либо ограничений доступа и реализации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Annual Accident Report 2016 - European Commission - Europa EU. [Электронный ресурс]. – URL: [https://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/asr2016.pdf](https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/asr2016.pdf) (дата обращения: 07.11.2017).
- 2 Global status report on road safety. Geneva, World Health Organization, 2015. [Электронный ресурс]. – URL: [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/189242/1/9789241565066\\_eng.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/189242/1/9789241565066_eng.pdf) (дата обращения: 05.08.2018).
- 3 Fatality Analysis Reporting System (FARS) | NHTSA. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www-fars.nhtsa.dot.gov/Main/index.aspx> (дата обращения: 07.11.2017).
- 4 Человеческий фактор. Бодрствование водителя. Обзор систем // Отчет Вып. 1 Railway Safety. – 2002. – 94 с.
- 5 National Center for Statistics and Analysis. Distracted Driving: 2016 // Traffic Safety Facts Research Note. Report No. DOT HS 812 517, Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration. – April 2018. – 6 p.
- 6 Дорожно-транспортные травмы: информационный бюллетень Всемирной организации здравоохранения. Май 2017 г. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs358/ru/> (дата обращения: 07.11.2017).
- 7 Венцевич Л.Е. Локомотивные устройства обеспечения безопасности движения поездов и расшифровка информационных данных их работы: Учебник для учащихся ж-д транспорта, осуществляющих профессиональную подготовку. — М. : Маршрут, 2006. 328 с.
- 8 Peck DL., Warner K. Accident or suicide? Single-vehicle car accidents and the intent hypothesis // *Adolescence*. – 30 (118): 463–72. PMID 7676880. – 1995. – P. 463-472.
- 9 Brian C. Teff, Acute Sleep Deprivation and Risk of Motor Vehicle Crash Involvement // Report, Washington, DC 20005, AAAFoundation.org, December 2016. – 21 p.
- 10 M. Kopf, R. Onken, DAISY A knowledgeable monitoring and warning aid for drivers on German motorways, 5th IFAC Man-Machine Symp. – 1992. – P. 189-194.
- 11 N. Kuge, H. Ueno, H. Ichikawa, K. Ochiai, A study on the causes of rear-end collision based on an analysis of driver behavior, *JSAE Rev.* – Jan. 1995. – Vol. 16, no. 1. – P. 55-60.
- 12 Ломакин В. В., Покровский Ю. Ю., Степанов И. С., Гоманчук О. Г. Безопасность автотранспортных средств: Учебник для вузов. / Под общ. ред. В.В. Ломакина. М: МГТУ «МАМИ», 2011. – 299 с.



- 13 А. И. Рябчинский, В. З. Русаков, В. В. Карпов Устойчивость и управляемость автомобиля и безопасность дорожного движения / Под общ. ред. А. И. Рябчинского; М-во образования Рос. Федерации. Моск. автомоб.-дорож. ин-т., 2003 – 176 с.
- 14 Зайнеев И.Р., Ерхова О.А. Основные компоненты обеспечения системы активной безопасности современного автомобиля // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – Т.4. – 5-3 (25-3) – 2016. – С. 236-241.
- 15 Сазонов И.С., Ким В.А., Рогожин В.Д., Михайлюк А.М. Современные системы активной безопасности автотранспортных средств (САБ АТС) и перспективы их совершенствования // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии Материалы международной научно-технической конференции. – 2005. – С. 265-266.
- 16 Number of mobile phone users worldwide from 2013 to 2019 (in billions) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.statista.com/statistics/274774/forecast-of-mobile-phone-users-worldwide/> (дата обращения: 03.08.2018).
- 17 Smartphone Volumes Expected to Rebound in 2017 with a Five-Year Growth Rate of 3.8%, Driving Annual Shipments to 1.53 Billion by 2021, According to IDC [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS42334717> (дата обращения: 03.08.2018).
- 18 Google Play. [Электронный ресурс]. URL: <http://play.google.com/store> (дата обращения: 03.08.2018).
- 19 Apple – iTunes. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.apple.com/itunes/> (дата обращения: 03.08.2018).
- 20 iOnRoad [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ionroad.com> (дата обращения: 07.11.2017).
- 21 Garmin [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garmin.ru> (дата обращения: 07.11.2017).
- 22 Грекова Т.И. Кожно-гальваническая реакция как показатель изменений психического состояния/Т.И. Грекова//Физиология человека. –1975. – Т. 1. – С. 993-997.
- 23 Шахнарович В.М., Щеголькова В.В. Человеческий фактор и безопасность // ВНИИ ГОЧС: вчера, сегодня, завтра 35 лет на службе безопасности жизнедеятельности. МЧС России, ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). Москва. – 2011. – С. 168-173.
- 24 И.С. Степанов, Ю.Ю. Покровский, В.В. Ломакин, Ю.П. Москалева Влияние элементов системы водитель -автомобиль -дорога -среда на безопасность дорожного движения: Учебное пособие/ -М.: МГТУ «МАМИ», 2011. – 171 с.

- 25 Кисуленко Б.В., Бочаров А.В. Интеллектуальные системы безопасности автомобилей // Автомобильная промышленность. – 2008. — №3. – С. 16-18.
- 26 McKinsey Global Institute. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mckinsey.com/industries/semiconductors/our-insights/advanced-driver-assistance-systems-challenges-and-opportunities-ahead> (дата обращения: 07.11.2017).
- 27 Московская железная дорога // Железнодорожный транспорт, Открытое акционерное общество Российские железные дороги. – Вып.1. – 2018. – С. 25-28.
- 28 M. M. Alrjebi, N. Pathirage, W. Liu, L. Li. Face Recognition Against Occlusions via Colour Fusion using 2D-MCF Model and SRC // Pattern Recognition Letters. – 2017. – P. 14-21.
- 29 Фурсов В. А., Бибиков С. А., Якимов П. Ю. Локализация контуров объектов на изображениях при вариациях масштаба с использованием преобразования Хафа // Компьютерная оптика. – 2013. – 37(4). С. 496–502.
- 30 Небаба С. Г., Захарова А. А. Алгоритм построения деформируемых 3D моделей лица и обоснование его применимости в системах распознавания личности // Труды СПИИРАН. – 2017. – Вып. 52. – С. 157–179.
- 31 Чиров Д. С., Чертова О. Г., Потапчук Т. Н. Методика обоснования требований к системе технического зрения робототехнического комплекса // Труды СПИИРАН. 2017. Вып. 51. С. 152–176.
- 32 Г. А. Кухарев, Н. Л. Щеголева Системы распознавания человека по изображению лица // Санкт-Петербург, ЛЭТИ. – 2006. – 175 с.
- 33 Mobileye. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mobile-eye.ru/> (дата обращения: 07.11.2017).
- 34 Movon Corporation Inc., MDAS [Электронный ресурс]. URL: <http://mdas.co.kr> (дата обращения: 07.11.2017).
- 35 Пат. WO2013151266 A1 США, Y. Park, Method and system for lane departure warning based on image recognition, Оpubл. 10.10.2013.
- 36 Bosch Mobility Solutions. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.bosch-mobility-solutions.com/en/> (дата обращения: 07.11.2017).
- 37 Пат. US7363140 B2 США, F. Ewerhart, C. Guenther, T. Wittig, Lane changing assistant for motor vehicles, Оpubл. 22.04.2008.
- 38 TRW Automotive. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.trw.com/> (дата обращения: 07.11.2017).

- 39 Пат. US6340928 B1 США, Roger A. McCurdy, Emergency assistance system using Bluetooth technology, Оpubл. 22.01.2002.
- 40 Official website of Continental AG. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.continental-automotive.com/> (дата обращения: 07.11.2017).
- 41 Пат. DE102016223422A1 США, C. Loy, C. Heller, A. Abramov, C. Bayer, A method for automatically determining extrinsic parameters of a camera of a vehicle, Оpubл. 30.05.2018.
- 42 Пат. US7724962B2 США, Y. Zhu, G. Baratoff, D. Jean, P. Acunzo, Context adaptive approach in vehicle detection under various visibility conditions, Оpubл. 25.05.2010.
- 43 Official website of Valeo. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.valeo.com/en/> (дата обращения: 07.11.2017).
- 44 Hella official website, Driver Assistance Systems. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.hella.com/> (дата обращения: 07.11.2017).
- 45 NXP Semiconductors | Automotive, Security, IoT. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.nxp.com> (дата обращения: 07.11.2017).
- 46 Пат. US 8744190 B2 США, N. Stoeffler, M. Raubuch, System and method for efficient image feature extraction, Оpubл. 03.06.2014.
- 47 Autoliv. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.autoliv.com> (дата обращения: 07.11.2017).
- 48 Velodyne. [Электронный ресурс]. – URL: <http://velodynelidar.com> (дата обращения: 27.12.2017).
- 49 Пат. US 7969558 B2 США, Velodyne Acoustics Inc., High definition lidar system, Оpubл. 28.11.2011.
- 50 Delphi Automotive. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.delphi.com/innovations/intelligent-driving> (дата обращения: 07.08.2018).
- 51 Пат. US9063230 B2 США, Stephen W. Alland, S. Shi, Radar sensor module, Оpubл. 23.06.2015.
- 52 DENSO. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.denso.com/> (дата обращения: 07.11.2017).
- 53 Renesas Electronics Corporation. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.renesas.com> (дата обращения: 07.11.2017).
- 54 Пат. US9554137 B2 США, K. Iwata, T. Shibayama, K. Matsubara, R. Imaoka, S. Mochizuki, Image receiving device, image transmission system, and image receiving method, Оpubл. 24.01.2017.

- 55 Texas Instruments. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ti.com/> (дата обращения: 07.11.2017).
- 56 Пат. US 20150178573 A1 США, P. Viswanath, S. Narayanan, Ground plane detection, Оpubл. 25.06.2015.
- 57 WABCO. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.wabco-auto.com/> (дата обращения: 07.11.2017).
- 58 Пат. US8538674 B2 США, K. Breuer, H. Kitterer, Vehicle collision avoidance apparatus and method, Оpubл. 17.09.2013.
- 59 Waymo. [Электронный ресурс]. URL: <http://waymo.com> (дата обращения: 16.08.2018).
- 60 Пат. US8700251B1 США, J. Zhu, D. I. Ferguson, D. A. Dolgov, System and method for automatically detecting key behaviors by vehicles, Оpubл. 15.04.2014.
- 61 HARMAN. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.harman.com> (дата обращения: 07.11.2017)
- 62 Пат. US20150309566A1 США, V. Hampiholi, S. Belur, Gaze tracking system, Оpubл. 29.10.2015.
- 63 Пат. US9354073 B2 США, D. Censo, S. Marti, Eye gaze enabled navigation system, Оpubл. 31.05.2016.
- 64 Magna Electronics. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.magna.com/> (дата обращения: 07.11.2017)
- 65 Пат. US8027029 B2 США, Y. Lu, M. Higgins-Luthman, Object detection and tracking system, Оpubл. 27.09.2011.
- 66 Hyundai Motor Company [Электронный ресурс]. URL: <http://brand.hyundai.com/> (дата обращения: 07.11.2017).
- 67 Пат. US9025819 B2 США, K. Sung, J. Lee, J. An, Apparatus and method for tracking the position of a peripheral vehicle, Оpubл. 5.05.2015.
- 68 Пат. US 9457814 B2 США, S. Kim, S. Park, Apparatus and method for controlling driving of vehicle based on driver's fatigue, Оpubл. 4.10.2016.
- 69 Пат. US 20160207455 A1 США, N. Kim, Safe driving notification system using wearable device and method thereof, Оpubл. 21.07.2016.
- 70 Ford Motor Company. [Электронный ресурс]. URL: <https://corporate.ford.com/> (дата обращения: 07.11.2017).
- 71 Пат. US7138922 B2 США, G. Strumolo, S. Ryan, Drowsy driver monitoring and prevention system, Оpubл. 21.11.2006.

- 72 Panasonic Corporation. [Электронный ресурс]. URL: <http://business.panasonic.com/> (дата обращения: 07.11.2017).
- 73 Пат. US9121944 B2 США, J. Manotas, Mid-infrared vehicle early warning system, Опубл. 01.09.2015.
- 74 Пат. US8063786 B2 США, J. Manotas, Method of detecting drowsiness of a vehicle operator, Опубл. 22.11.2011.
- 75 E. Argyle., A. Rosenfeld, Techniques for edge detection // Proceedings of the IEEE. – 1971. – Vol. 59, no. 2. – P. 285-287.
- 76 Hitachi Automotive Systems Americas. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.hitachi-automotive.us/> (дата обращения: 07.11.2017).
- 77 Analog Devices. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.analog.com/> (дата обращения: 07.11.2017).
- 78 Пат. US20140133698 A1 США, J. Fernandez, S. Kottekkode, Object detection, Опубл. 15.05.2014.
- 79 N. Dalal, B. Triggs, Histograms of Oriented Gradients for Human Detection // IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05). – 2005. – P. 886-893.
- 80 N. Cristianini, J. Shawe-Taylor An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-based Learning Methods. Cambridge University Press. – 2000. – 189 p.
- 81 Care Drive. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.care-drive.com> (дата обращения: 07.11.2017)
- 82 Пат. CN201765668 U США, 黎亚平, Fatigue driving pre-warning device, Опубл. 16.03.2011.
- 83 Cognitive Technologies. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.cognitive.ru/> (дата обращения: 07.11.2017).
- 84 You, C-W, Lane N. D., Chen F., Wang R., Chen Z., Bao T. J., Montes- de-Oca M., Cheng Y., Lin M., Torresani L., Campbell A. T. CarSafe App: Alerting Drowsy and Distracted Drivers using Dual Cameras on Smartphones // Proceedings of MobiSys'13. – 2013. – P. 461-462.
- 85 L. M. Bergasa, D. Almería, J. Almazán, J. J. Yebes, R. Arroyo, DriveSafe: an App for Alerting Inattentive Drivers and Scoring Driving Behaviors // Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Dearborn, MI, USA. – 2014. – P. 240-245.
- 86 T. Wang, G. Cardone, A. Corradi, L. Torresani, A. T. Campbell, WalkSafe: A Pedestrian Safety App for Mobile Phone Users Who Walk and Talk While Crossing Roads // Proceedings of HotMobile'13. – 2012. – P. 1-6.

- 87 Augmented Driving. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.imaginyze.com/> (дата обращения: 07.11.2017)
- 88 NightDrive. [Электронный ресурс]. – URL: <https://itunes.apple.com/us/app/nightdrive/id902703316?mt=8> (дата обращения: 07.11.2017)
- 89 Driver Guard. [Электронный ресурс]. – URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.badrit.cv.vehicledetect> (дата обращения: 07.11.2017)
- 90 Nexar – AI Dashcam. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.getnexar.com/> (дата обращения: 07.11.2017)
- 91 Xiaomi. [Электронный ресурс]. – URL: <http://xiaomi-mi.com/> (дата обращения: 07.11.2017).
- 92 Kenwood. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.kenwood.com/> (дата обращения: 07.11.2017).
- 93 Philips. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.philips.co.id> (дата обращения: 07.11.2017).
- 94 THINKWARE. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.thinkware.com/> (дата обращения: 07.11.2017).
- 95 CarVi. [Электронный ресурс]. – URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.getcarvi.igg> (дата обращения: 07.11.2017).
- 96 Rear View Safety [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.rearviewsafety.com> (дата обращения: 03.08.2018).
- 97 Exeros. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.exeros-technologies.com> (дата обращения: 03.08.2018).
- 98 Дементиенко В.В, Иванов И.И., Макаев Д.В. Комплексная система мониторинга состояния водителя в рейсе // Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: интеллектуальные транспортные системы. Материалы IV международной научно-практической конференции. – 2016. – С. 191-195.
- 99 Boucsein W. : Electrodermal Activity. Springer Science & Business Media. Vol. 2., 2012. 618 p.
- 100 StopSleep - Driver Alert System, Fatigue Detection, Electronic Anti-Sleep Alarm. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.stopsleep.com.au> (дата обращения: 07.11.2017)
- 101 Fujitsu. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.fujitsu.com> (дата обращения: 07.11.2017).

- 102 Optalert. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.optalert.com/> (дата обращения: 07.11.2017).
- 103 Пат. US9489817B2 США, Jason Gui, Infrared sensing of eye and eyelid movements to detect drowsiness, Опубл. 08.11.2016.
- 104 Johns MW. A new method for measuring daytime sleepiness: the Epworth sleepiness scale. *Sleep*, 14. – 1991. – P. 540-545.
- 105 Basar, E., Basar-Eroglu, C., Karakas, S., Schurmann, M. Gamma, alpha, delta, and theta oscillations govern cognitive processes // *International Journal of Psychophysiology*. – 2001. – 39. – P. 241-248.
- 106 NEUROTONE Система контроля бодрствования. [Электронный ресурс]. – URL: <http://neuro-tone.com/> (дата обращения: 07.11.2017).
- 107 Kutila M., *Methods for Machine Vision Based Driver Monitoring Applications* // VTT publication series 621. – 2006. – P. 82.
- 108 P. Viola, M. Jones, Robust Real-time Object Detection, *International Journal of Computer Vision*. – 2004. – Vol. 57, no. 2, P. 137-154.
- 109 L.R. Rabiner A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition // *Proceedings of the IEEE*. – Vol. 77, no. 2. – 1989. – P. 257-286.
- 110 Freund Y., Schapire R. A short introduction to boosting // *Journal of Japanese Society for Artificial Intelligence*. – 1999. – Vol. 14, no. 5. – P. 771–780.
- 111 H. Rowley, S. Baluja, T. Kanade. Neural network-based face detection // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. – 1998. – Vol. 20. – P. 22–38.
- 112 Пат. US7511734B2 США, Nobuyuki Ozaki, Monitoring apparatus and method of displaying bird's-eye view image, Опубл. 03.31.2009.
- 113 A. Festag, Standards for vehicular communication from IEEE 802.11p to 5G, *Elektrotechnik & Informationstechnik*, Springer. – Sep. 2015. – Vol. 132, no. 7. – P. 409-416.
- 114 Distribution dashboard Android Developers. [Электронный ресурс]. – URL: <https://developer.android.com/about/dashboards/> (дата обращения: 06.08.2018).
- 115 Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Муромцев Д.И., Инженерия знаний. Модели и методы // Издательство «Лань». – 2016. – 324 с.
- 116 Ена О.В., Ефименко И.В., Хорошевский В.Ф. Онтологический инжиниринг в одном проекте: что нам стоит дом построить // *Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем* – Минск: БГУИР, 2011. – С. 107-114.
- 117 Смирнов С.В. Онтологии как смысловые модели // *Онтология проектирования*. – 2013. – № 2. – С. 12-19.

- 118 S. Husnjaka, D. Peraković, I. Forenbacher, M. Mumdzievb Telematics System in Usage Based Motor Insurance // *Procedia Engineering*. – 2015. – Vol. 100. – P. 816-825.
- 119 Городецкий В.И., Тушканова О.Н. Онтологии и персонализация профиля пользователя в рекомендующих системах третьего поколения // *Онтология проектирования*. – 2014. – Вып. 3 (13). – С. 7-31.
- 120 Дудко У.А., Кудрявцев Д.В., Средства построения интеллектуальных систем на основе онтологий // *Сборник докладов студенческой научной конференции Института информационных технологий и управления*. Н. М. Вербова. – 2015. – С. 290-293.
- 121 Смирнов А.В., Пашкин М.П., Шилов Н.Г., Левашова Т.В. Онтологии в системах искусственного интеллекта: способы построения и организации // *Новости искусственного интеллекта*. – 2002. – №2 – С. 3-13.
- 122 R. Knippling. PERCLOS, A Valid Psychophysiological Measure of Alertness as Assessed by Psychomotor Vigilance // *Technical Report FHWA-MCRT-98-006, Federal Highway Administration, Office of Motor Carrier Research and Standards*. – October, 1998.
- 123 Методы компьютерной обработки изображений [Текст] : учебное пособие для вузов / под ред. В. А. Сойфера Москва: Физматлит, 2001. 784 с.
- 124 Арлазаров В.Л., Емельянов Н.Е. (Ред.). Обработка изображений и анализ данных. – Едиториал УРСС, 2008. – 368 с.
- 125 Александров В. В., Горский И.Д. Представление и обработка изображений. Рекурсивный подход. – Л.: Наука, 1985. – 192 с.
- 126 J. Mogul, H. Frystyk, R. Fielding, J. Gettys, T. Berners-Lee, Hypertext Transfer Protocol-HTTP/1.1. – 1997. – 134 p.
- 127 R. T. Fielding, Architectural styles and the design of network-based software architectures // *Information and Computer Science, Univ. California, Irvine, CA, USA*. – 2000. – 162 p.
- 128 Гарсия Г., Суарес О., Аранда Х., Терсеро Х., Обработка изображений с помощью OpenCV. ДМК Пресс. – 2016. – 210 с.
- 129 Davis E King. Dlib-ml: A machine learning toolkit // *The Journal of Machine Learning Research*, 10. – 2009. – P. 1755–1758.
- 130 Календарев А., ClickHouse в системах сбора статистики // *Системный администратор*. Издательский дом «Положевец и партнеры» (Москва). – 3(172). – 2017. – С. 56-59.
- 131 Green M. How Long Does It Take to Stop? Methodological Analysis of Driver Perception-Brake Times // *Transportation Human Factors*. – Vol. 2, no. 2. – 2000. – P. 195-216.



- 132 L. Warshawsky-Livne, D. Shinar, Effects of uncertainty, transmission type, driver age and gender on brake reaction and movement time // *Journal of Safety Research*. – Vol. 33., no. 1. – 2002. – P. 117-128.
- 133 Törnros, J. Effect of driving speed on reaction time during motorway driving // *Accident Analysis and Prevention*. – Vol. 27., no. 4. – 1995. – P. 435-442.
- 134 Захарченко Д.В. Изменение параметров окулomotorных и двигательных реакций оператора под действием алкоголя: дис. ...канд. биол. наук: 03.03.01.— М., 2015. – 105 с.
- 135 D. Dinges, M. Mallis, G. Maislin, J.W. Powell, Evaluation of techniques for ocular measurement as an index of fatigue and the basis for alertness management // *Department of Transportation Highway Safety Publication 808 762*. – 1998. – 114 p.
- 136 W. Wierwille, Overview of research on driver drowsiness definition and driver drowsiness detection // *Proceedings of the fourteenth international technical conference on enhanced safety of vehicles*. – Munich, 1995. – P. 462-470.
- 137 W. Wierwille, S. Wreggit, Kirn, C.L., Ellsworth, L.A., R. Fairbanks: Research on Vehicle-Based Driver Status/Performance Monitoring: Development, Validation, and Refinement of Algorithms for Detection of Driver Drowsiness // *Technical Report DOT- HS-808-247*, National Highway Traffic Safety Administration. –1994. – 247 p.
- 138 Andreassi, J., *Psychophysiology. Human Behavior & Physiological Response*. London: Lawrence Erlbaum Associates. – 2006. – 578 p.
- 139 Thorslund, B. *Electrooculogram Analysis and Development of a System for Defining Stages of Drowsiness*. Linköping University, Linköping. – 2003. – 44 p.
- 140 S. Abtahi, B. Hariri, S. Shirmohammadi, Driver Drowsiness Monitoring Based on Yawning Detection // *Proc. IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference, Binjiang, Hangzhou, China*. – May, 2011. – 4 p.
- 141 Eskandarian A., Sayed R., Delaigue P., Mortazavi A., Blum J. *Advanced Driver Fatigue Research: Tech. Rep. FMCSA-RRR-07-001* // U.S. Department of Transportation. – April 2007. – 210 p.
- 142 Anon, Proximity array sensing system: head position monitor/metric // *Advanced Safety Concepts, Inc., Sante Fe., NM87504*. – 1998.
- 143 O. Lisper, B. Eriksson, Effect of the length of a rest break and food intake on subsidiary. reaction-time performance in an 8-hour driving task. *J. Appl. Psychol.* – 1980. – 65: 117–122 p.

- 144 Klauer S.G., Dingus T. A., Neale V. L., Sudweeks J.D., Ramsey, D.J. The Impact of Driver Inattention on Near-Crash/Crash Risk: An Analysis Using the 100-Car Naturalistic Driving Study Data. Report No. DOT HS 810 594, Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration. – 2006. – 226 p.
- 145 Шалыто А. А. Автоматное программирование // Известия Уральского государственного университета (Компьютерные науки и информационные технологии. Вып. 1). 2006. – Вып. 43. – С. 181–190.
- 146 Николенко С.И., Тулупьев А.Л. Самообучающиеся системы. М.: МНЦМО, 2009. – 288 с.
- 147 Han J., Kamber M. Data Mining: Concepts and Techniques. – Morgan Kaufmann, 2006. – 800 p.
- 148 L. Breiman, Random forests. Machine Learning. – Statistics Department University of California Berkeley 45(1):5– [19] 32. – 2001. – 33 p.
- 149 Amberg, B., Vetter, T., Optimal landmark detection using shape models and branch and bound // International Conference on Computer Vision. – 2011. – P. 455-462.
- 150 Вирт Н., Алгоритмы и структуры данных // ДМК-Пресс. – 2016. – 272 с.
- 151 M. Shahin, M. Ali Babar, L. Zhu, Continuous Integration, Delivery and Deployment: A Systematic Review on Approaches, Tools, Challenges and Practices // IEEE Access. – 2017. – P. 1-32.
- 152 В. Muschko. Gradle in Action. – Manning. – 2014. – 480 p.
- 153 Д. Жемеров, С. Исакова Kotlin в действии. ДМК Пресс. – 2017. – 402 с.
- 154 Drive Safely [Электронный ресурс]. – URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=ru.igla.drivesafely> (дата обращения: 07.08.2018).

# Приложение А. Свидетельство о регистрации

## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



# СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

**№ 2017614256**

**Мобильный сервис для предотвращения аварийных ситуаций и генерации рекомендаций водителю транспортного средства во время движения с использованием фронтальной камеры и сенсоров смартфона (Drive Safely)**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН) (RU)*

Авторы: *Смирнов Александр Викторович (RU), Кашевник Алексей Михайлович (RU), Лашков Игорь Борисович (RU)*

Заявка № **2017611299**

Дата поступления **15 февраля 2017 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **10 апреля 2017 г.**

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

 *Г.П. Ивлиев*

