

**П. А. Пегин, Д. В. Капский,
В. В. Касьяник, В. Н. Шуть**

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ БОРТОВЫХ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**

Монография



**П. А. Пегин, Д. В. Капский,
В. В. Касьяник, В. Н. Шуть**

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ БОРТОВЫХ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет

**П. А. Пегин, Д. В. Капский,
В. В. Касьяник, В. Н. Шуть**

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ
БОРТОВЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ
ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**

Монография

Санкт-Петербург
2019

УДК 656.13

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор Е. П. Дудкин
(Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I);
д-р техн. наук, профессор Г. М. Кухаренок (Белорусский
национальный технический университет)

Пегин, П. А.

Современные тенденции развития бортовых интеллектуальных транспортных систем: моногр. / П. А. Пегин, Д. В. Капский, В. В. Касьяник, В. Н. Шуть; СПбГАСУ. – СПб., 2019. – 198 с.

ISBN 978-5-9227-0949-1

Описаны исторические этапы появления беспилотных автомобилей и проблемы создания транспортного искусственного интеллекта. Дан подробный анализ существующих встроенных интеллектуальных систем автоматизации управления автомобилем. Рассмотрена надежность водителя в различных транспортно-дорожных и погодноклиматических условиях. Отдельная глава посвящена автоматическим транспортным системам перевозки пассажиров – как реализованным, так и разрабатываемым.

Издание предназначено для студентов средних профессиональных и высших учебных заведений, а также для специалистов, работающих в области проектирования наземных транспортных машин и механизмов.

Табл. 7. Ил. 66. Библиогр.: 131 назв.

ISBN 978-5-9227-0949-1

© П. А. Пегин, Д. В. Капский, В. В. Касьяник,
В. Н. Шуть, 2019
© Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет, 2019

ВВЕДЕНИЕ

Источники массовой информации пестрят заголовками о скором приходе в нашу жизнь автомобилей с автоматическим управлением. Называемые ими сроки перехода на автопилот варьируются в пределах 2020–2030 гг.

Уже сегодня ряд автопроизводителей заявляют, что их машины оснащены автопилотами и соответствуют 3(4) уровню автоматизации управления. Что они имеют в виду? О каких уровнях автоматизации идет речь?

Сообщество автомобильных инженеров (Society of Automotive Engineers – SAE) подготовило стандарт SAE J3016, примерно соответствующий шести уровням автоматизации управления автомобилем по SAE 9, представленным в таблице.

Уровни автоматизации управления автомобилем по SAE 9

Уровень	Режим	Описание	Управление транспортным средством в экстренных случаях
1	Ручное управление	Полное управление автомобилем осуществляет водитель	Водитель
2	Помощник водителя	Полное управление автомобилем осуществляет водитель с использованием информационной поддержки электронной системы	Водитель
3	Частичная автоматизация	Одна из систем управления (газ/ тормоз, рулевое управление) может быть автоматизирована по желанию водителя	Водитель

Уровень	Режим	Описание	Управление транспортным средством в экстренных случаях
4	Условная автоматизация	Управление автомобилем осуществляет система автоматического управления (при условии, что водитель полностью контролирует ее и при необходимости вмешивается в процесс управления)	Водитель
5	Высокая автоматизация	Управление автомобилем осуществляет система автоматического управления, даже если водитель будет вмешиваться в процесс	Система автоматического управления
6	Полная автоматизация	Полное управление автомобилем осуществляет система автоматического управления	Система автоматического управления

Национальная администрация безопасности дорожного движения США (National Highway Traffic Safety Administration – NHTSA) предложила пять уровней автоматизированной навигации:

- уровень 0 (без автоматизации) – водитель полностью контролирует безопасность движения и управление транспортным средством;
- уровень 1 (определенная функция автоматизации) – в транспортном средстве установлен контроль определенных функций, особенно в краш-неминуемой ситуации (адаптивный круиз-контроль, электронная система контроля устойчивости ESC, автоматическое торможение);
- уровень 2 (автоматизационно-комбинированная функция) – транспортное средство движется самостоятельно, но водителю в любое время доступен контроль над ним (адаптивный круиз);
- уровень 3 (условная автоматизация, или ограниченное самостоятельное управление) – транспортное средство контролирует все функции безопасности движения в определенных дорожных условиях и окружающей обстановке, но некоторые обстоятельства требуют перехода к контролю водителем;
- уровень 4 (полная автоматизация) – транспортное средство контролирует все условия движения и функции безопасной поездки.

Согласно опубликованной в конце января 2016 г. статистике Страхового института дорожной безопасности (Insurance Institute for Highway Safety – IIHS), использование автоматических систем экстренного торможения позво-

ляет добиться снижения числа столкновений с движущимся впереди транспортом на 39 %, а общего числа аварий – на 12 %. Кроме того, за последние пять лет применение подобных систем снизило число травм пассажиров на 38 %.

Существуют и другие способы применения машинного зрения: например, электроника автомобиля расширяет луч света фар при приближении к знаку перекрестка или кругового движения, чтобы водитель мог раньше увидеть объекты, движущиеся сбоку. Система также может распознавать внезапно появившиеся на дороге объекты, заранее освещая их, что помогает снизить вероятность наезда на препятствие.

Технологии машинного зрения используются и для систем навигации: с помощью камер и сенсоров машина определяет свое местоположение, сверяется с цифровой картой и прокладывает маршрут (система Route Pilot).

Машинное зрение позволяет повысить безопасность на дорогах, а развиваемые технологии имеют большие перспективы. Однако для их применения необходимы сложные математические вычисления, поскольку данные поступают с камер и датчиков в виде плоских цветовых значений (2D), из которых алгоритм должен построить объемную проекцию (3D), распознать и классифицировать обнаруженные подвижные и неподвижные объекты. Система должна отличать стоящих людей и животных от неподвижных неживых объектов, учитывать особенности освещения, погодноклиматические факторы и делать все это в движении и оперативно.

Не все камеры обеспечивают высокое качество, что затрудняет точность обработки изображения. Имеются также ограничения вычислительной мощности оборудования, так как автопроизводители стремятся внедрять новые технологии без удорожания машин.

Существующие проблемы можно разрешить, и многие компании проводят исследования в области достижения высокой точности обработки изображения с камер автомобиля. Например, компания «КАМАЗ» в рамках проекта построения беспилотного грузовика создает систему с использованием принципа фовеального (центрального) зрения, что позволит строить «зоны интереса», формирующие виртуальный тоннель. Такая система будет анализировать 5–7 % получаемого видеоизображения без понижения качества анализа.

Развитие технологий в области машиностроения позволяет надеяться, что уже в скором времени безопасность дорожного движения серьезно повысится за счет систем «умного» торможения, освещения и картографии.

Вместе с тем остается ряд неизученных вопросов. Насколько надежен автопилот? Насколько адекватно бортовое оборудование автомобиля может считывать окружающую информацию? Как на воспринимающее оборудование («глаза») влияют окружающая среда, вибрация, загрязнение стекла? Насколько надежно и адекватно будет обработана полученная информация? Насколько верно бортовой компьютер сможет принимать решения? И в какой мере они окажутся соответствующими требованиям законодательства в области безопасности движения в данной стране?

Официальная отечественная статистика относит на долю водителя 60–80 % всех дорожно-транспортных происшествий (ДТП), а на долю неблагоприятных дорожных условий – около 4 %. В то же время биологи и психологи считают, что человек как биологическая система совершенен и обладает высокой надежностью при выполнении любых операций и в различных условиях.

Исследователи, изучая вопрос о причинах снижения надежности водителей, приходят к выводу, что в подавляющем большинстве случаев виновны дорожные условия и погодно-климатические факторы.

Эти выводы являются полной противоположностью данным анализа, проводимого органами надзора, так как официальная статистика считает причинами большинства ДТП ошибки водителей или несоблюдение ими правил движения.

Казалось бы, переход к автомобилям с автопилотом автоматически переводит водителя в категорию «пассажир». Но почему же при этом всегда делается оговорка, что в случае сбоя автоматики водитель должен взять управление на себя?

Ориентация на управление водителем в сложной ситуации, как это предусматривается на частном и высоком уровнях автоматизации управления (см. таблицу), является ошибочной.

Этот вывод связан с тем, что если водитель не управляет автомобилем определенный промежуток времени, то он теряет свои навыки и способности, перестает быть элементом комплексной системы «водитель – автомобиль – дорога – среда» и становится пассажиром, которому нельзя доверять управление транспортным средством, а тем более в экстренной ситуации, как это предлагается в зарубежных стандартах.

Не стоит забывать, что отрицательное воздействие внешних факторов (дорожных условий, окружающей среды) на водителя примерно так же сказывается и на элементах автопилота, машинном зрении и других устройствах автоматизации управления.

На сегодняшний момент продажа транспортных средств с автопилотом сравнима с проведением автопроизводителями эксперимента по адаптации бортовых систем за счет человеческих жизней.

В настоящей монографии последовательно рассматриваются вопросы надежности водителя, история появления беспилотных автомобилей, проблемы создания искусственного интеллекта, управление дорожным движением на базе многоагентных систем, существующие виды встроенных интеллектуальных систем автоматизации вождения, а также автоматические транспортные системы перевозки пассажиров.

Издание подготовлено международным научным коллективом двух ведущих вузов России и Белоруссии: Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета и Белорусского национального технического университета.

Глава 1. НАДЕЖНОСТЬ ВОДИТЕЛЯ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМОБИЛЯ

1.1. Общие вопросы надежности водителя в системе «водитель – автомобиль – дорога – среда»

В комплексной системе «водитель – автомобиль – дорога – среда» (ВАДС) все звенья связаны между собой и влияют друг на друга (рис. 1.1). Изменение стабильного (надежного) состояния любого звена приводит к аварии, поэтому сохранение стабильности системы (безаварийное движение) обеспечивается компенсирующими действиями других звеньев.

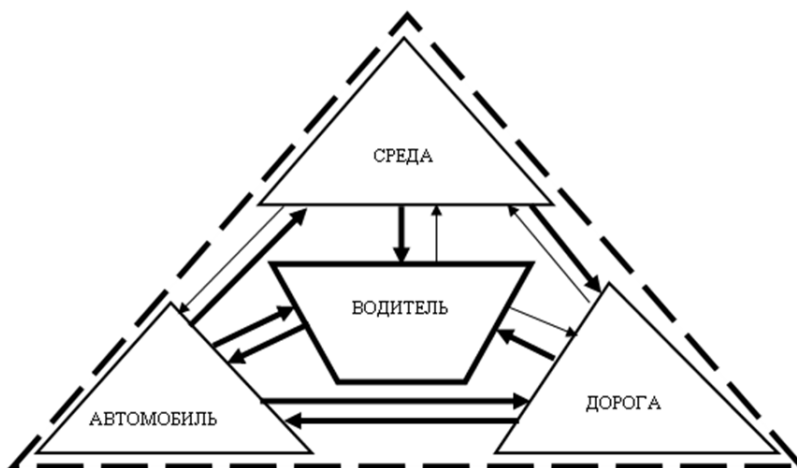


Рис. 1.1. Комплексная система ВАДС

В системе ВАДС водитель является:

- главным, основным и наиболее неустойчивым звеном;
- многоплановой и многофункциональной биологической системой;
- единственным ведущим звеном.

В основе автотранспортной психологии лежат оценка психофизиологических качеств водителя и разработка мероприятий по снижению отрицательного воздействия на него всех звеньев ВАДС (рис. 1.2).

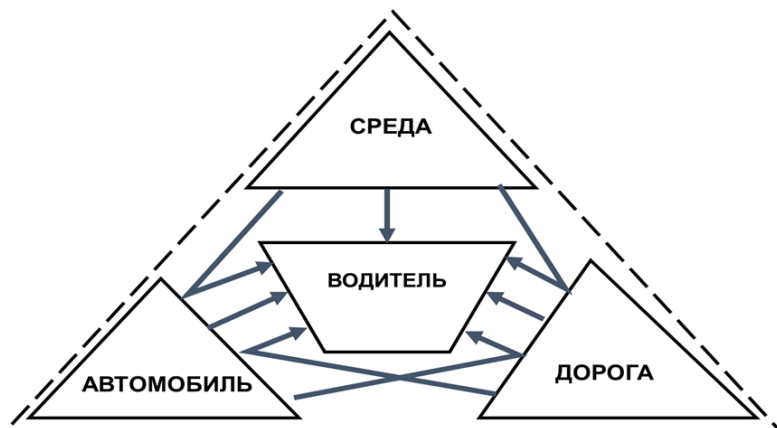


Рис. 1.2. Схема воздействий на водителя

Основным содержанием деятельности водителя являются прием, анализ, переработка информации и выполнение соответствующих действий по управлению регулируемым объектом.

Водителя автомобиля можно рассматривать как оператора сложной системы ВАДС. Однако при этом следует отметить особенности его деятельности, отличающие эту работу не только от работы многих операторов, но и от деятельности операторов некоторых других транспортных средств. Например, летчик в полете 90 % данных получает в закодированной форме от различных приборов, находящихся на приборной доске. Водитель автомобиля до 95 % информации получает от автомобиля, дороги, среды движения и лишь небольшую часть – в закодированном виде от контрольно-измерительных приборов. Летчик может использовать автопилот и периодически ослаблять режим слежения. Водитель не имеет такой возможности, поскольку в быстро меняющейся дорожной обстановке отвлечение внимания даже на 1–2 секунды иногда приводит к возникновению аварийной ситуации. Однако водитель, изменяя скорость движения или маршрут, может снижать или увеличивать количество поступающей информации в единицу времени.

Как правило, рассматриваются три фактора комплексной системы ВАДС, влияющие на аварийность: водитель, погоднo-климатические условия и транс-

портно-эксплуатационные качества дороги. Четвертый фактор – техническая неисправность автомобиля – обычно не учитывается, так как на него приходится около 3 % ДТП (табл. 1.1) [126].

Таблица 1.1

Анализ причин аварийности

Главные причины ДТП	Доля, %
Ошибка водителя	34,8
Неблагоприятные дорожные условия	32,3
Погодные условия	7,3
Пешеходы	14,4
Неисправность автомобиля	3,1
Прочее	8,1

Эффективность функционирования системы ВАДС зависит от надежности водителя, которая определяется безотказностью его работы. Различают психологическую надежность водителя, обусловленную соответствием его психологических качеств требованиям осуществляемой деятельности, и физиологическую надежность, зависящую от физических данных и состояния здоровья.

Водитель в системе безопасности движения является наиболее важным и одновременно наименее надежным звеном. Он легко отвлекается, сравнительно быстро устает, его поведение подвержено влиянию очень многих непредсказуемых факторов, поэтому он не может безошибочно выполнять работу в течение продолжительного времени. Частота отказов в системах управления по вине человека составляет от 20 до 95 %. Подобные отказы в системе управления ВАДС представляют собой большую угрозу для безопасности дорожного движения. Именно поэтому такое большое значение придается повышению надежности водителя автомобиля.

Надежность водителя – это его способность безошибочно управлять автомобилем в любых транспортно-дорожных и погодно-климатических условиях в течение всего рабочего времени. К основным факторам, определяющим надежность водителя, относятся профессиональная пригодность, подготовленность и высокий профессионализм.

Профессиональная пригодность водителя определяется по состоянию здоровья, психологическим и личностным качествам. Пригодность по состоянию здоровья устанавливается при медицинском освидетельствовании. Психологическая пригодность – это соответствие психологических и личностных качеств требованиям водительской деятельности. Нередко такие качества, как воля, самообладание, смелость, решительность, быстрая сообразительность, скорость восприятия и реакции решают исход критической ситуации.

В основе этих и других важных для надежной деятельности водителя качеств лежат особенности протекания психических процессов, материальной основой которых является деятельность коры головного мозга.

Подготовленность водителя определяется уровнем его профессиональных знаний и навыков, которые приобретаются в процессе обучения и последующей профессиональной деятельности. Хорошая подготовка водителя выражается в наличии широкого диапазона навыков, доведенных до уровня автоматизма и обеспечивающих совершение правильных и своевременных действий в критических дорожных ситуациях. Это позволяет максимально использовать технические возможности автомобиля и безошибочно управлять им с минимальной затратой сил, правильно оценивать и своевременно предвидеть возможные изменения дорожной обстановки, предупреждая возникновение аварийных ситуаций, безошибочно управлять автомобилем на больших скоростях, ночью, в тумане, при высокой интенсивности движения, в горных и других сложных условиях.

Профессионализм определяется также уровнем психологической подготовленности водителя, т. е. формированием у него психофизиологических свойств, которые обеспечивают надежность работы в любых условиях. Успешность психологической подготовки зависит от методологического уровня ее проведения, активности обучаемых, а также от наличия у них необходимых для надежного управления автомобилем личностных и психофизиологических качеств. Недостаточная подготовленность является наиболее частой причиной ошибок, допускаемых молодыми и (или) неопытными водителями в критических ситуациях и нередко приводящих к ДТП. Поэтому совершенствование подготовки водителей и повышение их профессионального мастерства являются важнейшими факторами обеспечения безопасности дорожного движения.

Надежность водителя зависит и от состояния других звеньев системы – автомобиля, дороги и среды движения. Высокие технико-эксплуатационные характеристики автомобиля, его исправность, подогнанное по росту сиденье, хорошая обзорность, информативность контрольно-измерительных приборов, легкость работы с органами управления, соответствующий санитарно-гигиеническим требованиям микроклимат в кабине способствуют сохранению высокой работоспособности водителя, а следовательно, повышают его надежность.

Дорога имеет свои параметры: ширина проезжей части, конфигурация в плане и профиле, состояние покрытия, границы (тротуар, кювет, обочина) и пр. К дороге также имеют отношение находящиеся непосредственно на ней и в придорожном пространстве транспортные средства, пешеходы, животные, светофорные объекты, дорожные знаки, разметка, неподвижные препятствия и т. п. Обустройство дороги и уровень организации дорожного движения могут облегчать или затруднять работу водителя и, таким образом, оказывать прямое влияние на его надежность.

Среда движения характеризуется освещенностью, влажностью, температурой воздуха, скоростью и направлением ветра, запыленностью и рассто-

янием видимости. От отрицательного воздействия внешней среды водитель должен быть защищен соответствующим техническим обустройством автомобиля. Работоспособность и надежность водителя зависят от времени суток, солнечной и геомагнитной активности, перепадов барометрического давления. Таким образом, надежность водителя определяется субъективными и объективными факторами.

От способности водителя воспринимать поступающую информацию и своевременно реагировать на нее во многом зависит безопасность движения. Скорость и точность реагирования находятся в прямой зависимости от информационных характеристик поступающих сигналов. Изучением этих вопросов занимается теория информации.

На продуктивность деятельности оператора оказывают влияние его индивидуальные особенности, специфика потока информации и условия деятельности. Индивидуальные особенности оператора составляют его психологические и личностные качества, уровень профессиональной подготовки, возраст, физические данные, состояние здоровья.

К условиям деятельности относятся особенности рабочего места (расположение органов управления, приборов, сиденья), микроклимат кабины (влажность, температура воздуха, скорость воздушного потока и т. д.), обзорность, видимость, исправность автомобиля и пр.

Информация об управляемом объекте включает сведения о положении объекта, режиме его работы, результатах воздействия на объект со стороны водителя и внешней среды, а также данные о положении органов управления, поступающие от специальных средств отображения информации (приборов, формирующих о скорости движения, работе систем двигателя и т. п.). Управляя автомобилем, водитель перемещает органы управления – рулевое колесо, педали тормоза, сцепления и управления дроссельной заслонкой, рычаг переключения передач, переключатели световых и осветительных приборов и т. д. Органы управления имеют свои характерные параметры: положение, форму, размеры, амплитуду и направление перемещения, скорость и усилие, которые необходимо применять при работе с ними, удаленность от водителя и друг от друга. Все это водитель должен знать и учитывать.

Процесс получения, переработки, осмысления информации и принятия решения в деятельности водителя имеет пять этапов.

Этап 1. Прием информации. Активное обнаружение, выделение и восприятие нужных сигналов из окружающей обстановки, т. е. поиск в многообразном информационном потоке необходимых данных для обеспечения безопасности дорожного движения. Источниками информации для водителя являются объекты, находящиеся на проезжей части, состояние дороги и среды движения, придорожное пространство, светофоры, дорожные знаки, показания приборов, звук двигателя, шум от трения колес с дорогой, вибрация и другие сигналы, несущие информацию, необходимую для ориентировки в дорожной обстановке. У водителя вырабатываются навыки избирательного восприятия

наиболее важной в данный момент информации. Затруднения в приеме информации возникают вследствие ее недостаточного или избыточного поступления.

Этап 2. Переработка информации. Опознание, оценка и сопоставление поступающей информации, позволяющие составить целостное представление о состоянии объекта управления (автомобиля) и его положении по отношению к другим участникам движения. Воспринимаемая ситуация оценивается водителем с целью ее сохранения или изменения. Для восприятия и оценки ситуации порой требуется одно мгновение, но в сложных случаях это время может увеличиваться, что иногда объясняется и недостатком необходимой информации. Начинается ее поиск путем сопоставления прошлого опыта с конкретной дорожной обстановкой. Важным фактором в процессе переработки информации является прогнозирование – предвидение изменения дорожной обстановки и выполнение действий, упреждающих возможность возникновения аварийной ситуации. Например, опытный водитель, учитывая возможность торможения впереди идущего автомобиля, соблюдает безопасную дистанцию или при плохой видимости, зная, что остановочный путь должен быть меньше расстояния видимости, выдерживает соответствующую безопасную скорость. Нередко ДТП происходит вследствие неправильной оценки водителем дорожной ситуации и неумения предвидеть ее ближайшие изменения. В результате он запаздывает с выполнением необходимых управляющих действий, а иногда поспешными ошибочными поступками сам создает аварийную обстановку.

Этап 3. Принятие решений. Если из оценки ситуации следует, что решение однозначно, то выбора не происходит. При наличии не-скольких возможных решений водитель выбирает оптимальный вариант. Однако при этом возрастает время принятия решения. Оно увеличивается и при особо ответственном решении. Быстрота и правильность решения зависят от профессионального опыта и индивидуальных психофизиологических особенностей водителя. Так, при виде перебегающего дорогу пешехода у водителя возникают модели движущегося пешехода и автомобиля, и если сопоставление всей текущей информации и прошлого опыта позволяет оценить ситуацию как безопасную, он может даже не тормозить. Динамика таких моделей, возникающих в коре головного мозга, опережает изменение обстановки, что позволяет водителю прогнозировать свои действия.

Этап 4. Исполнение решений. Действия органами управления в соответствии с принятыми решениями. Рабочие движения водителя состоят из двух основных фаз: поисковой (устремление руки или ноги из рабочего положения к определенному рычагу или педали управления) и исполнительной (собственно действие). Скорость и точность действий зависят от степени автоматизации двигательных навыков. При недостаточной автоматизации поисковые действия выполняются сознательно и при контроле зрением. При навыках, доведенных до уровня автоматизма, поисковый и исполнительный этапы сливаются в один двигательный акт, который выполняется без участия зрения, но

под контролем сознания. Такой способ действий значительно сокращает время исполнения решений.

Этап 5. Контроль выполненного действия. Осуществляется с помощью обратной связи, представляющей собой осведомительную информацию о результатах управляющих действий водителя. Основную осведомительную информацию водитель получает от смены положения и динамики автомобиля на проезжей части после выполнения управляющего действия, перемен в соотношении автомобиля с подвижными и неподвижными объектами на дороге и в околородоржном пространстве, а также от изменения напряжения мышц и амплитуды движений, положения рычагов, педалей и силы их сопротивления мышечным воздействиям, показаний приборов, интенсивности шума, вибрации и т. п. Вся эта информация по каналам обратной связи поступает к органам чувств водителя и после переработки становится основой для оценки изменяющейся обстановки, принятия нового решения и выполнения нового действия.

Быстрый темп деятельности водителя не всегда позволяет четко выделить все пять этапов переработки информации. Они могут сливаться. Особенно трудно разграничить прием информации (этап 1), ее переработку (этап 2) и принятие решения (этап 3). Для опытного профессионального водителя все эти этапы сливаются в единое целое, а в некоторых случаях информационное значение сигнала может восприниматься и оцениваться настолько быстро, что информационный поиск практически отсутствует и водитель сразу переходит к действию. Это имеет место при неожиданном появлении на дороге пешехода, животного или при переключении сигнала светофора. Действия водителя в таких случаях, в зависимости от обстановки, выражаются в торможении, снижении скорости, подаче звукового сигнала или объезде.

В условиях интенсивного городского транспортного потока и при движении с большой скоростью присутствуют информационные перегрузки. Возникает недостаток времени, в результате чего водитель не успевает воспринять, переработать всю поступающую информацию и своевременно выполнить необходимые управляющие действия. Отрицательное влияние на работоспособность оказывает также недостаток информации (сенсорный голод), который имеет место при отсутствии на дороге других участников движения, монотонном однообразном ландшафте, длительном движении с постоянной скоростью на прямых участках дороги, а также при управлении автомобилем в условиях плохой видимости (ночью, в тумане, при снегопаде и т. д.). Это вызывает сильное нервно-психическое напряжение, затрудняющее восприятие и переработку информации.

С точки зрения безопасности дорожного движения идеальным было бы создание на дорогах таких условий, при которых водитель постоянно получал бы оптимальное количество информации. Но это невозможно, так как количество информации зависит от дорожных условий, скорости движения, плотности транспортного потока и ряда других факторов. Кроме того, способность водителей к переработке информации определяется уровнем их профессиональ-

ной подготовленности, состоянием здоровья, психологическими особенностями, работоспособностью и временем суток. Тем не менее при проектировании дорог и организации дорожного движения вполне возможно ограничение информационной перегрузки водителей, а также создание условий, снижающих информационный голод.

Многолетние исследования российских и зарубежных ученых позволили сформировать основные требования к профессии водителя:

- физическое здоровье, высокая сопротивляемость утомлению, долговременная выносливость;
- быстрота и постоянство реакции на движущиеся объекты, точность координации движений;
- способность сохранять в условиях длительных монотонных воздействий высокий уровень готовности к оперативной реакции;
- высокий автоматизм при управлении автомобилем;
- развитые органы чувств (зрение, слух, обоняние, осязание и пр.);
- отличные зрительные качества (зрительная память, цветовосприятие, световая и темновая адаптация, хорошее восприятие пространства, в том числе в темноте);
- умение правильно оценивать скорость и расстояние;
- эмоциональная устойчивость;
- широкое распределение и быстрое переключение внимания;
- оперативное мышление;
- умение предвидеть изменения дорожно-транспортной обстановки;
- наблюдательность, находчивость, решительность, дисциплинированность;
- знание технической части автомобиля;
- социальная приспособленность.

Это далеко не полный перечень качеств, которыми должен обладать не только профессиональный, но и любой другой водитель.

Наиважнейшими для безопасного управления автомобилем являются психологические качества. Водитель должен своевременно воспринимать и правильно оценивать всю информацию, необходимую для безошибочного управления автомобилем. Эту информацию он получает с помощью психических процессов – ощущения и восприятия.

Обеспечение надежности водителя является сложной многогранной задачей, которая может быть решена только с помощью системного комплексного подхода. Проблемы, существующие в этой сфере, связаны с профессиональной надежностью водителя, физиологической и психологической особенностями деятельности, психологическими изменениями водителя при управлении автомобилем в сложных природно-климатических и дорожно-транспортных условиях, влиянием эмоционального состояния и возрастных изменений водителя на его надежность и безопасность движения, этикой водителя, культурой вождения, психологической безопасностью дороги.

1.2. Восприятие водителем окружающей информации

Поведение человека в дорожном движении (дорожное поведение) при решении конкретных задач зависит от его возможностей и мотивации. Возможности в основном определяются психофизиологией человека, а мотивация – психологическими и социальными факторами.

В упрощенном виде функционирование системы ВАДС можно представить следующим образом. В данный конкретный момент дорога и среда оказывают определенное физическое воздействие на управляемый автомобиль. Одновременно к органам чувств водителя поступает огромное множество информационных сигналов от управляемого автомобиля, дороги и других элементов окружающей среды – участников движения, технических средств регулирования, погодных-климатических условий и т. д. Этот поток, достигнув человека, проходит через его информационные фильтры, в которых значительная часть информации отсеивается. Например, за 1 с к органам чувств поступает около 10^{11} (100 млрд) бит информации, передается им уже только около 10^6 (1 млн) бит, а осознается всего лишь около 16 бит (1 бит соответствует абсолютной величине информации, достаточной для ответа на вопрос «да» или «нет» при условии выбора между двумя равновероятными возможностями) [127].

Часть информации от органов чувств поступает в мозг, где на уровне подсознания вырабатываются простейшие команды в виде условных рефлексов (автоматизмов). Только малая часть информации осознается и перерабатывается в сознательные команды. При этом в процессе выработки этих команд, помимо памяти, накопленного опыта и т. д., участвует и чисто индивидуальный фактор – мотивация. Выработанные команды передаются в мышечную систему, где преобразуются в управляющие воздействия – изменение или неизменение положения рулевого колеса, рычагов, педалей и других органов управления. Эти управляющие воздействия направлены на то, чтобы автомобиль приобрел или сохранил требуемые, по мнению водителя, положение и скорость. В следующий момент времени ситуация повторяется, и так продолжается непрерывно.

Нетрудно заметить, что в управлении автомобилем возможны многочисленные сбои и ошибки: в объеме информации, поступившей к органам чувств, по разным причинам отсутствовала именно та, которая являлась определяющей; органы чувств (из-за болезни, физического недостатка и пр.) не передали очень важную информацию; в подсознании выработалась не совсем та команда; уже в сознании обстановка была оценена ошибочно; из-за недостатка опыта или ошибочной мотивации (например, игнорирования ограничений скорости) была выработана неверная команда; правильная команда уже в мышечной системе была реализована неточно (например, рулевое колесо было повернуто на больший угол) и т. д.

Однако самым большим недостатком в системе выработки и реализации команд является, пожалуй, неудовлетворительное быстроедействие. Оказалось, что цикл восприятия и переработки информации, выработки команд и их пре-

образования в управляющие воздействия требует очень много времени. Порой настолько много, что, когда информация о данной ситуации возвращается к автомобилю в виде управляющего воздействия, эта ситуация уже настолько изменяется, что требуется совсем другое воздействие. Иными словами, управляющие воздействия приходят с некоторым запаздыванием, величина которого может оказаться неприемлемо велика. Особенно при больших относительных скоростях, когда ситуации меняются быстрее, чем поступают управляющие воздействия, реагирующие на предыдущие ситуации.

Такое положение само по себе очень опасно. Но оно усугубляется еще и тем, что в условиях нехватки времени человек начинает ошибаться намного чаще. Установлено, что при дефиците времени обычный человек делает примерно 1 ошибку на 100 действий. Чем больше дефицит, тем чаще и грубее ошибки. Дело доходит до того, что в отдельных особо опасных ситуациях у некоторых водителей (и не только у них) наступает шок (паралич), который на время приводит к полному отказу системы управления.

Казалось бы, в таких условиях безопасное вождение автомобиля невозможно. Но это не так – выручает опыт, который водитель накапливает путем постоянного самообучения вместе со стажем. Опытный водитель, как правило, делает все быстрее, лучше и безопаснее. Он затрачивает меньше времени на обзор дорожно-транспортной ситуации, поскольку в большинстве случаев в зоне обзора видит не отдельные несвязанные объекты, а целостную картину. Поэтому он значительно реже переводит взгляд с объекта на объект, не теряя на это времени и не упуская важной информации. В результате опытный водитель располагает значительно большим временем для анализа ситуации и принятия правильного решения. Из общей дорожно-транспортной ситуации он оперативнее выделяет наиболее важную на данный момент информацию и быстрее перерабатывает, поскольку она ему обычно уже знакома. Он лучше прогнозирует обстановку, так как располагает запасом времени, а ситуации для него, как правило, типовые. Располагая достаточным временем и хорошим прогнозом, опытный водитель почти всегда чувствует себя комфортно и допускает возможный для себя минимум ошибок. Он интуитивно знает, что положительная информация усваивается быстрее (так как она проходит по несколько иным отделам мозга), поэтому по возможности старается не отвлекаться на негативную информацию. Наконец, в условиях дефицита времени или даже в критических ситуациях он легче и быстрее находит необходимые решения, а также оперативнее выполняет соответствующие команды, поскольку большинство из них у него относятся к разряду автоматизмов.

Необходимо отметить, что даже опытные водители допускают довольно много ошибок из-за недооценки относительно малых скоростей после длительной езды на высоких скоростях. Водитель настолько привыкает к высокой скорости, что при ее снижении теряет чувство опасности и принимает решения, соответствующие гораздо большей скорости, что чрезвычайно опасно. Например, когда после продолжительного движения на скорости 120 км/ч водители про-

силы, не глядя на спидометр, снизить скорость до 60 км/ч, то почти все испытуемые останавливались на скорости не ниже 80 км/ч. Заметим, что и при аналогичном переходе с 60 на 120 км/ч почти все водители останавливались на значительно меньшей скорости, однако это не представляет никакой опасности.

Среди всех источников данных важнейшую роль для водителя играет зрительная информация, на долю которой приходится свыше 90 % объема. Слуховая информация дает представление о работе двигателя, скорости движения, шероховатости покрытия и т. д. Кинетическая (инерционная) информация позволяет ощущать ускорение, замедление, повороты автомобиля, а тактильная (посредством кожи) информация, совместно с вестибулярной и кинетической и независимо от них, – скользкость дороги, подъемы, спуски, заносы, аквапланирование.

Зрение водителя. В фиксированном положении глаза площадь наиболее острого зрения заключена в конусе с углом 3° . Однако зрение вполне чувствительно внутри конуса с углом $5\text{--}6^\circ$ и удовлетворительно в пределах конуса 20° . Так как поле зрения водителя ограничено, при движении ему необходимо переводить взгляд для различения важных зон. Чтобы добиться ясной видимости при движении, глазу необходимо делать до шести различных видов перемещений, каждое из которых требует определенного времени:

- 1) глаз фиксирует нужный объект, на что уходит 0,1–0,3 с (в среднем 0,17 с);
- 2) глаз перемещается с одной точки фиксации на другую (0,15–0,33 с);
- 3) глаз должен следовать за движущимся объектом;
- 4) оба глаза необходимо свести для бинокулярного зрения (приблизительно 0,3–0,5 с);
- 5) глаз должен двигаться таким образом, чтобы компенсировать движения головы;
- 6) глаз может произвольно перемещаться в ответ на звук, свет или другие раздражители.

Водителю приходится затрачивать значительное время на постоянное слежение за меняющейся обстановкой. Например, чтобы перевести на мгновение взгляд с правой стороны дороги на левую и тут же вернуться назад или взглянуть в зеркало заднего вида, на приборный щиток и т. д., требуется около 1 с.

Водитель, делающий левый поворот, обнаружив в главном (встречном) транспортном потоке приемлемый интервал для совершения маневра, обязательно должен осмотреть место, куда он поворачивает, на что затрачивается от 1 до 2 с. При пересечении главной дороги в нерегулируемом режиме время визуального поиска находится в пределах 1,1–2,6 с. При перестроении водителю требуется 0,8–1,6 с для бокового осмотра и 0,8–1,0 с для заднего (через зеркало заднего вида).

Заметим, что это только время обозрения, но не время реакции. При движении в условиях искусственного освещения время обозрения увеличивается. Установлено, что с ростом скорости на 40 км/ч время обозрения увеличивается примерно в два раза.

Дополнительно к основному обзору водитель способен воспринимать обстановку вне конуса ясной видимости, в поле периферийного зрения. Полный центральный угол периферийного зрения находится в пределах 120–160° и с увеличением скорости сокращается от 100° (при движении со скоростью 32 км/ч) до 40° (при скорости 96 км/ч). При этом предметы, находящиеся вне конуса острого зрения, видны без ясных деталей или цвета и любое необычное движение или яркий предмет вызывают произвольное перемещение глаз.

Дорожные знаки, особенно в городе, воспринимаются периферийным зрением, и для их прочтения необходим перенос взгляда, что требует времени и отвлечения внимания. Для осмысления двух знаков, установленных рядом, необходимо 1,05–2,0 с, а трех и более – значительно больше. В то же время дорожная разметка почти всегда находится в поле центрального зрения и требует гораздо меньше времени для распознавания и осмысления.

При изменении силы и яркости света глаз приспособливается (адаптируется) к новой обстановке путем изменения размеров зрачка и перестройки работы сетчатки. Приспособление к яркому свету (световая адаптация) занимает от 3 с до 1 мин, а темновая адаптация – от 9 с до 10 мин. В это время водитель либо вообще ничего не видит (первые секунды), либо видит мало и неотчетливо (последующие секунды или даже минуты). Такие ситуации чрезвычайно опасны и в нормальном дорожном движении недопустимы – всякий переход от яркого освещения к темноте или наоборот должен производиться постепенно, в течение времени, соизмеримого со временем адаптации.

Глаза водителя легкового автомобиля находятся на небольшой высоте (120–140 см) над дорогой, откуда дорожно-транспортная ситуация просматривается довольно плохо. Следует также напомнить, что не все цвета воспринимаются одинаково. Наиболее далеко и четко воспринимается желтый цвет, затем зеленый, красный и голубой. Хуже всего воспринимаются темно-красный и фиолетовый цвета. Многие люди в различной степени страдают дальтонизмом – болезнью, при которой цвета либо различаются плохо, либо (что очень редко) не различаются совсем. В подобных случаях оценка ситуации производится по яркости источника света или его расположению.

Реакция – это действия водителя в ответ на какой-либо раздражитель или стимул. Реакция состоит из восприятия информации, ее осознания, принятия решения, преобразования его в двигательное воздействие и выполнения этого воздействия. Как видно, реакция включает три компонента, определяющие ее качество и время: чувственный, мыслительный и моторный. Ясно, что постоянное или временное расстройство здоровья, касающееся этих компонентов (болезнь, прием лекарств, употребление алкоголя, утомление, возбуждение, апатия и пр.), однозначно ухудшает реакцию водителя.

Дорожное поведение в значительной мере определяет моральный климат на дорогах и оказывает влияние на все виды потерь, особенно аварийные и социальные. Обычно дорожное поведение данного конкретного водителя мало отличается от его поведения в других сферах жизни, однако имеются исклю-

чения. Это связано с тем, что отношения между участниками движения характеризуются кратковременностью, анонимностью, неравноправностью и безответственностью при мелких инцидентах. Сам процесс вождения у многих вызывает чувство эйфории, превосходства, всесилы, поэтому возможны ситуации, когда внешне спокойный и уравновешенный человек, сев за руль, становится безрассудным и агрессивным, либо наоборот и т. д.

Дорожное поведение в повседневной водительской практике характеризует стиль вождения и, весьма возможно, риск аварии (хотя на сегодняшний момент нет убедительных доказательств жесткой связи между аварийностью и стилем вождения). Существует несколько классификаций стиля вождения, использующих такие выражения, как «решительный», «осторожный», «уравновешенный», «уверенный» и т. д. Однако, поскольку единый общепринятый подход к определению стилей вождения отсутствует, мы их приводить не будем. Укажем лишь, что существуют не только «быстрый осторожный» или «медленный осторожный» стили вождения, но и «быстрый осторожный», а также «медленный неосторожный». Вопреки широко распространенному мнению, медленный стиль вождения далеко не всегда является осторожным, а быстрый – неосторожным.

В процессе принятия решения водитель руководствуется двумя основными мотивами – эффективностью и безопасностью. В условиях невысокого риска (скажем, в нормальных дорожно-транспортных ситуациях) водитель руководствуется в основном мотивом эффективности и дорожное поведение не оказывает решающего влияния на безопасность (если, конечно, само не является источником опасности). В условиях высокого риска (например, в конфликтных ситуациях) водитель руководствуется исключительно мотивом безопасности при любом дорожном поведении. А вот в условиях повышенного риска (в потенциально опасных ситуациях) водитель руководствуется обоими мотивами, при этом чем больше риск, тем более весом мотив безопасности. Поскольку оценка объективной опасности всегда субъективна и у разных водителей существенно отличается, при одинаковой объективной опасности водители могут руководствоваться различными мотивами. В результате для каждого уровня риска существует некий переходный интервал, в котором от водителей с определенной вероятностью можно ожидать различающегося поведения. Более осторожные водители, независимо от скорости движения, раньше отдают приоритет мотиву безопасности, менее осторожные – позже. Если в этом интервале обоими участниками конфликта решения принимаются исключительно по дорожной обстановке в условиях доброжелательности и предупредительности, то дорожно-транспортная ситуация наверняка разрешится бесконфликтно. Если же принятие решения в большей мере обуславливается неверными социально-психологическими установками при недоброжелательности или агрессивности водителей, то дорожно-транспортная ситуация с высокой вероятностью переходит в следующую, более опасную стадию с неясными последствиями. Таким образом, перерастание данной дорожно-транс-

портной ситуации в более опасную в решающей мере зависит от дорожного поведения участников конфликта, в первую очередь – водителей.

В этом отношении большое значение имеет *конформность* поведения, т. е. принятие участниками движения разумных норм поведения, характерных для данного вида деятельности (особенно если учитывать, что вождение постоянно связано с риском, порой смертельным, для водителя и окружающих). Здесь поведение должно быть в первую очередь *разумным*. Правда, что такое «разумное поведение» применительно к водителю, пока однозначно не установлено.

Многочисленные опросы самих водителей дают примерно такие характеристики «положительного» водителя: уверенное осторожное умеренно быстрое вождение «с некоторым несоблюдением “непонятных” предписаний» при безусловной реализации мер безопасности и доброжелательном отношении к другим участникам движения. Для «отрицательного» водителя характерно неосторожное быстрое или сверхосторожное медленное неаккуратное движение с многочисленными ошибками и безразличным либо агрессивным отношением к другим участникам. К «отрицательным» почему-то относят и водителей, «наваливающихся грудью на рулевое колесо».

Мы проанализировали лишь малую часть характеристик водителя и особенностей его дорожного поведения. Однако и из рассмотренного становится ясно, что водитель – главная фигура в дорожном движении. Поэтому все – дороги, транспортные средства, системы управления, нормативы, подготовка кадров и т. д. – должно быть ориентировано на человека с учетом его возможностей и особенностей.

1.3. Аварийность и виды аварий с участием беспилотного автомобиля

Аварийность – одна из самых тяжелых и трагических издержек дорожного движения, а аварийные потери очень болезненны для его участников. Если другие потери распределяются в обществе равномерно, то аварийные концентрируются на отдельных его членах, и когда на чью-то долю выпадает несчастье, то люди зачастую остаются со своими проблемами один на один, без надлежащей помощи власти и общества.

Главным мотивом каждого участника движения должна быть забота о собственной безопасности. Представляется, что в подавляющем большинстве аварий значительная доля вины лежит на самих участниках, так или иначе принявших неверное решение. Водители чаще всего ошибаются при выборе скорости, интервалов в процессе маневрирования, при оценке намерений конфликтующего участника движения, а пешеходы – при выборе места перехода проезжей части и оценке расстояния до приближающегося транспорта. Почти во всех случаях имеет место либо неправильная оценка ситуации, либо переоценка своих возможностей.

Различают *объективную опасность*, проявляющуюся в несоответствии условий движения принимаемым решениям или режимам движения (как правило, скорости), и *субъективную опасность*, которая заключается в субъективной оценке (а оценка всегда субъективна) объективной опасности.

Реальная (фактическая, результирующая) опасность зависит и от объективной, и от субъективной опасности, но главным образом от их соотношения. Если субъективная опасность несколько выше объективной, то в реальной ситуации будет иметь место некоторый запас безопасности, и вероятность аварии весьма невелика. Если обе опасности примерно равны, то запаса безопасности практически нет, и вероятность аварии возрастает. Если же субъективная опасность ниже объективной (недооценка опасности), то движение происходит с высоким риском и вероятность аварии чрезвычайно велика. Заметим, что большие различия между объективной и субъективной опасностью в любую сторону неприемлемы, поскольку это практически всегда приводит либо к аварии, либо к такой перестраховке, которая не может быть принята другими участниками движения и провоцирует их на грубые нарушения или очень опасное маневрирование.

Оценка опасности и вытекающие из нее решения являются частью мотивации водителя, которая, как известно, формируется под влиянием многих факторов: характеристик транспортных средств и дорожных условий, квалификации, опыта, знаний, достоверности информации, взаимоотношений между участниками движения, отношения к власти и законности, к своей и чужой безопасности и т. д.

Таким образом, мотив безопасности, как уже говорилось выше, должен быть главным в поведении любого участника движения. Никто не обеспечит ему безопасность, если он не сделает этого сам, а в случае аварии по его вине ему придется нести ответственность, которая очень тяжела и болезненна. В то же время ныне действующая система повсеместных запретов, ограничений и неэффективный контроль приводят к прямо противоположным результатам. Во-первых, водителя убеждают, что не нужно так сильно заботиться о своей безопасности, потому что это за него делают власти (вспомните широко распространенное утверждение «Мы заботимся о вашей безопасности»). Во-вторых, зная перестраховочный, провокационный характер большинства ограничений, водитель воспринимает их не как помощь или подсказку, а как повод для предъявления ему обвинений. Соблюдение этих ограничений не является для него потребностью, а лишь актом принуждения. Отсюда конфронтация с властями, игнорирование требований, переключение части внимания на поиск затаившегося инспектора и т. д., что деформирует мотивацию и совершенно не способствует снижению аварийности. Кроме того, очень часто ответственность за совершение аварии смехотворно низка или ее даже удается переложить на другого, невиновного, участника, что также деформирует мотивацию.

Прежде чем принять какое-либо решение, каждый водитель оценивает его (заметим, весьма субъективно) с двух основных позиций – опасности (ри-

ска) и эффективности (выигрыша). Чем меньше риск и больше выигрыш, тем чаще он принимает этот риск.

Конечно, рискованные люди совершают много аварий. Но, как ни странно, очень осторожные люди также часто попадают в аварию, потому что их сверхосторожное поведение провоцирует других на рискованные решения. Однако не эти люди «делают погоду» в дорожном движении, так как их очень мало, – основную массу аварий совершают нормальные люди, составляющие огромное большинство, не рискованные и не перестраховщики. Они в силу ряда причин (обучение, заимствованный опыт, незнание своих истинных возможностей, стадный эффект – «делаю как все») недооценивают опасность и принимают повышенный риск, что часто приводит к аварии. Можно сказать, что это не столько их вина, сколько беда.

Исходя из сказанного, можно определить основные направления повышения безопасности движения: снижение объективной опасности и эффективное воздействие на мотивацию участников. Что же касается оценки возможностей водителей и машин, здесь имеется огромное поле деятельности для ученых и просто предприимчивых людей.

Конфликты, коллизии и аварии. Конфликты занимают особое место в дорожном движении, и их разрешение является одной из самых актуальных задач.

Термином «конфликт» обозначают столкновение сил, сторон, мнений, какое-либо противоречие, при этом диапазон понятия очень широк – от маленьких физических (технических) конфликтов до масштабных международных конфронтаций, часто вооруженных. В дорожном движении также присутствует множество конфликтов – физических, экономических, экологических, социальных. Все они важны и требуют разрешения.

Мы будем рассматривать только физические конфликты, которые делятся на три основных типа:

- 1) столкновения: конфликт «*транспорт – транспорт*» (Т–Т);
- 2) наезд на пешехода: конфликт «*транспорт – пешеход*» (Т–П);
- 3) потеря управляемости: конфликт «*транспорт – дорога*» (Т–Д).

Сущность первых двух типов конфликтов заключается в том, что два участника (или более) в силу сложившихся обстоятельств физически претендуют на одновременное занятие одной и той же пространственной точки на проезжей части. Конфликт третьего типа состоит в нарушении нормального процесса взаимодействия в системе ВАДС, что приводит к потере управляемости транспортным средством – заносу, опрокидыванию, движению по несанкционированной траектории (например, выезду на полосу встречного движения) и т. д.

Условимся, что понятие «конфликт» имеет потенциальный смысл, включает ожидаемое событие и его возможность. Если же эта возможность уже реализована физически (стала свершившимся фактом), то такое событие будем называть *коллизией*. Таким образом, под термином «конфликт» мы будем понимать возможное событие, а под термином «коллизия» – реализованное.

1.3. Аварийность и виды аварий с участием беспилотного автомобиля

Введем также понятие «дорожно-транспортная ситуация» – некоторое характерное состояние процесса движения в данной пространственной зоне в данный момент времени (рис. 1.3).

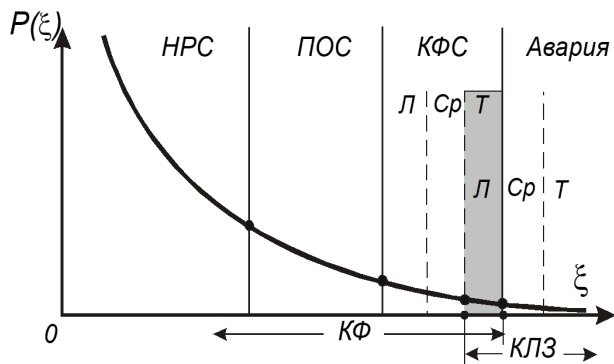


Рис. 1.3. Распределение дорожно-транспортных ситуаций по степени опасности (по оси X отложен риск – опасность, тяжесть последствий; по оси Y – вероятность его появления); ξ – опасность конфликтов или тяжесть последствий коллизий; НРС – нормальная ситуация; ПОС – потенциально опасная ситуация; КФС – конфликтная ситуация; Л – легкая; Ср – средняя; Т – тяжелая

Подавляющему большинству дорожно-транспортных ситуаций свойственен незначительный риск. Такие ситуации – условно назовем их *неопасными* (нормальными) – характеризуются маломаневровым движением (например, движение по малонагруженному перегону). При этом маневры делаются свободно, заранее подготовлены и практически не представляют опасности.

Существенно меньше вероятность так называемых *потенциально опасных ситуаций*, при которых совершается значительное количество маневров (например, проезд нерегулируемого перекрестка). И хотя маневры реализуются уверенно, действия для избежания столкновений или наездов выполняются неспешно, в «служебном» режиме, при котором имеется определенный запас для усиления маневра. Не все потенциально опасные ситуации заканчиваются благополучно. В ряде случаев время для «служебных» действий бывает упущено, и водителям приходится предпринимать *экстренные* действия, когда до момента столкновения или иной коллизии остается менее 1 с и усилить маневр уже невозможно. Такие ситуации называются *конфликтными* и условно делятся на легкие («очень опасно»), средние («чудом пронесло») и тяжелые («чудом уцелел»), когда имеет или почти имеет место коллизия, но очень легкая, которая не привела к каким-либо существенным повреждениям (легкое столкновение, съезд с дороги, падение мотоциклиста без последствий и т. п.).

К сожалению, не все конфликтные ситуации имеют благоприятный исход – иногда не удается предпринять необходимые уклончивые действия и возникают *коллизии*, которые также делятся на легкие, средние и тяжелые. Легкие коллизии практически не вызывают существенных физических повреждений. Многие авторы совмещают их с тяжелыми конфликтными ситуациями. Средние коллизии уже сопровождаются существенным повреждением машин, грузов, дороги, обустройства, гибелью или ранением крупных животных, но пострадавших людей нет. Тяжелые коллизии связаны с ранением или гибелью людей.

Следует отметить, что четкие границы между рассматриваемыми дорожно-транспортными ситуациями и их последствиями провести невозможно, так как переход от одного состояния к другому происходит довольно плавно и малозаметно. Поэтому имеются такие зоны (на рис. 1.3 одна из них окрашена в серый цвет), в которых дорожно-транспортную ситуацию трудно четко отнести к какой-либо категории. Это обстоятельство необходимо учитывать при определении аварии.

Существует несколько отличающихся определений термина «авария». Все они сходятся в том, что *авария* – это нарушение нормального процесса дорожного движения, что в ней участвуют движущиеся транспортные средства и что она приводит к физическим повреждениям машин, грузов, дороги, обустройства, крупных животных, людей.

В советской литературе для обозначения аварии в дорожном движении широко применялся (и еще применяется) предложенный в середине XX в. В. В. Лукьяновым термин «дорожно-транспортное происшествие» – ДТП. (Заметим, что первоначально в эту аббревиатуру автор вкладывал смысл *дорожно-транспортного преступления*). Однако, как представляется, этот термин не является ни совершенным, ни окончательным, поскольку известен и также широко применяется термин «авария» – железнодорожная, морская, воздушная... В них также участвуют соответствующие виды транспорта, однако никто не пытается их называть «железнодорожно-транспортное происшествие» или «море-транспортное происшествие». Более того, понятие «аварийность», происходящее от слова «авария», никто не пытался заменить термином «дэтэпэшность». И, наконец, в зарубежной литературе используется термин «авария» (*accident*) и никаких упоминаний о ДТП не встречается. В нашем случае верным был бы термин «дорожная авария», а в контексте дорожного движения – просто «авария». Именно он и будет применяться в данной работе.

Уже указывалось, что определить начало аварии (ее левую границу на рис. 1.3) довольно сложно. Во многих странах авариями принято считать коллизии, условно начиная с середины легких коллизий, т. е. довольно существенные повреждения машин, грузов и т. д. При этом понятие «существенные повреждения» также четко не определено. В одних странах в него включают более мелкие повреждения и граница аварий отодвинута несколько левее, в других – отсчет аварий начинается с более серьезных повреждений и граница проходит правее, ближе к средним коллизиям. Что касается конца аварий (правая сто-

рона на рис. 1.3), то здесь практически все понятно. Количество жертв может достигать нескольких десятков человек, особенно при авариях с автобусами. Обычно аварии с очень значительными трагическими последствиями называются *катастрофами* (в нашем случае – автомобильными катастрофами). Следует также отметить, что отдельные аварии, связанные с перевозкой опасных грузов, могут сопровождаться очень большими экономическими или экологическими потерями, даже если в них не пострадали люди.

Известно, что чем тяжелее коллизия или опаснее дорожно-транспортная ситуация, тем меньше вероятность ее возникновения. Существуют определенные зависимости между авариями и дорожно-транспортными ситуациями, часть из которых используется в прогнозировании аварийности. Установлено, что зависимости между конфликтными ситуациями и авариями не очень сложны (в них участвует около 16 параметров): в грубом приближении на 100 000 конфликтных ситуаций приходится от 2,5 до 10 аварий при невысоких (до 30 км/ч) скоростях движения и от 10 до 50 аварий при высоких (более 30 км/ч) скоростях. Разумеется, в разных странах и у разных исследователей эти цифры несколько отличаются, но их порядок остается неизменным, а закономерность – относительно стабильной. Зависимости между потенциально опасными ситуациями и авариями более сложные: в самом современном методе определения потенциально опасной ситуации, разработанном в Белорусском национальном техническом университете, используется уже около 110 параметров.

Что касается распределения аварий, то, например, в США на одну аварию со смертельным исходом приходится в целом по стране около 600 аварий, из которых 80 – с ранениями и 520 – с материальным ущербом (1:80:520). В Беларуси это соотношение несколько иное – 1:6:100. Для городов, где скорости существенно ниже, доля легких аварий гораздо больше, а для загородных дорог – меньше. Необходимо отметить, что в мире, особенно в развитых странах, наблюдается тенденция к уменьшению доли тяжелых аварий.

1.3.1. Аварии с участием беспилотного автомобиля

Впервые стал участником аварии с пострадавшими один из беспилотных автомобилей Google. Инцидент произошел 1 июля 2015 г. в городе Маунтин-Вью (Калифорния, США), где 20 прототипов Google проходили тесты на дорогах общего пользования. В аварию с четырьмя пострадавшими попал беспилотник на базе кроссовера Lexus RX.

Автомобиль ехал в автономном режиме со скоростью 24 км/ч вслед за двумя обычными машинами. Они приблизились к перекрестку в тот момент, когда им горел зеленый сигнал светофора. При этом водитель первого автомобиля остановился, так как на перекрестке образовался затор (в противном случае он мог бы создать препятствие для движения машин в поперечном направлении). Вслед за ним замедлились вторая машина и автомобиль Google, который через секунду получил удар сзади от четвертой машины, следовавшей

за ним на скорости 27 км/ч. Задние сенсоры беспилотника зафиксировали, что совершивший аварию водитель не прибегал к торможению.

Глава отдела Google по разработке машин с системами автономного управления К. Урмсон заявил, что причинами аварии стали ошибка и невнимательность водителя. Он отметил, что это полезный опыт для компании, поскольку он показывает необходимость учета в дальнейших разработках влияния человеческого фактора. По словам специалиста, на данный момент его команда изучает возможность создания системы предупреждения невнимательных водителей, чтобы предотвращать подобные ДТП. В частности, рассматривается вариант использования звуковых сигналов. Авария в Маунтин-Вью стала 14-й по счету со времени начала испытаний беспилотников Google, причем в 11 случаях имел место именно удар сзади. С 2009 г. машины с системами автономного управления проехали по американским дорогам более 1,9 млн миль.

В ноябре 2014 г. сообщалось, что Google собирается «обучить» свои беспилотники более агрессивной манере езды, поскольку испытатели этих машин отмечают, что искусственный интеллект ведет себя на дороге слишком «вежливо» и другие участники движения зачастую резко встраиваются в поток впереди.

Серьезное ДТП произошло при участии автомобиля компании Tesla с активированным автопилотом. Авария произошла на хайвее, при ярком встречном солнечном свете, из-за которого ни камеры автопилота, ни сам водитель вовремя не заметили фуру белого цвета, пересекавшую дорогу. Столкновение произошло с трейлером фуры на полной скорости (100–120 км/ч), водитель погиб.

1.3.2. Беспилотный автомобиль как средство терроризма

По мнению американских правоохранительных служб, беспилотные автомобили, над которыми сейчас работают многие автопроизводители, могут в будущем привести к росту преступности и террористических актов, указывает издание *The Guardian* со ссылкой на отчет ФБР.

Сейчас автомобили с автопилотом выглядят весьма безобидно. Но в дальнейшем они могут эволюционировать и стать смертельным оружием. Ведь для совершения, скажем, террористического акта человеку уже не надо будет превращаться в смертника – ему придется лишь сказать, куда машине нужно ехать, и можно спокойно скрыться. А еще, например, водитель преследуемого автомобиля сможет включить автопилот и совершенно спокойно отстреливаться от погони.

С другой стороны, в ФБР отмечают, что массовое появление машин с автопилотами и автономных автомобилей позволит значительно сократить число ДТП, ведь в этом случае будет отсутствовать так называемый человеческий фактор. Именно поэтому ФБР считает, что Конгресс США в ближайшие годы все-таки разрешит эксплуатацию беспилотных автомобилей на дорогах общего пользования.

Глава 2. БЕСПИЛОТНЫЙ АВТОМОБИЛЬ

2.1. Предпосылки к разработке беспилотных транспортных средств

Человечеству необходим такой транспорт, который ездил бы автономно, а водитель при этом мог наслаждаться отдыхом и спокойно добираться до нужного места, не прилагая никаких усилий. В дороге можно было бы спокойно спать и не волноваться по поводу выпитого алкоголя, ведь машина сама довезет домой. Желание добиться улучшения дорожной ситуации за счет автоматизации подтолкнуло ученых к разработке автономных автомобилей, способных передвигаться без участия человека [15, 27, 36–39, 101].

В последние годы наблюдается рост интереса ученых и автопроизводителей к беспилотным автомобилям. По сравнению с машинами, управляемыми человеком, беспилотники обладают более быстрой реакцией на изменения дорожной ситуации и не подвержены влиянию человеческого фактора (усталости, психического состояния и пр.). Использование качественных систем автономной навигации позволит уменьшить количество ДТП и человеческих жертв, снизит стоимость транспортировки товаров, позволит сэкономить время, затрачиваемое на вождение транспортных средств. Даже при наличии водителя автономная система может взять управление на себя, если человеку, например, станет плохо. Такие системы разрабатываются на основе платформ, конструктивно сходных с современными автомобилями и не свойственных другим робототехническим конструкциям.

На сегодняшний день существуют прототипы практически любого вида беспилотного транспорта. Активно внедряются в жизнь и заменяют людей военные и промышленные роботизированные транспортные устройства. Наука не стоит на месте, и уже сейчас становятся актуальными беспилотные легковые автомобили, грузовики, роботизированная авиация, водные транспортные средства и т. д.

Подобные разработки разрушают сложившееся представление о том, что создание полноценного автомобиля-робота теоретически невозможно, поскольку

эта задача относится к классу AI-complete («совершенный искусственный интеллект»), т. е. может быть решена, только если робот будет обладать интеллектом человека во всей его полноте. Если интеллект робота уступает человеческому, всегда может возникнуть какая-то нештатная ситуация, в которой он окажется бессилён. С этой точкой зрения мешают согласиться фактический профессионализм многих водителей и существующая ситуация на дорогах. Не вызывает сомнения, что если бы водители были столь же дисциплинированы, как роботы, и не употребляли алкоголь и наркотики, а неизбежные несчастные случаи являлись бы только следствием нештатных ситуаций, которые роботам не под силу, то жертв на дорогах стало бы на несколько порядков меньше.

В настоящей работе под беспилотным автомобилем мы будем понимать транспортное средство, которое оборудовано системой автоматического управления и может передвигаться по дорогам без непосредственного участия человека.

Таким образом, беспилотные автомобили – это следующий этап эволюции перевозок. Начавшись с ручного перетаскивания клады и изобретения колеса, этот долгий путь, очевидно, идет к исключению человека из данной схемы, что несет обществу целый ряд преимуществ:

- у людей с ослабленным зрением появится возможность самостоятельно перемещаться на автомобиле;
- сократится количество ДТП и человеческих жертв;
- появится возможность перевозки грузов в опасных зонах, во время природных и техногенных катастроф, военных действий;
- снизится стоимость транспортировки грузов и людей путем экономии на заработной плате водителей;
- более экономичны станут потребление топлива и использование дорог за счет централизованного управления транспортным потоком;
- экономия времени, ныне затрачиваемого на управление автомобилем, позволит людям заняться более важными делами или отдохнуть;
- повысится пропускная способность дорог за счет сужения полос.

Современный автомобиль активно роботизируется изнутри и сегодня оснащен целым рядом систем автоматизации. Помимо уже вошедших в обиход автоматических коробок передач, обычного круиз-контроля, систем автоматической блокировки торможения и пр., существуют система информирования о состоянии дорожного покрытия (особенно об обледенении), система адаптивного круиз-контроля, воспринимающая данные от систем обнаружения соседних автомобилей, система взаимного информирования автомобилей, снабженных GPS, средства слежения за дорожной разметкой, системы автоматизированной парковки, устройства для просмотра мертвых зон, системы контроля скорости на поворотах.

Логичным продолжением стали автомобильные Интернет-системы. Каким бы совершенным ни был робот, он эффективнее работает во взаимодействии с себе подобными. В системах могут использоваться совместно действующие объекты, образующие то, что теперь называют разумным роём.

Подобную систему Extended Floating Car Data-System (XFCD) представила компания BMW Group. Испытание проводилось на специальной тестовой трассе в SBSPark и было призвано продемонстрировать возможности системы. Например, автомобиль попадает на скользкую дорогу. За считанные секунды система машины обрабатывает информацию и предупреждает в режиме реального времени следующий за ней автомобиль. Одновременно та же информация передается стационарным службам движения, которые статистически обрабатывают поступающие данные и рассылают их другим участникам движения.

Система определения дорожной ситуации XFCD в будущем станет усовершенствованным вариантом существующей системы Floating Car Data (FCD). Уже сегодня с помощью FCD автомобили посылают данные о своем местонахождении в определенный момент времени на центральный пульт движения, который сопоставляет получаемые сообщения с сообщениями других автомобилей, оснащенных FCD, с целью распознавания дорожных и нестандартных ситуаций. Система XFCD способна сама распознавать дорожную ситуацию, анализировать все имеющиеся данные в автомобиле и передавать обработанную информацию на центральный пульт движения. Параллельно система может через систему-коммуникатор «авто – авто» предупреждать другие автомобили в зоне действия передатчика.

Автомобильная система XFCD не требует установки никаких дополнительных аппаратов, она функционирует на базе имеющейся навигационной системы, и ввод в эксплуатацию заключается лишь в загрузке программы. Подключение бортовой сети позволяет синхронно задействовать целый спектр возможностей. Система получает доступ к множеству других инфоблоков управления (ближний и дальний свет, противотуманное освещение, термометр внешней среды, кондиционер, тормоза, навигационная система, сенсор дождя, омыватель стекла и пр.) и совмещается с ними. В результате все эти механизмы функционируют в зависимости от дорожной ситуации. Так, на понижение температуры окружающей среды, лед или даже неожиданное появление масла на участке дороги автомобиль тут же отреагирует регулированием системы стабилизационного контроля (DSC) и скорости движения.

Еще одно неоспоримое преимущество системы XFCD заключается в возможности передачи сообщений напрямую другим ближайшим автомобилям посредством ad-hoc-сети. Каждый автомобиль, в зависимости от ситуации, выполняет роль отправителя, получателя или передатчика. Преимущество зарекомендовавшей себя технологии multi-hop неоспоримо: ad-hoc-сеть организуется автономно, обладает необходимой дальностью действия и не требует создания специальной инфраструктуры.

Система XFCD создана BMW Group в рамках концепта BMW ConnectedDrive, основополагающая идея которого – связывание воедино трех информаторов дорожного движения (водителя, автомобиля, внешней среды) посредством телекоммуникационных, вспомогательных автомобильных и онлайн-систем ради безопасности движения.

Таким образом, ключевым элементом беспилотного автомобиля и интеллектуальной транспортной системы (Intelligent transportation system – ITS) является интегрированная система, которая включает бортовой компьютер, анализатор параметров движения и навигационную систему, постоянно связанные между собой.

2.2. Автомобиль «видящий» и коммуницирующий

Вышеперечисленные существующие элементы автоматизации снимают технические проблемы управления агрегатами автомобиля. Остаются проблемы ориентации и взаимодействия с внешней средой. Для ориентации в пространстве могут использоваться разнообразные устройства, например инфракрасные датчики, действующие на предельно близком расстоянии. Эти устройства хорошо известны.

Менее популярен так называемый ладár, иногда еще именуемый лидáром (от англ. Light Detection and Ranging – LIDAR). Сначала он использовался для дистанционного измерения атмосферных характеристик способом лазерного зондирования. Позже усилиями компании SICK ладар стал составной частью системы измерения дистанции (Laser Measurement Sensor – LMS). Идея ладара не оригинальна: LMS испускает несколько лучей и воспринимает отраженные данные. Лазеры монтируются в головке, вращающейся со скоростью несколько сотен оборотов в минуту. Наибольшая сложность заключается в том, что при движении по земле на коротких расстояниях с высокой скоростью возникают большие угловые перемещения. Поэтому, несмотря на использование различного рода систем стабилизации и сложных подвесов, для обработки изображений в режиме реального времени требуются серьезная вычислительная мощность и соответствующее программное обеспечение. О масштабе решаемых задач можно судить по тому, например, что сканирующий ладар Velodyne HDL-64E генерирует данные по 2,5 млн точек в секунду и передает их в виде пакетов, используя Fast Ethernet.

Обладая в полной мере свойствами инерциальной навигационной системы с полным набором датчиков ориентации и перемещения (рис. 2.1), интегрированная система способна определять все параметры движения транспортного средства: угловые скорости, ускорения, ударные и вибрационные воздействия, перегрузки.

При этом в отличие от традиционных блоков датчиков движения в интегрированной системе реализован сложный математический аппарат пересчета воздействий в различные системы координат, и потребитель может использовать выходную информацию системы непосредственно для своих приложений без предварительной обработки.

Автомобиль обладает развитой видеосистемой, функционирующей как в автоматическом, так и в ручном режиме, назначение которой заключается в контроле слепых зон автомобиля. Изображение с видеокамер в реальном времени передается на монитор, установленный в салоне или на месте боковых зеркал. Разрабатывается проект, в котором изображение проецируется непосредственно на лобовое стекло, не мешая при этом водителю. Видеокамеры

в дорожных системах подкрепляются инфракрасными и ультразвуковыми датчиками, которые в случае опасности заранее предупреждают водителя.

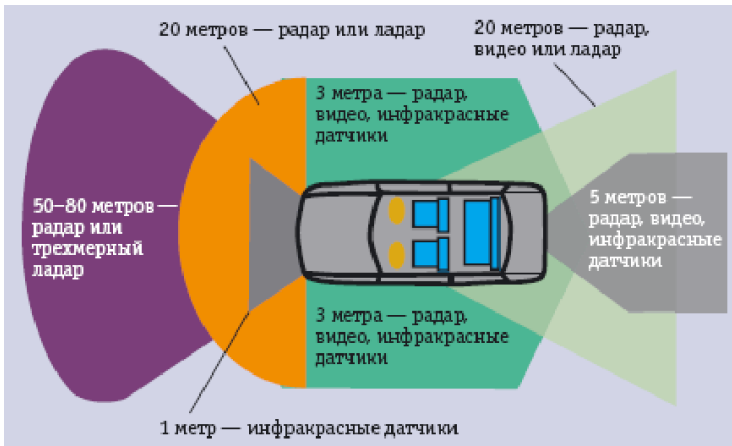


Рис. 2.1. Схема расположения датчиков

Во время поездки по городу камеры наблюдения фиксируют категории автомобилей, дорожную разметку и знаки. Например, автомобиль видит знак «Стоп» и предупреждает водителя. Если водитель не среагирует, автомобиль остановится сам.

2.2.1. Гироскопы для автомобильных навигационных систем

Как уже говорилось, в автомобилях все чаще устанавливаются навигационные системы, предназначенные для поиска оптимального маршрута, ориентации в незнакомой водителю местности и т. д. Подавляющее большинство таких систем основано на системе глобального спутникового позиционирования (Global Positioning System – GPS). Однако такая система имеет существенный недостаток: невозможность работы в зоне неуверенного приема сигнала со спутников (в условиях мегаполиса, в тоннелях, подземных гаражах и т. д.). Иногда оказывается, что точность определения и отслеживания координат с использованием GPS недостаточна для работы системы в целом.

В этом случае на выручку GPS приходят различные дополнительные датчики, например гироскопические, которые позволяют отследить скорость и направление перемещения автомобиля без участия спутниковых систем.

Например, компания Murata, активно занимающаяся вопросами разработки подобного оборудования, представила на рынок гироскоп серии MEV-50A-R.

Принцип действия датчика гироскопа основан на возникновении силы Кориолиса при повороте качающегося маятника вокруг оси качения. Возникающая

сила перпендикулярна плоскости качения маятника. Датчик состоит из так называемой биморфной пластины, которая представляет собой две соединенные керамические пластины с разной поляризацией. На одну из пластин подается высокочастотное напряжение, под действием которого весь биморф приводится в колебательное движение. При этом со второй пластины снимается напряжение, возникающее при ее колебании, вызванном колебаниями первой пластины. При повороте пластин вокруг своей оси возникает сила Кориолиса, изменяющая характер колебаний пластин и, соответственно, приводящая к изменению напряжения, снимаемого со второй пластины. Полученный сигнал обрабатывается, и на выходе гироскопического датчика получается напряжение, которое прямо пропорционально скорости поворота датчика вокруг рабочей оси.

Эта техника измерения позволяет добиться пониженного значения шумов по сравнению с существующими технологиями, применяемыми в акселерометрах. В будущем Murata планирует добавить в свои гироскопы цифровую схему температурной компенсации.

Для включения гироскопа в электрическую схему требуется минимум внешних компонентов: регулятор напряжения (5 В), аналого-цифровой преобразователь (встроен в большинство современных микроконтроллеров), фильтрующий конденсатор и два резистора.

2.2.2. Радар и ладар (лидар)

Радар, применяющийся для измерения скорости, использует эффект Доплера: устройство высылает радиоимпульсы, которые отражаются от объекта, а затем компьютер вычисляет моментальную скорость объекта – к сожалению, с некоторой погрешностью. Согласно Федеральному закону «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008 № 102-ФЗ при измерении скорости до 100 км/ч возможная погрешность составляет до 5 км/ч, свыше 100 км/ч – до 3 %.

Скорость также замеряется ладаром (лидаром), функционирующим по принципу обыкновенного лазерного дальномера. За основу для вычислений ладар берет два местонахождения объекта и время, за которое он преодолел расстояние между ними. Далее компьютер делит расстояние на время и получает моментальную скорость. Следует отметить, что если радар прицеливать не обязательно, то ладар необходимо направлять исключительно на номерной знак автомобиля, поскольку он является лучшим отражающим элементом.

Ладар действует на основе технологии получения и обработки информации об удаленных объектах с помощью активных оптических систем, использующих явления отражения света и его рассеивания в прозрачных и полупрозрачных средах.

Устройство представляет собой как минимум активный дальномер оптического диапазона. Сканирующие лидары в системах машинного зрения формируют двух- или трехмерную картину окружающего пространства.

Аббревиатура LADAR является сокращением от англ. Laser Detection and Ranging (лазерное обнаружение и определение расстояний), а LIDAR – от Light Identification Detection and Ranging (обнаружение, идентификация и определение дальности с помощью света).

Устоявшийся перевод термина «ладар» как «лазерный радар» не вполне корректен, так как в системах ближнего радиуса действия (например, предназначенных для работы в помещениях) главные свойства лазера – когерентность, высокая плотность и мгновенная мощность излучения – не востребованы, а излучателями света могут служить обычные светодиоды.

В первой половине 1960-х гг. начались опыты по использованию лидаров с лазерными излучателями для исследования атмосферы. В 1969 г. лазерный дальномер и мишень, установленная на «Аполлоне-11», применялись для измерения расстояния от Земли до Луны. Четыре мишени, доставленные на Луну тремя «Аполлонами» и «Луноходом-2», и по сей день используются для наблюдения за ее орбитой.

В 1970-х гг. отлаживались технологии лазерных дальномеров и компактных полупроводниковых лазеров и начались исследования рассеяния лазерного луча в атмосфере, которые к началу 1980-х гг. стали настолько известны в академических кругах США, что аббревиатура LIDAR стала именем нарицательным – lidar, зафиксированным в словаре Уэбстера 1985 г. Тогда же лазерные дальномеры достигли стадии зрелой технологии (по крайней мере, в военном приложении) и выделились в отдельную от лидаров отрасль техники.

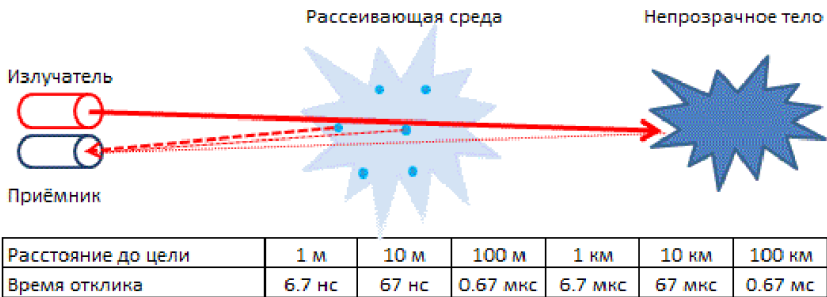


Рис. 2.2. Принцип действия лидара

Принцип действия лидара не слишком отличается от принципа радара: направленный луч отражается от цели, возвращается к источнику излучения и улавливается высокочувствительным приемником (в случае лидара – светочувствительным полупроводниковым прибором). Время отклика обратно пропорционально расстоянию до цели.

В отличие от радиоволн, эффективно отражающихся только от достаточно крупных металлических объектов, световые волны подвержены рассеива-

нию в любых средах, в том числе в воздухе, поэтому можно не только определять расстояние до непрозрачных (отражающих свет) дискретных целей, но и фиксировать интенсивность рассеивания света в прозрачных средах (рис. 2.2).

Возвращающийся отраженный сигнал проходит через ту же рассеивающую среду и подвергается вторичному рассеиванию, поэтому восстановление действительных параметров распределенной оптической среды – достаточно сложная задача, решаемая как аналитическими, так и эвристическими методами. В устройствах ближнего радиуса действия вместо коротких импульсов может использоваться непрерывная амплитудная модуляция излучения переменным напряжением с частотой в единицы мегагерц.

2.2.3. Инфракрасный датчик движения и ультразвуковой датчик

Инфракрасный датчик используется для обнаружения перемещения каких-либо объектов. Принцип его работы основан на отслеживании уровня ИК-излучения в поле зрения датчика (как правило, пироэлектрического). Сигнал на выходе датчика монотонно зависит от уровня ИК-излучения, усредненного по полю зрения датчика. При появлении человека (или другого массивного объекта с температурой большей, чем температура фона) на выходе пироэлектрического датчика повышается напряжение. Этот скачок и является сигналом для включения нагрузки датчика движения. Датчик обнаруживает только изменения ИК-фона (т. е. неподвижный объект обнаружен не будет).

Конструкция инфракрасного датчика проста и надежна, но его применение в системах автоматического управления связано с некоторыми проблемами. Так, например, в поле зрения датчика не должен попадать уровень земли (дорожного покрытия), а зона его действия не должна превышать 3 м, иначе система постоянно будет регистрировать различные помехи, в том числе естественные.

Основной элемент активного круиз-контроля – *ультразвуковой датчик*, установленный в переднем бампере или за радиаторной решеткой. Принцип его работы аналогичен датчикам парковочного радара, только радиус действия составляет несколько сотен метров, а угол охвата, наоборот, ограничен несколькими градусами.

Посылая ультразвуковой сигнал, датчик ждет ответа. Если луч нашел препятствие в виде автомобиля, движущегося с меньшей скоростью, и вернулся – значит, необходимо замедлить движение. Как только дорога освобождается, машина разгоняется до первоначальной скорости.

2.3. История развития беспилотных автомобилей

Уже реализованные и находящиеся в стадии разработки беспилотные технологии существенно изменят облик транспортной инфраструктуры в следующие десятилетия.

Начало исследованиям в данной сфере было положено в 2000-х гг., когда Управление перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США (Defense Advanced Research Projects Agency – DARPA) объявило конкурс на разработку автономной системы для автотранспорта, способной преодолевать значительные расстояния без участия человека.

В марте 2004 г. состоялись первые соревнования DARPA Grand Challenge с призовым фондом 1 млн долл., участие в которых приняли 15 команд (но уйти со старта удалось только 8 машинам). Автомобилям необходимо было пройти расстояние в 230 км по различным типам дорог (проселочная, пустыня и т. д.). Лучший результат (всего лишь 11,8 км) показала машина марки HUMMER H1 команды Red Team из университета Карнеги – Меллона. Это соревнование стало отправной точкой для развития индустрии в целом. Последующие соревнования 2005 и 2007 гг. собрали гораздо больше команд и имели значительно более суровые условия: автомобили уже должны были уметь ездить по дорогам, приближенным к городским, парковаться, ехать в потоке и соблюдать правила дорожного движения. В гонке 2005 г. победила машина Стэнфордского университета, в основе системы «зрения» которой было пять лидаров направленного обзора. Таким образом Пентагон стимулировал беспилотные инновации для реализации плана по замене к 2015 г. трети своего автомобильного парка роботами с целью минимизации риска человеческих потерь в опасных условиях.

В 2007 г. Google сделал первые практические шаги и начал общественную дискуссию на эту тему. С тех пор в процесс включились крупные производители автомобилей и автомобильного оборудования (например, Delphi Corporation), ИТ-компании типа Apple, а также небольшие стартапы. К 2016 г. над беспилотными технологиями работало уже 30 серьезных компаний в разных странах мира.

Надо заметить, что идея DARPA не нова: проектирование роботизированных автомобилей началось задолго до 2000 г. Попадаются и отрывочные сведения об отечественных устройствах, предназначенных для работы в зонах с радиационным загрязнением, но по вполне понятным причинам в открытых источниках они не описаны. Достоверно известно, что первой создала беспилотный автомобиль в 1977 г. механическая лаборатория Цукубы (академического пригорода Токио).

В 1980-х гг. центром аналогичных исследований в Европе была компания Mercedes-Benz. Работы возглавлял очень авторитетный специалист в этой области Э. Дикманн, под руководством которого в 1986 г. был построен грузовик VaMoRs, развивавший скорость 96 км/ч. Команда Э. Дикманна ориентировалась главным образом на создание систем компьютерного зрения и использовала транспьютеры британской фирмы INMOS, на которые возлагались большие надежды, а также методы параллельного программирования. В 1994–1995 гг. наработки перенесли на платформу легкового автомобиля S-класса Daimler-Benz, было построено два экземпляра VITA-2 UniBwM (VaMP). Проект оказался наиболее успешным для своего времени: автомобиль развивал скорость до 175 км/ч и проезжал по автобану свыше 150 км без вмешательства человека.

Особого упоминания заслуживает итальянский проект ARGO 1996–2001 гг.: модифицированная и снабженная специальными видеокамерами Lancia Thema прошла по дорогам свыше 2000 км со средней скоростью 90 км/ч, причем 94 % времени – в автоматическом режиме. Главой проекта ARGO был профессор А. Броджи, он же руководил работами по созданию роботизированного автомобиля TerraMax – участника DARPA Grand Challenge 2005.

Два проекта реализуются в Израиле, оба используют в качестве базы созданный в этой стране багги Tomcar, не имеющий аналогов.

В 2006 г. было проведено европейское соревнование European Land-Robot Trial для демонстрации возможностей современных роботов.

В 1987–1995 гг. в ходе проекта EUREKA Prometheus, обошедшегося Евросоюзу более чем в 1 млрд долл., были проведены практические разработки беспилотных автомобилей. В наиболее известном прототипе – VaMP, созданном Мюнхенским университетом вооруженных сил Германии, не применялись лидары (из-за недостатка вычислительной мощности тогдашних процессоров), но разработанный в 2006 г. MuCAR-3 уже был оснащен одним лидаром кругового обзора, поднятым высоко над крышей машины, а также направленной мультифокальной камерой обзора вперед и инерциальной навигационной системой. Лидар MuCAR-3 используется подсистемой выбора оптимальной траектории на пересеченной местности. Он дает угловое разрешение в $0,01^\circ$ при динамическом диапазоне оптического приемника 1:106, обеспечивая эффективный радиус обзора 120 м. Приемлемая скорость сканирования достигается с помощью пучка из 64 расходящихся лазерных лучей, поэтому один полный кадр требует единственного оборота вращающегося зеркала.

2.4. Обоснования перехода на беспилотные технологии

Опрос, проведенный на сайте CarInsurance.com, опровергает распространенное мнение, что многие люди негативно относятся к автомобилям-роботам и никогда не согласятся выпустить руль из рук. На самом деле таких водителей не больше 10 %. Остальные 90 % готовы купить беспилотный автомобиль, если при этом страховка станет в пять раз дешевле.

Разумеется, вопрос не только в страховке, а вообще в экономических преимуществах, которые сулит автоматическое управление машиной. Даже без экономии на страховании водитель сокращает расходы на бензин (за счет более рационального разгона/торможения и аккуратного стиля езды робота) и запчасти (из-за уменьшения износа деталей по тем же причинам). Налицо также экономия на покупке второй машины для супруги или ребенка, поскольку один автомобиль может развезти всех по очереди, самостоятельно возвращаясь домой.

Деньги меняют мнение практически каждого противника беспилотных автомобилей. Опрос показал, что наибольшее препятствие для беспилотных автомобилей представляет скептицизм водителей по поводу возможностей технологии: 64 % водителей не верят, что компьютерная программа способна

управлять автомобилем так же, как человек, а 75 % считают, что умеют управлять лучше, чем любая программа. Эти результаты напоминают известный опрос, в котором 90 % респондентов уверены, что их IQ выше среднего, хотя этого не может быть по определению. В то же время водители осознают, что элементы автоматического управления уже встроены во многие современные автомобили: это антиблокировочная система тормозов, электронная система стабилизации, круиз-контроль, автоматическая парковка и т. д.

Кроме денег существуют и другие факторы, способные подтолкнуть водителей пересесть на автомобили с самостоятельным управлением: например, выделение специальной полосы для автономных машин с сокращением времени в пути на 50 %.

Возможность отправить машину в супермаркет за покупками, чтобы она на обратном пути забрала вас с работы, тоже очень удобна. При распространении беспилотных автомобилей в магазинах наверняка появятся отделы drive-in, где будут заполнять багажники машин продуктами по списку.

Ответы на вопрос, чем водители будут заниматься, когда у них появится больше свободного времени за рулем беспилотного автомобиля, распределились таким образом:

- 26 % – обмениваться сообщениями, разговаривать с друзьями;
- 21 % – читать;
- 21 % – другое;
- 10 % – спать;
- 8 % – смотреть кино;
- 7 % – играть в игры;
- 7 % – работать.

Очевидно, что в ближайшие годы элементов автоматического управления будет появляться все больше.

Экономические мотивы перехода к беспилотному транспорту

Для осознания необходимости выпустить руль из своих рук человечество должно понять, какие экономические перемены его ждут. Профессор аэронавтики и астронавтики из Массачусетского технологического института, директор Группы аэрокосмических встроенных и робототехнических систем (Aerospace Robotics and Embedded Systems group – ARES) Э. Фраццони занимается исследованиями в данной области в целях подсчета прибыли от перехода на беспилотники. Первым аспектом является сама ценность человеческой жизни, ведь с увеличением числа беспилотников, которые не ошибаются, количество аварий и смертности в результате ДТП снизятся на порядок в течение первых двух лет. Нужно также учесть огромный объем исков, связанных с возмещением ущерба от увечий, – этот адвокатский и судебный рынок в странах Запада сравним с ВВП какой-нибудь европейской страны: на 2009 г. он составлял 300 млрд долл. [74].

Вторым аспектом является увеличение пропускной способности дорог, так как роботы могут с идеальной, недостижимой для человека точностью выдерживать интервалы между машинами, общаясь по компьютерным сетям с соседними автомобилями и дорожной инфраструктурой, и двигаться так, что возможность заторов и пробок заметно уменьшится. Кроме того, не склонный к суете киберводитель будет придерживаться именно той скорости, при которой экологический ущерб от работы двигателя минимален, – а этот ущерб оценивается для США еще в 150 млрд долл. в год [75].

В-третьих, необходимо подсчитать стоимость времени человека, управляющего транспортным средством. В США водительские права имеют 210 млн чел., каждый из которых в среднем проводит за рулем по 465 ч в год. Э. Фраццони оценивает эти издержки в 1,5 трлн долл. (за стоимость среднего часа, проведенного за рулем, принимается 12 долл. – половина средней часовой ставки США) [76].

Самым весомым экономическим результатом внедрения робокаров окажется появление принципиально нового рынка, связанного с переходом автомобильной индустрии на сервисную модель бизнеса. Ведь если откинуть психологическую составляющую (кстати, немаловажную, поскольку для многих людей взятый в кредит автомобиль, более дорогой, чем позволяют их доходы, оказывается важнейшим средством подъема самооценки), то задача автомобиля проста – безопасно, быстро и комфортно доставлять нас с места на место.

В зависимости от выбранной модели обслуживания можно будет использовать как такси, так и персональный лимузин (больше платишь – более высокий приоритет имеешь), способный отъехать на стоянку и вернуться за пассажиром. Таким образом, полностью автономные машины произведут настоящую революцию в индустрии каршеринга и пассажирских перевозок за счет радикального снижения стоимости поездок.

Данный рынок Э. Фраццони оценивает почти фантастической суммой – 1,8 трлн долл. в год (исходя из того, что робокар заменит четыре обычных автомобиля, сэкономив владельцу каждого из них по 8700 долл. в год) [77]. По его мнению, суммарный ежегодный экономический эффект только в США превысит 3 млн долл. Для сравнения скажем, что в 2012 г. номинальный ВВП России оценивался Международным валютным фондом в 2,021 трлн долл.

За несколько десятилетий новые автомобильные технологии способны сделать ненужными тормоза, избавить водителей от необходимости ждать зеленый свет светофора и даже ликвидировать необходимость получения водительских прав.

В течение следующих 30 лет использование автоматизированных технологий может приобрести эффект лавины. В результате большинство машин будет управляться без помощи водителя. Такие технологии уже просачиваются на потребительский рынок – системы помощи в парковке, автоматического торможения и круиз-контроля используются автомобилистами по всему миру [16, 17, 21, 22].

Конечно, пока рано говорить о том, что на искусственный интеллект можно взвалить весь объем водительских обязанностей, но прогресс не стоит на

месте. Программа компании Google «Беспилотный автомобиль» смогла добиться отличных результатов: в реальных условиях беспилотный автомобиль проехал 1600 км без участия водителя и еще около 225 000 км с незначительным его участием. Поездка обошлась без аварий.

В будущем будут упразднены водительские лицензии. Люди всех возрастов и возможностей смогут пользоваться беспилотным транспортом так же, как сейчас троллейбусами и поездами. А Япония уже сегодня достаточно успешно тестирует беспилотные грузовики на автодорогах общего пользования.

В перспективе ожидается также появление программ автомобильного обмена. Беспилотная машина отвезет вас в пункт назначения, а затем отправится к другим пассажирам. Это особенно полезно, так как в наши дни 90 % времени автомобиль проводит в припаркованном состоянии. Такие программы оживят движение на дорогах и сократят потребление топлива [23–26].

Внедрение беспилотных автомобилей не должно повлиять на дорожную инфраструктуру. Дорогам не потребуются капитальные ремонты, поскольку они уже способны справиться с появлением автономных транспортных средств. Это было доказано учеными, организовавшими 8000-километровую поездку между Италией и Шанхаем, с которой успешно справилась пара беспилотных автомобилей.

Мы также сможем попрощаться с красными огнями светофоров и дорожными знаками. Все автомобили будут оснащены датчиками, камерами и радаром, которые позволят контролировать трафик и не допустят аварий на дорогах. При этом скорость автомобилей сможет достигнуть 100 миль в час уже к 2040 г. [32–35].

С развитием технологий беспилотные автомобили смогут обеспечить быструю и безопасную езду. В лучшем случае мы больше никогда не будем опасаться за свою безопасность, сидя в такой машине (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Перспективы развития беспилотных технологий

Временной промежуток	Перспективы
До конца 2016 г.	Пассивный этап – дальнейшее развитие существующих систем автономного управления
2015–2019 гг.	Роль водителя сводится к вмешательству в определенных обстоятельствах и ситуациях
2019–2022 гг.	Возможность полноценного управления без вмешательства водителя
2022 г. и далее	Автомобили-роботы станут основным видом транспорта

Глава 3. ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

3.1. Распознавание образов и обработка изображений

Под термином «искусственный интеллект» понимаются:

- 1) свойство интеллектуальных систем выполнять творческие функции, которые традиционно считаются прерогативой человека;
- 2) научное направление, в рамках которого ставятся и решаются задачи моделирования тех видов человеческой деятельности, которые традиционно считаются интеллектуальными (например, вождения автомобиля) [1–4].

Интеллектуальная система – это техническая или программная система, способная решать творческие задачи, принадлежащие конкретной предметной области, знания о которой хранятся в памяти такой системы. Структура системы включает три основных блока – базу знаний, решатель и интеллектуальный интерфейс, позволяющий вести общение с ЭВМ без специальных программ для ввода данных.

Дисциплина под названием «Искусственный интеллект» входит в комплекс компьютерных наук, а создаваемые на ее основе технологии относятся к информационным. Задачей этой науки является воссоздание разумных рассуждений и действий с помощью вычислительных систем и иных искусственных устройств.

Одно из частных определений понятия «интеллект», общее для человека и машины, можно сформулировать так: «*Интеллект* – это способность системы в ходе самообучения создавать программы (в первую очередь эвристические) для решения задач определенного класса сложности и решать эти задачи».

В сфере безопасности дорожного движения особое внимание уделяется интеллектуальным транспортным системам (Intelligent Transportation System – ITS), которые позволяют на основе моделирования транспортных систем эффективно регулировать транспортные и пешеходные потоки.

Успешная реализация задачи качественного регулирования движения позволит решить целый ряд проблем: сократится время простоя автомобилей на перекрестке, уменьшится расход топлива и износ механических частей, снизятся вредные выбросы в окружающую среду, тем самым улучшится психологическая обстановка и экология городов.

Практика показывает, что внедрение средств интеллектуального управления перекрестком является проектом дорогим, сложным и требующим значительных временных затрат. Требуется новый подход к оптимизации движения. Вместо того, чтобы подстраивать транспортную систему под автомобильные потоки, можно информировать водителей в режиме реального времени о ситуации на перекрестках, регулируемых светофорами, и давать им возможность оптимально подстраиваться под разрешающие сигналы.

Широкое распространение смартфонов, навигаторов и иных устройств со встроенным GPS-приемником позволяет предложить значительной части водителей использовать интеллектуальную систему «Мобильный помощник водителя».

В рамках улично-дорожной сети транспортные средства, оснащенные мобильным помощником, могут рассматриваться как автономные агенты, а дорожное движение в городе – как мультиагентная среда. Зная расположение, направление движения и скорость каждого из агентов, можно перейти к новому типу управления дорожным движением.

Использование данной системы, как и качественное регулирование перекрестков, позволит улучшить условия движения служб экстренного реагирования, таких как скорая помощь, МЧС, полиция и т. д.

Надежную работу интеллектуальной системы обеспечивают подсистемы распознавания образов.

Образ – это структурированное описание изучаемого объекта или явления, представленное вектором признаков, каждый элемент которого является числовым значением одного из признаков, характеризующих объект.

Суть задачи распознавания заключается в том, чтобы установить, обладают ли изучаемые объекты фиксированным конечным набором признаков, позволяющим отнести их к определенному классу. Общая структура системы распознавания образов и этапы ее разработки показаны на рис. 3.1.

Задачи распознавания носят информационный характер и имеют следующие характерные черты:

- решение делится на два этапа:
 - 1) приведение исходных данных к виду, удобному для распознавания;
 - 2) собственно распознавание (указание принадлежности объекта к определенному классу);
- можно ввести понятие аналогии (подобия) объектов и формулировать понятие близости объектов в качестве основания для их зачисления в один и тот же класс либо в разные классы;
- можно оперировать набором прецедентов-примеров с известной классификацией, которые в виде формализованных описаний могут быть

предъявлены алгоритму распознавания для настройки на задачу в процессе обучения;

- трудно строить формальные теории и применять классические математические методы (информация для точной математической модели часто недоступна либо выигрыш от использования модели и математических методов несоизмерим с затратами);
- возможна «плохая» информация (с пропусками, разнородная, косвенная, нечеткая, неоднозначная, вероятностная).

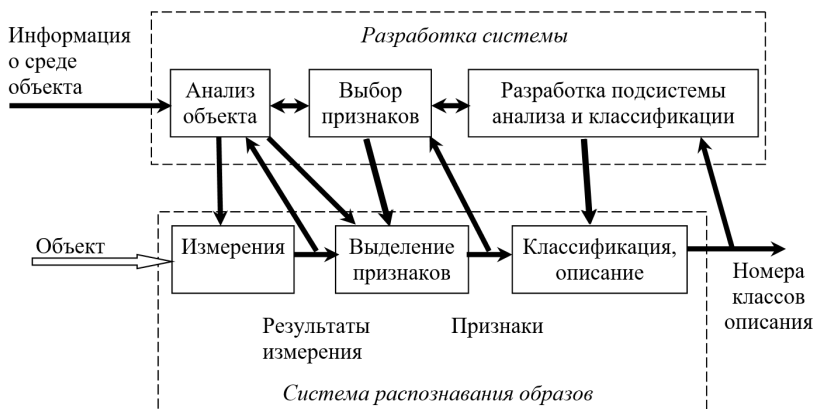


Рис. 3.1. Структура и этапы разработки системы распознавания образов

Целесообразно выделить несколько типов задач распознавания:

- 1) *задача распознавания* – отнесение предъявленного объекта по его описанию к одному из заданных классов (обучение с учителем);
- 2) *задача автоматической классификации* – разбиение множества объектов (ситуаций) по их описаниям на систему непересекающихся классов (таксономия, кластерный анализ, обучение без учителя);
- 3) *задача выбора информативного набора признаков при распознавании*;
- 4) *задача приведения исходных данных к удобному для распознавания виду*;
- 5) *динамическое распознавание и динамическая классификация* – задачи 1 и 2 для динамических объектов;
- 6) *задача прогнозирования* – задача 5, в которой решение относится к некоторому моменту в будущем.

Основные задачи обработки изображений – обнаружение (определение границ) и локализация (установление местоположения) объектов.

Основные требования к алгоритмам выделения объектов: высокая скорость при обработке больших изображений и низкий процент ошибок при работе с зашумленными изображениями, которые к тому же могут иметь разные уровни яркости [5].

Идентификация и классификация проводятся для уже локализованных объектов. Каждый объект характеризуется набором информативных признаков: цветом, формой и размером. Для идентификации объекта весь набор информативных признаков должен удовлетворять заданным условиям. Задача распознавания сводится к отысканию некоторой функции, отображающей множество образов (изображений) во множество, элементами которого являются классы образов.

Процесс идентификации и распознавания проходит, как правило, в три этапа:

1) *предварительная обработка* – заданное изображение $f(x)$ преобразуется в одно или несколько новых изображений $f_1(x, y), \dots, f_n(x, y)$ с помощью некоторого набора или последовательности определенных операций;

2) *выделение признаков* – функции $f_i(x, y)$ подвергаются функциональному преобразованию F_1, \dots, F_m , определяющему признаки, в результате чего изображение кодируется действительными числами;

3) *классификация* – в результате выполнения первых двух этапов появляется набор чисел, которые можно считать признаками исходного изображения $f(x, y)$; этот набор можно рассматривать как точку в n -мерном пространстве; если в этом пространстве указаны области, занимаемые тем или иным классом, либо на нем задана плотность вероятности для каждого класса, то на основании геометрической близости и максимальной вероятности данное изображение можно отнести к определенному классу, т. е. классифицировать.

Выполнение указанных этапов с помощью ЭВМ представляет определенные трудности, которые сопряжены с вышеописанными особенностями изображений топологии. В связи с этим приобретают большое значение различные методы фильтрации изображений, нормировки, получения инвариантов и формирования признаков, а также сегментация изображений и определение их контуров для последующего выделения объектов.

3.2. Сильный и слабый искусственный интеллект. Беспилотное вождение

Термин «сильный искусственный интеллект» был введен в 1980 г. американским философом Дж. Сёрлом. В работе, описывающей мысленный эксперимент «Китайская комната», ученый дал ему следующую характеристику: «Соответствующим образом запрограммированный компьютер с нужными входами и выходами и будет разумом в том смысле, в котором человеческий разум – это разум».

Согласно теории философии искусственного интеллекта некоторые его формы действительно могут обосновывать и решать проблемы. Теория сильного искусственного интеллекта предполагает, что компьютеры могут приобрести способность мыслить и осознавать себя, хотя их мыслительный процесс не обязательно будет подобен человеческому, а теория слабого искусственного интеллекта отвергает такую возможность.

Предлагалось множество определений интеллекта (например, возможность пройти тест Тьюринга), но на настоящий момент нет формулировки, которая бы удовлетворяла всех. Тем не менее среди исследователей искусственного интеллекта есть общая договоренность о том, что сильный искусственный интеллект обладает следующими свойствами:

- принятие решений, использование стратегий, решение головоломок, действия в условиях неопределенности;
- представление знаний, включая общее представление о реальности;
- планирование;
- обучение;
- общение на естественном языке;
- объединение всех этих способностей для достижения общих целей.

Уже ведутся работы по созданию машин, удовлетворяющих этим требованиям, и предполагается, что все они (либо большая часть) будут иметь сильный искусственный интеллект. Однако ни одно из указанных свойств не является необходимым для создания сильного искусственного интеллекта – например, неизвестно, нужно ли машине воспринимать окружающую среду в той же мере, как человеку. Также неизвестно, являются ли эти навыки достаточными для создания сильного искусственного интеллекта – если будет разработана машина с устройством, которое сможет эмулировать подобную мозгу нейронную структуру, то получит ли она возможность формировать представление о знаниях или использовать человеческую речь? Возможно также, что некоторые способности (например, сопереживание) возникнут у машины естественным путем, если она достигнет уровня реального интеллекта.

Идея, что искусственный интеллект начинает работать значительно лучше, когда удастся перейти к специальной задаче, сужающей пространство трактовок, применима не только к анализу естественного языка, но и к анализу изображений. На этом принципе и строятся системы управления автомобилем без водителя. Когда системе искусственного зрения показывают картинку и она определяет, что на ней изображено, то определение происходит с некоторой вероятностью. На дороге все проще: типов объектов, которые могут встретиться, сравнительно немного (пешеход, машина, автобус, дорожный знак, разметка и пр.), а значит и выбор, и трактовки сильно ограничены.

Беспилотное управление автомобилем использует множество технологий, в частности:

- обучение с подкреплением – отвечает за обучение вождению и правилам движения;
- распознавание образов – обеспечивает узнавание различных объектов на дороге;
- обработка серии изображений со смещением – позволяет выделять отдельные объекты на фоне других;
- стереоскопическая обработка изображений – дает возможность построить карту глубины и расстояний;

- лидер – дополняет построение карты расстояний или позволяет построить ее с нуля (например, в полной темноте).

Однако автопилот, как бы удивительно ни выглядел автомобиль, едущий без водителя, – это еще не сильный искусственный интеллект. Пока это набор хороших методов и алгоритмов. Возможно, что в данном случае большего и не нужно, так как многие задачи, подобные беспилотному вождению, успешно решаются и без использования сильного искусственного интеллекта. Нейронные сети с глубоким обучением (Deep learning) достаточно хорошо подходят там, где прямое программирование заходит в тупик и оказывается, что значительно проще дать нейронной сети огромный массив обучающих примеров для выработки правильной классификации, чем пытаться описать все закономерности и реакции на них.

Итак, согласно вышеописанной терминологии в беспилотном вождении используется слабый искусственный интеллект. Термин «слабый» не стоит воспринимать как негативную оценку. Это просто классификация применяемых технологий. Ведь и сам процесс ведения автомобиля человеком не предполагает использования всех обширных интеллектуальных возможностей мозга. Искусственные системы не обязаны повторять в своей структуре и функционировании структуру человеческого мозга и протекающие в нем процессы, присущие биологическим системам. Сторонники данного подхода считают, что феномен поведения человека, его способность к обучению и адаптации есть следствие именно биологической структуры.

Управление беспилотных автомобилей Audi, Volvo, BMW и др. построено на решении NVIDIA DRIVE, состоящем из трех компонентов:

- NVIDIA DRIVE PX – платформа автопилотирования;
- NVIDIA DRIVE CX – бортовой компьютер с системой навигации: если PX знает, как ехать, то CX знает, куда ехать и как при этом развлечь пассажира;
- NVIDIA DIGITS DevBox – система глубокого обучения, которая позволяет обучать нейронные сети для PX.

Беспилотное вождение, как показала компания Toyota, опирается на самообучение автомобиля. Проблематика машинного обучения касается процесса самостоятельного получения знаний интеллектуальной системой в процессе работы [6]. Это направление было центральным с самого начала развития искусственного интеллекта.

Обучение без учителя позволяет распознавать образы во входном потоке, обучение с учителем включает также классификацию и регрессионный анализ. Классификация используется, чтобы определить, к какой категории принадлежит образ, а регрессионный анализ – для обнаружения в рядах числовых примеров входа/выхода и поиска непрерывной функции, на основании которой можно было бы прогнозировать выход. При этом агент вознаграждается за хорошие ответы и наказывается за плохие. Ответы могут быть проанализированы с точки зрения теории решений с использованием такого понятия, как «полезность».

К области машинного обучения относится большой класс *задач на распознавание образов* (например, распознавание рукописного текста, речи, анализ текстов). Многие задачи успешно решаются с помощью биологического моделирования. Отдельно стоит упомянуть *компьютерное зрение*, которое связано еще и с робототехникой. *Нейронные сети* используются для решения нечетких и сложных проблем, таких как распознавание геометрических фигур или кластеризация объектов [7–10]. *Генетический подход* основан на идее, что некий алгоритм может стать более эффективным, если позаимствует лучшие характеристики у других алгоритмов («родителей»).

3.3. Система «Мобильный помощник водителя»

Функционирование транспортных систем в значительной степени определяет уровень социальных, экономических, экологических достижений и проблем городов. В рамках этих систем осуществляются перемещения грузов и пассажиров, которые решают социально-экономические задачи, но при этом требуют определенных материальных затрат и характеризуются соответствующим уровнем качества. В этой связи в современных условиях повышение эффективности и безопасности функционирования транспортных систем городов является важнейшей задачей.

Сеть наземных видов транспорта является основной подсистемой всей городской транспортной системы. Именно в ее рамках осуществляется более 95 % перевозок. Поэтому функционирование наземных транспортных сетей городов в значительной степени определяет выполнение требований эффективности, безопасности и комфортабельности для всей транспортной системы.

В последнее время в городах наблюдается обострение транспортных проблем, обусловленное перегрузкой транспортных сетей избыточными объемами движения, а также более высокими темпами развития процесса автомобилизации по сравнению с развитием транспортных сетей. Для решения проблемы перегрузки избыточными объемами движения сегодня применяются различные подходы, основанные на закономерностях формирования транспортных потоков в городах.

Несмотря на большое количество исследований отдельных этапов формирования транспортных потоков, многие вопросы остаются недостаточно изученными. Улучшение транспортной системы путем модернизации внешних средств организации движения транспортных потоков зачастую не приносит существенной выгоды, но, как правило, требует больших затрат из городского и государственного бюджетов.

В такой ситуации более эффективной может оказаться оптимизация поведения водителей во время движения («управление изнутри»). Реализовать такую систему можно с помощью уже существующей инфраструктуры мобильных устройств, которые есть сейчас практически у каждого. Предлагаются принципиально иной подход к проблеме и новый взгляд на транспортные по-

токи. Необходимо воспринимать их не как неизбежную данность, управление которой возможно только извне, но и как объект, который можно формировать в соответствии с требуемыми целями и представлениями об оптимальном управлении.

В литературе встречаются различные варианты систем оптимизации поведения водителей и рекомендаций для конкретных дорожных ситуаций. Так, в [40] рассмотрена система с интеллектуальными светофорами и снабженными Wi-Fi-передатчиками автомобилями, образующими на перекрестке сеть, в рамках которой проводятся оптимизация и выбор стратегии управления. Выбранная стратегия сообщается водителю на специальном дисплее автомобиля для рекомендаций по движению.

В работе [41] описан макет системы, работающей на основе мобильного смартфона водителя. Идея состоит в установке на смартфон специального приложения для работы со встроенной камерой смартфона. Водитель устанавливает смартфон на панели возле лобового стекла, чтобы обеспечить камере обзор дорожной обстановки. Приложение определяет цветовой сигнал светофора и в зависимости от расстояния до перекрестка рекомендует водителю оптимальную скорость движения для преодоления его без задержки.

В [42] предлагается вдоль магистрали установить ленту из ламп или газоразрядных трубок, которые будут светиться зеленым или красным светом (по участкам). Светящиеся участки должны перемещаться вдоль магистрали со скоростью, равной скорости «зеленой волны». Водителю достаточно будет выдерживать такую скорость, чтобы находиться в зеленой зоне.

Автором [43] разработан указатель оптимальной скорости (УОП), обеспечивающий проезд перекрестков без остановок в условиях интенсивного городского движения. УОП предназначен для увеличения средней скорости движения автомобиля путем безостановочного проезда перекрестков, регулируемых автоматическими светофорами. Работа всех смежных автоматических светофоров должна быть синхронизирована на определенную среднюю скорость движения транспорта на этом направлении (обычно 50 км/ч, т. е. организуется «зеленая волна»). В ходе движения по перегону прибор постоянно информирует водителя, на какой сигнал следующего светофора и в какой его момент он подъедет при движении с данной скоростью. УОП представляет собой электромеханическое устройство, которое путем сравнения двух скоростей (фактической скорости движения автомобиля и виртуальной скорости движения транспортного потока, установленной взаимосвязанной работой синхронизированных светофоров) постоянно информирует водителя о его положении в потоке относительно сигналов последующего светофора. УОП состоит из датчика скорости движения автомобиля, включенного в кинематическую цепь привода спидометра, датчика работы светофоров и указателя положения автомобиля на перегоне относительно сигналов ближайшего светофора.

Однако у описанных систем существуют вполне определенные недостатки. Система из работы [40] требует предварительного оборудования всех све-

тофоров и автомобилей передатчиками Wi-Fi, модулями GPS и другими дорогостоящими приборами. Водители старых автомобилей вообще не смогут ею воспользоваться. Ключевой недостаток системы, разработанной в [41], – зависимость от погодных условий и дорожной обстановки: дождь, снег, большегрузные автомобили могут перекрывать обзор камеры. Система, предложенная в [42], требует монтажа сложных вспомогательных средств на каждом перекрестке, а в [43] – настройки «зеленой волны» для светофоров (т. е. не может применяться там, где волну настроить нельзя).

Таким образом, актуальность приобретает разработка интеллектуального мобильного помощника водителя при выборе стратегии вождения (Mobile Assistant In Choice Of Driving Strategy – MAICODS), которая должна привести к упорядочиванию дорожного движения и повышению эффективности транспортной сети.

3.3.1. Ориентация водителей в пространстве

Идея мобильного помощника водителя заключается в следующем. В настоящее время многие водители обладают телефоном (смартфоном, коммуникатором) с GPS-навигацией [44, 45]. Ситуация на рынке мобильных устройств очень динамична, и в скором будущем можно ожидать появления таких устройств абсолютно у всех водителей. Система мобильного помощника состоит из двух модулей – клиентского и серверного. Серверный модуль (СМ) располагается в специальном отделе ГИБДД, который координирует светофорные объекты города. Здесь же находится автоматизированная система координации светофорных объектов (АСКСО), которая на специальном пульте отображает для оператора ГИБДД текущее состояние транспортной системы города. СМ получает у АСКСО данные о состоянии конкретного светофорного объекта (текущий сигнал) или параметры его функционирования. На основании этих данных СМ строит карту состояний светофоров всего города в текущий момент времени. Затем карта передается посредством сети Интернет на клиентские модули (КМ) водителей-пользователей.

КМ находится на личном смартфоне водителя. Каждый водитель сможет добровольно установить такое приложение и динамически получать карту состояний светофоров города. КМ считывает через Интернет эту карту, а затем с помощью GPS-передатчика определяет свое текущее местоположение и параметры движения (скорость, ускорение). На основании этих данных КМ рассчитывает направление и скорость движения транспортного средства, после чего определяет состояния светофоров на пути следования и выводит на экран мобильного устройства рекомендованную стратегию вождения. Под стратегией подразумеваются скорость и ускорение, которые могут обеспечить безостановочный проезд светофора без снижения скорости и, соответственно, без потери энергоресурсов. При этом система учитывает параметры работы дополнительных секций светофора и рекомендует стратегии для всех возможных направ-

лений движения водителя. Исходя из полученных данных, водитель выбирает оптимальную для себя стратегию и следует ей [46–51].

Рассмотрим подробнее поведение отдельных участников движения на перекрестке между двумя перекрестками, оборудованными светофорными объектами с учетом предложенной системы (рис. 3.2).

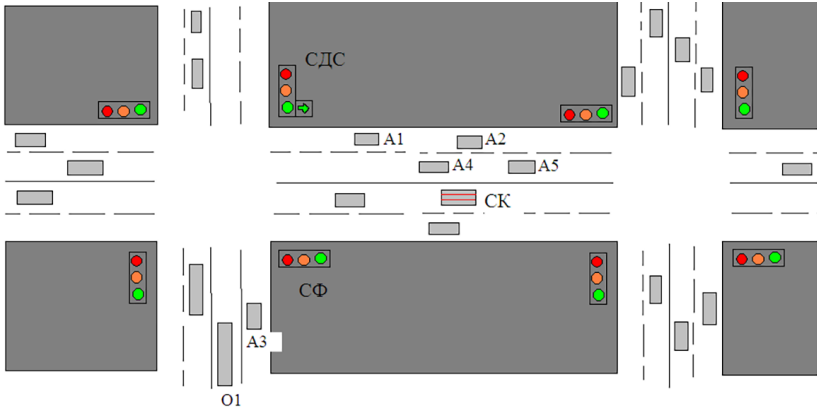


Рис. 3.2. Участок магистрали между перекрестками

Так как светофоры работают в режиме жесткого регулирования движения, известно точное время переключения их сигналов. Исходя из расстояния до перекрестка и скорости движения транспортного средства, для безостановочного проезда через перекресток формируется дискретное множество скоростей $\{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$. Выбирая из него конкретную скорость, водитель обеспечивает себе проезд без остановки (при условии отсутствия чрезвычайных ситуаций).

Рассмотрим ситуацию автомобиля А1, находящегося очень близко к перекрестку. Его водителю системой будет предложено несколько стратегий поведения:

- S_1 – увеличить скорость движения до величины из множества $\{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$;
- S_2 – уменьшить скорость движения до величины из множества $\{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$ (при очень малых расстояниях минимальной величиной может быть 0 км/ч, что означает остановку транспортного средства);
- S_3 – оставить скорость движения неизменной, так как она является оптимальной для проезда на зеленый сигнал светофора $\{v_i\}$.

На основе данных рекомендаций водитель А1 выберет наиболее оптимальную для себя стратегию поведения. При этом он будет учитывать правила дорожного движения (ограничение скорости), характеристики транспортного средства (расход топлива, динамику при ускорении/торможении и т. д.), погодные условия (сухой/мокрый асфальт, видимость и пр.).

Вероятно, в данном случае водитель А1 выберет для проезда перекрестка более высокую скорость (с учетом правил дорожного движения), чем водители А2, А4 и А5, которые, находясь значительно дальше, выберут меньшие скорости, чтобы преодолеть перегон за время горения красного сигнала светофора. Причем водитель А4 будет снижать скорость до некоей величины v_i из множества S_2 , так как он ближе всех к перекрестку, водитель А2 сохранит свою скорость, выбрав стратегию S_3 , а водитель А5 увеличит скорость согласно стратегии S_1 . Таким образом, эти водители сформируют так называемую пачку автомобилей, которая будет двигаться в наиболее оптимальном режиме.

В аналогичной ситуации окажется и водитель А3, с той лишь разницей, что ему будет также предложена стратегия с учетом движения на дополнительную секцию.

Водитель автобуса О1 при выборе стратегии проезда перекрестка учтет технические характеристики машины и расписание маршрута.

Водитель скорой помощи СК выберет максимальную скорость движения (с учетом дорожной обстановки) для следования по вызову.

3.3.2. Пересечение зоны дилеммы с мобильным помощником

Наиболее приемлемым и обширным методом для исследования механизмов столкновений с ударом сзади является *метод зоны дилеммы*. Эта зона наиболее часто возникает у водителя, когда он, находясь на некотором расстоянии от регулируемого перекрестка, видит, что для него загорается желтый сигнал, т. е. необходимо сделать выбор между остановкой и проездом перекрестка с ускорением [104–109].

Мобильный помощник является надежным средством, обеспечивающим бесконфликтный проезд регулируемых перекрестков. Без него водитель самостоятельно принимает нелегкое решение о пересечении/непересечении перекрестка в межфазный светофорный период (переход от зеленого сигнала к желтому). Конечно, эту задачу облегчает табло обратного отсчета на светофоре. К сожалению, зачастую светофоры им не оборудуются из-за нежелания городских властей нести дополнительные затраты. Однако табло полезно только на близких подъездах к светофору. Если автомобиль находится слишком далеко, водитель попросту не видит табло и не может сориентироваться в сложившейся ситуации.

Исключают зону дилеммы, а с ней и аварии на перекрестках, адаптивные системы управления светофорами [52], работающие по разрыву в транспортном потоке. В этом случае переключение светофора и, соответственно, переходной процесс приходится на момент, когда отсутствует подъезжающий транспорт.

Аварии на перекрестках связаны с неверным выбором решения «перекресточной» дилеммы, в большой мере обусловленным психологическими качествами водителя.

Различают три типа водителей: осторожный, рисковый и колеблющийся (промежуточный). С первым типом связаны аварии *перед перекрестком*: еще есть время для проезда, а водитель резко тормозит и в него въезжает автомобиль, следующий позади.

Рисковый водитель может въехать на перекресток, когда времени для проезда не осталось, и таким образом спровоцировать аварию *на перекрестке*.

Колеблющийся водитель может создать аварийную ситуацию своими неуверенными действиями. Например, сначала он решил ускориться и проехать светофор, а затем резко затормозил и остановился у стоп-линии, поскольку решил, что не успеет проехать на желтый сигнал.

Граница между этими типами водителей весьма условна, расплывчата и нечетка. Особенно это относится к промежуточному типу: сегодня до обеда он осторожен, а после обеда начинает рисковать и т. д.

Рассмотрим зону дилеммы подробнее. Она определяется исходя из двух расстояний:

- $S_{\min 1}$ – минимальное расстояние до стоп-линии, при котором автомобиль остановится перед ней при использовании аварийного замедления j_1 ;
- $S_{\min 2}$ – минимальное расстояние до стоп-линии, при котором автомобиль остановится перед ней при использовании служебного замедления j_2 [53].

Кроме того, для определения местоположения зоны дилеммы используется расстояние S_{\max} – максимальное расстояние до стоп-линии, при котором автомобиль может проехать регулируемый перекресток в течение переходного интервала. Это расстояние также необходимо внести в модель зоны дилеммы. Для этого есть несколько причин: во-первых, не все водители, находящиеся вблизи стоп-линии или в зоне дилеммы (классической – т. е. перед выбором решения о проезде регулируемого перекрестка), могут успеть проехать перекресток в течение переходного интервала; во-вторых, на регулируемых объектах вероятность столкновений с ударом сзади в значительной мере зависит от параметров светофорного регулирования, в первую очередь – от величины переходного интервала, а S_{\max} – это расстояние, характеризующее данный интервал.

В случае, когда $S_{\max} < S_{\min 1} < S_{\min 2}$ (рис. 3.3), у водителя автомобиля, находящегося в зоне *A*, есть только одно верное решение – проезд регулируемого перекрестка (поскольку до стоп-линии он уже безопасно остановиться не сможет). Водитель автомобиля, находящегося ближе к стоп-линии, чем расстояние $S_{\min 1}$, т. е. в зоне *E* (не говоря уже о зоне *B*), также до стоп-линии безопасно остановиться не успеет. Если автомобиль находится на расстоянии $(S_{\min 2} - S_{\min 1})$ от стоп-линии (в зоне *H*), то водитель сможет остановиться при замедлении $j_2 < j < j_1$ (т. е. меньше аварийного, но больше служебного). При нахождении на расстоянии $S_{\min 2}$ и более водитель сможет остановиться с замедлением $j \leq j_2$ соответственно.

В зоне *D* возникает физическая зона дилеммы: водитель не сможет безопасно ни проехать перекресток (поскольку находится дальше от стоп-линии, чем расстояние S_{\max}), ни остановиться у стоп-линии (так как находится на рас-

стоянии меньшем, чем S_{min1}). Следовательно, в данном случае зона дилеммы ограничена расстояниями S_{min1} и S_{max} .

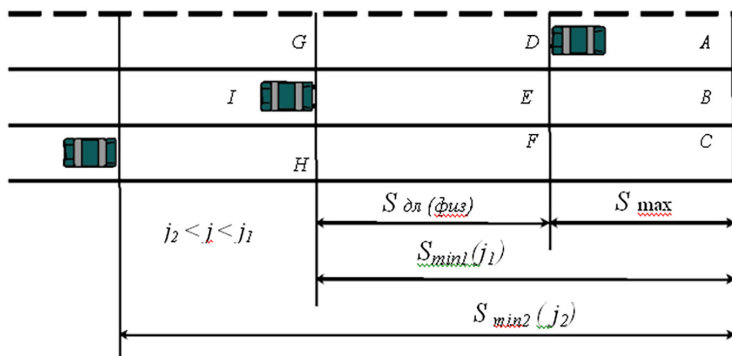


Рис. 3.3. Расположение физической зоны дилеммы в случае $S_{max} < S_{min1} < S_{min2}$

В случае, когда $(S_{max} = S_{min1}) < S_{min2}$ (рис. 3.4), водитель, находящийся в зоне A, имеет единственную возможность – проезд перекрестка, а водитель, находящийся на расстоянии S_{min1} до стоп-линии, успеет остановиться только при использовании аварийного замедления. В зоне H водитель сможет остановиться с замедлением $j_2 < j < j_1$, а на расстоянии S_{min2} и более – с замедлением j_2 и $j < j_2$ соответственно.

В данном варианте зона дилеммы отсутствует. Если аварии будут случаться при таких условиях, то исключительно вследствие грубых ошибок или нерешительности водителей, так как зона дилеммы на принятие решений не влияет.

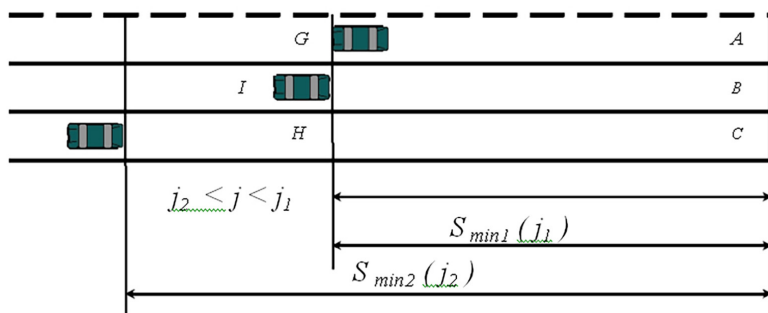


Рис. 3.4. Зона дилеммы отсутствует в случае $(S_{max} = S_{min1}) < S_{min2}$

Если $S_{min1} < S_{max} < S_{min2}$ (рис. 3.5), то водитель, находящийся на расстоянии S_{max} и менее (в зоне A или I), имеет возможность проехать перекресток. Если ав-

томобиль находится на расстоянии $(S_{\min 2} - S_{\min 1})$ до стоп-линии (в зоне I или E), то водитель сможет остановиться при замедлении $j_2 < j < j_1$. В данном случае зона дилеммы возникает в зоне E , причем классическая (т. е. водитель имеет возможность как проехать перекресток, так и остановиться с замедлением $j_3 < j < j_1$). Водитель, находящийся в зоне H , имеет единственную возможность – остановиться с замедлением $j_2 < j < j_3$.

Данная ситуация также безопасна, поскольку присутствует классическая зона дилеммы. Как и в предыдущем случае, аварии здесь происходят только по вине водителей, из-за грубых нарушений правил движения.

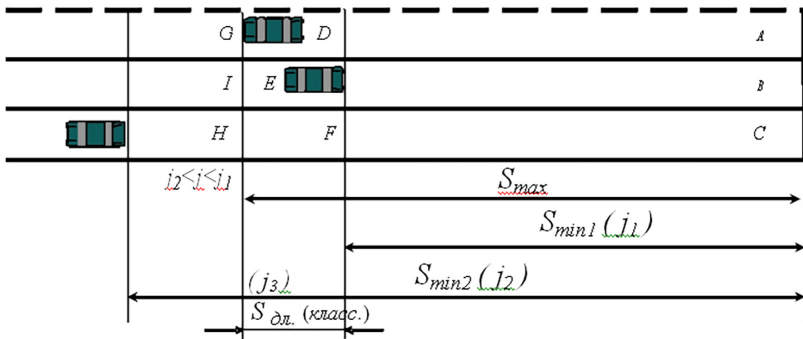


Рис. 3.5. Расположение классической зоны дилеммы в случае $S_{\min 1} < S_{\max} < S_{\min 2}$

Таким образом, зона дилеммы – это неудачное совпадение межфазного состояния светофора и пространственного положения автомобиля перед ним. Возникает такая ситуация регулярно, и устранить ее может только мобильный помощник, который уводит водителя от зоны дилеммы путем рекомендации определенного образа действий.

Еще одним фактором неверного выбора водителем решения дилеммы (ускорить движение или затормозить) является отсутствие информации о геометрических параметрах перекрестка. Особенно это касается водителей, впервые его пересекающих. На протяженном перекрестке можно не успеть выполнить маневр разъезда и создать аварийную ситуацию.

Предложенная система позволяет нивелировать психологические различия водителей. Она рассчитывает и рекомендует оптимальный вариант решения дилеммы перед светофором, а также заблаговременно просчитывает стратегию проезда перегона между двумя смежными светофорами таким образом, чтобы проехать очередной светофор без остановки.

Так, если водитель поздно въехал на перегон и, следовательно, не успевает проехать в текущей зеленой фазе светофора, то система рекомендует ему снизить скорость и указывает ее величину. При расчете скорости система ис-

ходит из расстояния от автомобиля до светофора с учетом, что водитель сможет подъехать к началу следующей зеленой фазы.

Если скорость автомобиля на перегоне недостаточна для подъезда к светофору в период зеленой фазы, но есть ресурс для ее увеличения (без превышения максимального порога), то водителю об этом сообщается. Так формируется задний фронт пачки автомобилей, которые могут пересечь перекресток в текущей зеленой фазе.

3.3.3. Дифференцирование и интегрирование транспортного потока с мобильным помощником

Целью координированного регулирования является обеспечение безостановочного движения транспортных средств вдоль улицы или магистрали. Координация работы светофоров на соседних перекрестках обеспечивает уменьшение количества непроизводительных остановок и торможений в потоке, а также снижает уровень транспортных задержек.

Условия движения транспортных средств в городах осложняются наличием регулируемых перекрестков, находящихся, как правило, на небольших расстояниях друг от друга (порядка 100–160 м). На рис. 3.6 приведена гистограмма распределения расстояний между регулируемыми перекрестками в центре Москвы, в пределах Садового кольца [7]. Работа светофорной сигнализации приводит к резкому изменению структуры и характера транспортных потоков, в которых появляются ярко выраженные группы автомобилей. От таких параметров групп, как расстояние между ними, плотность потока в них, скорость распада и перемешивания (диффузии) зависит эффективность работы светофорной сигнализации. Параметры групп и природа диффузии отражают и непрерывные, и дискретные свойства транспортного потока.

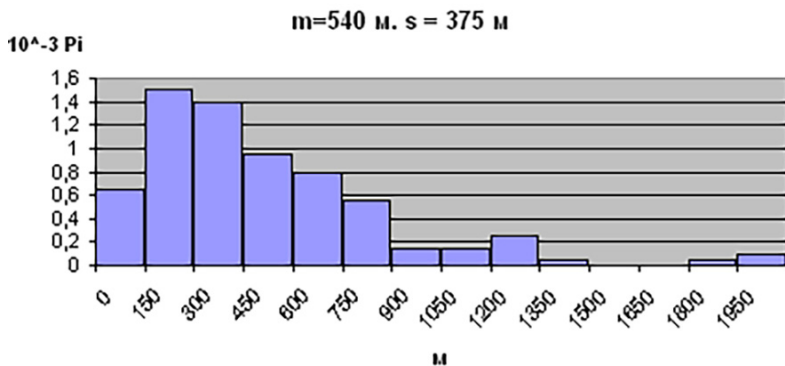


Рис. 3.6. Распределение расстояний между регулируемыми перекрестками в центре Москвы, в пределах Садового кольца

Типичный пример диффузии группы автомобилей на одном из перегонов ш. Энтузиастов в Москве представлен на рис. 3.7 [54]. По оси абсцисс отложено время, а по оси ординат – объем движения в определенном сечении улицы, находящемся на заданном расстоянии от стоп-линии по ходу движения. Можно отметить, что в конце перегона, на значительном расстоянии от предыдущей стоп-линии, длина группы во времени увеличивается почти в два раза. Особенно сильно проявляется эффект диффузии групп при длинных перегонах между перекрестками, наличии продольных уклонов дороги и разнородном составе потока.

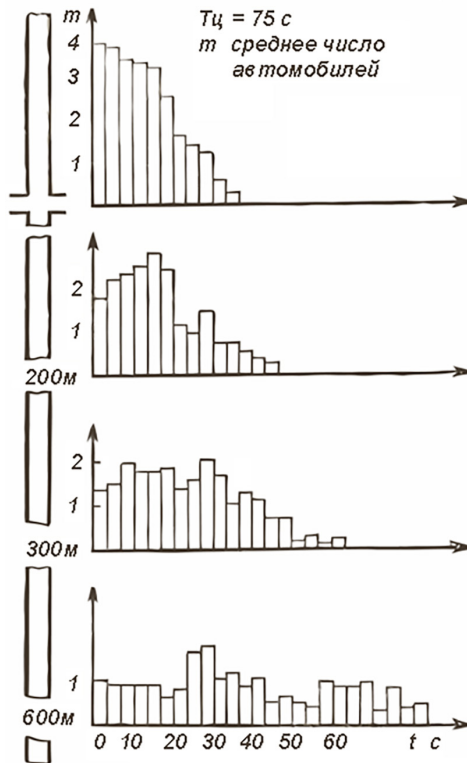


Рис. 3.7. Диффузия группы автомобилей на перегоне ш. Энтузиастов в Москве

Случайный характер скоростей и ускорений автомобилей в потоке, приводящий к диффузии групп, вызывает серьезные затруднения в управлении движением. Постоянные формы групп автомобилей и неизменность их скоростей позволили бы точно предсказывать моменты прохождения ими перекрестков и составлять оптимальную программу работы светофоров. Диффузия групп

вводит в этот процесс неопределенность, для количественной характеристики которой можно использовать понятие энтропии, применяемое для оценки неопределенности в термодинамике, теории информации и т. д.

В данном случае увеличение энтропии означает рост неупорядоченности в движении автомобилей и случайности в форме их групп, а уменьшение энтропии – упорядочение потока, облегчающее управление. Работа светофорной сигнализации по жесткой программе, приводящая к появлению характерных групп автомобилей, уменьшает энтропию и увеличивает упорядоченность движения в уличной сети города.

Однако решение формировать группы (пачки) автомобилей с использованием светофорной сигнализации, тем самым организовывая определенный порядок в транспортном потоке, сопряжено с экономическими и экологическими потерями, так как предполагает обязательную остановку транспорта перед светофором, где и формируются пачки. Использование мобильного помощника водителя позволяет организовать этот процесс непосредственно на перегоне магистрали путем операции дифференцирования (разделения) длинной размытой пачки на две. Деление выполняется примерно посередине пачки. Затем идет процесс интегрирования пачек, т. е. разделенные пачки уплотняются, и в дальнейшем каждая из них следует по маршруту как отдельная единица. Все эти операции выполняются по командам мобильного помощника.

Таким образом, процесс движения становится более упорядоченным и даже снижается аварийность при пересечении перекрестков (зона дилеммы).

Кроме того, имеется еще один очень важный экономический фактор. На рис. 3.8 показана группа автомобилей, остановившихся перед светофором, в результате чего кинетическая энергия группы была впустую погашена. После стадии торможения идет стадия разгона при включении зеленого сигнала, влекущая затраты топлива на восстановление первоначальной кинетической энергии. С мобильным помощником проезд светофора прошел бы безостановочно, так как система подобрала бы для группы такую скорость движения по перегону, чтобы она выехала к светофору в момент начала зеленой фазы.

Постепенное увеличение числа водителей, использующих мобильную систему для выбора стратегии движения, приведет к возникновению так называемого коллективного поведения. В теории коллективного поведения это обусловлено свойством мобилизации.

Мобилизация представляет собой эффект коллективного поведения, который возникает, когда желания, устремления многих агентов и осознание ими ситуации направлены на определенный объект. В данном случае агентами являются водители, а действия их направлены на безостановочный проезд перекрестка.

На сегодняшний момент задачи коллективного поведения описываются в теории многоагентных систем (МАС). В основе большинства известных методов координации МАС явно или неявно лежит понятие совместных обязательств (commitments) агентов, постулирующее необходимость выполнения каждым агентом последовательности действий, ведущей к достижению пре-

допределенной цели в интересах всего сообщества агентов. В данном случае предложенная система выступает в роли совместных обязательств, которые водители будут невольно выполнять, чтобы не простаивать на перекрестке. В свою очередь, водители, не имеющие смартфонов с такой системой, будут подстраиваться под поведение водителей, следующих ее рекомендациям. Рисковым водителям будет сложнее нарушать скоростные режимы, так как проскочить пачку плотно идущих автомобилей достаточно сложно и опасно. На основе этих внутренних факторов в системе «автомобили – дороги – перекрестки» возникнет так называемая самоорганизация.

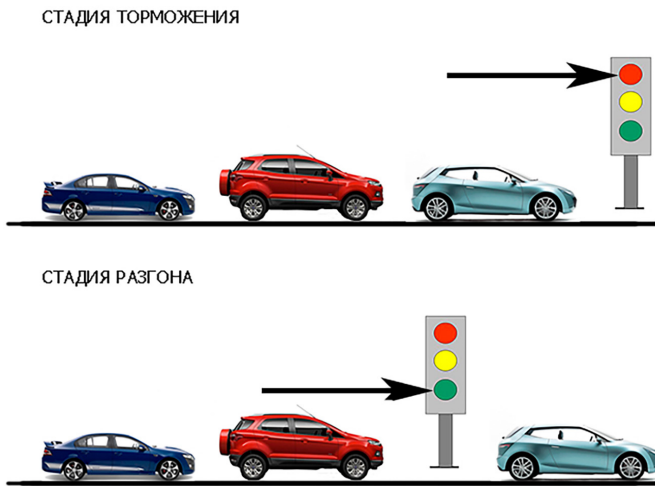


Рис. 3.8. Проезд перекрестка группой автомобилей

Процесс самоорганизации приводит к качественному скачку в функционировании транспортной системы. Весь транспортный поток сам формирует для себя «зеленую волну». Таким образом, эффективность предложенной системы обусловлена не только энергетическими соображениями (экономия топлива и ресурса автотранспорта) [55, 56], но и упорядочением всей транспортной системы. Кроме того, должно уменьшиться количество аварий, так как лихачить на дороге станет достаточно сложно из-за наличия плотных пачек автомобилей. Ключевыми достоинствами данного подхода являются дешевизна и простота внедрения в существующую инфраструктуру.

Глава 4. УПРАВЛЕНИЕ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ НА БАЗЕ МНОГОАГЕНТНЫХ СИСТЕМ

4.1. Структура и организация многоагентной системы автономного транспортного движения

Сложность современных систем, достигающая такого уровня, что централизованное управление в них становится неэффективным из-за наличия огромных потоков информации, когда слишком много времени тратится на ее передачу в центр и принятие им решений, приводит к понятию *многоагентных систем* (МАС) [110, 111].

Сегодня происходит настоящая революция в области организационного управления (стратегического менеджмента), связанная с коренной перестройкой традиционных организаций и предприятий и появлением сетевых организационных структур нового типа. Сами интеллектуальные системы также усложняются и включают ряд подсистем различной природы, обладающих различными функциональными характеристиками и взаимодействующих между собой. Кроме того, с ростом сложности падает надежность систем и становится все труднее сформулировать их адекватную целевую функцию [112, 113].

В то же время сами решаемые задачи и разрабатываемые системы подчас неоднородны и распределены в пространстве (например, транспортная сеть, система космической связи) [11–14] или в функциональном плане [18–20] (по-скольку никто не может создать современную сложную систему в одиночку).

К тому же понятие открытой системы означает, что у нее имеются различные возможности и средства адаптации к изменениям среды, в том числе путем модификации своей структуры и параметров.

И, наконец, само распространение различных сетей, в том числе и транспортных, порождает распределенный взгляд на мир. Процесс развития мобильных транспортных средств, при котором вся информация и ресурсы ее

обработки распределяются по различным узлам сети, требует пересмотра классических моделей.

Все вышеперечисленное объясняет бурное развитие искусственного интеллекта и нового стратегического направления в информатике: теории, методов и программно-аппаратных средств построения распределенных систем [114–116].

МАС состоит из двух видов агентов: агент-менеджер (М) и агент-водитель (В). М ответственен за обслуживание одного перекрестка, В – автотранспортного средства.

Понятие «агент» используется как инструмент для анализа систем. В качестве агента может рассматриваться любой объект, воспринимающий свою среду с помощью датчиков и воздействующий на нее с помощью исполнительных механизмов.

МАС является централизованной системой, в которой М управляет агентами В посредством сообщений. Коммуникация между агентами может быть трех типов: «В – М»; «М – М»; «В – В».

Проблемная среда транспортной МАС включает совокупность всего, что может повлиять на ее работу: дороги, перекрестки, ремонтные работы, автомобили, атмосферные осадки и т. д.

Опишем свойства проблемной среды в соответствии с классификацией, предложенной в [117]:

- *частично наблюдаемая* – несмотря на то, что беспилотные автомобили обладают достаточным набором датчиков для надежного и безопасного движения, В и М не могут точно знать, как изменится картина мира;
- *стохастическая* – состояние среды зависит не только от агентов, но и от внешних непредвиденных факторов, которые при проектировании должны быть приняты во внимание;
- *последовательная* – принятое агентом решение способно повлиять на его поведение в будущем, поэтому агенту можно планировать свои действия на пару шагов вперед, однако окончательное решение вычисляется и принимается в последний момент; кратковременные действия могут иметь долгосрочные последствия;
- *динамическая* – агенту необходимо наблюдать за окружающим миром в процессе выработки и принятия решения о выполнении очередного действия; машины продолжают двигаться в ходе того, как алгоритм вождения определяет, что дальше делать, однако для М среда может выглядеть статической, так как каждое следующее движение рассчитано наперед, а занимаемая площадь зарезервирована;
- *непрерывная* – время течет, и состояние системы непрерывно меняется, поскольку скорость и местонахождение В и других автомобилей изменяются в определенном диапазоне непрерывных значений, причем эти значения меняются во времени плавно, но входные цифровые данные с видеокамер и датчиков поступают дискретно, а в среде имитационного моделирования протекает дискретное время;

- *кооперативная* – между агентами М и В в зависимости от задач рождаются различные виды отношений, которые должны носить кооперативный характер.

Структуры и организация МАС различны, однако можно выделить общие черты: например, в [118] дорожно-транспортное состояние рассматривается как отдельный агент МАС. Существуют также децентрализованные системы [119, 120].

4.2. Агенты в многоагентной транспортной системе: описание и взаимодействие

Каждая МАС обслуживает один перекресток. При этом перекресток интерпретируется как М, а автомобиль – как В.

Взаимодействия типа «В – М» (рис. 4.1). В общих чертах процедура пересечения перекрестка выглядит следующим образом: В, подъезжая к перекрестку, высылает сообщение М о пересечении перекрестка, передавая необходимую информацию (местоположение, время прибытия на перекресток, скорость движения, полоса прибытия, полоса назначения). Способ передачи не принципиален, она может быть реализована как через беспроводную сеть, так и через Интернет. М необходимо дать В положительный ответ (с информацией о пересечении) или отрицательный (с причиной отказа). М работает как сервер в режиме реального времени, поэтому срок принятия решения и отправки ответа ограничен. Решение может зависеть от состояния перекрестка – количества машин в очередях, других заявок и т. д.

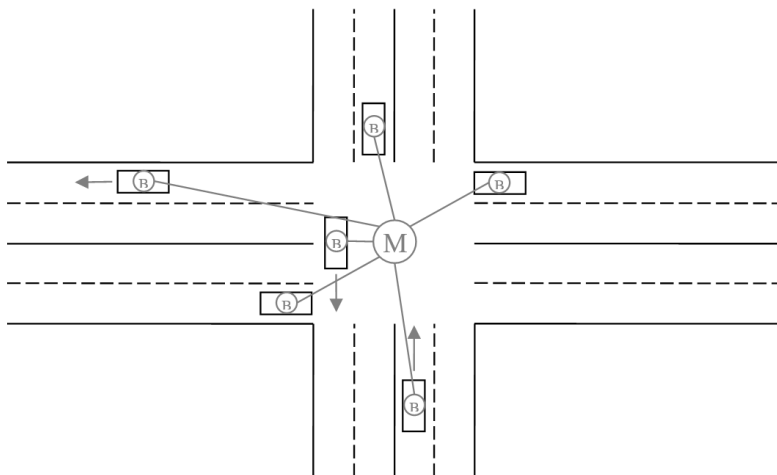


Рис. 4.1. Взаимодействия типа «В – М»

Взаимодействия типа «В – В» (рис. 4.2). Водители взаимодействуют между собой во время движения по дороге. Технология «дорожного поезда» (Road Train Technology), предлагаемая SARTRE project [121], предполагает организацию в караван автомобилей, едущих друг за другом. Машины в караване выравнивают расстояния между собой посредством расположенных спереди датчиков радарного, ультразвукового или лазерного типов и путем сообщения друг с другом. Установленное расстояние должно быть минимальным и безопасным для определенной скорости и условий движения. Формирование дорожного поезда экономит время при старте и остановках машин, так как электронная техника (датчики, компьютеры и т. д.) реагирует практически мгновенно в отличие от человека. Экономленное при старте время можно рассчитать по формуле

$$T = (t_1 - t_2)n, \quad (4.1)$$

где t_1 – время реагирования водителя после начала движения впереди стоящего автомобиля; t_2 – время реагирования водителя в составе дорожного поезда; n – количество автомобилей в очереди.

Следует отметить, что при увеличении количества машин в очереди экономленное время растет линейно. Кроме того, такая экономия весьма существенна при пересечении перекрестка целым дорожным поездом [131].

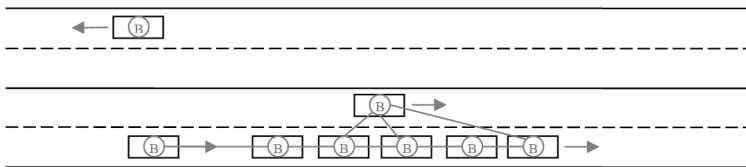


Рис. 4.2. Взаимодействие типа «В – В»

Автономный дорожный поезд состоит из упорядоченной очереди автомобилей, в которой первый В является ведущим и несет всю информацию об остальных участниках. В любое время посредством предварительной подачи заявки ведущему можно встроиться в поезд (в конец или в середину) или покинуть его. Если В покидает очередь, находясь в середине, поезд смыкается.

Взаимодействия типа «М – М» (рис. 4.3). Кооперация М приводит к децентрализованному управлению городским движением. Для М, получающего информацию о соседних перекрестках, открываются возможности эффективного управления протекающими мимо него транспортными потоками с учетом ситуации на соседних узлах городской сети.

Кооперация М способствует решению нескольких задач:

- *планирование пути* – информация, предоставляемая другими узлами сети, используется для навигации автомобилей по городу и выбора оптималь-

ной траектории пути; таким образом, у системы появляются эмерджентные свойства – равномерное распределение нагрузки городской сети;

- *предостережение об опасности* – мониторинг движения транспортных потоков, устранение взаимоблокировок с соседними перекрестками (gridlocks), предупреждение автомобилей о проблемных узлах городской сети [28];

- *сбор статистики* – возможность сбора информации о городском дорожном транспорте (выделение загрязнений, среднестатистическое количество автомобилей, их параметры и т. д.) [129].

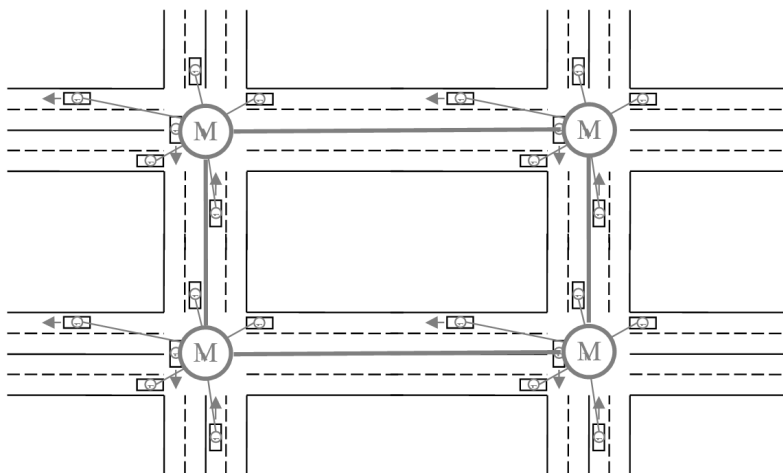


Рис. 4.3. Взаимодействие типа «М – М»

Протокол многоагентного общения. Протокол общения агентов обеспечивает необходимое взаимодействие с использованием минимума команд. Он состоит из нескольких типов сообщений, которые делятся на группы по типам агентов [130].

Типы сообщений «В → М»:

- *запрос* – высылается В с целью получения резервации; сообщение включает свойства В (идентификатор, размер автомобиля и т. д.), а также параметры, касающиеся будущей резервации (время прибытия к перекрестку, прогнозируемая скорость прибытия, направление движения, полоса прибытия); данное сообщение может быть выслано также в случае, когда В хочет изменить параметры резервации;

- *подтверждение резервации* – высылается при подтверждении резервации от В;

- *отмена резервации* – высылается в случае, когда В не согласен на резервацию или больше в ней не нуждается.

Типы сообщений « $M \rightarrow B$ »:

- *предложение резервации* – отправляется в ответ на запрос В о резервации и содержит параметры зарезервированных места и времени пересечения перекрестка, а также полную информацию для успешного пересечения; В может либо подтвердить резервацию, либо отклонить ее;
- *отказ в резервации* – отправляется в случае, когда совершить резервацию с предложенными В параметрами либо невозможно, либо неприемлемо, с точки зрения М; сообщение включает причину отказа;
- *уведомление* – уведомление о принятии сообщения «подтверждение резервации» от В; фактически является сообщением логического завершения протокола.

Основная задача М заключается в обеспечении возможности пересечения перекрестка более эффективным способом по сравнению с традиционным светофорным регулированием. М получает информацию обо всех В, подъезжающих к перекрестку, что позволяет планировать их разъезд наиболее быстрым способом.

4.3. Подсистема планирования разъезда на перекрестке

Для обеспечения разъезда на перекрестке необходима система планирования агентов. Решение задачи может осуществляться разными методами.

Метод резервирования. Система резервирования – это подсистема М, занимающаяся планированием движения машин через перекресток; подробное ее описание можно найти в [122, 123]. Получив запрос резервации от В, система резервирования вычисляет параметры в зависимости от текущего состояния перекрестка и высылает ответ. Если резервацию сделать невозможно, М высылает сообщение об отказе.

М делит перекресток (точнее, площадь пересечения двух дорог, представляющую собой квадрат) на сетку из $N \times N$ клеток. Каждая клетка может иметь два состояния: «свободно» и «занято». Время дискретно и также разделено на участки одинаковой продолжительности.

Таким образом, ресурс резервации представляет собой трехмерное пространство $N \times N \times T$. Количество резервированных клеток должно быть таким, чтобы их площадь покрыла площадь габаритов автомобиля в соответствующем положении. Резервация местоположения машины в определенный момент времени показана на рис. 4.4, а. Если хотя бы один кадр симуляции пересекает кадр ресурса резервации, резервация автомобиля на весь путь пересечения перекрестка не может быть осуществлена (рис. 4.4, б). В этом случае кадр следует понимать как состояние клеток перекрестка в определенный момент времени.

Параметры, получаемые от В:

- 1) время прибытия к перекрестку;
- 2) прогнозируемая скорость на момент начала пересечения;
- 3) направление движения и полоса прибытия;

- 4) габариты автомобиля;
- 5) максимальная скорость автомобиля;
- 6) минимальное и максимальное ускорение автомобиля.

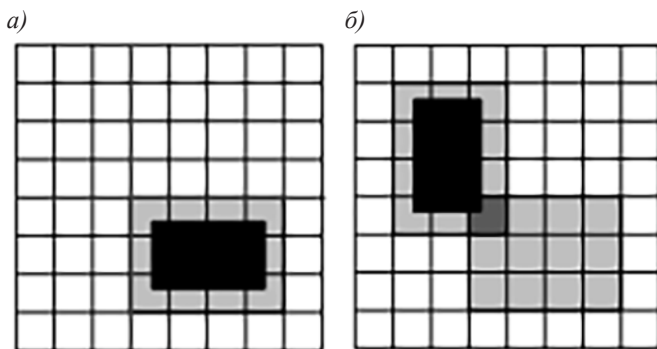


Рис. 4.4. Возможные результаты резервации: *а* – успешная; *б* – отказ

Алгоритм резервирования:

- 1) *М* на основе параметров *В* симулирует движение автомобиля через перекресток и в соответствии со всеми параметрами машины (ускорение, скорость, размеры) прокладывает предполагаемый путь;
- 2) *М* проверяет необходимые для движения *В* клетки в ресурсе резервации;
- 3) если все клетки симулированного движения свободны, то *В* высылаются предложение о резервации, в противном случае – сообщение об отказе.

Таким образом, система резервирования распределяет ресурс резервации для *В*. Каждая клетка может быть зарезервирована для *В* на определенное время. Для каждой новой заявки на резервацию *М* проверяет наличие возможности бронирования определенного пути. Общаются заявки по принципу FIFO («первый пришел – первый ушел»).

По результатам экспериментов со специально разработанным программным обеспечением для имитационного моделирования [123] система резервирования показала на порядок лучшие результаты по сравнению со светофорным регулированием движения. Однако при высокой загруженности перекрестка, когда на всех полосах движения машины вынуждены становиться в очередь, для них приходится резервировать места с нулевой начальной скоростью. Очевидно, что автомобилю с нулевой начальной скоростью понадобится больше ресурса, что замедлит общий процесс разъезда.

В настоящей монографии предлагается модифицированный метод резервирования.

Модифицированный метод резервирования с автономным дорожным поездом. Заключается в комбинировании метода резервирования и технологии дорожного поезда. Ведущий дорожный поезд *В*, подъезжая к перекрестку, от-

правляет М заявку на пересечение, где в параметрах дополнительно указывает длину всего поезда. Кроме этого, резервирование дорожного поезда ничем не отличается от резервирования проезда обычного автомобиля. М должен давать дорожному поезду более высокий приоритет и планировать пропустить его через перекресток раньше обычных В, так как в поезде пройдут несколько машин сразу. При этом машины организованного дорожного поезда будут разгоняться практически одновременно, что приведет к эффективному использованию ресурса М и увеличению пропускной способности перекрестка как в обычных условиях, так и при высокой загрузке.

Фазы регулирования перекрестка. В ходе исследований, направленных на повышение эффективности интеллектуального перекрестка, были проанализированы фазы его регулирования. В табл. 4.1 и 4.2 представлены наиболее предпочтительные фазы пересечения Х-образных (рис. 4.5) и Т-образных (рис. 4.6) перекрестков. Количество полос прилегающей дороги равняется количеству возможных вариантов дальнейшего движения (исключая разворот). Стрелки указывают направления движения (налево, прямо, направо). Для каждой фазы представлен набор состояний каждой полосы движения: «1» – движение разрешено, «0» – запрещено.

Таблица 4.1

Фазы Х-образного перекрестка

Фазы	Север (N)			Юг (S)			Запад (W)			Восток (E)		
	←	↑	→	←	↑	→	←	↑	→	←	↑	→
	E	S	W	W	N	E	N	E	S	S	W	N
Поворот налево («N–E»; «S–W»)	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
Поворот направо («W–N»; «E–S»)	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0
Прямо («N–S»)	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Прямо («W–E»)	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1
Разгрузочная для дороги N	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Разгрузочная для дороги S	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Разгрузочная для дороги W	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1
Разгрузочная для дороги E	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

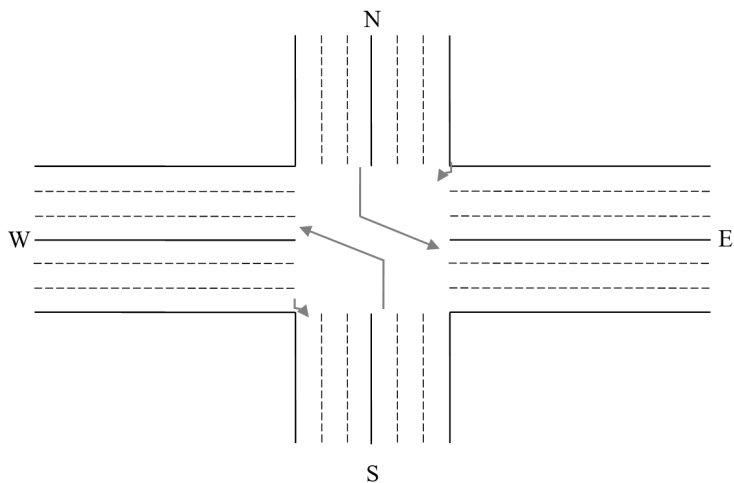


Рис. 4.5. Поворот налево («N-E»; «S-W»)

Таблица 4.2

Фазы Т-образного перекрестка

Фазы	Запад (W)		Юг (S)		Восток (E)	
	↑	→	←	→	←	↑
	E	S	W	E	S	W
Поворот налево («E-S»)	0	0	0	1	1	1
Поворот налево («S-W»)	0	1	1	1	0	0
Прямо («W-E»)	1	1	0	0	0	1

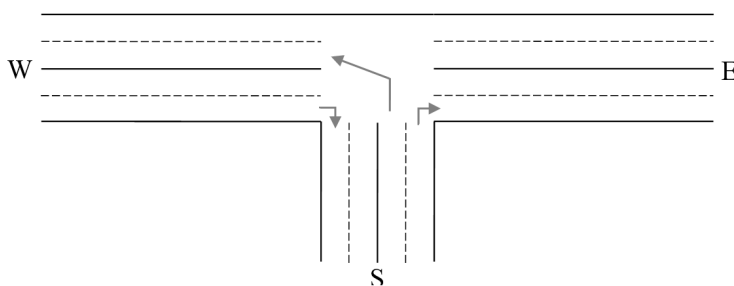


Рис. 4.6. Поворот налево («N-E»; «S-W»)

Из таблиц видно, как перекрестки уменьшают пропускную способность дорог. В любой фазе X-образного перекрестка проезд разрешен для 4 полос из 12, а у T-образного перекрестка – для 3 полос из 6.

Отношение пропускной способности перекрестка к пропускной способности прилегающей дороги для каждой из фаз:

- для X-образного перекрестка: $4/12 \times 100 \% = 33 \%$;
- для T-образного перекрестка: $3/6 \times 100 \% = 50 \%$.

Таким образом, пропускная способность X-образного перекрестка в 4 раза меньше пропускной способности прилегающей дороги, а T-образного перекрестка – в 3 раза.

4.4. Система имитационного моделирования управления перекрестком

Система имитационного моделирования AIM4 (Autonomous Intersection Management, version 4), реализованная на языке Java, разработана в Лаборатории искусственного интеллекта Техасского университета в Остине (AI Laboratory, University of Texas at Austin) [124]. Целью проекта было создание масштабируемой, безопасной и эффективной системы моделирования на основе многоагентного подхода для управления беспилотными автомобилями на перекрестках.

В данном разделе описаны графический интерфейс и основные программные модули AIM4, включая модули симуляций и управления перекрестком, а также реализация метода резервирования.

Исходный код AIM4 находится на официальном сайте проекта <https://www.cs.utexas.edu/~aim/>. Для удобства работы над проектом была использована среда программирования Eclipse последней версии [125], которая поставляется вместе с последней версией виртуальной машины Java.

Рассмотрим пользовательский интерфейс системы моделирования AIM4 и пошаговое генерирование транспортной модели в симуляторе.

Симулятор может быть настроен для моделирования:

- управления перекрестком на основе многоагентного подхода с использованием потоков обмена сообщениями между агентами;
- управления перекрестка светофорными сигналами;
- управления перекрестка стоп-сигналом.

После запуска программы AIM4 появится главное окно с настройками системы моделирования. В верхней части экрана настройки есть выпадающее меню, где можно выбрать тип генерируемой модели и исходные либо проектируемые параметры.

4.4.1. Настройки генерации моделирования для светофорного регулирования перекрестка (Traffic Signals)

После выбора **Traffic Signals** из выпадающего меню появится окно с настройками светофорного регулирования (рис. 4.7–4.9).

Настройки для генерации данной модели:

- **Traffic Level** – количество генерируемых автомобилей на каждую полосу дороги (по умолчанию – 800 автомобилей в час);
- **Number of Lanesper Road** – количество полос на каждой из прилегающих к перекрестку дорог (по умолчанию – 3 полосы);
- **Green Signal Duration** – продолжительность зеленой фазы светофора (по умолчанию – 30 с);
- **Yellow Signal Duration** – продолжительность желтой фазы светофора (по умолчанию – 5 с).

При нажатии **Start** будет сгенерирована модель с текущими настройками.

4.4.2. Настройки генерации моделирования для многоагентного подхода (AIM Protocol)

Настройка генерирования модели для многоагентного подхода производится аналогично предыдущему пункту, за исключением некоторых параметров.

После выбора **AIM Protocol** из выпадающего меню появится окно с настройками регулирования перекрестка для многоагентного подхода (рис. 4.10).

Настройки для генерации данной модели:

- **Traffic Level** – количество генерируемых автомобилей на каждую полосу дороги (по умолчанию – 800 автомобилей в час);
- **Speed Limit** – ограничение скорости на перекрестке (по умолчанию – 25 м/с);
- **Stopping Distance Before Intersection** – расстояние между перекрестком и транспортным средством, которое должно остановиться, если не может получить резервацию (по умолчанию – 1 м);
- **Number of North-bound/South-bound Roads** – количество дорог в направлении «север – юг» (по умолчанию – 1 дорога);
- **Number of East-bound/West-bound Roads** – количество дорог в направлении «восток – запад» (по умолчанию – 1 дорога);
- **Number of Lanesper Road** – число полос каждой дороги, прилегающей к перекрестку (по умолчанию – 3 полосы).

После настройки параметров нужно нажать кнопку **Start** в левом нижнем углу окна, чтобы начать моделирование.

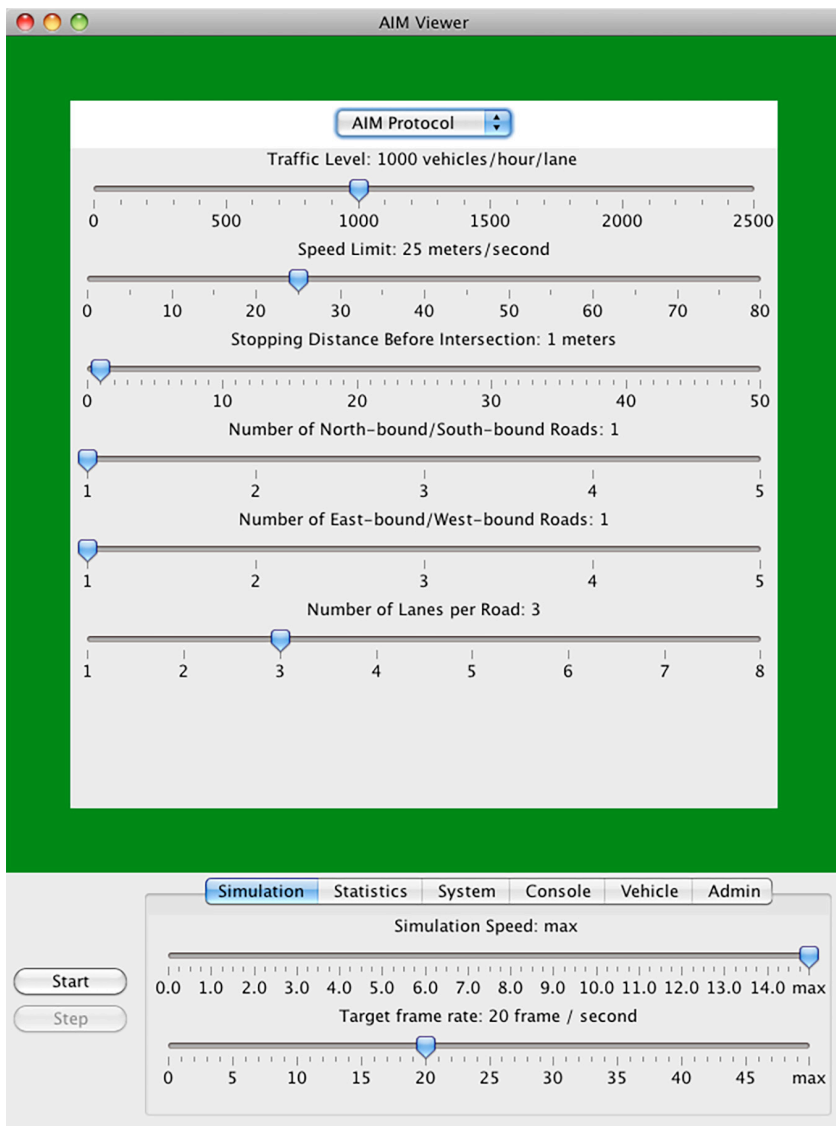


Рис. 4.7. Окно настроек автономного управления перекрестком

Скорость симуляции регулируется слайдером **Simulation Speed** (по умолчанию максимальна), а частота обновления экрана – слайдером **Target Frame Rate** (по умолчанию также максимальна – 20 кадров в секунду). В левом верхнем углу экрана указывается текущее время моделирования, отсчитываемое от момента начала. Начальное дискретное время моделирования равняется 0 и увеличивается с шагом 0,02.

Цвет автомобиля указывает состояние бронирования (рис. 4.11):

- желтый – автомобиль еще не получил резервацию;
- голубой – автомобиль послал заявку на резервацию, но еще не получил ответа от М;
- белый – автомобиль получил резервацию и готов пересекать перекресток.

При нажатии на каждого В появляется подсказка, описывающая данный автомобиль (его идентификационный номер и спецификация). Пункт меню **Dump Data Collection Lines' Data** позволяет пользователю сохранить данные и экспортировать их в выбранный файл.

При моделировании сложной улично-дорожной сети, состоящей из 3×3 перекрестков, нужно установить количество North-bound/South-bound дорог до 3, а East-bound/West-bound дорог – 3. После запуска генерации появится окно моделирования (рис. 4.12).

Итак, в данной главе мы рассмотрели МАС для городского транспортного движения.

Технически автономное дорожно-транспортное движение уже может быть реализовано, так как все необходимые технологии находятся на стадии тестирования и внедрения в производство. Описанные информационные технологии являются предпосылками к созданию условий для реализации интеллектуальной транспортной системы на основе МАС.

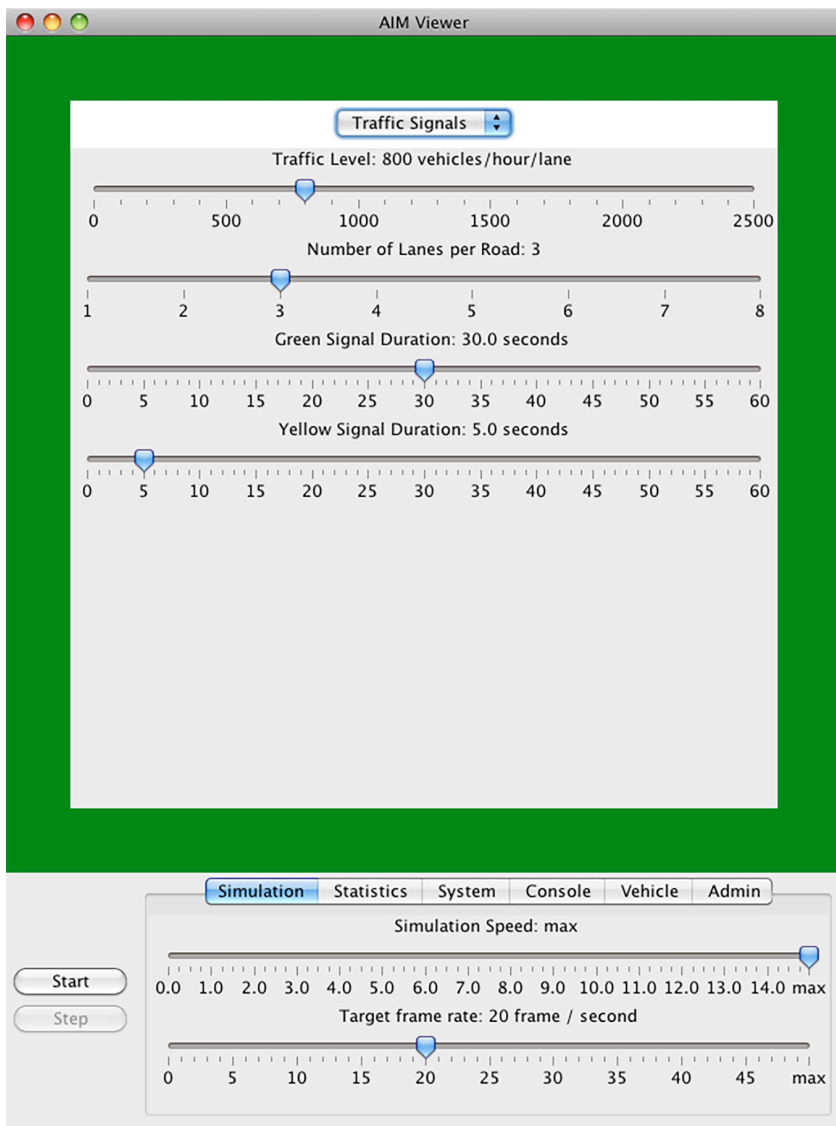


Рис. 4.8. Окно настроек светофорного регулирования перекрестка

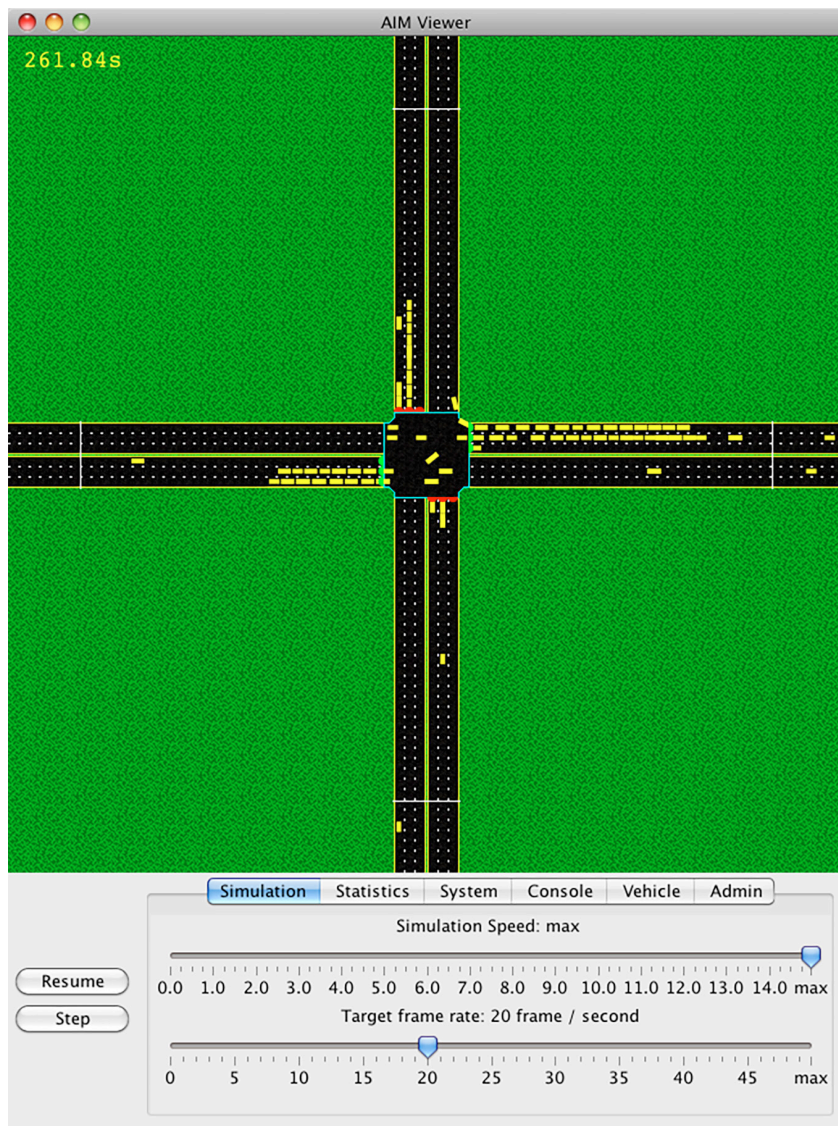


Рис. 4.9. Окно моделирования светофорного регулирования перекрестка

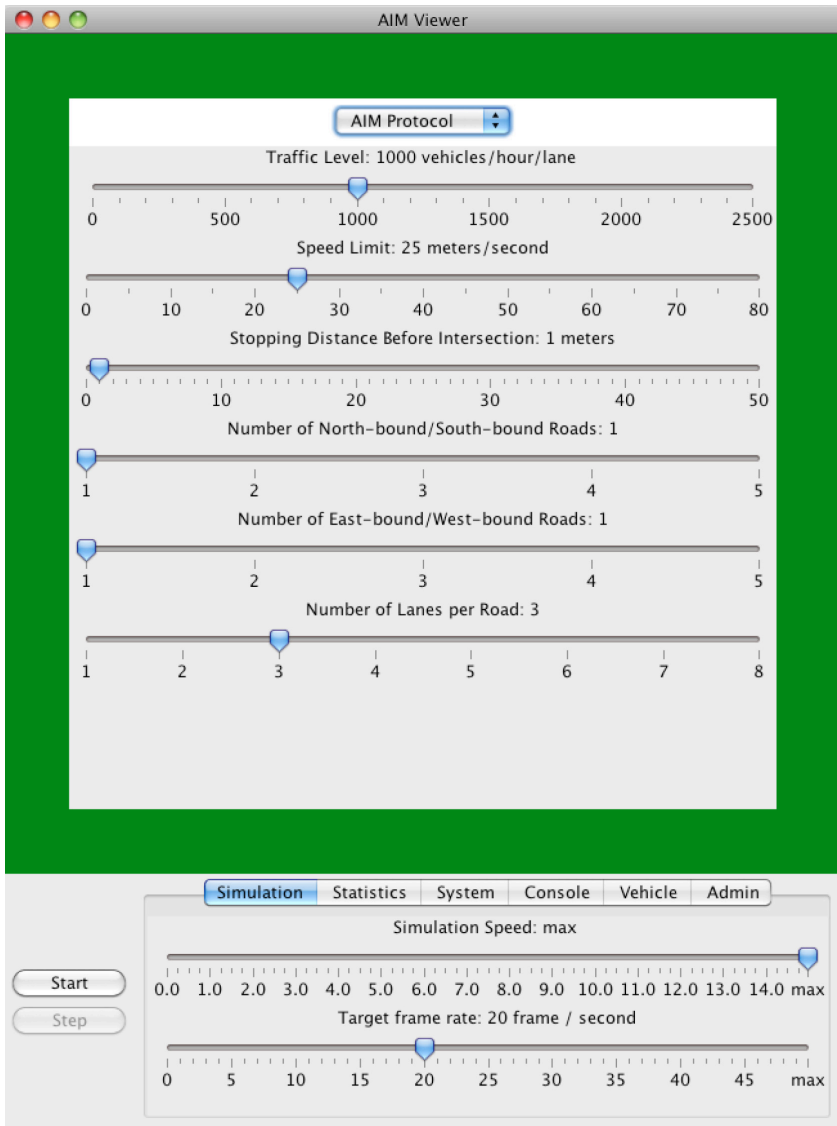


Рис. 4.10. Настройки регулирования перекрестка на основе многоагентного подхода

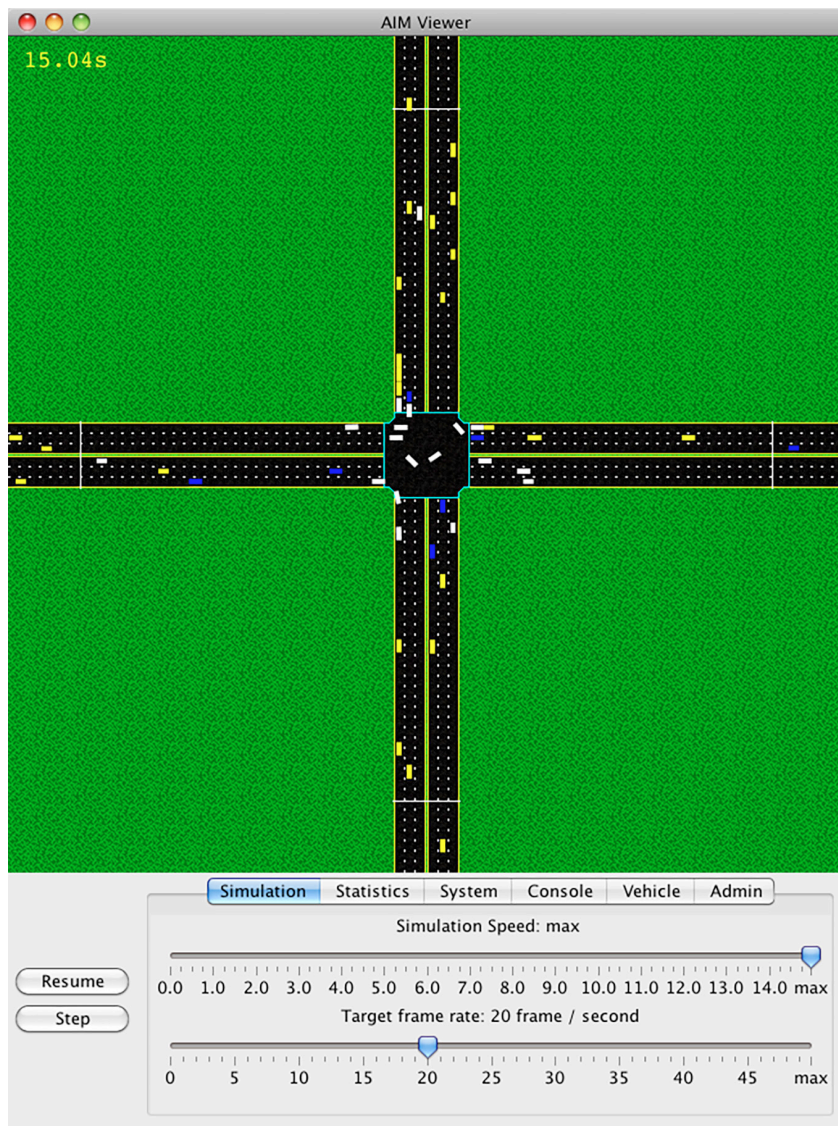


Рис. 4.11. Моделирование простого перекрестка с прилегающими трехполосными дорогами

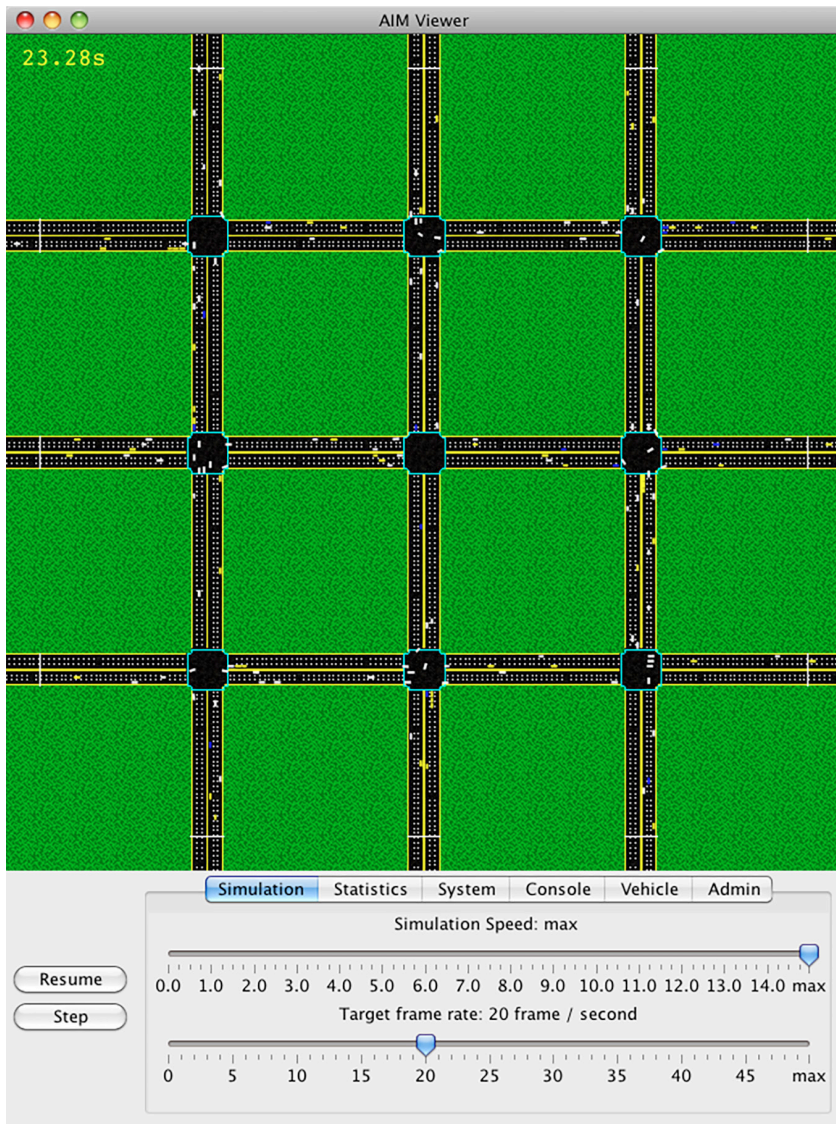


Рис. 4.12. Моделирование сложной улично-дорожной сети

Глава 5. ВСТРОЕННЫЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ВОЖДЕНИЯ

5.1. Системы управления автомобилем

Количество личных автомобилей во всем мире увеличилось с 1980 г. по сегодняшний день на 84 %. В связи с этим возросло количество ДТП. Вождение транспортного средства – дело не трудное, но монотонное. Управление автомобилем требует повышенной внимательности, бдительности и осторожности. Из-за невнимательных водителей случаются различные аварии, каждый день на дорогах погибают тысячи людей из-за собственных ошибок или неудачного стечения обстоятельств.

Современный автомобиль активно роботизируется изнутри и уже оснащен целым рядом систем автоматизации. Помимо прочно вошедших в обиход автоматических коробок передач, систем автоматической блокировки торможения и пр., существуют: система информирования о состоянии дорожного покрытия (в частности, об обледенении); система адаптивного круиз-контроля, воспринимающая данные от систем обнаружения соседних автомобилей; система взаимного информирования автомобилей, снабженных GPS; средства слежения за дорожной разметкой; системы автоматизированной парковки; устройства для просмотра мертвых зон; системы контроля скорости на поворотах и т. д.

На данном этапе человечество совершило прорыв в автоматизации многих ключевых систем автомобиля. Современный автомобиль, сходящий с конвейера, содержит в себе огромную массу всевозможных приборов и датчиков, предназначенных для увеличения комфорта водителя и усиления безопасности. Но основной вектор, задаваемый всеми крупными автоконцернами, – это полная (или пока частичная) автоматизация управления автомобилем. Ведущие компании разрабатывают различные технологии, которые впоследствии уберегут человека из-за руля.

Конечно, переход к беспилотному транспорту не совершится одномоментно. Автомобили будут постепенно оснащаться все новыми системами, помогающими водителям управлять легко и безопасно. На некотором этапе количество таких систем перерастет в новое качество – беспилотное вождение без непосредственного участия человека. Таким образом, этот переход является вопросом не только времени, но и постоянного развития интеллектуальных систем автоматизации транспорта. Некоторые из подобных систем рассмотрены в настоящей главе.

Глобальный прогресс привел научное сообщество к внедрению разнообразных интеллектуальных технологий в абсолютно любые ниши производственных отраслей. Создание, развитие и воплощение новых технологий в коммерческих продуктах является непрерывным и закономерным процессом, без которого технический прогресс остановился бы, а рыночную экономику постиг неминуемый коллапс. Однако каждая из новых разработок имеет свои особенности и определенный потенциал. Если одна в состоянии лишь незначительно улучшить существующие решения, то другая способна совершить настоящий переворот в той или иной отрасли.

Одной из ключевых областей развития интеллектуальных технологий является разработка интеллектуальных транспортных систем (ИТС), которые обеспечивают возможность интеллектуального взаимодействия с единичными дорожными транспортными средствами или с транспортным потоком посредством информационных и коммуникационных технологий, а также транспортно-дорожной инфраструктуры.

Растущее разнообразие транспорта и перевозок, уплотнение дорожного трафика и множество других факторов (в том числе и человеческий) привели к повышению актуальности данной тематики в рамках внедрения интеллектуальных технологий. Исходя из этого, можно выделить несколько ключевых целей для разработчиков той или иной бортовой интеллектуальной системы:

- удовлетворение социального спроса на выполнение транспортной работы;
- повышение безопасности движения;
- снижение нагрузки на окружающую среду;
- сохранение дорожного полотна;
- экономическая выгода.

Ожидаемым результатом внедрения подобных технологий является обеспечение максимальной эффективности функционирования транспортно-дорожного комплекса страны путем повышения качества удовлетворения потребностей экономики в целом и населения в безопасных и эффективных транспортных услугах. Реализовать повышение мобильности населения до требуемого уровня можно за счет внедрения технологий организационного управления транспортной системой с использованием современных информационно-телекоммуникационных и телематических технологий. При этом в систему управления войдут как дорожно-транспортная инфраструктура, так

и все многообразие транспортных средств с различными характеристиками, задачами и оперативным статусом на дороге.

Телематика – это управление удаленными объектами. Важным качеством бортовой интеллектуальной системы (БИС) является изменение статуса транспортной единицы от независимого, самостоятельного и в значительной степени непредсказуемого субъекта дорожного движения в сторону активного предсказуемого субъекта транспортно-информационного пространства. Оперативная задача БИС заключается в осуществлении и поддержке автоматизированного и автоматического взаимодействия всех транспортных субъектов в реальном времени на адаптивных принципах. Другими словами, после внедрения подобных интеллектуальных технологий дорожный транспорт должен превратиться из хаотичного потока транспортных единиц в сложноструктурированную автоматизированную систему.

Наиболее важную роль в решении вопросов разработки БИС играет наличие четкого нормативно-правового и технического регулирования требований к развитию трех базовых сегментов интеллектуальных систем:

- бортовых интеллектуальных элементов;
- принципов и правил телематического взаимодействия транспортных средств друг с другом и с дорожной инфраструктурой;
- дорожной информационной инфраструктуры БИС.

Данная деятельность должна быть предметом четкого государственного регулирования. В силу этого основные вопросы развития требований к элементной базе БИС для обеспечения выполнения всех оптимизационных задач (в частности, вопросы развития технических требований к телематическому оснащению транспортных средств в рамках БИС) должны решаться и контролироваться соответствующим государственным органом.

В настоящее время основным фактором, сдерживающим практическую реализацию интеллектуального взаимодействия наземных дорожных транспортно-технологических средств между собой и с транспортно-дорожной инфраструктурой, является отсутствие требований к системам подобного рода и стандартов, регламентирующих их взаимодействие.

Основная характеристика интеллектуального транспортного средства – это способность постоянно контролировать действия водителя, автомобиль и окружающую среду и помогать человеку наиболее эффективно и безопасно управлять в самых сложных ситуациях. По сути, речь идет о помощнике, «втором водителе». Если в 1980-х гг. основное внимание было сосредоточено на совершенствовании технических возможностей автомобиля, то в настоящее время акцент делается на проблеме управления им.

Развитие интеллектуальных транспортных средств было инициировано двумя амбициозными проектами: DARPA (Autonomous Land Vehicle in USA) и PROMETHEUS (Programmable for all European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety in Europe). Эти программы подтвердили возможность практического внедрения интеллектуальных систем в автомобилях, однако од-

новременно было выявлено, что технический уровень того времени не позволяет начать серийное производство таких систем, поскольку их цена слишком высока для коммерческой реализации. Сегодня ситуация изменилась: развитие автомобильной промышленности и достаточно низкая стоимость средств вычислительной техники позволяют реализовать прежние проекты.

Современные транспортные средства являются высокотехнологичными машинами, в конструкции которых используется масса электронных устройств, зачастую более надежных, чем механические системы. Например, первые серийные антиблокировочные системы ABS производства Bosch имели массу до 6,5 кг, а количество электронных элементов в них превышало 140 ед. Современные системы ABS весят порядка 1,5 кг, а их электронная база состоит из десятка элементов.

Электронные системы транспортных средств сегодня в основном являются закрытыми: они получают информацию от различных датчиков автомобиля, анализируют ее с помощью соответствующих программ и вырабатывают в электронном блоке управления команды исполнительным устройствам с целью повышения безопасности движения, удобства управления, эффективности автомобиля и снижения нагрузки на окружающую среду. Вместе с тем сигналы от некоторых систем могут быть использованы как открытые – для передачи во внешнюю среду: информационным центрам, дорожно-транспортной инфраструктуре, другим участникам движения. Транспортное средство может не только передавать информацию от внутренних систем, но и получать ее от внешних источников, а также использовать для более безопасного и эффективного (и даже автоматического) управления.

Рассмотрим возможную структуру БИС автотранспортного средства. По назначению их можно разделить на три основных типа:

- системы управления автомобилем;
- системы информирования водителя;
- системы сбора и передачи информации.

Датчики бывают во многом схожи по структуре. Каждому из них требуется система сбора, обработки и передачи информации по нужному адресу (водителю, в управляющий центр, в офис фирмы и т. д.).

Системы управления автомобилем:

- 1) подсистемы получения информации:
 - от датчиков автотранспортного средства (закрытые);
 - от датчиков и внешних источников «инфраструктура – автомобиль», «автомобиль – автомобиль»;
- 2) подсистема обработки информации;
- 3) подсистема автоматического управления автомобилем.

Системы информирования водителя:

- 1) подсистемы получения информации:
 - от датчиков автотранспортного средства (закрытые);
 - от датчиков и внешних источников «автомобиль – инфраструктура», «автомобиль – автомобиль»;

- 2) подсистема обработки информации;
- 3) подсистема отображения информации для водителя.

Системы сбора и передачи информации:

- 1) подсистемы получения информации:
 - от датчиков автотранспортного средства (закрытые);
 - от датчиков и внешних источников «автомобиль – инфраструктура», «автомобиль – автомобиль»;
- 2) подсистема хранения информации;
- 3) подсистема передачи информации внешним потребителям «автомобиль – инфраструктура», «автомобиль – автомобиль».

Датчик называется закрытым, если данные от него используются только в рамках данного автомобиля. Обычно такие датчики не имеют возможности беспроводного подключения.

В открытых датчиках могут использоваться различные виды беспроводной связи: например, радиосвязь на больших (дециметровые волны) и малых (ультракороткие волны) расстояниях. На небольших расстояниях применяется беспроводная связь по стандартам IEEE 802.11 (Wi-Fi), особенно стандарт IEEE 802.11p (WAVE). В США также используется стандарт DSRC, продвигаемый американской общественной организацией интеллектуального транспорта и Министерством транспорта США. Кроме того, могут быть задействованы технологии WiMAX, GSM, 3G или 4G.

5.1.1. Антиблокировочная система ABS

Система ABS (Anti-lock braking system) предназначена для предотвращения блокировки колес транспортного средства при торможении. Основная ее цель – сохранить устойчивость и управляемость автомобиля.

Система ABS существует уже около века: она была разработана в 1920-х гг. французской компанией Voisin, выпускавшей автомобили и аэропланы, и предназначалась, прежде всего, для авиации [57].

В настоящее время ABS, как правило, является сложной электронной системой торможения, которая может включать противобуксочную систему, систему электронного контроля устойчивости и систему помощи при экстренном торможении.

На легковой автомобиль (Mercedes-Benz S-класса) система ABS впервые была установлена в 1978 г. Первая система, предназначенная для серийного использования, называлась ABS 2 и была разработана Mercedes-Benz совместно с компанией Bosch. Она состояла из электронного контроллера, датчиков скорости на каждом колесе и двух или более гидравлических клапанов, установленных в тормозном контуре. Если система определяла, что колеса вращаются с разной скоростью, она регулировала тормозное усилие, выравнивая скорость вращения, и только затем снова увеличивала тормозное усилие [58].

Типичная ABS способна подавать и сбрасывать тормозное усилие до 20 раз в секунду, помогая сохранить стабильность и уменьшить тормозной путь, препятствуя блокировке колес во время резкого торможения. ABS стала предшественницей таких современных устройств, повышающих безопасность движения, как ESP (Electronic Stability Program – электронная система курсовой устойчивости) и TCS (Traction Control System – система, предотвращающая пробуксовку колес, движущихся с разной скоростью). В настоящее время ABS комплектуется уже три четверти всех автомобилей в мире.

Неконтролируемые дорожные ситуации, вызванные ошибками водителей, сегодня относятся к наиболее опасным явлениям на дороге, поскольку ведут не только к авариям с повреждением или уничтожением автомобиля, но и к человеческим жертвам. С увеличением трафика и ростом всеобщей автомобилизации перед автопроизводителями встала нелегкая задача уменьшения числа аварий, в связи с чем приобрели актуальность различные средства обеспечения личной безопасности (ремень безопасности и др.).

Наличие ABS в большинстве случаев позволяет достичь более короткого тормозного пути (однако иногда тормозной путь может и увеличиваться). Кроме того, ABS помогает водителю сохранять контроль над транспортным средством во время экстренного торможения, т. е. обеспечивает возможность совершения достаточно резких маневров непосредственно в процессе торможения. Сочетание двух этих факторов делает ABS очень результативным средством обеспечения активной безопасности транспорта.

Росту популярности данной системы способствует ее эффективность в реальных условиях, особенно в аварийно-опасной обстановке (гололедица, обледенение и пр.). ABS устанавливается на легковые и грузовые автомобили, мотоциклы, прицепы, колесные шасси самолетов. Согласно данным журнала «За рулем», по состоянию на 2008 г. антиблокировочная система ставилась на 75 % выпускаемых автомобилей [57].

Коэффициент трения скольжения значительно ниже коэффициента трения покоя, поэтому длина тормозного пути с заблокированными колесами (трение скольжения – колеса скользят по поверхности) будет больше, чем длина тормозного пути с еще вращающимися колесами (трение покоя – шина в точке контакта с дорогой находится в покое относительно нее). При этом тормоза обеспечивают усилие чуть меньше того, что требуется для полной блокировки колеса. При достаточном опыте водитель чувствует это усилие сам и, если колеса заблокировались, немного ослабляет нажатие на педаль тормоза, однако при этом он не способен уменьшить давление и тормозное усилие на одном заблокированном колесе.

Система ABS следит за вращением колес и в случае их блокировки слегка уменьшает давление в тормозной системе, чтобы дать колесу провернуться, а затем вновь увеличивает силу сжатия. Таким образом достигается прерывистое торможение, дающее возможность корректировки курса автомобиля в условиях экстремального торможения. Этот процесс повторяется несколько

раз (или несколько десятков раз) в секунду. В 2008 г., по мнению экспертов «За рулем», среднестатистическая ABS срабатывала 20 раз в секунду.

ABS состоит из следующих основных компонентов:

- датчики скорости или ускорения/замедления, установленные на ступицах колес;
- управляющие клапаны (элементы модулятора давления), установленные в магистрали основной тормозной системы;
- блок управления, получающий сигналы от датчиков и управляющий работой клапанов.

Как было сказано выше, опытный водитель может эффективно тормозить и без использования ABS, контролируя момент срыва колес самостоятельно и ослабляя усилие торможения на грани блокировки, отчего торможение получается прерывистым (наиболее часто этот прием используется мотоциклистами). Эффективность такого торможения может быть сравнима с торможением при использовании одноканальной ABS. Многоканальные системы в любом случае имеют преимущество, поскольку могут контролировать тормозное усилие на каждом отдельном колесе, что обеспечивает не только эффективное замедление, но и стабильность поведения транспортного средства в сложных условиях неравномерного сцепления колес с поверхностью дороги.

Для неопытного водителя наличие ABS, безусловно, лучше, так как позволяет ему экстренно тормозить интуитивно понятным способом – просто прикладывая максимальное усилие к тормозной педали или рукоятке и сохраняя при этом возможность маневра.

В некоторых условиях работа ABS может привести к увеличению тормозного пути: например, при использовании автомобильных шин с недостаточным сцеплением с дорогой (при езде зимой на летних шинах и т. п.). На рыхлых поверхностях (глубокий снег, песок, гравий) заблокированные при торможении колеса начинают зарываться в глубину, что дает дополнительное замедление. Незаблокированные колеса тормозят в этих условиях существенно медленнее. Для обеспечения эффективного торможения в подобных случаях ABS на некоторых моделях автомобилей делают отключаемой. Кроме того, отдельные типы ABS имеют специальный алгоритм торможения для рыхлой поверхности, который приводит к многочисленным кратковременным блокировкам колес. Такая техника позволяет достичь эффективного замедления без потери управляемости (как при полной блокировке). Тип поверхности может устанавливаться вручную или определяться системой автоматически, путем анализа поведения автомобиля или при помощи специальных датчиков определения дорожного покрытия.

Система помощи при экстренном торможении (СПЭТ) выявляет экстренное торможение, доводит давление в тормозной системе до максимума и удерживает его таким до полной остановки автомобиля. СПЭТ может быть

реализована с помощью электронных компонентов или гидравлики. При вывлении экстренного торможения учитываются:

- текущая скорость автомобиля;
- скорость нажатия педали тормоза;
- сила (глубина) выжима педали тормоза;
- расстояние до впереди идущего автомобиля;
- другие параметры (например, близость светофора).

Исследования показали, что значительная часть водителей в экстренной ситуации либо не нажимают на педаль тормоза полностью, либо в какой-то момент отпускают ее. Из-за этого тормозной путь получается больше, чем при полностью нажатой педали. Для решения этой проблемы и была разработана СПЭТ.

Впервые система СПЭТ под названием Brake assist появилась на потребительском рынке в 1994 г. – на автомобиле Audi A6 C4. Затем свои разработки предложили компании Volkswagen, Mercedes-Benz, Acura, Infiniti, BMW, Citroen, Rolls-Royce, Land Rover и Volvo.

Появление СПЭТ стало возможным только после появления ABS. Поскольку СПЭТ всегда увеличивает тормозную силу до максимума, в условиях недостаточного сцепления с дорогой возможны блокировка колес и скольжение автомобиля; ABS предотвращает это.

5.1.2. Противобуксовочная система (система контроля тяги)

ASR (Automatic Slip Regulation, Acceleration Slip Regulation – автоматическая противобуксовочная система), TCS (Traction Control System – система контроля тяги), DTC (Dynamic Traction Control – система динамического контроля тяги) – это электрогидравлические системы автомобиля, предназначенные для предотвращения потери сцепления с дорогой путем контроля за буксованием ведущих колес.

Системы существенно упрощают управление автомобилем на влажной дороге или в иных условиях недостаточного сцепления. С помощью датчиков в реальном времени отслеживается скорость вращения колес, и если обнаруживается начало пробуксовки одного из них, то система снижает крутящий момент, подаваемый на колеса от двигателя, либо уменьшает скорость их вращения подтормаживанием.

Впервые система контроля тяги была применена на автомобилях Buick в 1971 г. под торговой маркой MaxTrac. Компьютер определял буксование ведущих колес и снижал обороты двигателя, чтобы уменьшить подаваемый на колеса крутящий момент. В Европе систему начали использовать в 1987 г. – на автомобилях Mercedes-Benz S-класса с 8-цилиндровыми двигателями. В совре-

менных автомобилях борьба с буксованием ведущих колес – одна из функций системы динамической стабилизации, которая широко применяется, в частности, в автогонках. В «Формуле-1» первой ее стала использовать команда Ferrari в 1990 г. В 2008 г. в «Формуле-1» система была запрещена.

Принцип действия системы контроля тяги. При помощи датчиков угловой скорости, установленных на колесах, электронный блок управления отслеживает скорость вращения колес при разгоне автомобиля. Если обнаруживается резкое возрастание скорости вращения одного из ведущих колес (что означает потерю сцепления и начало буксования), электронный блок предпринимает меры для снижения тяги и (или) притормаживания этого колеса.

В зависимости от реализации системы для снижения тяги могут использоваться следующие методы:

- прекращение искрообразования в одном или нескольких цилиндрах двигателя;
- уменьшение подачи топлива в один или несколько цилиндров;
- закрытие дроссельной заслонки (если к ней подключено электронное управление);
- изменение угла опережения зажигания.

Одновременно, для восстановления сцепления с дорогой и увеличения крутящего момента на противоположном относительно дифференциала колесе, производится кратковременное подтормаживание колеса, потерявшего сцепление, при помощи электрогидравлических актуаторов.

Противобуксовочная система использует те же датчики и частично те же механизмы, что ABS и СПЭТ, поэтому оборудованные ею автомобили также оснащаются и этими системами.

В большинстве автомобилей имеется возможность временно отключать противобуксовочную систему. Но при обычном вождении делать это настоятельно не рекомендуется, так как система помогает сохранить сцепление с дорогой и, как следствие, управляемость при разгоне.

5.1.3. Система курсовой устойчивости

Системы курсовой устойчивости (системы динамической стабилизации) – это активные системы безопасности автомобиля, позволяющие предотвратить его занос путем компьютерного управления моментом силы колеса (одного или нескольких).

Многие из таких систем стали уже обыденными: например, система ESC стоит сегодня почти на каждом автомобиле. Конечно, как и многие инновационные разработки, эти системы пока устанавливаются далеко не на самые бюджетные автомобили, но с увеличением их распространения производители вынуждены снижать стоимость устройств из-за возрастающей конкуренции.

Система курсовой устойчивости создана в развитие ABS. Основное ее предназначение – сохранить устойчивость и управляемость автомобиля за счет заблаговременного определения и устранения критической ситуации. Система позволяет предотвратить занос посредством компьютерного управления моментом силы колес и удерживать автомобиль в пределах заданной водителем траектории при различных режимах движения (разгоне, торможении, движении по прямой, в поворотах, при свободном качении). С 2011 г. оснащение системой курсовой устойчивости новых легковых автомобилей является обязательным в США, Канаде и странах Евросоюза [59].

В зависимости от производителя системы курсовой устойчивости имеют следующие названия:

- ESP (Electronic Stability Control) – установлена на большинстве автомобилей в Европе и Америке;

- ESC (Electronic Stability Program) – на автомобилях Honda, Kia, Hyundai;
- DSC (Dynamic Stability Control) – на автомобилях BMW, Jaguar, Rover;
- DTSC (Dynamic Stability Traction Control) – на автомобилях Volvo;
- VSA (Vehicle Stability Assist) – на автомобилях Honda, Acura;
- VSC (Vehicle Stability Control) – на автомобилях Toyota;
- VDC (Vehicle Dynamic Control) – на автомобилях Infiniti, Nissan, Subaru.

Исполнение этих устройств несколько отличается, но все они включают ряд одинаковых систем для снижения вероятности возникновения аварий.

Система курсовой устойчивости является системой активной безопасности высокого уровня и содержит следующие компоненты:

- антиблокировочную систему ABS;
- систему распределения тормозных усилий (Electronic Brake Distribution – EBD);
- электронную блокировку дифференциала (Elektronische Differenzial Sperre – EDS);
- антипробуксовочную систему (Automatic Slip Regulation – ASR).

Система включает:

- входные датчики;
- блок управления;
- гидравлический блок.

Входные датчики (табл. 5.1) фиксируют конкретные параметры автомобиля и преобразуют их в электрические сигналы, с помощью которых система динамической стабилизации оценивает действия водителя и параметры движения автомобиля.

Блок управления принимает сигналы от датчиков и формирует управляющие воздействия на исполнительные устройства подконтрольных систем активной безопасности:

- впускные и выпускные клапаны системы ABS;
- переключающие клапаны и клапаны высокого давления системы ASR;
- контрольные лампы систем ESP, ABS, тормозной системы.

Таблица 5.1

Состав входных датчиков системы ESP

Назначение датчиков	Наименования датчиков
Оценка действий водителя	1. Датчик угла поворота рулевого колеса. 2. Датчик давления в тормозной системе. 3. Выключатель стоп-сигнала
Оценка фактических параметров движения	1. Датчики угловой скорости колес. 2. Датчик продольного ускорения. 3. Датчик поперечного ускорения. 4. Датчик скорости поворота автомобиля. 5. Датчик давления в тормозной системе

Блок управления ESP взаимодействует с блоком управления системы управления двигателем и блоком управления автоматической коробки передач. Помимо приема сигналов от этих систем, блок управления ESP формирует управляющие воздействия на элементы системы управления двигателем. Для работы системы динамической стабилизации используется гидравлический блок системы ABS/ASR со всеми компонентами.

Наступление аварийной ситуации определяется путем сравнения действий водителя и параметров движения автомобиля. Если действия водителя (т. е. желаемые параметры движения автомобиля) отличаются от фактических параметров движения, система ESP распознает ситуацию как неконтролируемую и включается в работу.

Стабилизация движения автомобиля может достигаться несколькими способами:

- подтормаживанием определенных колес;
- изменением крутящего момента двигателя;
- изменением угла поворота передних колес (при наличии системы активного рулевого управления);
- изменением степени демпфирования амортизаторов (при наличии адаптивной подвески).

Подтормаживание колес производится путем включения соответствующих систем активной безопасности. Процесс носит циклический характер: увеличение давления, удержание, сброс давления в тормозной системе.

Изменение крутящего момента двигателя в системе ESP реализуется следующими путями:

- изменением положения дроссельной заслонки;
- пропуском впрыска топлива;
- пропуском импульсов зажигания;
- изменением угла опережения зажигания;
- отменой переключения передачи в автоматической коробке передач;
- перераспределением крутящего момента между осями (при наличии полного привода).

В системе курсовой устойчивости путем программного расширения могут быть реализованы некоторые дополнительные функции:

1) *система предотвращения опрокидывания* (Roll Over Prevention – ROP) – стабилизирует движение автомобиля при угрозе опрокидывания за счет уменьшения поперечного ускорения путем подтормаживания передних колес и снижения крутящего момента двигателя; дополнительное давление в тормозной системе создается с помощью *активного усилителя тормозов*;

2) *система предотвращения столкновения* (Braking Guard) – предотвращает опасность столкновения с помощью визуальных и звуковых сигналов, а в критической ситуации реализует нагнетание давления в тормозной системе (автоматическое включение насоса обратной подачи); может быть реализована в автомобиле, оснащенный адаптивным круиз-контролем;

3) *система стабилизации автопоезда* – предотвращает рыскание прицепа при движении автомобиля за счет торможения колес или снижения крутящего момента; может быть реализована в автомобиле, оборудованном тягово-сцепным устройством;

4) *система повышения эффективности тормозов при нагреве* (Fading Brake Support, Over Boost – FBS) – предотвращает возникающее при нагреве недостаточное сцепление тормозных колодок с тормозными дисками путем дополнительного увеличения давления в тормозном приводе;

5) *система удаления влаги с тормозных дисков* – кратковременно повышает давление в контуре передних колес, за счет чего тормозные колодки прижимаются к дискам и происходит испарение влаги; активируется на скорости выше 50 км/ч и при включенных стеклоочистителях [60].

Систему ESC можно рассматривать как расширенный вариант системы ABS. Многие ее узлы объединены с ABS, но ESC дополнительно требует наличия таких компонентов, как датчик положения руля и акселерометр, следящие за реальным поворотом автомобиля. При несоответствии показаний акселерометра показаниям датчика поворота руля система применяет торможение одного или нескольких колес машины для предотвращения начинающегося заноса.

Срабатывает ESC в опасных ситуациях, когда возможна (или уже произошла) потеря управляемости. Путем притормаживания отдельных колес система стабилизирует движение. ESC вступает в работу, когда на большой скорости при прохождении поворота передние колеса сносит с заданной траектории в направлении действия сил инерции (т. е. по радиусу, большему, чем радиус поворота). В этом случае ESC притормаживает заднее колесо, идущее по вну-

тренному радиусу поворота, придавая автомобилю большую поворачиваемость и направляя его в поворот. Одновременно ESC снижает обороты двигателя.

Если при прохождении поворота происходит занос задней части автомобиля, ESC активирует тормоз переднего колеса, идущего по наружному радиусу. Таким образом появляется момент противовращения, исключая боковой занос. Когда скользят все четыре колеса, ESC самостоятельно решает, тормозные механизмы каких колес должны вступить в работу.

Время реакции системы – 20 мс, работает она при любых скоростях и режимах движения.

В настоящее время ESC является наиболее эффективной системой безопасности. Она способна компенсировать ошибки водителя, нейтрализуя и исключая занос, когда контроль над автомобилем уже потерян. Однако ее возможности все же ограничены: если радиус поворота слишком мал или скорость в повороте превышает допустимые границы, никакая программа стабилизации не поможет.

Системы электронного контроля устойчивости, схожие по принципу действия с современными автомобильными, впервые появились в 1960-х гг. в авиации. Они обеспечивали устойчивость самолета в ходе пробег по взлетно-посадочной полосе при посадке или прерванном взлете. Одним из первых такую систему получил англо-французский сверхзвуковой лайнер Concorde по причине высокой посадочной скорости и высокого положения центра масс.

Первые автомобильные системы контроля тяги (противобуксовочные системы) в 1987 г. представили компании Mercedes-Benz и BMW.

В 1990 г. компания Mitsubishi выпустила в Японии автомобиль марки Diamante (Sigma), оснащенный новой активной электронной системой контроля тяги и курсовой устойчивости Traction Control (TCL), где впервые две эти системы были интегрированы в одну.

Компания BMW совместно с Robert Bosch GmbH и Continental Automotive Systems разработала систему для предотвращения заноса, уменьшающую крутящий момент, передаваемый двигателем колесу, и применила ее в модельном ряду BMW 1992 г.

С 1987 по 1992 г. Mercedes-Benz и Robert Bosch GmbH совместно разрабатывали систему электронного контроля устойчивости автомобиля ESP.

В 1995 г. была создана система ESC, но заявить о себе ей удалось только через два года, когда дебютировал первый компактный Mercedes-Benz А-класса. Однако при его проектировании были допущены серьезные ошибки, которые привели к тому, что новая модель имела склонность к опрокидыванию даже на относительно невысокой скорости при выполнении маневров типа «переставка» («лосиный тест», объезд препятствия). В Европе разразился скандал. Продажи автомобилей Mercedes-Benz А-класса были приостановлены, а уже проданные машины – отозваны для устранения недостатков.

Перед инженерами компании встала задача: как повысить устойчивость автомобиля, не перепроектируя его заново и сохранив потребительские каче-

ства? Проблема была решена в значительной степени за счет установки с февраля 1998 г. соответствующим образом настроенной системы ESC.

Главный контроллер ESC представляет собой два микропроцессора, каждый из которых имеет по 56 Кб памяти. Система позволяет считывать и обрабатывать показания, выдаваемые датчиками скорости вращения колес с 20-миллисекундным интервалом.

ESP является также стандартным оборудованием для автомобилей Mercedes S- и E-классов и др.

На автомобилях Daimler-Chrysler применяются системы ESC от лидера в данной области – фирмы Bosch. Их используют также Alfa-Romeo, BMW, Volkswagen, Audi, Porsche и др.

Фактически именно случай с Mercedes-Benz А-класса проложил дорогу повсеместному внедрению электронного контроля устойчивости на европейских автомобилях.

Эксперты называют систему ESC самым важным изобретением в сфере автомобильной безопасности после ремней безопасности. Она обеспечивает водителю лучший контроль над поведением автомобиля, следя за тем, чтобы он перемещался в направлении поворота руля.

По данным американского Страхового института дорожной безопасности (Insurance Institute for Highway Safety – IIHS) и Национального управления безопасностью движения на трассах (National Highway Traffic Safety Administration – NHTSA), примерно одна треть смертельных аварий могла бы быть предотвращена системой ESC, если бы ей были оснащены все автомобили.

5.1.4. Система экстренного торможения

Система предназначена для эффективного использования тормозов в экстренной ситуации. Как показывает практика, ее применение позволяет сократить тормозной путь в среднем на 15–20 %, что порой является решающим фактором предотвращения аварии или уменьшения ее последствий.

Различают два вида систем экстренного торможения:

- *система помощи при экстренном торможении* – позволяет реализовать максимальное тормозное давление при нажатии водителем на педаль тормоза (т. е. дотормаживает за него);

- *система автоматического экстренного торможения* – создает частичное или максимальное тормозное давление автоматически, без участия водителя.

По принципу создания максимального тормозного давления эти системы можно разделить на два типа:

- пневматические;
- гидравлические.

Системы пневматического типа обеспечивают эффективную работу вакуумного усилителя тормозов. К ним относятся:

- Brake Assist (BA), Brake Assist System (BAS), Emergency Brake Assist (EBA) – на автомобилях Mercedes-Benz, BMW, Toyota, Volvo и др.;
- AFU – на автомобилях Renault, Peugeot, Citroen.

Конструкция данных систем включает датчик скорости перемещения штока вакуумного усилителя, электронный блок управления и электромагнитный привод штока. Системы пневматического типа устанавливаются, как правило, на автомобили, оборудованные ABS.

Система BA – это электронная система управления давлением в гидравлической системе тормозов, которая в случае необходимости экстренного торможения и недостаточного при этом усилия на педали тормоза самостоятельно повышает давление в тормозной магистрали, в результате чего автомобиль эффективно и быстро останавливается, причем тормозной путь может значительно сократиться.

BA анализирует силу нажатия водителем на педаль тормоза и в случае, если остановка была действительно аварийной, принимает на себя ответственность за экстренное торможение даже на самых высоких скоростях.

Исследования показали, что 90 % водителей в экстренных случаях не нажимают на педаль тормоза с достаточной силой, когда в этом есть крайняя необходимость. При плавных перемещениях педали тормоза BA не работает и торможение происходит как обычно. Но если скорость перемещения штока превысит 9 см/с, система считает торможение экстренным и тормозное усилие резко возрастает независимо от воли водителя. При этом включается ABS, поэтому блокировки колес не происходит.

В свою очередь, бортовой компьютер по нескольким штатным торможениям способен определить и запомнить манеру торможения конкретного водителя: если его рефлексы не вполне стандартны, блок управления сместит фазы срабатывания системы на миллисекунды раньше.

Система Predictive Brake Assist (PBA) является развитием BA. В ней используется локатор, оценивающий расстояние до препятствия и скорость сближения с ним, для расчета эффективности торможения с целью снижения вероятности наезда движущегося сзади транспорта.

Принцип работы PBA основан на распознавании ситуации экстренного торможения по скорости нажатия педали тормоза. Ее фиксирует датчик скорости перемещения штока вакуумного усилителя и передает сигнал в электронный блок управления. Если величина сигнала превышает установленное значение, блок управления активирует электромагнит привода штока и вакуумный усилитель тормозов дожимает педаль тормоза. Экстренное торможение происходит до срабатывания системы ABS.

Системы гидравлического типа обеспечивают максимальное давление жидкости в тормозной системе за счет использования элементов системы курсовой устойчивости. К ним относятся:

- HBA (Hydraulic Braking Assistance) – на автомобилях Volkswagen, Audi;
- HVB (Hydraulic Brake Booster) – на автомобилях Volkswagen, Audi;

- SBC (Sensotronic Brake Control) – на автомобилях Mercedes-Benz;
- DBC (Dynamic Brake Control) – на автомобилях BMW;
- BA Plus (Brake Assist Plus) – на автомобилях Mercedes-Benz.

Система HBA распознает экстренную ситуацию по скорости и силе нажатия на педаль тормоза. В работе системы используются датчик давления в тормозной системе, датчики частоты вращения колес, выключатель стоп-сигнала. На основании поступающих сигналов электронный блок управления при необходимости включает насос обратной подачи, который доводит давление в тормозной системе до максимального. Действие программы происходит до срабатывания ABS.

Система HVB в определенных режимах эксплуатации автомобиля (прогрев двигателя и др.) дублирует вакуумный усилитель тормозов. Она использует датчик давления в тормозной системе, датчик разряжения в вакуумном усилителе, выключатель стоп-сигнала. При недостаточном разряжении в камерах вакуумного усилителя HVB включает насос обратной подачи и повышает давление в тормозной системе до необходимой величины.

Система SBC учитывает множество факторов, в том числе скорость переноса ноги с педали газа на педаль тормоза, силу нажатия на педаль тормоза, качество дорожного покрытия, направление движения и др. В соответствии с конкретными условиями движения электронный блок управления формирует оптимальное тормозное усилие на каждое колесо.

Система BA Plus контролирует расстояние до впереди идущего автомобиля с помощью радаров системы Distronic. Если расстояние мало и существует опасность столкновения, производится визуальное и звуковое предупреждение водителя. Если водитель тормозит недостаточно эффективно, система до-тормаживает за него.

Системы автоматического экстренного торможения с помощью радара (лидара) и видеокамеры обнаруживают впереди идущий автомобиль. В случае вероятной аварии (при интенсивном сокращении расстояния между автомобилями) система реализует частичное или максимальное тормозное усилие, замедляя или останавливая автомобиль. При этом даже если столкновение произошло, его последствия для обоих автомобилей будут значительно меньше.

Конструктивно система автоматического экстренного торможения построена на других системах активной безопасности – системе адаптивного круиз-контроля (контроль расстояния) и системе курсовой устойчивости (автоматическое торможение).

Существуют следующие системы автоматического экстренного торможения:

- Pre-Safe Brake – на автомобилях Mercedes-Benz;
- Collision Mitigation Braking System (CMBS) – на автомобилях Honda;
- Collision Warning with Auto Brake – на автомобилях Volvo;
- City Safety – на автомобилях Volvo;
- Predictive Emergency Braking System (PEBS) – разработка фирмы Bosch;
- Automatic Emergency Braking (AEB) – разработка TRW Automotive

Holdings.

Следует отметить, что в перечисленных системах кроме автоматического экстренного торможения реализованы и другие функции, в частности предупреждение водителя об опасности столкновения и активация некоторых устройств пассивной безопасности. Поэтому данные системы еще называют *превентивными системами безопасности*.

5.1.5. Адаптивный круиз-контроль

Адаптивный круиз-контроль (Adaptive Cruise Control – ACC) предназначен для автоматического управления скоростью движения автомобиля. Он является развитием системы круиз-контроля, поддерживающей заданную постоянную скорость движения.

ACC автоматически поддерживает переменную скорость движения транспортного средства, соблюдая заданное расстояние до движущегося впереди автомобиля. Для его использования необходимо включить систему и задать скорость движения выше, чем у впереди идущего транспортного средства. При необходимости ACC включает тормозную подсистему. В некоторых ACC также присутствует система предотвращения скатывания автомобиля на подъеме Hill Launch Assist (HLA). ACC зависит от систем ABS и ESP: если любая из них неисправна, ACC выключается.

Первыми автомобилями, оснащенными ACC, были Mercedes-Benz 1997 г. выпуска, BMW e38 и Toyota Celsior 1999 г.

Известные системы адаптивного круиз-контроля:

- Preview Distance Control (PDC) – Mitsubishi;
- Radar Cruise Control (RCC) – Toyota;
- DISTRONIC (DISTRONIC PLUS) – Mercedes-Benz;
- Active Cruise Control (ACC) – BMW;
- Adaptive Cruise Control (ACC) – Volkswagen, Audi, Honda [9].

Система адаптивного круиз-контроля включает:

- датчик расстояния;
- блок управления;
- исполнительные устройства.

Датчик расстояния служит для измерения скорости впереди идущего автомобиля и расстояния до него. В качестве датчика используются радары или лидары (рис. 5.1).

Радар излучает электромагнитные волны в направлении объекта и получает обратный сигнал – эхо. Скорость впереди идущего автомобиля оценивается по изменению частоты отраженной волны, а расстояние до него – по времени возвращения сигнала. Установленные параметры преобразуются в электрические сигналы и передаются в блок управления.

Лидар действует по тому же принципу, что и радар, но использует инфракрасный лазерный луч. Лазерные датчики дешевле радаров, однако они

подвержены влиянию погодных условий, поэтому на автомобилях премиум-класса в системе адаптивного круиз-контроля используются в основном радары.

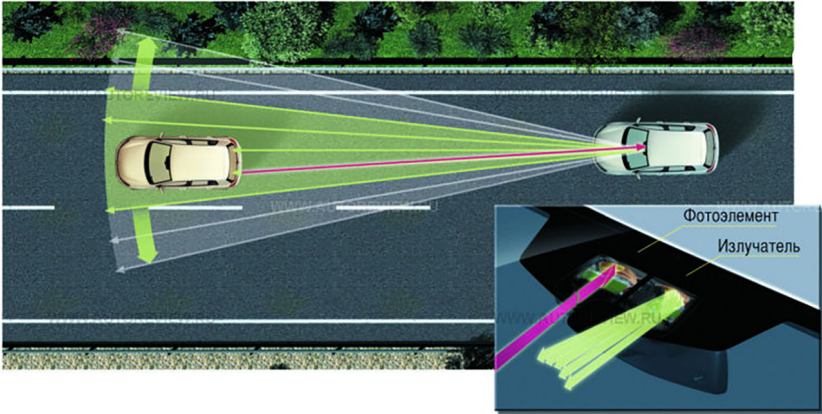


Рис. 5.1. Схема работы адаптивного круиз-контроля

Датчик расстояния устанавливается на переднем бампере или решетке радиатора. Радиус его действия составляет порядка 150 м. В последних разработках адаптивного круиз-контроля используются датчики расстояния короткого и длинного диапазонов. Датчик короткого диапазона обеспечивает замедление автомобиля до полной остановки, длинного – до 30 км/ч. Это расширяет функциональные возможности системы и позволяет использовать ее при движении с малой скоростью на небольшой дистанции (например, в пробках). Так, в системе DISTRONIC Plus используется три датчика: один дальнего действия и два – ближнего [65].

Работа системы адаптивного круиз-контроля осуществляется в диапазоне скоростей от 30 до 180 км/ч. Современные системы ACC работают на скоростях от 0 до 200 км/ч, а также режим торможения и старта в условиях плотного движения (функция Stop and Go).

Адаптивный круиз-контроль обеспечивает движение автомобиля в следующих режимах:

- постоянной скорости;
- ускорения;
- замедления.

При отсутствии на дороге других автомобилей система поддерживает заданную водителем скорость.

При ускорении или перестроении впереди идущего автомобиля происходит ускорение автомобиля до заданной водителем скорости.

При замедлении или перестроении из соседнего ряда впереди идущего автомобиля происходит замедление автомобиля до заданной водителем дистанции. На низкой скорости замедление достигается за счет работы тормозной системы (увеличением давления тормозной жидкости), на высокой – путем снижения мощности двигателя (уменьшением подачи воздуха через дроссельную заслонку) и работой тормозной системы (при необходимости).

В целях повышения безопасности автомобиля отдельные конструкции могут включать следующие системы:

- системы превентивной безопасности;
- системы экстренного торможения;
- системы GPS-навигации.

Адаптивный круиз-контроль служит технической основой разрабатываемых систем автоматического управления автомобилем [65].

Электронный блок управления принимает сигналы от датчиков расстояния, а также входную информацию от других систем и определяет:

- скорость впереди идущего автомобиля и дистанцию до него;
- скорость управляемого автомобиля;
- угол поворота рулевого колеса;
- боковое ускорение;
- радиус кривой.

Программное обеспечение блока сравнивает фактические параметры движения с заданными и формирует управляющие воздействия по изменению скорости движения. Система ACC не имеет своих исполнительных устройств, она использует другие электронные системы автомобиля, с которыми связывается через блоки управления:

- систему курсовой устойчивости;
- дроссельную заслонку с электрическим приводом;
- автоматическую коробку передач [9].

Как было сказано выше, *обычный круиз-контроль* – это устройство, поддерживающее постоянную скорость автомобиля, автоматически прибавляя газ при ее снижении и уменьшая при увеличении (к примеру, на спусках). Он удобен в дальней дороге, когда утомительно долго удерживать педаль газа в одном и том же положении. Устанавливается на автомобили как с автоматической, так и с механической коробкой передач.

Серийно круиз-контроль впервые стал использоваться в начале 1970-х гг. в США, где и получил самое широкое распространение, обусловленное большим количеством длинных автомагистралей, соединяющих пригороды мегаполисов.

Устройство и принцип работы системы круиз-контроля. В самом простом случае под капотом имеется сервомотор, который посредством тяги или троса механически связан с сектором газа на карбюраторе или инжекторе. При движении автомобиля с определенной установившейся скоростью и постоянным углом наклона педали газа (а значит, и углом поворота сектора газа) во-

дитель включает режим стабилизации, и электронный блок управления запоминает текущий угол поворота сектора газа.

При падении скорости движения электрический сигнал рассогласования, снимаемый с внешних датчиков движения (спидометра, коробки передач или блока управления трансмиссии в зависимости от конструкции), приходит на блок управления круиз-контроля. Блок дает команду на сервомотор, который начинает перемещать сектор (и педаль) газа на увеличение подачи топлива. В зависимости от сигнала рассогласования угол поворота сектора будет увеличиваться, пока скорость автомобиля не станет расти или сектор не упрется в ограничитель (автоматическая коробка передач еще раньше автоматом перейдет на пониженную передачу). По достижении заданной скорости движения сервомотор останавливает перемещение сектора газа.

При увеличении скорости свыше заданной сервомотор обрабатывает на перемещение сектора газа в сторону уменьшения подачи топлива вплоть до механического упора по холостому ходу, что вызывает торможение двигателем. При дальнейшем росте скорости водителю необходимо подтормаживать самому, так как круиз-контроль не имеет связи с тормозной системой автомобиля.

Данная система не предназначена для сложных условий движения и должна включаться водителем только на пустых и прямых загородных трассах исключительно в равнинной местности, иначе можно очень легко попасть в аварийную ситуацию. Для экстренного выключения круиз-контроля достаточно поставить ногу на педаль тормоза и слегка нажать, также дополнительно предусматриваются кнопки и рычаги быстрого отключения.

5.1.6. Торможение по проводам (Brake-by-wire)

В традиционной системе тормозов нажатие на педаль активирует гидравлическую систему, включающую в себя гидравлический насос и тормозные трубки на каждое колесо. Mercedes-Benz одним из первых сумел предложить новые тормоза – по системе проводов, чтобы заменить все, что снижает или замедляет эффективность и время отклика тормозов.

Электромеханические тормоза имеют ряд преимуществ, основное из которых – более оперативная реакция, что сокращает тормозной путь и повышает безопасность.

На сегодняшний момент уже существует интеллектуальная система типа Brake Assist, развившая идею торможения по проводам. Она повышает эффективность и скорость торможения, заменяя гидравлические тормоза. Отсутствие механических частей в системе тормозов по проводам полностью исключает вибрацию педали тормоза, вызываемую, как правило, работой антиблокировочной системы.

Еще одна причина растущей привлекательности электромеханических тормозов для автопроизводителей состоит в том, что система занимает гораздо меньше физического пространства, которое является важным фактором

(учитывая, как плотно расположены элементы в двигательном отсеке). Кроме того, не требующие применения агрессивных тормозных жидкостей системы торможения по проводам считаются менее вредными для окружающей среды.

5.1.7. Система активного рулевого управления AFS

Система Active Front Steering (AFS) предназначена для изменения передаточного отношения рулевого механизма в зависимости от скорости движения, а также для корректировки угла поворота передних колес при прохождении поворотов и торможении на скользком покрытии.

AFS разработана совместно компаниями Bosch и ZF Friedrichshafen AG. В настоящее время система устанавливается на большинство моделей BMW в качестве опции и является фирменным атрибутом данной марки. Ее основные конкурентные преимущества – повышение комфорта и безопасности эксплуатации автомобиля.

Система AFS в своей работе взаимодействует с другими системами, в том числе с гидроусилителем руля Servotronic и системой динамической стабилизации DSC.

Конструкция системы AFS объединяет планетарный редуктор и систему управления.

Планетарный редуктор устанавливается на рулевом валу и служит для изменения скорости его вращения. Редуктор включает солнечную шестерню, блок сателлитов и коронную (эпициклическую) шестерню. На входе рулевой вал соединен с солнечной шестерней, на выходе – с блоком сателлитов.

Эпициклическая шестерня имеет возможность вращения. При неподвижной шестерне передаточное число планетарного редуктора равно единице, и рулевой вал передает вращение напрямую. Вращение эпициклической шестерни в ту или другую сторону позволяет увеличить или уменьшить передаточное число планетарной передачи, чем достигается изменение передаточного отношения рулевого механизма. Вращение шестерни обеспечивает электродвигатель, соединенный с ее внешней стороной посредством червячной передачи.

Электронная система управления включает:

- входные датчики;
- электронный блок управления;
- исполнительные устройства.

Входные датчики предназначены для измерения параметров работы системы и преобразования их в электрические сигналы. AFS использует датчики положения электродвигателя, суммарного угла поворота, угла поворота рулевого колеса, системы динамической стабилизации (скорости вращения автомобиля вокруг вертикальной оси и вертикального ускорения). Датчик суммарного угла поворота рулевого механизма может не устанавливаться, в этом случае угол рассчитывается виртуально, на основании сигналов других датчиков.

Электронный блок управления принимает сигналы от датчиков, обрабатывает их и в соответствии с заложенным алгоритмом формирует управляющие воздействия на исполнительные устройства. Блок управления AFS взаимодействует с другими системами автомобиля: Servotronic, DSC, системами управления двигателем и доступа в автомобиль.

В роли исполнительного механизма AFS выступает электродвигатель, обеспечивающий вращение эпициклической шестерни планетарного редуктора. Электродвигатель оборудован аварийным электромагнитным фиксатором, блокирующим червячную передачу. В исходном положении передача заблокирована. При подаче тока на электродвигатель срабатывает электромагнит, и фиксатор, преодолевая усилие пружины, освобождает ротор электродвигателя.

При возникновении неисправности в системе AFS прекращается подача тока на электродвигатель, фиксатор блокирует червячную передачу. Возникновение неисправностей в системе сопровождается срабатыванием сигнальной лампы на панели приборов. При этом на информационном дисплее появляется сообщение системы самодиагностики.

Принцип работы системы AFS. Система активируется при запуске двигателя. Ее работа заключается в изменении передаточного отношения рулевого механизма в зависимости от скорости и условий движения.

При совершении маневров на низкой скорости в соответствии с сигналом датчика угла поворота рулевого колеса включается электродвигатель, который через червячную пару передает вращение на эпициклическую шестерню планетарного редуктора. Вращение шестерни в определенном направлении с максимальной скоростью обеспечивает наименьшее передаточное отношение рулевого механизма, достигающее значения 1:10. При этом руль становится «острым», уменьшается число оборотов рулевого колеса от упора до упора и достигается высокий комфорт управления.

С ростом скорости движения выполнение поворотов сопровождается уменьшением частоты вращения электродвигателя – соответственно, передаточное отношение рулевого механизма увеличивается. На скорости 180–200 км/ч передаточное отношение достигает оптимального значения 1:18. Электродвигатель при этом перестает вращаться, а усилие от рулевого колеса передается на рулевой механизм напрямую.

С дальнейшим ростом скорости электродвигатель снова включается, но вращение производится в противоположную сторону. Передаточное отношение рулевого механизма может достигать 1:20. При этом максимально снижается «острота» рулевого управления, растет число оборотов рулевого колеса от упора до упора, что обеспечивает безопасность маневрирования на высоких скоростях.

Если при прохождении поворота фиксируется избыточная поворачиваемость автомобиля (потеря сцепления задних колес с дорогой), система AFS на основании сигналов датчиков системы DSC самостоятельно корректирует угол поворота передних колес, сохраняя курсовую устойчивость автомобиля.

Если AFS не может полностью обеспечить устойчивость автомобиля, подключается система DSC.

Аналогичным образом система AFS стабилизирует движение автомобиля при торможении на скользком покрытии, обеспечивая повышение эффективности системы ABS и сокращение тормозного пути.

Система AFS включена постоянно и не имеет возможности отключения.

5.1.8. Система предотвращения опрокидывания ARP

Центробежные силы, действующие на автомобиль в повороте, при достижении определенного значения способны его перевернуть. На этапе проектирования новой машины инженеры прилагают все усилия, чтобы максимально приблизить к земле центр ее тяжести для придания лучшей устойчивости. Однако в силу разных обстоятельств этого не всегда бывает достаточно: например, внедорожники из-за своей высоты проявляют большую склонность к опрокидыванию, чем легковые автомобили.

Чтобы сделать езду более безопасной, на многих автомобилях повышенной проходимости и микроавтобусах применяется система предотвращения опрокидывания Active Rollover Protection (ARP), или Roll Stability Control (RSC). Ее задача состоит в одном – не дать машине перевернуться в повороте. Система является частью системы курсовой стабилизации ESP.

В состав системы, помимо программного обеспечения, входит гироскопический датчик, отслеживающий положение автомобиля относительно поверхности. ARP работает совместно с системой распределения тяги и системой ABS.

Принцип работы ARP. В электронный блок управления системы поступает информация о скорости движения, угле поворота руля, наличии центробежных сил и положении машины. На основе этих данных блок управления определяет вероятность опрокидывания и решает вопрос о необходимости вмешательства.

Если водитель вошел в поворот с недопустимо высокой скоростью или стал слишком резко вращать руль, снижается мощность силового агрегата либо одно или несколько колес подтормаживаются, тем самым опрокидывание автомобиля предотвращается еще до появления опасного крена.

5.1.9. Активная (адаптивная) подвеска

Активная система поддрессоривания автомобиля управляет вертикальным перемещением колес относительно кузова (рис. 5.2). Система позволяет уменьшить до минимума крен кузова в стационарных (равномерное прямолинейное движение) и нестационарных (разгон, торможение, поворот, буксировка прицепа) режимах движения автомобиля.

Эта технология позволяет производителям повысить уровень комфорта в автомобиле на различных типах дорог без ущерба для управляемости.

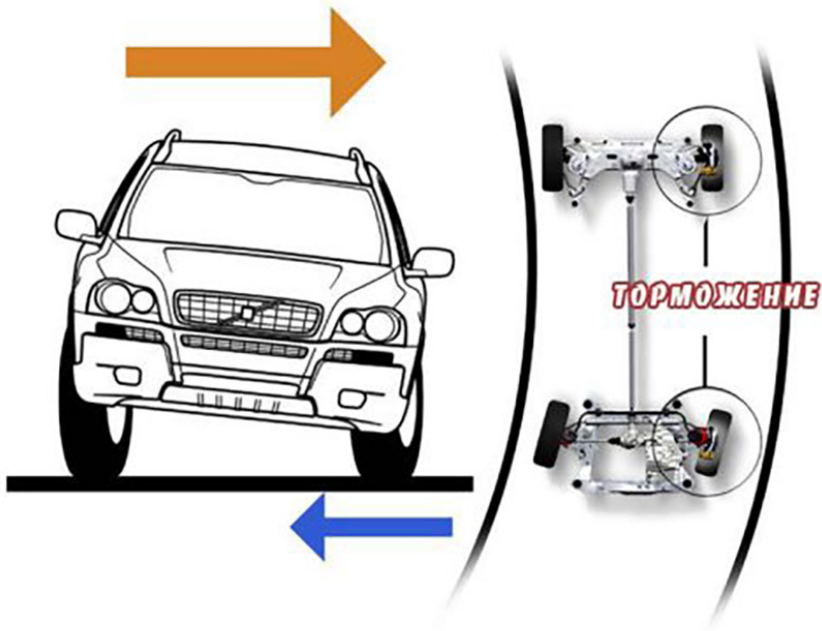


Рис. 5.2. Система поддресоривания автомобиля

Система работает на основе множества датчиков. Разные автопроизводители используют различные их наборы. Например, компания Volkswagen в своей системе Adaptive Chassis Control (ACC) использует три датчика относительного перемещения кузова (два спереди, один сзади) и три датчика ускорения кузова (также два спереди, один сзади). На основе данных от датчиков блок управления подвеской задает различные уровни демпфирования. В качестве исполнительного механизма вместо привычных масляных амортизаторов используются пневмоэлементы, которые путем изменения давления воздуха адаптируют подвеску к различным дорожным условиям.

5.1.10. Автоматическая система управления стеклоочистителями

Система включает стеклоочиститель и регулирует его скорость на основе информации от оптического датчика, определяющего наличие и размеры капель на ветровом стекле.

5.1.11. Автоматическая система управления световыми приборами

Световой датчик автоматически включает световые приборы на основе освещенности вокруг транспортного средства. Некоторые системы управляют переключением фар в целях снижения ослепления водителей встречного транспорта.

5.1.12. Система помощи движению по полосе

Система помощи движению по полосе («помощник движения по полосе», «ассистент удержания полосы движения») помогает водителю придерживаться выбранной полосы движения и тем самым предотвращать аварийные ситуации. Система эффективна при движении по автомагистралям и обустроенным федеральным дорогам, где имеется качественная дорожная разметка.

Различают два вида систем помощи движению по полосе:

- 1) *пассивные* – предупреждают водителя об отклонении от выбранной полосы движения;
- 2) *активные* – наряду с предупреждением производят корректирующее вмешательство в работу рулевого управления.

Системы помощи движению по полосе имеют в основном аналогичные конструкции, но различные торговые названия:

- Lane Assist – Audi, Volkswagen [61];
- Lane Departure Warning System (LDWS) – BMW, Citroen, Kia, General Motors, Opel, Volvo;
- Lane Departure Prevention (LDP) – Infiniti;
- Lane Keep Assist System (LAS) – Honda, Fiat [62];
- Lane Keeping Assist – Mercedes-Benz;
- Lane Keeping Support System (LKS) – Nissan;
- Lane Monitoring System (LMS) – Toyota [63].

В систему входят следующие устройства:

- клавиша управления;
- видекамера;
- блок управления;
- исполнительные механизмы [63].

При преднамеренном перестроении с одной полосы на другую должен быть включен сигнал поворота, иначе система будет препятствовать маневру [64].

Включает систему клавиша управления. Она может располагаться на рычаге переключения указателей поворота, панели приборов или центральной консоли.

Видекамера производит запись и оцифровку изображения на определенном расстоянии от автомобиля. В системе используется монохромная камера,

которая распознает линии разметки как резкое изменение градации серого. Камера объединена с блоком управления. Объединенный блок располагается на лобовом стекле, за зеркалом заднего вида.

Исполнительными устройствами системы помощи движению по полосе являются:

- контрольная лампа;
- динамик;
- вибромотор на рулевом колесе;
- нагревательный элемент лобового стекла;
- электродвигатель электромеханического усилителя руля.

О работе системы информирует контрольная лампа на панели приборов. Предупреждение водителя производится с помощью вибрации рулевого колеса, создаваемой встроенным в него электромотором, а также путем подачи звуковых и световых сигналов.

Нагревательный элемент на ветровом стекле при необходимости автоматически включается, устраняя запотевание и обледенение окна камеры.

Корректирующее подруливание система осуществляет с помощью электромеханического усилителя руля через электродвигатель.

Активная система помощи движению по полосе реализует следующие основные функции:

- распознавание траектории полосы движения;
- визуальное информирование о работе системы;
- корректировка работы рулевого управления;
- предупреждение водителя.

Обстановка перед автомобилем проецируется на светочувствительную матрицу камеры и преобразуется в черно-белое изображение, которое анализируется электронным блоком управления.

Алгоритм работы блока управления определяет положение линий разметки полосы, оценивает качество распознавания разметки, вычисляет ширину и кривизну полосы, рассчитывает положение автомобиля на ней. На основании проведенных вычислений осуществляется управляющее воздействие (корректирующее подруливание), и, если требуемый эффект удержания автомобиля на полосе не достигается, предупреждается водитель.

При неблагоприятных условиях (отсутствие одной линии или всей разметки, загрязненное или заснеженное дорожное полотно, узкая полоса движения, нестандартная разметка на ремонтируемых участках, поворот малого радиуса) система деактивируется.

Предусмотрено три режима работы системы:

- активный режим – система включена и активирована;
- пассивный режим – система включена и деактивирована;
- система выключена.

5.2. Бортовые системы информирования водителя

5.2.1. Система информирования о техническом состоянии автомобиля

Все электронные системы, разработанные для управления автомобилем, оборудованы системой самодиагностики, созданной для информирования водителя о неисправностях. Индикатор Check Engine («проверьте двигатель») загорается при повороте ключа в положение «зажигание» и гаснет через секунду после пуска двигателя. Если система самодиагностики обнаружит неисправности в работе автомобиля, индикатор продолжит гореть. Он загорается и при возникновении неисправности во время движения, но может погаснуть, если неисправность перестала себя проявлять. В этом случае информация о ней записывается в память для возможности последующего считывания. Если при работе двигателя индикатор Check Engine уверенно продолжает гореть, лучше незамедлительно обратиться к специалистам для более детальной диагностики.

Системы управления и диагностики могут очень сильно отличаться даже на автомобилях одной марки, но принцип их работы остается неизменным: в процессе работы двигателя на различных режимах (запуск, прогрев, разгон, торможение, холостой ход) непрерывно идет считывание показаний нескольких десятков датчиков. Регистрируются как дискретные сигналы (отражают выходные сигналы либо фиксируют нарушения в цепи системы или прекращение работы датчика), так и динамические (отражают изменяющиеся во времени аналоговые данные; величина сигналов постоянно меняется в определенных пределах).

На показания датчиков система реагирует в зависимости от типа сигнала. Датчик, генерирующий дискретный сигнал, при неисправности диагностируется как разрыв цепи или замыкание и подает данные об ошибке датчика. Датчик, непрерывно подающий сигнал в динамическом режиме, может иметь два кода ошибки: один код сигнализирует о повреждении датчика и разрыве цепи, а второй – о выходе уровня сигнала за пределы, заложенные в памяти блока управления, что свидетельствует либо о поломке датчика, либо о выходе за установленные рамки параметров среды датчика (т. е. о нештатной ситуации в работе двигателя).

Устройство управления может состоять из единого блока с подключением к нему всех систем автомобиля или из отдельных блоков, коммутируемых между собой (например, блок управления двигателем + антиблокировочная система + дополнительная система подушек безопасности + блок автоматической коробки передач и т. д.).

При возникновении сигнала об ошибке система диагностики сохраняет код ошибки в долговременной памяти для дальнейшей расшифровки специалистом СТО, подает водителю сигнал о нештатной ситуации и адаптируется

к ней, выполняя действия, предусмотренные программой блока управления (вплоть до симуляции работы поврежденного датчика).

Затем начинается рутинная работа специалиста, который подключается к разъему на блоке управления, считывает имеющиеся ошибки и после расшифровки принимает решение о дальнейших действиях.

Большинство ошибок, как правило, возникает из-за разъемов, которые просто забыли соединить при текущем ремонте, или из-за повреждений электропроводки, но некоторые ситуации требуют детальной диагностики при различных условиях работы двигателя для установления точной причины возникновения ошибки.

При возникновении случайных ошибок (разъемы, проводка, влажность) для восстановления нормальной работы двигателя порой достаточно очистить память – сбросить накопившиеся ошибки. Однако не стоит делать это самостоятельно, отключая блок управления от питания или другими способами. Эту работу должен сделать специалист, который проанализирует имеющиеся ошибки.

Блок управления, реагируя на комплексные изменения в состоянии отдельных элементов автомобиля, вводит поправки, оптимизируя работу всех систем и делая ее слаженной. После очистки памяти блок управления будет пользоваться заданными по умолчанию настройками, которые не всегда являются оптимальными – порой цикл приходится повторять многократно, прежде чем исчезнут симптомы обнуления памяти. В ходе переобучения, после принудительного сброса настроек, возможно ухудшение работы различных систем: нечеткое, несвоевременное или слишком резкое переключение передач; чрезмерно низкие, нестабильные или высокие обороты холостого хода, вплоть до перебоев двигателя, связанных с нарушением состава горючей смеси. Ухудшение работы систем автомобиля в данном случае не свидетельствует о наличии неисправности, однако не является и нормальным режимом работы.

Попытка сбросить ошибки самостоятельно может в лучшем случае привести к временному увеличению расхода топлива, в худшем – скроет неисправность и сделает невозможной диагностику двигателя из-за потери данных об ошибках (двигателем, на первый взгляд работающим исправно, никто не будет заниматься серьезно). Оптимальные настройки должны восстановиться через 40–50 км пробега, однако, как говорилось выше, при наличии ошибки оптимальными они будут относительно состояния автомобиля, по-прежнему остающегося неисправным.

Лучше всего регулярно проводить плановую компьютерную диагностику автомобиля, результаты которой сохраняются. Это позволяет сужать круг возможных неисправностей, более точно определять их характер и прогнозировать возникновение.

Алгоритм проведения компьютерной диагностики систем автомобиля состоит из нескольких этапов.

Этап 1. С помощью средств компьютерного диагностирования считывается вся информация, которая может помочь в поиске неисправностей (коды ошибок и данные адаптивной подстройки блока управления).

Этап 2. Проверяется актуальность полученных данных: тестируются электрические цепи и их соединения, напряжение бортовой сети, исправность датчиков. Это позволяет убедиться, что полученные данные можно использовать при оценке состояния автомобиля (в случае таких неисправностей, как плохой контакт цепи, данные могут оказаться бессмысленными).

Этап 3. Осуществляется доступ к получению данных в реальном времени. Для проверки датчиков и элементов системы в реальном времени используется функция Data Stream. Дисплей отображает параметры впрыска топлива, изменения оборотов коленчатого вала и пр. во время работы двигателя.

Этап 4. Полученные результаты анализируются и делаются выводы о работе систем, наличии и характере предполагаемых неисправностей. Основным преимуществом сканеров является работа в режиме осциллографа: получение графиков зависимостей от различных параметров, а не только от времени, и исследование влияний изменения анализируемого параметра. В таком случае имеется возможность сравнения с заводскими данными для данного типа автомобиля, что значительно облегчает поиск неисправности. Это предъявляет к специалисту требования об инженерных знаниях и понимании процессов, происходящих в автомобиле.

Этап 5. В завершение из памяти стираются коды возникших ошибок и система повторно инициализируется.

Следует отметить, что четкая и расписанная методика диагностирования конкретной неисправности имеется не всегда. Здесь требуется опытный специалист, работающий в области компьютерной диагностики.

Компьютерная диагностика служит для определения состояния автомобиля и облегчения поиска неисправности, но не является собственно ремонтом. Однако не стоит рассматривать ее как дополнительную необязательную опцию. В некоторых очевидных случаях на автомобилях прошлых лет можно обойтись без компьютерной диагностики, но определение состояния систем современного автомобиля без нее становится невозможным. Затрачивая около часа в квартал на полную диагностику автомобиля, владелец будет точно осведомлен о его состоянии, что позволит планировать расходы и избежать непредвиденных материальных затрат в случае поломки. Покупка автомобиля с пробегом в принципе не представляется возможной без проведения компьютерной диагностики вкупе с диагностикой состояния подвески, рамы, кузова и салона.

5.2.2. Система распознавания дорожных знаков

Одной из основных причин ДТП с тяжелыми последствиями является превышение скорости.

Система распознавания дорожных знаков Traffic Sign Recognition (TSR) призвана предупреждать водителей о необходимости соблюдения скоростного режима. Она определяет знаки ограничения скорости при их проезде и напоминает водителю текущую максимальную разрешенную скорость, если он движется быстрее.

Системы распознавания дорожных знаков используют многие известные автопроизводители: Audi, BMW, Ford, Volkswagen, Mercedes-Benz (Speed Limit Assist – SLA), Volvo (Road Sign Information – RSI). На автомобилях Opel система распознавания дорожных знаков вместе с системой предупреждения о сходе с полосы Lane Departure Warning (LDW) входит в состав системы Opel Eye, отмеченной в числе лучших разработок в области автомобильной безопасности 2010 г.

В типовую конструкцию системы входят следующие устройства:

- видеочамера;
- блок управления;
- средство вывода информации.

Видеокамера располагается на ветровом стекле, за зеркалом заднего вида. Она снимает пространство перед автомобилем в зоне расположения дорожных знаков (сверху справа по ходу движения) и передает изображение в электронный блок управления. Видеокамеру также используют другие системы активной безопасности: система обнаружения пешеходов и система помощи движению по полосе.

Электронный блок управления реализует следующий алгоритм работы:

- распознавание формы дорожного знака (круглая);
- распознавание цвета знака (красный на белом);
- распознавание надписи (величина скорости);
- распознавание информационной таблички (вид транспорта, время действия, зона действия);
- анализ фактической скорости автомобиля;
- сравнение фактической скорости с максимально допустимой;
- визуальное и звуковое предупреждение водителя при отклонении.

Изображение в виде знака ограничения скорости выводится на приборный дисплей или дисплей информационной системы и остается видимым, пока ограничение не закончится или не будет изменено. На автомобилях, оборудованных информационным дисплеем, изображение выводится на лобовое стекло.

В ряде конструкций система распознавания дорожных знаков взаимодействует с навигационной системой и использует сведения о знаках ограничения скорости из навигационных карт. Даже если видеокамера не определит знак, информация о нем будет выведена на панель приборов.

Система способна распознавать ограничения скорости, действующие для определенного вида транспорта (по знакам дополнительной информации – табличкам), и знаки отмены ограничения скорости. Система Opel Eye пошла дальше – она распознает также знаки, запрещающие обгон.

Система второго поколения информирует водителя о различных дорожных знаках. Помимо знаков ограничения скорости, запрета обгона, отдельных знаков дополнительной информации, она распознает следующие знаки:

- «Движение без остановки запрещено»;
- «Въезд запрещен»;
- «Главная дорога» («Конец главной дороги»);
- «Преимущество встречного движения» («Преимущество перед встречным движением»);
- «Уступите дорогу»;
- «Конец зоны всех ограничений»;
- «Начало (конец) населенного пункта»;
- «Начало (конец) автомагистрали»;
- «Жилая зона».

Указанные знаки на дисплее не отображаются, но информация о них согласуется с данными навигационной системы и текущими параметрами движения автомобиля. В результате система информирует водителя о текущей дорожной ситуации и способствует безопасному движению.

5.2.3. Система мониторинга состояния водителя

Статистика показывает, что причиной значительного количества аварий является физическое состояние водителя. Ряд крупных автопроизводителей активно занимаются созданием различных систем контроля состояния водителя, призванных как минимум оповестить о наступлении опасного состояния и как максимум – вмешаться в управление транспортным средством и предупредить происшествие. Работы идут по нескольким направлениям, среди которых контроль усталости, оценка физического напряжения, определение болезненного состояния водителя.

Система контроля усталости водителя призвана обнаружить наступление усталости и предупредить сон за рулем. Она предлагает сделать перерыв для отдыха путем предупреждающего звукового сигнала или сигнала на панели приборов («чашка кофе»). В настоящее время система реализована на автомобилях Mercedes-Benz, Volvo, Lexus. Определение наступления усталости осуществляется различными способами: оценкой действий водителя по управлению автомобилем, контролем характера движения автомобиля, наблюдении за лицом водителя с помощью видеокамеры.

Компания Volkswagen устанавливает на автомобили *систему экстренной помощи* Emergency Assist, которая является расширением системы помощи движению по полосе. Если водитель не в состоянии управлять автомобилем (теряет сознание), система принимает управление на себя и останавливает транспортное средство, а также предупреждает других участников движения об опасной ситуации.

Если водитель не использует рулевое управление в течение определенного времени, Emergency Assist предупреждает его визуальными и звуковыми сигналами и подтормаживает автомобиль. При отсутствии реакции со стороны водителя система определяет, что он не в состоянии управлять автомобилем. Система помощи движению по полосе обеспечивает движение автомобиля в пределах занятой полосы, а адаптивный круиз-контроль предотвращает наезд на впереди идущий автомобиль. Для предупреждения других водителей включается аварийная сигнализация, автомобиль начинает двигаться змейкой в пределах полосы движения и постепенно останавливается.

Другим направлением развития систем контроля является *оснащение транспортных средств биометрическими датчиками*, с помощью которых можно следить за важными для здоровья показателями (пульс, частота дыхания, проводимость кожи и др.). Эти перспективные разработки должны появиться на серийных автомобилях в самое ближайшее время.

Ближе всех к решению задачи находится компания Ford, которая предлагает *систему оценки нагрузки водителя*, призванную уменьшить рассеянность и чрезмерное напряжение. Физическое напряжение водителя оценивается путем обработки множества параметров:

- движение транспортного средства (скорость, продольное и поперечное ускорение, скорость рыскания);
- действия водителя (угол поворота рулевого колеса, положение педалей акселератора и тормоза);
- дорожные условия (плотность движения, характер дорожного покрытия);
- биометрические показатели (сердечный ритм, частота дыхания, температура кожи).

Если нагрузка на водителя достаточно высока, то система принимает меры для снижения напряжения, в том числе автоматически запускает функцию блокирования входящих звонков мобильного телефона (функцию «не беспокоить»).

В работе системы оценки нагрузки используются следующие биометрические датчики:

- пьезоэлектрический датчик в ремне безопасности – для мониторинга частоты дыхания;
- проводящие накладки на ободе рулевого колеса – для измерения пульса;
- инфракрасные датчики на ободе рулевого колеса – для измерения температуры ладоней;
- инфракрасный датчик за рулевым колесом – для контроля температуры лица.

Компания Jaguar Land Rover предлагает контролировать состояние водителя с помощью биометрических датчиков, встроенных в сиденье. В системе Driver Wellness Monitoring используются датчики частоты дыхания и пульса. Если система определяет серьезные проблемы со здоровьем или излишнее возбуждение водителя, то принимаются меры для обеспечения безопасности движения. При стрессе регулируются система вентиляции, аудиосистема

и климатическая установка. При наступлении внезапного приступа тяжелой болезни производится вызов экстренной помощи, а автомобиль автоматически останавливается.

Компания Audi в 2016 г. представила проект FitDriver под девизом «Моя Audi заботится обо мне». Жизненно важные параметры водителя, такие как пульс и температура, контролируются с помощью носимых устройств (тренировочного браслета или SmartWatch). Эти данные дополняются информацией о стиле вождения, частоте дыхания, погодных и дорожных условиях, представляемой различными автомобильными датчиками. В совокупности все это позволяет определить текущее состояние водителя, в том числе повышенную усталость или стресс.

По итогам всесторонней оценки физического состояния задействуются различные системы автомобиля для отдыха, восстановления и защиты водителя: массажное сиденье, беззвучный режим телефона, климат-контроль, адаптивная информационно-развлекательная система и адаптивное внутреннее освещение. В перспективе Audi планирует задействовать системы активной безопасности.

Компания Ferrari запатентовала технологию, которая оценивает уровень напряжения водителя по изменению мозговых волн. Мозговая биоэлектрическая активность измеряется с помощью беспроводных датчиков, встроенных в подголовник водительского сиденья. В зависимости от состояния водителя производится уменьшение подачи топлива в двигатель и автоматическая стабилизация автомобиля.

Работает в этом направлении и Jaguar Land Rover. Созданная компанией система Mind Sense по мозговой активности водителя определяет, когда он отвлекается или засыпает во время движения. Установлено, что мозг человека генерирует несколько импульсов различной частоты. Постоянно измеряя их, можно оценить, насколько сосредоточен водитель (замешкался, задремал или отвлекся).

Мониторинг мозговых волн производится с помощью датчиков, встроенных в рулевое колесо. Если активность головного мозга указывает на сонливость или плохую концентрацию, то рулевое колесо или педаль акселератора начинают вибрировать, привлекая внимание к вождению. При отсутствии реакции со стороны водителя подаются визуальный и звуковой сигналы.

Другая область использования биометрических датчиков связана с контролем физического состояния пожилых водителей и водителей с хроническими заболеваниями. Это направление разрабатывают сразу несколько автомобильных компаний.

Ford предлагает контролировать состояние пожилых водителей с помощью датчиков сердечного ритма, встроенных в сиденье. В основу разработки положена технология электрокардиограммы, позволяющая осуществлять мониторинг сердечных электрических импульсов и своевременно определять нарушения (например, сердечный приступ), а также симптомы других заболеваний (повышенное давление и пр.).

Компания Toyota для контроля жизненно важных показателей использует датчики на ободе рулевого колеса: электроды для мониторинга сердечного ритма и оптические датчики для оценки проводимости ладоней. Система контроля состояния водителя связана с системой экстренного торможения, что позволяет остановить автомобиль в случае сердечного приступа, а также с навигационной системой, автоматически прокладывающей маршрут до ближайшего лечебного заведения. Система позволяет определить наступление сердечного приступа уже на ранних стадиях и тем самым предупредить аварию.

Компания BMW работает над технологией предупреждения водителей, больных диабетом, о повышении уровня сахара в крови. Устройство для измерения уровня сахара подключено к смартфону, соединенному через Bluetooth с мультимедийной системой автомобиля. На экран системы выводится информация, предупреждающая водителя об опасности потери сознания из-за повышенного уровня сахара. В перспективе измеряемые параметры будут автоматически передаваться лечащему врачу водителя.

5.2.4. Система информирования о превышении скорости

Превышение скорости определяет возникновение и степень тяжести многих ДТП. Ограничение скоростного режима необходимо для обеспечения безопасной эксплуатации дорожной сети, поскольку позволяет поддерживать скорость транспортного потока на уровне, не превышающем максимум, допустимый в данной транспортной обстановке, тем самым защищая водителя и пассажиров, а также других участников дорожного движения.

Езда с превышением скорости иногда бывает непреднамеренной. Уставший или чем-то отвлекенный водитель в состоянии допустить дрейф скорости до уровня, превышающего максимально допустимый на данном участке дороги. Кто-то может случайно пропустить дорожный знак, предупреждающий об изменении скоростных ограничений (например, о въезде в населенный пункт).

Системы предупреждения о превышении скоростного режима, или интеллектуальные системы обеспечения рекомендованного скоростного режима Intelligent Speed Assistance (ISA), помогают водителям поддерживать скорость в рамках рекомендованных ограничений.

Некоторые системы показывают текущее скоростное ограничение, так что водитель всегда знает максимально допустимую скорость на данном участке дороги. Скоростное ограничение может быть определено, например, при помощи программы, анализирующей изображения с камеры и распознающей дорожные знаки. В качестве альтернативы для информирования водителя может использоваться спутниковая навигация, которая становится все более точной. Однако для этого необходимо всегда иметь в распоряжении самые современные цифровые карты.

Современные системы могут предупреждать водителя о превышении скоростного ограничения, но могут и не делать этого, поскольку имеют реко-

мендательный характер: они могут быть выключены, а могут рассчитывать на то, что водитель соответствующим образомотреагирует на полученное предупреждение.

Другие системы не информируют о текущем скоростном ограничении: они позволяют водителю устанавливать ограничение по собственному усмотрению и предупреждают в случае его превышения. При ответственном использовании эти системы также могут вносить свой вклад в безопасность движения, помогая водителям контролировать собственную скорость.

5.2.5. Система обнаружения препятствий

Устройство для обнаружения препятствий используется в аппаратуре, предназначенной для парковки автомобиля. Оно обеспечивает непрерывное обнаружение препятствий, приближающихся к транспортному средству, на всем протяжении предохраняемой от столкновения части автомобиля в диапазоне от максимального расстояния до контакта без зоны отсутствия приема. Применение системы особенно полезно для защиты задней части автомобиля, труднее всего контролируемой с сиденья водителя.

В 1981 г. в США авторами патента № 4.278.962 было предложено применение средств передачи и приема ультразвуковых волн. В этом случае электронная система включает в себя один или несколько передающих и принимающих датчиков-преобразователей, установленных снаружи автомобильного бампера, и электрически связанный с ними электронный блок, который обеспечивает декодирование акустических волн, отражаемых препятствиями вблизи автомобиля, и сигнализацию о приближительном расстоянии цифровыми или аналоговыми средствами.

Такая система не всегда может распознать действительное расстояние между ультразвуковым датчиком-преобразователем и препятствием, так как количество отраженных ультразвуковых волн (один из параметров, на которых основывается измерение расстояния) зависит от формы, плотности и отражательной способности препятствия.

Кроме того, система не способна обнаруживать препятствия, находящиеся ближе 30–40 см, вследствие физических пределов системы, основанной на измерении времени, затрачиваемого акустическими волнами на возвращение после отражения.

Область обнаружения ультразвуковой системы имеет коническую форму, поэтому система не способна защитить, например, поверхность бампера на всем протяжении, но только с угловым ограничением, отходящим от акустического датчика-преобразователя. В связи с этим для обеспечения более полной защиты необходимо использовать несколько датчиков.

И, наконец, система нуждается в использовании наружных акустических датчиков-преобразователей, которые видимы и чувствительны к усло-

виям эксплуатации и повреждениям. К тому же компоненты системы относительно дороги.

Цель современного изобретения состоит в преодолении проблем предшествующего технологического уровня и реализации практичной системы обнаружения препятствий (главным образом для транспортных средств) с низкой стоимостью, легкой установкой, невидимой снаружи автомобиля и способной дать сигнал тревоги, когда препятствие приближается к защищаемой части машины.

Современная *электромагнитная система обнаружения препятствий* обеспечивает:

- обнаружение препятствий, приближающихся к транспортному средству, с абсолютной непрерывностью на всем протяжении защищаемой части;
- обнаружение любых препятствий, независимо от их физических свойств (формы, размеров, плотности, отражательной способности);
- непрерывность обнаружения препятствий от максимального расстояния до контакта без зоны отсутствия приема (30–40 см до контакта);
- приращение чувствительности обнаружения при сокращении расстояния до препятствия, что гарантирует более быстрый сигнал тревоги для очень малых перемещений в непосредственной близости.

Система содержит:

- приемно-передающее средство радиочастотного поля, состоящее из двух проводов или полос из электропроводящего материала;
- средство, создающее радиочастотное поле;
- средство обнаружения изменений ближнего электромагнитного поля, производимых объектом, приближающимся к приемно-передающему средству;
- средство сигнализации о присутствии и приближении постороннего объекта.

При включении цепи система генерирует ближнее электромагнитное поле вокруг передающей антенны. Близость проводящего материала автомобиля и расположение антенны определяют пространственную конфигурацию поля. Погруженная в это поле принимающая антенна будет принимать радиочастотный сигнал постоянной амплитуды. При попадании в электромагнитное поле любого предмета (за исключением объектов с очень низкой электрической проводимостью – из стекла, керамики, пластика с чистыми поверхностями) будет возникать возмущение параметров поля и, следовательно, уменьшение амплитуды колебаний, которое в этом частном случае будет направлено на принимающую антенну, подано на модуль обнаружения и преобразовано с помощью усилителя в звуковой сигнал тревоги, производимый акустическим модулем.

Следует отметить, что это описание предпочитаемого воплощения системы, конфигурация которой может модифицироваться различными способами в зависимости от области применения. Например, ее можно использовать в качестве детектора тела в устройствах контроля доступа, как датчик близости при открывании и закрывании дверей, для приведения в действие

систем освещения или тревоги, а также в системах периметрической охраны (при наличии антенного кабеля соответствующей длины). Кроме того, после усовершенствования электронной схемы систему можно использовать в качестве устройства предупреждения для предварительно определенных расстояний приближения при движении транспортных средств.

5.2.6. Система информирования о техническом состоянии дорожного покрытия

В настоящее время уже запатентована система, позволяющая автомобилю избежать различных повреждений на дороге (выбоин, провалов, бугров и пр.) за счет своевременного предупреждения водителя. Планируется также создание специальной базы данных, в автоматическом режиме накапливающей информацию от различных автомобилей о состоянии дорожного полотна. Для регистрации повреждений предполагается использовать специальные бортовые датчики. Место повреждения будет фиксироваться в момент проезда автомобиля с помощью системы глобального позиционирования, а полученная информация по беспроводной сети поступит на удаленный сервер. Таким образом, водители смогут заблаговременно получать оповещения о повреждениях на дороге.

В работе системы мониторинга и оповещения о качестве дорог выделяется ряд взаимосвязанных функций:

- определение географического положения транспортного средства;
- мониторинг качества дорожного полотна;
- обработка результатов мониторинга;
- передача результатов на удаленный сервер;
- прием обобщенной информации от удаленного сервера;
- оповещение водителя о качестве дороги;
- контроль работоспособности системы.

Реализацию указанных функций обеспечивают следующие элементы системы:

- GPS-приемник;
- один или несколько датчиков для оценки качества дорог;
- бортовой компьютер;
- передатчик;
- приемник;
- средства вывода информации.

Кроме того, в работе задействуются спутники системы глобального позиционирования, беспроводная компьютерная сеть и удаленный сервер.

GPS-приемник осуществляет прием сигналов от спутников и определение текущего географического положения (широты, долготы, высоты), а также направления и скорости движения транспортного средства. В качестве GPS-

приемника используется отдельное устройство или соответствующий блок в составе автомобильной навигационной системы.

Для мониторинга качества дорог планируется применять датчик вертикальных перемещений, измеряющий величину вибраций кузова от неровностей дорожного полотна. Также могут быть задействованы датчики хода подвески (движения поршня амортизатора), датчик скорости, акселерометр, гироскоп, высотомер.

Для оценки качества дорог в головное устройство информационно-развлекательной системы автомобиля загружается специальное программное обеспечение, обрабатывающее сигналы от GPS-приемника и датчиков. Функции бортового компьютера могут быть возложены на различные мобильные гаджеты (ноутбук, планшет, смартфон), подключенные к сети автомобиля.

Обработанные пакеты данных преобразуются передатчиком в радиочастотный сигнал и передаются по беспроводной сети на удаленный сервер, построенный на облачных сервисах. Далее производится прием от удаленного сервера информации, содержащей усредненные характеристики качества дорожного полотна от множества автомобилей.

Полученные данные используются для непосредственного предупреждения водителя о плохих дорогах. Информация предлагается в виде специальных интерактивных карт, на основе которых навигационная система может построить безопасный и комфортный маршрут. Кроме того, информацией от удаленного сервера смогут воспользоваться дорожные службы для оперативного устранения повреждений.

5.2.7. Система обнаружения пешеходов

Система предназначена для предотвращения столкновений с пешеходами. Она распознает людей возле автомобиля, автоматически замедляет его, снижает силу удара и даже помогает избежать столкновения. Применение системы позволяет на 20 % сократить смертность пешеходов при ДТП и на 30 % снизить риск тяжелых травм.

В системе обнаружения пешеходов реализованы следующие взаимосвязанные функции:

- обнаружение пешеходов;
- предупреждение водителя об опасности столкновения;
- автоматическое торможение.

Для обнаружения пешеходов используются видеокамера и радар или две видеокамеры, эффективно работающие на расстоянии до 40 м. Если пешеход обнаружен видеокамерой и результат подтвержден радаром, система отслеживает движение пешехода, прогнозирует его дальнейшее перемещение и оценивает вероятность столкновения с автомобилем. Результаты выводятся на экран мультимедийной системы. Система обнаружения также реагирует на транспортные средства, которые стоят на месте или движутся в попутном направлении.

Если система установила, что при текущем характере движения автомобиля столкновение с пешеходом неизбежно, то водителю посылается звуковое предупреждение. Далее система оценивает реакцию водителя (торможение, изменение направления движения). При отсутствии реакции система обнаружения пешеходов автоматически доводит автомобиль до остановки. В этом качестве она является производной системы автоматического экстренного торможения.

Система позволяет полностью избежать столкновения с пешеходом на скорости до 35 км/ч. При большей скорости она не может предотвратить ДТП, но тяжесть последствий для пешехода может быть уменьшена за счет замедления автомобиля перед столкновением. Статистические данные свидетельствуют, что вероятность смертельного исхода при столкновении пешехода с автомобилем на скорости 65 км/ч составляет 85 %, 50 км/ч – 45 %, 30 км/ч – 5 %.

Риск травмирования пешеходов значительно снижается, если система обнаружения пешеходов используется совместно с системой защиты пешеходов или подушкой безопасности для пешеходов.

В системе ночного видения также реализовано обнаружение пешеходов (с помощью инфракрасных камер), но активное предупреждение столкновения в ней не предусмотрено.

Система обнаружения пешеходов показала свою эффективность в сложных условиях городского движения. Она позволяет одновременно отслеживать несколько людей, движущихся разными курсами, различает движение пешеходов с зонтиками во время дождя и пр. Система неработоспособна ночью и в плохую погоду.

5.2.8. Спутниковая система навигации GNSS

Системы спутниковой навигации Global Navigation Satellite Systems (GNSS) предназначены для определения местоположения (географических координат) наземных, водных и воздушных объектов. Кроме того, спутниковые системы позволяют установить скорость и направление движения приемника сигнала, а также могут использоваться для получения точного времени. Они состоят из космического оборудования и наземного сегмента (систем управления). В настоящее время только две спутниковые системы обеспечивают полное и бесперебойное покрытие земного шара: GPS (США) и ГЛОНАСС (Россия).

Принцип работы спутниковых систем навигации основан на измерении расстояния от антенны на искомом объекте до спутников, положение которых известно с большой точностью. Любой спутниковый приемник до начала измерений должен располагать таблицей положений всех спутников (альманахом). Обычно приемник сохраняет в памяти последний вариант альманаха и при включении мгновенно использует его (если он не устарел). Каждый спутник передает в своем сигнале весь альманах. Таким образом, зная расстояния до нескольких спутников системы, с помощью обычных геометрических построений на основе альманаха можно вычислить положение объекта в пространстве.

Метод измерения расстояния от спутника до антенны приемника основан на известной скорости распространения радиоволн. Для реализации возможности измерения времени распространяемого радиосигнала каждый спутник навигационной системы излучает сигналы точного времени, используя синхронизированные с системным временем атомные часы. При включении навигационного приемника его часы также синхронизируются с системным временем, и при дальнейшем приеме сигналов вычисляется задержка между временем излучения, содержащимся в самом сигнале, и временем его приема. Располагая этой информацией, приемник вычисляет координаты антенны. Все остальные параметры движения (скорость, курс, пройденное расстояние) рассчитываются на основе измерения времени, затраченного объектом на перемещение между двумя или более точками с определенными координатами.

Основные элементы спутниковой системы навигации:

- орбитальная группировка спутников, излучающих специальные радиосигналы;
- наземная система управления и контроля (наземный сегмент), включающая блоки измерения текущего положения спутников и передачи на них полученной информации для корректировки данных об орбитах;
- аппаратура потребителей (спутниковые навигаторы), используемая для определения координат;
- опционально: наземная система радиомаяков и(или) информационная радиосистема для передачи пользователям поправок, позволяющие значительно повысить точность определения координат.

Действующие спутниковые системы:

- GPS (ранее NAVSTAR) – принадлежит Министерству обороны США (этот факт, по мнению некоторых государств, является ее главным недостатком); устройства, поддерживающие навигацию по GPS, являются самыми распространенными в мире;

- ГЛОНАСС – принадлежит Министерству обороны Российской Федерации; разработка системы официально началась в 1976 г., полное развертывание завершилось в 1995 г.; после 1996 г. спутниковая группировка сокращалась, к 2002 г. пришла в упадок и была восстановлена к концу 2011 г.; в настоящее время на орбите находится 27 спутников, из которых 22 используется по назначению; к 2025 г. предполагается глубокая модернизация системы;

- DORIS – французская навигационная система, использующая эффект Доплера; первоначально предназначалась для наблюдения за океанами и дрейфом материков; в отличие от других систем основана на системе стационарных наземных передатчиков, приемники расположены на спутниках; после определения положения спутника система может установить точные координаты и высоту маяка на поверхности Земли.

Строящиеся глобальные спутниковые системы:

- BeiDou (Compass) – развертываемая Китаем местная спутниковая система навигации, основанная на геостационарных спутниках; по состоянию на

2015 г. система имела 14 работающих спутников: 5 – на геостационарных орбитах, 5 – на геосинхронных и 4 – на средних околоземных; реализация программы началась в 2000 г., первый спутник вышел на орбиту в 2007 г., в мае 2016 г. был запущен 21-й аппарат; предполагается, что к 2020 г. количество спутников возрастет до 35 и система сможет работать как глобальная;

- Galileo – европейская система, находящаяся на этапе создания спутниковой группировки; по состоянию на ноябрь 2016 г. на орбите находится 16 спутников – 9 действующих и 7 тестируемых; спутниковую группировку планируется полностью развернуть к 2020 г.

Действующие региональные спутниковые системы:

- IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System) – индийская навигационная спутниковая система, находящаяся в состоянии разработки; использование предполагается только в Индии; первый спутник запущен в 2008 г., пока в системе 7 спутников;

- QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) – японская квазизенитная спутниковая система; задумана в 2002 г. как коммерческая система с набором услуг для подвижной связи, вещания и навигации в Японии и соседних районах Юго-Восточной Азии; первый спутник запущен в 2010 г., предполагается создание группировки из трех спутников, находящихся на геосинхронных орбитах, а также собственной системы дифференциальной коррекции.

5.3. Системы сбора и передачи информации

5.3.1. Интеллектуальная транспортная система ITS Connect

Интеллектуальная транспортная система Intelligent Transportation System (ITS) Connect помогает человеку вовремя реагировать на опасные ситуации. Например, если водитель, приближаясь к перекрестку при красном сигнале, не отпустит педаль газа, электроника пошлет ему предупреждение. После останова водитель увидит на экране время, оставшееся до переключения сигнала. Это намного удобнее, чем коситься на счетчик для пешеходов [66].

ITS Connect использует связь с инфраструктурой (взаимодействие типа V2I). Одна из таких функций – помощь при повороте направо (рис. 5.3). Если водитель отпустил педаль тормоза и начал движение, перекресток предупредит его о приближении машины или пешехода, пошлав соответствующий сигнал, который отобразится на экране пиктограммой, сопровождаемой звуком.

В системе ITS Connect реализована также связь автомобилей друг с другом (взаимодействие типа V2V). Водитель может получать по радио от впереди идущей машины информацию о ее скорости, ускорении и замедлении, благодаря чему адаптивный круиз-контроль будет реагировать быстрее, чем просто при измерении дистанции радаром (рис. 5.4).



Рис. 5.3. Взаимодействие системы ITS Connect со светофором, оборудованным передатчиком ITS (V2I)

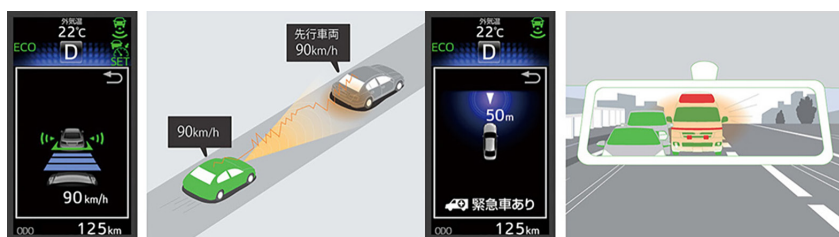


Рис. 5.4. Связь соседних машин с помощью ITS Connect (V2V): слева – взаимодействие круиз-контролей; справа – предупреждение о приближении скорой помощи с активированным проблесковым маячком (расстояние до машины и направление, с которого она приближается)

Аналогичный принцип использовала компания Volvo при создании системы автоматического движения караванами, позволяющей сократить расстояние между автомобилями до 4–6 м при скорости 90 км/ч. Если несколько

машин идут друг за другом, весь поток движется более плавно. Это снижает расход топлива и риск возникновения пробок.

5.3.2. Система автоматической парковки

Система автоматической парковки (интеллектуальная система помощи при парковке, «парковочный автопилот») относится к активным парковочным системам, так как обеспечивает парковку автомобиля в полностью или частично автоматическом режиме.

Различные системы помогают при выполнении параллельной либо перпендикулярной парковки. Больше распространены системы с параллельной парковкой. Автоматическая парковка осуществляется за счет согласования управления углом поворота рулевого колеса и скорости движения автомобиля.

Известные интеллектуальные системы помощи при парковке:

- Park Assist и Park Assist Vision – на автомобилях Volkswagen;
- Intelligent Parking Assist System – Toyota, Lexus;
- Remote Park Assist System – BMW;
- Active Park Assist – Mercedes-Benz, Ford;
- Advanced Park Assist – Opel [61].

Конструкция систем автоматической парковки включает:

- ультразвуковые датчики;
- выключатель;
- электронный блок управления;
- исполнительные устройства систем автомобиля;
- устройство оптической индикации на панели приборов.

Включение системы осуществляется принудительно при необходимости осуществить парковку. Выключатель располагается на панели приборов или рулевым колесе.

Электронный блок управления принимает сигналы от ультразвуковых датчиков и преобразует их в управляющие воздействия на исполнительные устройства других систем автомобиля (электроусилителя рулевого управления, системы курсовой устойчивости, системы управления двигателем, автоматической коробки передач). Взаимодействие осуществляется через соответствующие электронные блоки управления.

Необходимая для автоматической парковки информация выводится на информационный дисплей и используется водителем.

Парковка транспортного средства может осуществляться либо водителем с помощью предлагаемых системой инструкций (рекомендаций по направлению движения и повороту рулевого колеса на определенный угол), либо автоматически (рис. 5.5). Если в условиях городского трафика необходимо запарковаться быстрее, чем это делает компьютер, систему всегда можно перевести из автоматического режима в ручной. В последних конструкциях системы автоматической парковки может производиться при нахождении водителя как в автомобиле, так и за его пределами – с ключа [61, 62].

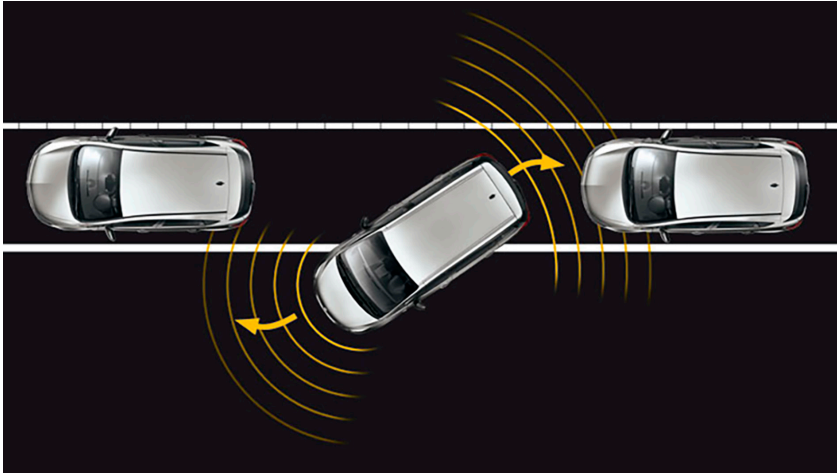


Рис. 5.5. Паркующийся автомобиль

Работу системы автоматической парковки условно можно разделить на два этапа:

- 1) поиск подходящего места для парковки;
- 2) выполнение парковки.

Поиск подходящего места производится с помощью ультразвуковых датчиков. Например, в конструкции системы Park Assist предусмотрено четыре боковых датчика – по два с каждой стороны автомобиля. При движении автомобиля вдоль ряда припаркованных машин с определенной скоростью (до 40 км/ч при параллельной парковке и до 20 км/ч – при поперечной) датчики фиксируют расстояние между ними, а в системе Park Assist Vision – и их положение относительно транспортного средства (параллельно или перпендикулярно).

Сигналы датчиков обрабатываются электронным блоком управления. Если расстояние достаточное для парковки, система подает сигнал водителю: выводит на дисплей соответствующую информацию. В системе Park Assist достаточным считается расстояние, превышающее длину автомобиля на 0,8 м, в системе Advanced Park Assist – на 1 м.

В системе Advanced Park Assist при выполнении парковки водителем на дисплей выводятся визуальные и текстовые инструкции по направлению движения и повороту рулевого колеса на определенный угол.

Автоматическая парковка производится путем упорядоченного воздействия на следующие исполнительные механизмы:

- электродвигатель электроусилителя рулевого управления;
- насос обратной подачи и клапаны тормозных механизмов системы курсовой устойчивости;

- электродвигатель дроссельной заслонки системы управления двигателем;
- электромагнитные клапаны автоматической коробки передач.

5.3.3. Тахограф

Тахограф устанавливается на борту автотранспортных средств для регистрации скорости, а также режима труда и отдыха водителей и экипажа.

«Европейское соглашение, касающееся работы экипажей транспортных средств, производящих международные автомобильные перевозки» (ЕСТР) в директиве № 3821/85 гласит: «Тахограф – это контрольное устройство, обеспечивающее выполнение требований соглашения ЕСТР по осуществлению постоянного, автономного и объективного контроля параметров, оговоренных в документах ЕСТР, таким образом, чтобы обеспечить принципы неотвратимости наказания за нарушения требований соглашения ЕСТР и равноправия всех сторон, участвующих в соглашении ЕСТР».

Таким образом, определяющими факторами работы тахографа являются принципы контроля (особенно объективность), а также неотвратимость наказания за нарушение контролируемых требований.

Поскольку устройства используются при международных перевозках, контролируются на территории многих стран и эксплуатируются водителями разных национальностей, они имеют наднациональный интерфейс общения: в тахографах используются пиктограммы, графически отображающие режимы работы, события и команды, что позволяет любому пользователю интуитивно управлять прибором.

5.4. Обзор основных разработок беспилотных автомобилей

5.4.1. Беспилотные автомобильные системы корпорации Google

Разработки корпорации Google в области беспилотных автомобильных систем относятся к наиболее известным. В настоящее время проект реализуется лабораторией Google X под руководством инженера С. Трана (директор лаборатории искусственного интеллекта Стэнфордского университета, один из создателей сервиса Google Street View, глава проекта Stanley в Стэнфордском университете, получившего приз в 2 млн долл. от Министерства обороны США за победу в DARPA Grand Challenge 2005 г.).

На сегодняшний момент в проекте участвует 12 водителей и 15 инженеров, задействовано 10 автомобилей: шесть Toyota Prius, три Lexus RX460h и один Audi TT.

Оснащение каждого гугломобиля включает:

- лидар, установленный на крыше;
- видеокамеру в салоне, рядом с зеркалом заднего вида;
- радары в передней части машины;
- позиционный датчик на одном из задних колес (рис. 5.6).



Рис. 5.6. Google Car Drive

При работе система использует информацию, собранную сервисом Google Street View, который содержит фотографии дорог с прилегающими территориями. Автомобиль определяет свое местоположение посредством позиционного датчика GPS. Таким образом, как только беспилотник начинает движение, весь арсенал сенсоров и камер с помощью специально разработанной нейронной сети принимается сравнивать записанную ранее информацию с тем, что происходит вокруг в режиме реального времени. Благодаря этому система отличает пешехода на дороге от фонованого столба.

На рис. 5.7 показано реальное отображение работы гугломобиля, который видит окружающую обстановку при помощи лидара, установленного высоко на крыше. Как уже говорилось (см. разд. 2.2.2), в лидаре реализована технология получения и обработки информации об удаленных объектах с помощью активных оптических систем, использующих явления отражения света и его рассеяния в прозрачных и полупрозрачных средах. В данном случае 64 лазера постоянно мониторят обстановку, строя трехмерную карту в компьютере управления.

Однако здесь возникают определенные трудности: чтобы беспилотник мог нормально функционировать, прежде чем выпускать его на дороги, инженерам Google необходимо самим проехать по тем же маршрутам, собрать данные об окружающей среде и рельефе местности и внести их в картогра-

фические сервисы. Кроме того, в настоящее время даже самая совершенная GPS-система не обеспечивает 100%-ной уверенности в безошибочной навигации автомобиля без водителя.

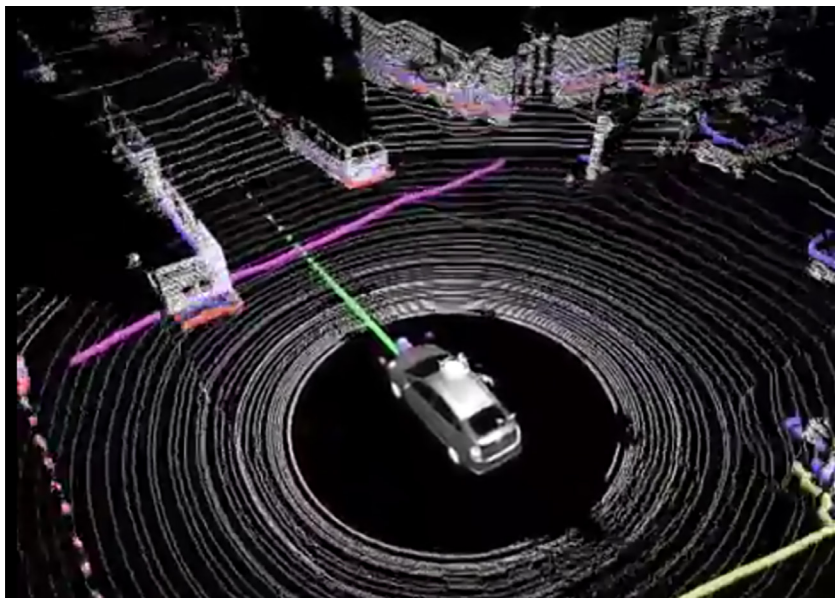


Рис. 5.7. Сканирование окружающего пространства гугломобилем

Корпорация Google проделала немаловажную работу по узакониванию беспилотников, пролоббировав в штатах Невада, Флорида и Калифорния законопроекты о возможности программного управления транспортным средством и тем самым снизив количество наблюдателей за условиями движения транспортного средства до одного водителя, который в случае необходимости должен или аварийно завершить работу программы беспилотника, или перехватить управление.

За все время испытаний гугломобили прошли свыше 500 км, при этом на дороге всегда было порядка 10 транспортных средств.

Основные сложности на данном этапе развития технологии связаны с моментами въезда на трассу и выезда с нее, проблемными и для молодых неопытных водителей. Таким образом, в определенных ситуациях наблюдатель в гугломобиле все-таки должен брать управление на себя. Но интеграция человека и автомата происходит практически идеально, ведь, по словам инженеров корпорации, конечная цель проекта состоит в том, чтобы машина сама, без всяких внешних сигналов улавливала момент, когда приходит пора «превращаться в водителя».

Инженеры Google также отмечают, что оборудование беспилотных автомобилей, собирающее информацию о ситуации на дороге, – лучший свидетель, на показания которого можно рассчитывать в случае ДТП. Примером может служить авария с участием беспилотника Google, после которой регистрирующая аппаратура показала, что гугломобиль тормозил плавно и не создавал аварийной ситуации (см. разд. 1.3.1).

К недостаткам данной модели беспилотных перевозок, помимо возможного отсутствия актуальной информации в Google Street View, также следует отнести некорректную работу системы в сильный дождь и при езде по заснеженным трассам, когда форма окружающего пространства меняется. Автопилот при этом теряет ориентацию и не может управлять машиной. Таким образом, в настоящее время основные усилия направлены на устранение белых пятен в системе, в частности, на подготовку машин к неожиданным встречам – с заглохшим автомобилем или валяющейся посреди дороги шиной.

5.4.2. Автомобильная система Temporary Auto Pilot (Volkswagen)

В 2011 г. в рамках проекта HAVit (Highly Automated Vehicles for Intelligent Transport) концерн Volkswagen представил полуавтоматическую систему Temporary Auto Pilot (TAP) – «временный автопилот». По сути, это не инновационная разработка, а лишь улучшение существующих решений. Система позволяет водителю в определенных условиях отдать управление под контроль автоматике, что является промежуточным этапом на пути к роботизированному автомобилю.

Система TAP объединяет уже известные разработки Volkswagen: системы адаптивного круиз-контроля, помощи движению по полосе и распознавания дорожных знаков (см. гл. 5). В работе TAP используются стандартные входные устройства систем активной безопасности:

- лидар;
- радар;
- видеокамера;
- ультразвуковые датчики.

Сигналы от входных устройств передаются в электронный блок управления, который с помощью исполнительных механизмов реализует следующие автоматические функции:

- поддержание безопасного расстояния до впереди идущего автомобиля;
- движение по полосе;
- остановка и трогание с места;
- распознавание знаков ограничения скорости и приведение скорости

в соответствие с их требованиями.

Машина самостоятельно сохраняет безопасную дистанцию между собой и впереди идущим транспортом, держится середины полосы движения и тор-

мозит перед изгибами шоссе. Водитель по-прежнему остается главным – его действий (осмысленных) автомобиль слушается в первую очередь, команд компьютера – во вторую.

Кроме магистралей, автопилот Volkswagen умеет ездить в пробках, повторяя однотипный цикл «старт-стоп», сохраняя дистанцию и полосу движения.

Система ТАР обеспечивает оптимальную степень автоматизации в зависимости от дорожной ситуации и состояния водителя, тем самым способствуя безаварийному движению. Она показала отличные результаты на автомагистралях на скорости до 130 км/ч и на сегодняшний момент полностью готова для внедрения на серийные автомобили.

В данном случае речь не идет о полностью автономной и универсальной системе. Маневры ТАР достаточно ограничены, и оснащенная таким автопилотом машина никогда не сможет проехать по маршруту из точки А в точку В без помощи водителя, как это делают автомобили Google. Это лишь временное решение: автопилот работает только под присмотром водителя, который в любой момент может взять управление на себя. Впрочем, даже такая система является еще одним шагом к полностью автономным автомобилям.

5.4.3. Система Traffic Jam Assistant (Audi)

В 2012 г. на Международной выставке потребительской электроники International Consumer Electronics Show (CES) в Лас-Вегасе компания Audi представила свою новую разработку под названием Traffic Jam Assistant – первую серийную систему автопилота, прежде всего предназначенную для флагманского седана А8.

В основе системы, способной работать на скорости от 0 до 60 км/ч, лежит адаптивный круиз-контроль, уже доступный для некоторых моделей Audi, который способен самостоятельно поддерживать расстояние до впереди идущего транспорта и при необходимости затормозить автомобиль вплоть до полной остановки.

В конструкцию Traffic Jam Assistant входят:

- два радара (сканирующие сектора протяженностью 250 м на углы до 21°);
- широкоугольная видеокамера, определяющая дорожную разметку и окружающие препятствия (машины, отбойники, пешеходов);
- восемь ультразвуковых датчиков, контролирующих пространство спереди, сзади и сбоку автомобиля.

Контролируемый датчиками коридор значительно шире полосы автомагистрали, что позволяет автомобилю маневрировать, уступая дорогу машинам экстренных служб и объезжая возникающие препятствия. Система также реагирует на перестраивающиеся машины, соответствующим образом меняя режим движения.

Таким образом, оснащенный Traffic Jam Assistant автомобиль способен самостоятельно разогнаться, тормозить и проходить несложные повороты [67].

5.4.4. Система Traffic Jam Assist (Ford)

Одной из ключевых проблем городских транспортных систем не только крупных мегаполисов, но и более мелких городов является уплотнение трафика, вызывающее пробки на дорогах.

Для упрощения вождения в пробках, снижения стресса и усталости у водителей и потенциального улучшения управления движением автомобиля в потоке компания Ford разработала систему помощи при движении в пробках Traffic Jam Assist, способную заменить водителя в условиях плотного потока и небольшой скорости движения.

При уменьшении скорости до 30 км/ч Traffic Jam Assist автоматически включает радар и камеру, отслеживающие движение соседних машин. Электронный блок управления выбирает нужную скорость и обеспечивает движение автомобиля в потоке (рис. 5.8).



Рис. 5.8. Работа системы Traffic Jam Assist

Система может обеспечить движение автомобиля со скоростью впереди идущего потока, одновременно поддерживая его положение в своем ряду. Работает она в тех местах, где имеется четкая разметка рядов и отсутствуют пешеходы, велосипедисты и животные.

Опытные образцы Traffic Jam Assist уже несколько лет активно тестируются в Европе, и, по неофициальным данным, Ford планирует начать ее использование на серийных автомобилях к 2017 г. [68].

В 2016 г. на пресс-конференции в Центре исследований и инноваций Ford в Пало-Альто глава компании М. Филдс заявил, что Ford Motors, сделавший когда-то автомобиль доступным, намерен открыть следующую главу в истории автомобилестроения – разработать и вывести на рынок к 2021 г. полностью автономные автомобили без руля, педалей и рычагов.

5.4.5. Система Traffic Jam Assistance (Volvo)

Автоматизированная система помощи в дорожных заторах Traffic Jam Assistance, разработанная компанией Volvo, является развитием систем адаптивного круиз-контроля и контроля полосы движения, с 2012 г. используемых в серийных моделях данной марки.

Traffic Jam Assistance позволяет машине двигаться в медленном потоке со скоростью до 50 км/ч без участия водителя. После включения автоматика берет на себя управление тормозами, двигателем и рулевой системой. Адаптивный круиз-контроль поддерживает заданное расстояние до впереди идущего автомобиля, а система слежения за полосой с помощью рулевого управления сохраняет полосу движения. Водитель в любой момент может вмешаться, приняв управление на себя (рис. 5.9).



Рис. 5.9. Система движения автомобиля в заторах Traffic Jam Assistance

Traffic Jam Assistance будет устанавливаться на автомобилях Volvo, построенных на новой масштабируемой платформе SPA. Компания называет систему очередным шагом к реализации концепции автономной езды. Создание полностью автономного автомобиля является стратегическим приоритетом Volvo.

Volvo всегда отличалась особенно пристальным вниманием к безопасности. Компания ставит перед собой очень серьезные цели: в частности, она намерена добиться того, чтобы в 2020 г. ни один человек не погиб и не получил увечий в автомобиле данной марки. Для этого в качестве промежуточного этапа с 2014 г. Volvo выводит на улицы модель XC90, оснащенную полуавтономной системой управления. Такие машины способны удерживать место в дорожном потоке, самостоятельно ехать по узким улицам с помощью Traffic Jam Assistance и парковаться [69–71].

В 2016 г. Volvo и Uber начали плотное сотрудничество. У обеих компаний имеются большие наработки в области беспилотных технологий, но Volvo умеет делать машины, а Uber – нет. Суть союза в совместной разработке «тележки» для будущих беспилотников, «мозги» на которую каждый будет устанавливать свои.

Компания Uber объявила, что намерена запустить первые беспилотные такси, которые могут вызвать обычные люди. Стартовой площадкой для проекта выбран г. Питтсбург (Пенсильвания, США). Однако в машине все равно будут находиться водитель-подстраховщик и инженер-наблюдатель. В качестве компенсации за риск и непривычную обстановку поездки будут бесплатными.

5.4.6. Система Super Cruise (Cadillac)

В 2012 г. компания Cadillac начала дорожные тесты системы Super Cruise, способной самостоятельно рулить, тормозить и обеспечивать следование автомобиля строго посередине полосы движения при езде по шоссе. Первую версию системы предполагается установить на седанах ATS и XTS.

Super Cruise призвана повысить эффективность действий водителя и увеличить удовольствие от поездки. Целью ее разработки является создание интуитивного пользовательского интерфейса.

Специалисты компании отмечают, что ключом системы является интегрированная технология следования середине полосы движения, использующая GPS и видеокамеры для индикации линий разметки.

Для выявления потенциальной опасности столкновения и соответственного реагирования Super Cruise использует сенсоры с полным круговым обзором.

Тем не менее система будет иметь определенные ограничения в плохих погодных условиях, когда затруднено считывание полос разметки, или при недоступности GPS. К сожалению, данный вопрос пока не решен, причем для России это особенно актуально, если учесть, что зачастую распознать дорожную разметку бывает довольно трудно, независимо от погодных условий, либо она попросту отсутствует.

Полностью готовая к эксплуатации система будет состоять из следующих компонентов:

- автоматическое торможение задних колес;
- адаптивный круиз-контроль для всего диапазона скоростей;
- интеллектуальная система торможения;
- система распознавания препятствий по ходу движения;
- сиденья с системой безопасности;
- автоматическая подготовка к предотвращению столкновения;
- система оповещения о пересечении линий разметки;
- система оповещения о боковой слепой зоне;
- оповещение о движущихся следом автомобилях;
- адаптивные передние фары;
- камера заднего вида с динамичными направляющими;
- дисплей, проецируемый на ветровое стекло.

Поскольку безаварийная езда неизменно является первоочередным приоритетом, Super Cruise должна помочь многим водителям, если они растеряются в сложной ситуации [72].

5.4.7. Система SARTRE (Volvo)

Основанный Еврокомиссией в сентябре 2009 г. проект Safe Road Trains for the Environment (SARTRE) позволяет нескольким машинам двигаться по дороге в организованной колонне. Цель проекта – разработка и тестирование технологий, предусматривающих самостоятельное передвижение транспортных средств в длинных караванах по дорогам общего пользования [73].

Это один из перспективных проектов, способных изменить нынешнее положение дел в области использования личного транспорта и экологическую обстановку путем создания безопасных автокараванов или автопоездов (рис. 5.10).



Рис. 5.10. Организованная колонна-автокараван

Автомобили каравана двигаются за головной машиной – грузовым автомобилем с водителем-профессионалом. Они выстраиваются с дистанцией 6 м и полностью повторяют движение ведущего грузовика, что позволяет их водителям отдохнуть, поесть, поговорить по телефону и пр. По желанию каждый автомобиль в любой момент может покинуть группу.

Проект SARTRE обращается к трем краеугольным проблемам: безопасности транспортировки, состояния окружающей среды и перегруженности трасс. Введение автопоездов на обычных дорогах с частными транспортными средствами позволит сократить аварии по причине действий водителя, приблизительно на 20 % снизить выбросы CO₂ и организовать более равномерный транспортный поток с потенциальным увеличением пропускной способности.

Принятие данной схемы водителями поощряется путем увеличения комфорта в поездке.

В январе 2012 г. проект SARTRE вошел в завершающую стадию: на полигоне Hällered Proving Ground в Швеции были протестированы три автомобиля и автопоезд. Испытуемые транспортные средства отлично показали себя на скорости около 90 км/ч, полностью повторяя движения ведущего грузовика.

5.4.8. Разработку Renault – Nissan – Mitsubishi Alliance

В 2016 г. Renault – Nissan – Mitsubishi Alliance объявил о планах выпуска беспилотных автомобилей к 2020 г. Две глобальных задачи альянса на ближайшее будущее – выпустить модели с нулевыми выбросами и нулевой смертностью.



Рис. 5.11. Модель Renault – Nissan – Mitsubishi Alliance с однополосным контролем

Автономное управление позволит ликвидировать влияние человеческого фактора, который является причиной 90 % ДТП. К 2016 г. альянс планировал выпустить модели с однополосным контролем, способные безопасно передвигаться по дорогам, в том числе в плотном потоке машин или пробке (рис. 5.11), а к 2018 г. – модели с многополосным контролем, обладающие функцией смены полосы. К 2020 г. будет внедрена технология движения по развязкам и перекресткам без участия человека.

На разработки в этой сфере альянс планирует потратить около 5 млрд долл. США.

Необходимо отметить, что над аналогичными решениями давно работают и другие крупнейшие автомобильные компании – Toyota, Ford, Volvo, Tesla. Революционером в данной области можно считать компанию Toyota, которая уже в конце 2015 г. заявила о выходе беспилотных такси на дороги Японии в 2016 г.

Эксперты прогнозируют, что к 2040 г. 75 % мирового автопарка будут составлять беспилотные транспортные средства.

5.4.9. Системы Cruise и Comma

Основанная в 2013 г. компания Cruise привлекла около 20 млн долл. венчурного финансирования, собрала команду из нескольких десятков талантливых разработчиков и за пару лет создала работающие прототипы систем, позволяющие обычной машине ездить самостоятельно. В 2016 г. компания была куплена General Motors примерно за 1 млрд долл.

Comma ставит перед собой схожую цель: превратить любой современный автомобиль с ABS и электроусилителем руля в беспилотник за 1000 долл. Причем автопилот может как предустанавливаться на заводе, так и предоставляться в виде набора, который можно смонтировать чуть ли не самостоятельно.

В Comma используют самые современные алгоритмы искусственного интеллекта и машинного обучения вкупе с мощнейшими графическими чипами (GPU) вместо обычных процессоров. Автомобиль предполагается оснащать набором сенсоров, включающим:

- шесть камер;
- ультразвуковые датчики;
- панорамный лидар.

5.4.10. Беспилотный автомобиль от Tesla

Автопилот Tesla построен на базе NVIDIA DRIVE™ PX 2 – открытой вычислительной платформы с искусственным интеллектом, позволяющей ускорить разработку и выпуск автомобилей с системами автоматического управления. Энергоэффективный модуль размером с ладонь, поддерживающий возможность автоматического круиз-контроля, расширяется до мощного су-

персонального компьютера с искусственным интеллектом, способного обеспечить беспилотное управление автомобилем.

Новый автопилот включает обновленный набор сенсоров (12 ультразвуковых радаров и 8 камер) и суперкомпьютер компании NVIDIA (рис. 5.12). Этого достаточно, чтобы беспилотник мог делать все: видеть дорожную обстановку в радиусе 250 м в любую погоду, считывать дорожные знаки и сигналы светофоров, опознавать пешеходов и другие препятствия, выезжать из гаража или с парковочного места и парковаться по прибытии.

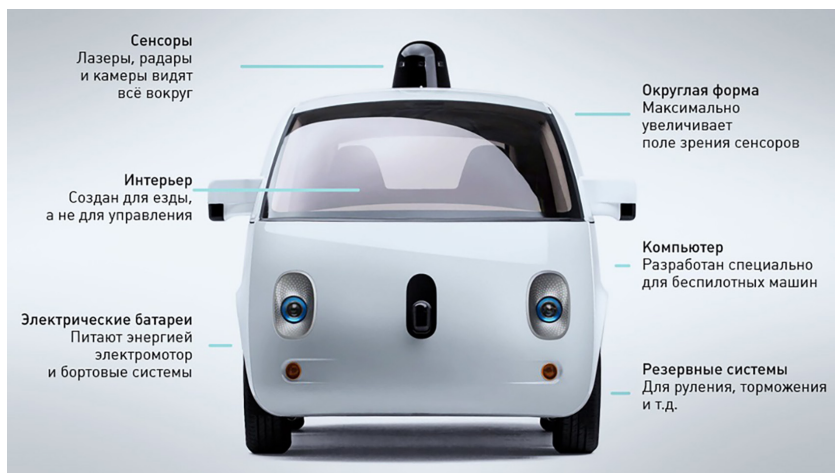


Рис. 5.12. Беспилотный автомобиль от Tesla

Для автомобиля разработано специальное программное обеспечение Tesla Vision. Система машинного зрения построена на параллельной вычислительной платформе NVIDIA CUDA с использованием графического процессора (GPU) производителя (рис. 5.13).

В середине октября 2015 г. Tesla официально выпустила первую публичную версию Autopilot, сделав значимый шаг на пути к беспилотному будущему. Владельцы Model S, выпущенных в октябре 2014 г. и позднее и уже оснащенных набором соответствующих сенсоров и датчиков, получили Autopilot вместе с обновлением 7.0 операционной системы своих электрокаров.

Подобные системы превентивной безопасности имеются и на других современных машинах (например, Driving Assistant Plus на BMW или DISTRONIC Plus на Mercedes). В чем же тогда заключается прорыв Tesla? В том, что перед нами первый в мире серийный автомобиль, который действительно способен сам проезжать значительные расстояния. На первом этапе – по шоссе, но это только начало.



Рис. 5.13. Работа Tesla Vision

С концептуальной точки зрения подходы Tesla и Google к автономной езде заметно отличаются. Во-первых, Tesla «ест слона по частям», в то время как Google уже несколько лет готовится проглотить его целиком. Автопилот Tesla сейчас нацелен на решение только одной задачи – избавить водителя от долгой и скучной езды по хайвею (рис. 5.14). Google же хочет, чтобы машина умела полностью ездить сама и по всем дорогам. Подход Tesla – 20 % усилий и ресурсов для достижения 80 % результата. Дешево и эффективно.

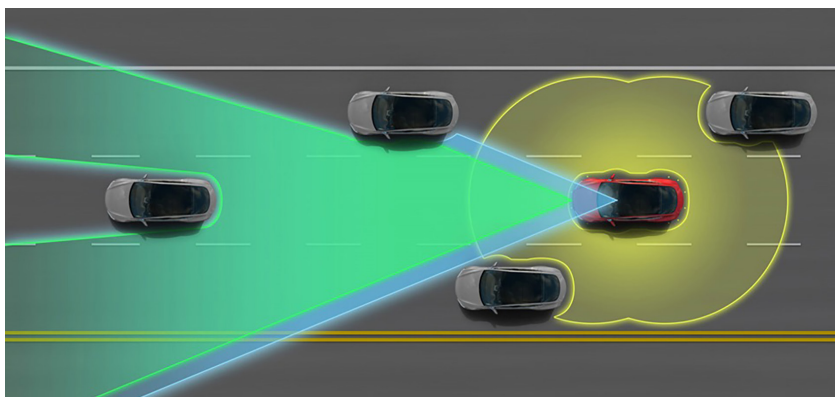


Рис. 5.14. Сканирование полосы движения системой Autopilot от Tesla

Во-вторых, технологическое решение инженеров Tesla значительно проще: для того, чтобы машина «видела» и принимала нужные решения, используются камера, радар, ультразвуковые датчики и GPS-модуль. Все эти устройства широко применяются в парктрониках, адаптивных круиз-контролях, системах

превентивной безопасности и навигаторах. Однако каждое из них по отдельности не обладает необходимой точностью и надежностью, чтобы водитель мог выпустить руль из рук. Но когда все четыре датчика объединены в единую систему, совокупного количества и точности данных становится достаточно, чтобы компьютер мог вести машину сам.

Специалисты Google заложили в основу работы автопилота данные панорамного лидара и сложнейшие алгоритмы, позволяющие машине распознавать окружающую обстановку в мельчайших деталях. Google Self-Driving Car видит мир в объеме и со всех сторон (рис. 5.15). Подход Google очень сложен и дорог, но обеспечивает впечатляющие результаты. Однако нужно учесть, что телеметрические данные, получаемые от автономных машин при езде по реальным дорогам, – это основная «пища» для алгоритмов машинного обучения Google, благодаря которым программа оттачивает свои навыки вождения. Таким образом, у кого больше данных, тот быстрее и лучше научит компьютер управлять автомобилем.

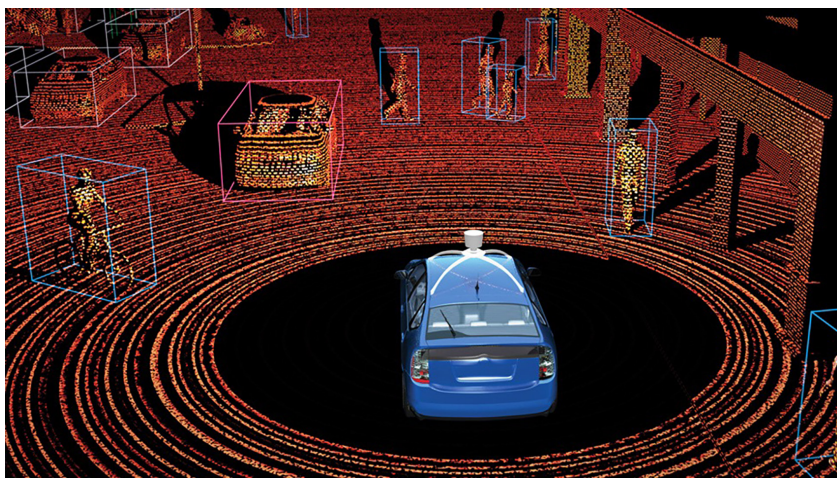


Рис. 5.15. Машинное зрение Google Self-Driving Car

Еще недавно казалось, что лидерство Google в сфере беспилотных автомобилей безусловно и недостижимо. За многие годы испытаний их прототипы наездили более 2 млн км, накопили петабайты данных, многому научились и продолжают учиться.

Однако теперь ситуация поменялась. Если в распоряжении Google сейчас находится впечатляющий автопарк примерно из 200 прототипов (Lexus и собственные Panda car), то у разработчиков Autopilot – несколько тысяч (!) реальных машин. Причем в отличие от Google, машины которого в тестовом режиме испытываются в пределах одного города, Tesla уже сегодня ездят по всему

миру (включая Россию) и передают данные «в центр». А чем больше данных получено с машин, тем умнее становится система и тем лучше ведет автомобиль. В Tesla говорят, что Autopilot улучшается каждый день, и некоторые владельцы машин подтверждают это собственными наблюдениями.

Глава 6. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕВОЗКИ ПАССАЖИРОВ

6.1. Персональный автоматический транспорт

Мы слишком часто недооцениваем сложность выбора транспортной системы и видов транспорта, подходящих для той или иной урбанизированной территории. С наиболее острыми проблемами в городах обычно борются путем поочередного внедрения различных решений, которые, однако, не ведут к повышению эффективности транспортной системы в долгосрочном плане.

Так, многими городскими администрациями неоднократно заявлялось, что основная цель улучшения транспортной ситуации – ликвидация проблемы заторов. Но в данном случае причина перепутана со следствием: заторы являются результатом неверной транспортной политики и неудовлетворительного планирования, а вовсе не причиной проблем на транспорте. Пробки на автодорогах ведут к увеличению транспортных издержек и потерям времени.

Исходя из теоретического и практического опыта наиболее развитых городов мира, можно утверждать, что важнейшая цель – это переход к *мультимодальному планированию*, предусматривающему координированное использование различных видов транспорта и транспортных коммуникаций (улично-дорожных сетей, систем общественного транспорта, пешеходной инфраструктуры и пр.).

Недостаточное понимание роли и значения транспортной системы города зачастую ведет к недоразумениям в процессе планирования. Примером тому, безусловно, являются попытки сравнения различных видов транспорта на основе теоретического анализа, проводимого по критерию минимизации затрат применительно к некоторому «модельному» городу. В таком анализе не учитываются различия транспортных систем в отношении их производительности,

эксплуатационных характеристик, привлекательности для пассажиров, а также положительного или отрицательного влияния на городскую среду.

Создание эффективной системы зависит от ряда факторов, в том числе от соответствия конфигураций транспортной сети и города, а также от качества проектирования на макро- и микроуровне. Очевидно, что ни один отдельно взятый вид транспорта не может удовлетворять всем требованиям, особенно в больших городах.

Таким образом, главный вопрос при планировании эффективной транспортной системы большого города сводится к выбору места и роли в ней того или иного вида транспорта. В этих целях необходимо определить некоторые базовые понятия и концепции.

К категории *легкорельсового транспорта Light Rail Transit (LRT)* в современной практике относят все виды рельсового транспорта, которые инженерно ограничены от общего потока транспортных средств на большей части протяженности своих линий, проложенных по земле, эстакадам или тоннелям неглубокого заложения (например, скоростной трамвай, легкое метро). По эксплуатационной скорости и провозным возможностям LRT занимает промежуточное место между традиционным трамваем и метрополитеном.

Наиболее успешны системы LRT, известные под названием «легкое метро» (в Германии – *Stadtbahn*). В последние десятилетия они были построены примерно в 100 городах мира и в большинстве случаев представляли собой продвинутые варианты традиционных трамвайных линий. Системы предусматривают обособленные низкошумные путевые конструкции, трассированные по осевым линиям городских улиц, и сочлененные комфортные вагоны большой вместимости. В центральной части города линии LRT могут иметь небольшие тоннельные участки, а также участки, проходящие через пешеходные зоны.

По эксплуатационным показателям легкое метро гораздо ближе к метрополитену, чем к обычным трамвайным линиям. Эта транспортная система имеет множество разновидностей. В некоторых городах она дополняет метрополитен в центральной части или в пригородных районах, в других – является базовой системой общественного транспорта, обслуживающей крупные транспортные коридоры «город – пригород».

В последние годы во многих городах мира были введены в эксплуатацию *системы скоростных автобусных перевозок Bus Rapid Transit (BRT)* – системы автобусных (иногда троллейбусных) маршрутов, трассированных на всем своем протяжении исключительно по обособленным полосам. BRT отличаются от LRT меньшей капиталоемкостью, но более высокими эксплуатационными затратами, обусловленными повышенной трудоемкостью: в системе BRT водитель управляет автобусом с номинальной вместимостью 80–140 пассажиро-мест, а в системе LRT – поездом, рассчитанным на 250–750 пассажиро-мест. С другой стороны, сооружение BRT требует меньше времени, чем строительство LRT.

В части комфорта и качества перевозок системы BRT уступают LRT (при этом, разумеется, BRT намного лучше рейсовых автобусов и микроавтобусов,

работающих на перегруженных улицах без каких-либо приоритетов в движении). Можно утверждать, что внедрение BRT способствует переключению на общественный транспорт значительных объемов пассажирских перевозок и заметно улучшает мобильность города.

Устройство локальных обособленных полос на тех или иных участках улично-дорожной сети значительно менее эффективно, чем сооружение целостных систем BRT. Однако и это несложное мероприятие способно улучшить работу троллейбусных и автобусных маршрутов и тем самым способствовать уменьшению заторов за счет перехода на общественный транспорт некоторого количества ежедневных автомобилистов.

Остановимся на двух особенно успешных инновациях в данной сфере: общественные транспортные системы с движением по специальным путям и системы персонального скоростного транспорта.

Особо обратим внимание на значительный прогресс, достигнутый во многих городах мира в деле интеграции различных видов массового городского транспорта. Для пассажира наилучший сценарий имеет место, когда все виды общественного транспорта – метрополитен, городские и пригородные автобусы, пригородные линии железных дорог – представляют собой интегрированную систему с удобными пересадочными узлами, согласованными расписаниями и сквозными тарифами.

6.1.1. История развития автоматического транспорта

Городской и пригородный *персональный автоматический транспорт* *Personal Rapid Transit* (PRT) автоматически перевозит пассажиров в режиме такси, используя сеть выделенных путей. Существуют различные варианты PRT, но в большинстве случаев для перевозок используются небольшие (1–4 места) автоматические электрокары [79, 80].

Для перевозки значительного числа пассажиров, конечно, больше подходит автобус. Однако горожане, имеющие личный автомобиль, вряд ли поедут в переполненном автобусе. Они уже сделали свой выбор, когда покупали машину. Поэтому с точки зрения персонального транспорта система PRT – более эффективное решение, чем автомобиль.

Поскольку с ростом благосостояния человечество стремительно покидает городской общественный транспорт, предпочитая ему собственные автомобили, необходимо предложить жителям города достойную альтернативу, которой вполне может стать персональный автоматический транспорт.

История PRT началась примерно в 1953 г., когда Д. Фичтер, планировщик городского транспорта, начал разрабатывать альтернативные средства перевозки грузов и пассажиров, впоследствии и получившие название PRT. В 1964 г. Д. Фичтер опубликовал книгу, в которой предложил концепцию автоматического транспорта для районов с низкой и средней плотностью населения. В 1966 г. Министерство благоустройства и городского развития США получило финан-

сирование на исследования новых систем городского транспорта, который был бы способен перевозить пассажиров и грузы быстро, безопасно, не загрязняя воздух и не ухудшая городскую планировку. Обзорные результаты исследований были опубликованы в 1968 г. В них рекомендовалось развитие концепции PRT наряду с другими транспортными системами, такими как «автобус по вывозу» и высокоскоростные междугородние магистрали.

В конце 1960-х гг. организованная Конгрессом США корпорация Aerospace потратила большие средства на развитие технологии PRT и провела значительную часть исследований того времени. В 1969 г. научная группа опубликовала первое описание PRT в многотиражном журнале *Scientific American*, а в 1978 г. – обзор результатов своей работы в виде книги.

В 1967 г. в Париже аэрокосмическое отделение корпорации Matra начало работы по проекту Agamis. Затратив около 500 млн франков, корпорация закрыла проект после того, как система не смогла пройти квалификационные испытания в ноябре 1987 г. Транспортные средства системы Agamis должны были двигаться на малом расстоянии друг от друга, формируя «виртуальный поезд», но недостатки программного обеспечения приводили к их столкновениям.

С 1970 по 1978 г. в Японии действовал проект Computer-controlled Vehicle System (CVS) – контролируемая компьютером система транспортных средств (рис. 6.1). В рамках полномасштабной тестовой инсталляции 84 транспортных средства двигались на скоростях до 60 км/ч на путях длиной 4,8 км. В 1976–1978 гг. CVS была установлена и использовалась в течение 6 мес. За это время 16 транспортных средств (12 пассажирских и 4 грузо-пассажирских) перевезли в общей сложности 800 тыс. чел. между пятью станциями по путям длиной 1,6 км. Проект CVS был закрыт после того, как Министерство земли, инфраструктуры, транспорта и туризма Японии заявило, что система небезопасна и не соответствует существующим правилам о минимальной дистанции.

Первая в мире активно эксплуатируемая PRT-система Urban Light Transit (ULTra) обслуживает аэропорт Хитроу в Лондоне (рис. 6.2). Система, запущенная в мае 2011 г., включает около 4 км путей и 21 электромобиль. Стоимость внедрения составила от 3 до 5 млн фунтов стерлингов на 1 км линии.

Каждый электромобиль управляется бортовым компьютером и оборудован специальными датчиками, обеспечивающими безопасность пассажиров и пешеходов. В экстренных ситуациях пассажир может взять управление на себя. Электромобили имеют по 4 пассажиро-места и способны перевозить до 500 кг грузов со скоростью около 40 км/ч, двигаясь по ограниченной бордюрами специальной дорожке [103].

Каждый вагон ULTra потребляет в среднем 2 кВт электроэнергии и питается от аккумуляторных батарей, которые подзаряжаются во время стоянок. В перспективе планируется расширение системы до других терминалов аэропорта Хитроу и увеличение числа вагонов до 400. Также существуют планы по внедрению ULTra в г. Амритсаре (Индия), где будет эксплуатироваться около 200 вагонов, способных перевозить более 100 тыс. пассажиров в день.



Рис. 6.1. Система CVS



Рис. 6.2. Система ULTra в аэропорту Хитроу (Лондон)

Существуют проекты по созданию подобных систем и в других городах мира. Так, в Тель-Авиве (Израиль) планируется внедрение системы SkyTran, разработанной одноименной частной компанией совместно с инженерами NASA (National Aeronautics and Space Administration – Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства, США). В SkyTran используются двухместные капсулы, в которых пассажиры смогут добраться из одного пункта в другой по собственному выбору (рис. 6.3). Капсулу можно будет заказать через интернет-сайт или мобильное приложение, и она придет почти мгновенно. Пассажир, предварительно введя желаемый пункт назначения, сядет в нее и будет доставлен практически к порогу. Это означает, что SkyTran сможет решить проблему «последнего километра», перед которой бессильны другие системы пассажирского транспорта.

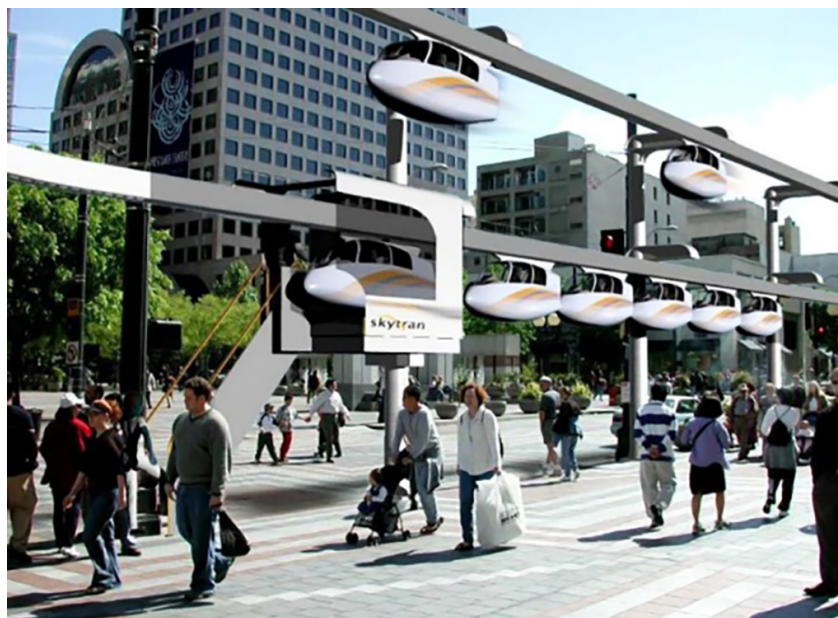


Рис. 6.3. Проект системы SkyTran (Тель-Авив)

Капсулы SkyTran движутся вдоль направляющего рельса на высоте 6 м над землей, задействуя неиспользуемое пространство вертикальной застройки. За счет современных методов строительства внедрение SkyTran можно осуществить значительно дешевле и быстрее других транспортных систем. Станции, представляющие собой платформы с лестницами, расположены так, что среднее расстояние от станции до любой точки обслуживаемой зоны не превышает 400 м (хотя более крупные узлы могут обслуживать весь центр города). Во

время посадки и высадки пассажиров капсулы перемещаются на боковую полосу разгона, чтобы не блокировать движение по основному пути. Они созданы из композитных материалов, очень мало весят и легки в обслуживании.

SkyTran работает на электрическом токе, подаваемом сверху. Магнитная левитация, которая создается за счет установленного в каждой капсуле магнита и индукционной катушки внутри рельса, снижает силу трения, что делает перемещение бесшумным и плавным. Капсулы могут разогнаться до 241 км/ч, но их реальная скорость в городских условиях будет значительно меньше, пока пассажиры полностью не освоят систему.

В Южной Корее инженеры компании Vestus ведут разработку собственной PRT-системы. Система Vestus состоит из небольших автоматических вагонов, движущихся по специальным путям, поднятым на эстакаду и не мешающим движению наземных транспортных средств (рис. 6.4). Предполагается прямое перемещение из пункта А в пункт Б без пересадок или остановок на промежуточных станциях.



Рис. 6.4. Система Vestus (Южная Корея) на испытательном полигоне

Vestus работает круглосуточно, по требованию, в режиме такси. Во время посадки и высадки пассажиров вагоны перемещаются на боковую полосу. Благодаря высокоинтеллектуальной системе управления вагоны способны перемещаться на скорости до 70 км/ч, сохраняя при этом очень близкую дистанцию. Предполагается создание как PRT-вагонов для перевозки 4 чел., так и GRT-вагонов (Group Rapid Transit – групповой скоростной транспорт), способных перевозить до 20 чел.

Испытания системы в Швеции показали ее устойчивость к заморозкам и обильным снегопадам. Сейчас идет строительство первой коммерческой системы Vectus в г. Сунчхон. Предполагается использовать 40 вагонов на 5-километровом участке пути.

6.1.2. Транспортные системы с движением по специальным путям (PRT)

Системы PRT должны удовлетворять семи критериям, установленным The Advanced Transit Association (ATRA):

- 1) транспортные средства полностью автоматизированы (без водителей);
- 2) транспортные средства находятся только на предназначенных исключительно для них специальных путях;
- 3) небольшие транспортные средства доступны 24 ч в сутки для исключительного использования одним пассажиром или небольшой группой, добровольно едущей вместе (без случайных попутчиков);
- 4) небольшие специальные пути могут быть надземными, подземными или проходить на уровне земли;
- 5) транспортные средства могут использовать все специальные пути и станции в единой сети PRT;
- 6) перемещение осуществляется из пункта А в пункт Б без пересадок и остановок на промежуточных станциях;
- 7) транспортные услуги доступны по требованию, а не по твердому графику.

Общие черты различных PRT-систем

Почти все концепции PRT имеют следующие общие черты:

- система полностью автоматизирована, включая управление транспортным средством, маршрутизацию и взимание платы за проезд;
- транспортные средства оснащены независимой или полунезависимой автоматической бортовой системой управления;
- специальные пути не пересекаются в одном уровне друг с другом, а также с потоками наземного транспорта и пешеходов, так как в основном расположены над землей; в одном уровне могут быть только развилки и слияния специальных путей;
- специальные пути используют уже существующий землеотвод, поскольку расположены по большей части над имеющимися дорогами;
- развилки и слияния специальных путей не содержат движущихся частей благодаря использованию так называемой пассивной стрелки (англ. passive switch, vehicle-mounted switch) или управляемых колес транспортного средства;

- станции расположены на боковых путях (англ. off-line station), поэтому остановившиеся транспортные средства не блокируют движение по главному пути;
- боковой путь образует полосу торможения перед станцией и полосу разгона после нее, поэтому подъезжающие и отъезжающие транспортные средства не тормозят движение по главному пути;
- станции расположены в радиусе пешеходной доступности (до 300–400 м) и по возможности вплотную к обслуживаемым объектам (территориям, зданиям, помещениям) либо внутри них;
- свободные транспортные средства ожидают пассажиров на станциях;
- в транспортных средствах нет стоячих мест;
- транспортные средства оснащены электродвигателями (в большинстве концепций – вращательными); как правило, предусмотрена также рекуперация электроэнергии (возврат в электросеть или аккумулятор) при торможении.

6.1.3. Классы персонального автоматического транспорта

Существует две основные разновидности автоматических транспортных систем:

- *Personal Rapid Transit* (PRT) – персональный быстрый городской общественный транспорт;
- *Dual Mode Transit* (Dual Mode, DM) – двухрежимный городской общественный транспорт: транспортная система, в которой электромобили могут ездить как по обычным дорогам под управлением водителя, так и по специальным путям в автоматическом режиме на большие расстояния.

Недавно появился менее употребительный синоним PRT: *Personal Automated Transport* (PAT) – персональный автоматический транспорт. Однако часть изобретателей и исследователей включает в понятие PAT как собственно PRT, так и DM.

Концепции DM обычно подразделяются на две категории:

- *Palleted DM* (поддонный DM) – электро- или автомобили перевозятся на автоматических носителях (палетах);
- *True DM* (истинный DM) – электромобили самостоятельно движутся по специальным путям в автоматическом режиме.

В некоторых концепциях эти варианты смешаны.

К понятию True DM примыкают системы автоматических шоссе *Automated Highway Systems* (AHS), где модифицированные автомобили могут ездить, группироваться и совершать маневры в автоматическом режиме не на специальных путях, а на выделенных полосах движения существующих шоссе, на которые может быть нанесена специальная автоматически считываемая магнитная разметка.

В True DM основная ответственность за безопасность маневрирования транспортных средств возлагается на инфраструктуру, т. е. на полностью изо-

лированные специальные пути и (в большинстве концепций) на стационарную систему управления наряду с бортовой. В АНС ответственность лежит на специально оборудованных транспортных средствах с машинным зрением, радарными, лазерными датчиками, системами GPS и распознавания образов (транспортных средств, пешеходов, дорожных знаков, разметки) и сложными бортовыми системами управления и взаимодействия машин друг с другом.

АНС не относятся к ПАТ. Однако некоторые концепции ПАТ также предусматривают движение в автоматическом режиме по обычным подъездным дорогам, зонам станций ПАТ, промышленным и парковым зонам. При этом безопасность движения обеспечивается за счет снижения скорости, наличия ограждений и предупредительной разметки, сигнализации и поддержания дистанции, позволяющей затормозить перед любым внезапно возникшим впереди транспортным средством, человеком, животным и пр.

В ряде концепций электромобили или автоматические носители (с транспортом, грузом, порожние) могут ездить по тем же специальным путям, что и автоматические транспортные средства PRT. Для этих смешанных концепций используют еще не устоявшееся название *Multimodal Personal Transport* (МРТ) – многорежимный (мультимодальный) персональный транспорт.

6.1.4. Сравнение различных концепций персонального автоматического транспорта

Сравнительный анализ основных концепций персонального автоматического транспорта представлен в табл. 6.1.

Параметры 1–4 определяют стоимость строительства транспортной системы [80], параметры 5–19 – ее скорость, безопасность и пропускную способность, а параметры 23–25 – степень комфорта для пассажиров. Параметры 20–22 характерны исключительно для систем DM.

Поясним некоторые характеристики подробнее.

1. *Наличие трубы для движения транспортных средств.* В некоторых концепциях транспортные средства должны двигаться внутри трубы, защищающей транспорт и специальные пути от осадков и посторонних предметов. Часть проектов также предполагает создание внутри трубы вакуума для уменьшения сопротивления воздуха.

6. *Транспортные средства не группируются, хотя дистанция между ними может быть менее 1 м.* Несколько проектов все же предусматривают физическое сцепление транспортных средств или их группировку средствами системы управления.

8. *Отсутствие подвижных частей на развилках.* Обычная железнодорожная стрелка имеет подвижные элементы (остряки). Когда такую стрелку проходят один за другим два вагона, одному из которых нужно повернуть влево, а другому – вправо, между ними приходится оставлять достаточную дистанцию, чтобы стрелка успела сработать. В системах, где рулем снабжены сами

Таблица 6.1

Сравнение различных концепций персонального автоматического транспорта

№ п/п	Описание параметра	PRT										True DM + PRT				TrueDM									
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
1	2	SkyTran (США)	SkyWeb Express (США)	Autoway (США)	Transcat (Россия)	SportTaxi (Норвегия)	Austrans (Австралия)	Capri (ЮАР)	SkyCab (Швеция)	Vectus PRT (Республика Корея)	Nigherway (США)	FlyWay (Швеция)	MAT (Германия)	ETT (США)	Segway (США)	AVT (США)	MicroRail (США)	Computer-Taxi-Bahn (Германия)	RUF (Япония)	ATN (Новая Зеландия)	ULtra (Великобритания)	REV (США)	TrTrack (США)		
1	Наличие трубы для движения транспортных средств																								
2	Электроснабжение между станциями от контактного рельса, а не от аккумулятора																								
3	Опора транспортных средств на колеса, а не на магнитную или воздушную подушку																								
4	Вращательный электродвигатель, а не линейный																								

Окончание табл. 6.1

		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
1	2																								
5	Собственные специальные магистральные пути с высокой пропускной способностью																								
6	Транспортные средства не группируются, хотя дистанция между ними может быть менее 1 м																								
7	Наличие как низко-, так и высокоскоростных путей внутри города																								
8	Отсутствие подвижных частей на развилках																								
9	Отсутствие разрывов правого или левого опорного рельса на развилках																								
10	Безопасный интервал между бамперами, равный времени реакции, а не торможения перед мгновенно остановившимся транспортным средством																								
11	Отсутствие рулежки за счет силы сцепления колес																								
12	Асинхронное движение с переменной скоростью без вакансий																								
13	Прямоугольная или радиально-кольцевая сеть специальных путей, а не петли																								
14	Преимущественно двухуровневые пересечения специальных путей																								

вагоны, дистанция может быть минимальной, однако при этом расстояния между развилками или слияниями должны быть достаточно велики (для своевременного срабатывания рулевых устройств).

10. *Безопасный интервал между бамперами, равный времени реакции, а не торможения перед мгновенно остановившимся транспортным средством.* В различных проектах используются разные принципы расчета минимального безопасного интервала.

Согласно принципу, характерному для автомобильного транспорта, интервал между бамперами должен равняться времени реакции на внезапное торможение впереди идущей машины. Для водителя при наилучших условиях (т. е. при скорости 60 км/ч) это 1,5 с, а для персонального автоматического транспорта – от 2 с (у консервативных разработчиков) до 0,5 с (у большинства) и даже 0,1 с (у самых смелых). При скорости 230 км/ч и промежутке между транспортными средствами 15 см время реакции должно составлять не более 2,3 мс, что вполне приемлемо для систем управления в реальном времени.

Принцип «кирпичной стены», применяемый для железнодорожного транспорта с его поездами большой вместимости, наиболее консервативен. Он требует, чтобы поезд без столкновения затормозил перед внезапно остановившимся (из-за падения дерева, крушения и т. п.) транспортом, словно перед внезапно выросшей кирпичной стеной. Применение этого принципа к персональному автоматическому транспорту требует движения с низкой скоростью и большими дистанциями, что делает пропускную способность специальных путей очень низкой, а сами транспортные системы – крайне убыточными и поэтому нерентабельными.

11. *Отсутствие рулежки за счет силы сцепления колес.* Автомобиль удерживается в повороте за счет сцепления шин с дорогой, а поезд – за счет конусовидности колес. В большинстве проектов РАТ удержание на рельсах осуществляется с помощью специальных роликов с вертикальной осью.

13. *Прямоугольная или радиально-кольцевая сеть специальных путей, а не петли.* Прямоугольные и радиально-кольцевые сети соответствуют расположению улиц во многих городах мира. Вместо светофоров на перекрестках в них используются многоуровневые развязки, конструкция которых отличается от автомобильных и может быть гораздо компактнее. При петлеобразном расположении путей с односторонним движением пересечение перекрестков осуществляется зигзагом под углом 45° в одном уровне путем слияния с перпендикулярным потоком либо (реже) организуется круговое движение.

15. *Поверхности специальных путей защищены от осадков.* Защита от осадков, наледи, листопада, упавших веток и т. п. обеспечивается за счет помещения специальных путей вместе с транспортными средствами в трубу, сооружения навесов или расположения рельсов внутри кожухов. Одновременно осуществляется частичная шумоизоляция.

16. *Выбор неперегруженного маршрута перед отправлением.* Предотвращает образование пробок, перегрузку специальных путей и станций назначения. При

этом вместо пробок на путях могут образовываться очереди из пассажиров на станциях отправления, но это предпочтительнее, поскольку получивший отказ пассажир может выбрать другую станцию неподалеку, другой вид транспорта либо вовсе отменить поездку.

17. *Полуавтономная бортовая система управления движением.* В зависимости от местонахождения и роли компьютеров различают автономную или полуавтономную бортовую систему управления и систему управления без бортовых компьютеров. Второй вариант опасен, поскольку система перестает функционировать при пропадании связи транспортного средства со стационарной системой управления движением.

19. *Замедление транспортных средств на отдельной полосе торможения перед поворотом.* Повороты могут осуществляться как на полной скорости – с большим радиусом, так и с замедлением – с малым радиусом. Большие радиусы поворотов, особенно на высокоскоростных участках специальных путей, плохо вписываются в городскую застройку. Замедление может осуществляться как на главной полосе движения, так и на отдельной полосе торможения.

6.1.5. Система персонального скоростного комбинированного транспорта Dual Mode PRT Zest

Достижения в области автоматизированных систем управления делают вполне реальным создание автоматизированных городских транспортных сетей, обеспечивающих необходимую пропускную способность для свободного движения.



Рис. 6.5. Dual Mode PRT Zest

Dual Mode PRT Zest предназначен для мегаполиса и сочетает в себе качества обычного автомобиля и автоматизированного транспорта (рис. 6.5). Это транспорт двойного назначения, который может двигаться как по обычным улицам, так и по специально сконструированным путям (рис. 6.6) в автоматическом режиме без остановок и пробок.



Рис. 6.6. Движение в трубе

Отличительными особенностями предлагаемой системы являются минимальные площади, требуемые для ее размещения, и простота адаптации к сложным условиям рельефа за счет возможности перемещения экипажа по крутым подъемам и спускам. Это потенциальный транспорт будущего.

Оригинальный персональный экипаж внешне мало отличается от электроавтомобиля или гибридного автомобиля. Но им можно воспользоваться по-новому – в специальной транспортной сети. Пользователь делает заявку на транспортировку, получает маршрут-график, подъезжает к терминалу и проходит подготовку, после чего экипаж вступает в соприкосновение с контактным рельсом. Больше ничего делать не нужно. Вы прибываете на место назначения вовремя и можете либо покинуть систему в экипаже, либо покинуть сам экипаж, установив, где и когда он должен вас ожидать. Управление экипажем в пути, осуществляемое по графику и оптимальному маршруту, принимает на себя автоматический диспетчер. При необходимости он запаркует экипаж на автоматизированной парковке системы и возвратит его в требуемом месте в нужное

время. Управление автоматизированной системой позволяет исключить заторы, повысить пропускную способность и снизить потери энергии. При регулярном пользовании системой экипаж имеет достаточный запас энергии в аккумуляторах и всегда может продолжить путь по улицам на небольшие расстояния.

Движение в транспортной системе будет реализовано по закрытому пути, мягко и тихо, на пневматических колесах, за счет расположенных сверху специальных рельсовых движителей, одновременно служащих токосъемниками для запасания энергии в аккумуляторах экипажа. Управлять ими проще и надежнее, чем колесом.

Движителей два, опираясь на один из них можно изменить траекторию в плане, что максимально упрощает движение на развилках. Основные пути системы проходят по эстакадам, которые могут располагаться на различных, в том числе высоких, отметках (например, над застройкой). В особо сложных планировочных условиях предполагаются пути под землей, в тоннелях. Терминалы для въезда-выезда и входа-выхода, как правило, располагаются в заглубленных на один-два этажа сооружениях либо встроены в первые этажи зданий. Таким образом, сеть получается многоуровневой, причем разница в отметках путей составляет десятки метров. Для движения по таким путям экипаж располагает специальными возможностями. Изменяя положение рельсовых движителей на раме экипажа, можно осуществлять движение под очень большим уклоном (30–75 % и более), не наклоняя кабины (рис. 6.7).



Рис. 6.7. Спуск с эстакады и подъем на нее

Попасть в терминал входа-выхода, размещенный на поверхности земли, с транзитной эстакады, поднятой над застройкой на высоту 50 м, можно за счет переходного участка длиной не более 80 м. Такой наклонный ход выведет из полезного использования порядка 50 м² городской площади – не больше, чем спуск в подземный пешеходный переход. То же будет при подъеме из тоннеля.

Наряду с персональными комбинированными транспортными средствами, способными выехать на улицы, в системе обращается необходимое количество экипажей, используемых как маршрутные такси (рис. 6.8). Они не покидают систему, имеют минимальный запас автономного хода и размер аккумуляторов и предназначены для перевозок пассажиров между терминалами входа-выхода. Таким образом, за горожанином сохраняется возможность использовать не только личный, но и общественный транспорт с индивидуальным размещением, комфортабельность которого сопоставима с такси.

Управляемые автоматические транспортные средства могут двигаться с весьма малыми фиксированными интервалами (например, 1,5 с), что обеспечивает пропускную способность сети до 2400 экипажей в час по одной транспортной артерии. При средней загрузке экипажа 2–3 пассажира (включая маршрутные такси) система может пропускать через один путь до 6000 пассажиров в час (при максимальной загрузке экипажей – вдвое больше). При этом на 1 км путей необходимо в среднем около 500 м² городской площади. Это в десятки раз меньше того, что требуется другим видам транспорта при аналогичной пропускной способности.



Рис. 6.8. Dual Mode PRT Zest на 6 пассажиров

Параметры экипажей (габариты примерно $4,0 \times 1,8 \times 2,0$ м, масса – до 1500 кг) позволяют им перемещаться по эстакадам небольшой грузоподъемности, затраты на строительство которых намного меньше стоимости транспортных сооружений для обычного автотранспорта. Эстакады предполагаются крытыми, что упрощает их эксплуатацию и повышает надежность управления электрооборудованием.

При наличии автоматизированной транспортной системы владелец экипажа перестает быть заложником транспортной ситуации в городе. Он всегда вовремя прибывает к месту назначения. В то же время он не является и заложником электрического экипажа с ограниченным запасом хода. Во-первых, запас энергии в аккумуляторах постоянно пополняется, когда экипаж движется в системе, а во-вторых, экипаж можно быстро превратить в гибридный автомобиль, если присоединить к рельсовым движителям генератор с тепловой машиной.

6.1.6. Система скоростного автоматического транспорта Rapid Transit “TRAM-Zest”

Острота экологической проблемы городов понятна всем, но, к сожалению, очень немногие способны отказаться от личного автомобиля. С появлением новой системы этого не потребуется.

Rapid Transit “TRAM-Zest” – это система скоростного автоматического транспорта, способная перевозить людей и грузы (в том числе легковые автомобили с пассажирами) по специальным выделенным путям, тем самым налаживая городское движение и значительно улучшая экологическую обстановку (рис. 6.9).

Специальные транспортные сооружения для этих систем имеют небольшую грузоподъемность и малую стоимость, при этом они обеспечивают высокую пропускную способность за счет автоматического управления и отсутствия остановок на основном пути. В мире разработано довольно много систем такого типа, однако они пока не нашли применения, поскольку прокладка новых путей и сопутствующей инфраструктуры для альтернативного транспорта, как правило, требует больших городских площадей, которые невозможно выделить.

Как и в случае Dual Mode PRT Zest, основными плюсами системы “TRAM-Zest” являются минимальные занимаемые площади и простая адаптация к сложным условиям планировки и рельефа за счет возможности перемещения транспортной платформы по крутым подъемам и спускам, ведущим к местам входа-выхода пассажиров и въезда-выезда машин. При этом систему отличает широкая вариабельность использования.

“TRAM-Zest” представляет собой эффективный транспорт для адресных перевозок значительных потоков пассажиров. На платформе располо-

жено купе, где могут разместиться от 6 (максимальная комфортность) до 14 (эконом-класс) пассажиров, каждый из которых имеет определенное посадочное место. Движение осуществляется от пункта посадки до пункта назначения без остановок. Остановки всегда расположены вне основных путей. Пропускная способность составляет до 1800 экипажей в час (до 20 000 пассажиров) при скорости до 50 км/ч в условиях весьма высокой комфортности и безопасности [78].

Систему “TRAM-Zest” можно оборудовать и для перевозки индивидуальных экологически чистых транспортных средств: велосипедов (в том числе с электроприводом), электрических скутеров, других индивидуальных средств передвижения на небольшие дистанции. Горожанин может отправиться в путь на компактном тихоходном индивидуальном транспортном средстве, проехать несколько минут до станции, большую часть маршрута проделать на относительно быстро движущейся платформе “TRAM-Zest” и, покинув ее, продолжить путь по улицам. Налицо явная экономия времени и средств, а также резкое снижение загрязнения среды при соблюдении относительно высокого комфорта в сравнении с другими способами передвижения.

Однако некоторые люди все же не хотят (или не могут) отказаться от личного автомобиля. Для тех, кому дорого время, кто готов заплатить и для автомобилей экстренных служб “TRAM-Zest” предлагает услуги по перевозке легковых автомобилей (малого или среднего класса) вместе с пассажирами (рис. 6.10). Между пунктами въезда и выезда горожан переместят прямо в личном автомобиле без остановок и пробок. Этот путь может быть длинным или коротким, но он экономит время и деньги, поскольку препятствий для автомобиля, как правило, очень много. Обычные эстакады для их преодоления дороги и требуют много места, а эстакады, по которым курсируют платформы “TRAM-Zest”, очень компактны и относительно дешевы. В городе множество маршрутов, где такая система будет экономить время, горючее и приносить доход: мосты, виадук, эстакады через железные и автомобильные дороги, зоны охраняемых исторических и природных комплексов и т. п.

По эстакаде или в тоннеле можно перевезти автомобили в автоматическом режиме по четкому графику с достаточной для городских условий скоростью, не загрязняя среду и не нарушая условий функционирования объектов, служащих препятствиями.

К настоящему времени разработано немало решений рельсового транспорта, предполагающих передвижение по рельсам индивидуальных экипажей (PRT) или перевозку автомобилей (*semi-Dual Mode PRT*) под управлением автоматических диспетчеров. Их внедрению в первую очередь препятствуют градостроительные факторы: в городах, особенно в их центрах, сегодня нет места для прокладки новых транспортных артерий и строительства обслуживающей инфраструктуры. Необходимые территории уже заняты автомобильными и железными дорогами, трамвайными путями, застройкой и различными городскими объектами, приостановить работу которых затруднительно.



Рис. 6.9. Система Rapid Transit “TRAM-Zest”



Рис. 6.10. Автомобиль съезжает с платформы “TRAM-Zest”



Рис. 6.11. Подъем автомобиля на платформе “TRAM-Zest”

Единственный вариант – разместить пути на высоких эстакадах или в тоннелях. Но в этом случае возникает проблема связи с поверхностью, а следует отметить, что, например, в метрополитене основная доля затрат приходится не на перегоны, а на станции, вестибюли, эскалаторы и депо.

Платформа “TRAM-Zest” имеет возможность осуществлять движение под очень большим уклоном, не меняя практически горизонтального положения (рис. 6.11).

Чтобы со скоростной транзитной эстакады, расположенной на высоте 30 м, попасть на терминал входа-выхода на уровне земли понадобится переход длиной не больше 50 м, который потребует примерно 150 м² площади. Еще меньше места займет спуск в транспортный тоннель. Путьепровод, предназначенный для перевозки легковых автомобилей через железную дорогу, будет иметь подходы длиной около 25 м (как пешеходный мост, с которым его можно совместить). Стоимость такого сооружения минимальна, а польза очевидна: экономия времени и горючего, снижение напряженности на прилегающих дорогах, уменьшение вредных выбросов.

Условия движения и параметры платформы “TRAM-Zest” (внешние габариты около 6×2×2 м, масса с грузом – до 5000 кг) позволяют ей перемещаться по эстакадам относительно невысокой грузоподъемности и тоннелям небольшого сечения, затраты на устройство которых несравненно меньше стоимости обычных сооружений для автомобильного и рельсового транспорта.

Основные пути транспортной системы проходят по эстакадам, которые могут располагаться на различных отметках: вдоль улиц – на небольшой высоте, над застройкой и иными препятствиями – на большой и очень большой. В особо сложных планировочных условиях пути прокладываются под землей – в тоннелях. При этом терминалы для въезда-выезда или входа-выхода сооружаются около поверхности земли либо встраиваются в первые (подземные или надземные) этажи зданий.

В системе предлагается использовать разные типы платформ:

- пассажирские общие с фиксированными местами;
- пассажирские индивидуальные типа такси;
- для перевозки компактных транспортных средств с владельцами;
- для перевозки автомобилей или грузов.

В результате одна и та же система работает как трамвай, маршрутное такси (в том числе для велосипедистов и инвалидов, которым недоступны метро и другой общественный транспорт) и трансбордер для грузов и автомобилей (там, где они не могут проехать в силу особенностей топографии, градостроительной ситуации и иных причин, исключающих строительство обычных дорог) [29–31].

Использование идентичных путей для транспортировки пассажиров и автомобилей позволяет расширить область сбыта соответствующего оборудования, увеличить число пользователей и повысить экономическую отдачу от транспортной инфраструктуры. Таким образом, в системе “TRAM-Zest” совмеща-

ются принципы PRT для пассажирского рельсового транспорта и подход semi-Dual Mode для аккредитованных индивидуальных автомобилей.

Линии “TRAM-Zest” предлагается использовать независимо, как линии метро. В сеть их объединяют через терминалы входа-выхода, где пассажиры смогут пересечь с маршрута на маршрут, и въезда-выезда, где водители будут переезжать с платформы на платформу. При необходимости устраиваются галереи для переброски платформ между линиями, однако они всегда располагаются вне основных транспортных путей, чем достигается максимальная пропускная способность.

Управляемые автоматические транспортные средства могут двигаться с очень малыми фиксированными интервалами (например, 2 с), что обеспечивает пропускную способность до 1800 платформ в час по одной транспортной артерии. При наличии на платформе 10–14 посадочных мест “TRAM-Zest” лишь незначительно уступает по пропускной способности метрополитену, стоимость которого во много раз больше, а комфортность меньше.

Одновременно система решает проблему быстрой и безопасной доставки автомобилей, имеющих приоритетные права или аккредитованных для движения, что снижает напряженность на обычных маршрутах.

Система “TRAM-Zest” в состоянии значительно модернизировать пассажирский транспорт в городе. Кроме того, она способна расширить использование альтернативных индивидуальных транспортных средств, движущихся по велодорожкам, – как самоходных, так и снабженных тихоходным экологически чистым двигателем. Например, вариант «велосипед – “TRAM-Zest”» на многих маршрутах может оказаться оптимальным по времени, особенно учитывая проблемы с парковками.

6.1.7. Беспилотные такси

В 2016 г. компания Uber запустила первые четыре такси с беспилотным управлением в американском городе Питтсбурге, штат Пенсильвания (рис. 6.12) [81, 82]. К концу года число автомобилей должно возрасти до нескольких десятков. В салоне каждого беспилотника находятся водитель и инженер, которые при необходимости могут взять управление на себя.

Uber использует самоуправляемые автомобили модели Ford Fusion с гибридными двигателями, оснащенные 3D-камерами, GPS и лазерными датчиками для ориентирования в пространстве. В дальнейшем парк компании пополнится автомобилями Volvo.

Тесты на дорогах Питтсбурга Uber начала еще в мае 2016 г. Город был выбран для испытаний, так как, по мнению специалистов компании, является идеальной средой для разработки и тестирования беспилотного автомобиля на различных типах дорог, при разных схемах движения и погоде.

Uber стал вторым сервисом в мире, предложившим пассажирам беспилотные такси. На несколько недель его опередила сингапурская компания

nuTonomy, 25 августа 2016 г. запустившая в Сингапуре шесть машин с беспилотным управлением – электрокары Renault Zoe и Mitsubishi i-MiEV.

Исследование, проведенное Университетом Колумбия, показало, что с парком всего из 9000 беспилотников Uber может заменить все такси в Нью-Йорке, при этом время ожидания составит в среднем 36 с, а стоимость поездки – 50 центов за милю. Это быстро сделает личные автомобили ненужными, а автономные такси по запросу («облачный транспорт») – доминирующей формой передвижения, которая вскоре вытеснит и общественный транспорт. Компания Uber оценивается в 41 млрд долл., а всего в США функционирует около 171 000 такси. Если учесть, что средняя цена автомобиля составляет 25 000 долл., то развертывание всей сети обойдется всего в 4,3 млрд долл.



Рис. 6.12. Автономное такси Uber

Google, Uber, Ford, Tesla, NVIDIA и другие компании прилагают большие усилия для создания собственных беспилотных автомобилей, с ростом числа которых для выполнения многих задач потребуется гораздо меньше как водителей, так и машин (легковых и грузовых).

Долгосрочные последствия внедрения беспилотников могут быть ошеломляющими: корпорация PricewaterhouseCoopers (PwC) предсказывает, что количество автомобилей на дорогах сократится на 99 % (в количественном выражении – с 245 млн до 2,4 млн).

По мнению NextBigFuture.com, отказ от владения личными автомобилями потребует больше времени, чем фактическое прекращение их использования, поскольку старшие поколения будут неохотно расставаться с собственными транспортными средствами, даже если в основном перейдут на беспилотные авто.

Подобные прогнозы в корне подрывают идею РАТ, поскольку беспилотные такси ездят по обычным дорогам и не нуждаются в специальной инфраструктуре. Но что будет на самом деле, покажет только время. Все зависит от надежности и универсальности самих беспилотных средств.

6.2. Наземный автоматический общественный транспорт

В настоящее время автоматизированный общественный транспорт в самых разнообразных вариантах успешно реализован в развитых странах мира. Рассмотренный выше персональный автоматический транспорт не рассчитан на одновременную массовую перевозку большого числа пассажиров – в среднем в такой транспортной единице перемещается 1–6 чел., поэтому важно иметь и транспорт большой вместимости (начиная от 50 пассажиров).

Автоматизированный или беспилотный общественный транспорт большой вместимости уже работает во многих городах Европы, Азии и Америки. Прежде всего, это линии метро в Лондоне, Париже, Копенгагене, Токио и других городах мира, работающие без машинистов. По существу, это довольно простая задача, так как поезда метрополитена едут по тоннелям, где отсутствуют помехи от других видов транспорта. С наземным беспилотным общественным транспортом, движущимся в насыщенной улично-дорожной среде, дело обстоит сложнее.

Наиболее известный самодвижущийся автоматизированный поезд связывает терминалы аэропорта Франкфурта-на-Майне (рис. 6.13). Колея вокруг путей выложена бетоном, а смещения в сторону парируют либо бортики (тогда вагоны оснащены направляющими горизонтальными роликами), либо центральный рельс, по которому удобно подавать ток для электромоторов.



Рис. 6.13. Автоматизированный поезд аэропорта Франкфурта-на-Майне

Автоматизированная транспортная система Crystal Mover от Mitsubishi имеет много интересных решений и инновационных наработок (рис. 6.14). Ее вагоны длиной 11,84 м вмещают по 103 пассажира и развивают скорость до 80 км/ч. В колесе они удерживаются боковыми роликами, а шум исключают обычные автомобильные шины. Привод электрический, ток подается через токосъемники, как в метро.

Подобные системы работают в аэропортах Майами, Вашингтона, Гонконга, Сингапура, Сеула, а также в городах Кобе, Токио, Хиросима, Канавава.



Рис. 6.14. Автоматизированная транспортная система Crystal Mover от Mitsubishi

В Докленде, в восточной части Лондона, работает легкое автоматическое метро Docklands Light Railway (DLR), линии которого в основном проложены на поверхности, точнее над ней – на эстакадах (рис. 6.15). Между рельсами находится специальная шина, с помощью которой компьютер абсолютно точно отслеживает положение поезда.



Рис. 6.15. Автоматизированное легкое метро Docklands Light Railway в Лондоне

6.3. Эстакадный автоматический общественный транспорт

Транспорт высокой производительности не должен иметь помех со стороны других участников движения или дорожной инфраструктуры (например, светофоров). В настоящий момент этого можно достичь путем разнесения различных транспортных потоков по уровням (подземному, наземному и надземному).

Наземный транспорт движется по эстакадам. Их устройство примерно в 4–8 раз менее затратно, чем строительство подземного транспорта (метрополитена), при этом безопасность перевозок на порядок выше. Надземный транспорт часто не вписывается в городскую инфраструктуру и искажает облик города, но неплохо сочетается с природным ландшафтом в относительно разреженном пространстве (например, в пригороде).

В Моргантауне (Западная Виргиния, США) функционирует автоматическая эстакадная дорога по перевозке студентов университета между учебными корпусами (рис. 6.16). Скорость движения вагонов – до 50 км/ч.



Рис. 6.16. Автоматизированная эстакадная транспортная система Моргантауна (США)

В Москве также активно внедряется беспилотный эстакадный транспорт: в 2015 г. компания «Мортон» начала строительство надземной транспортной системы «Стрела» от станции метро «Мякинино» до поселка Ильинское-Усово (рис. 6.17). Общий объем инвестиций в проект подвешеного трамвая – 5,3 млрд руб. Протяженность всей линии составит 12 км, первого участка – 8,3 км. На трассе планируется 13 остановочных пунктов, привязанных к крупным инфраструктурным центрам. Поезда будут следовать с интервалом порядка 2,5–3 мин в час пик.



Рис. 6.17. Автоматизированная эстакадная система «Стрела» (Москва)

Транспорт этого типа работает на основе немецкой технологии H-Bahn. Вагоны перемещаются по монорельсовой дороге на высоте 4,5 м над землей, развивая скорость до 60–80 км/ч.

Завершить постройку и запустить систему предполагается к 2019 г. Трасса «Стрелы» проектируется также в Троицком и Новомосковском округах.

6.4. Автобусная система 3D Express Coach

Система 3D Express Coach разработана китайской компанией Shenzhen Hashi Future Parking Equipment в качестве нового решения проблем загрязнения среды и перегруженности дорог в стране.

Транспортное средство внешне напоминает своеобразный автобус длиной 25 м и шириной 7,6 м (рис. 6.18). Однако по объемам перевозок оно не уступает метро, так как вмещает до 1200 пассажиров. Питание двойное: от электричества и солнечной энергии, получаемой из солнечных батарей, установленных на крышах транспортных средств и на остановках. Автобусы оснащены мощными аккумуляторами и движутся по рельсам со скоростью 40 км/ч.



Рис. 6.18. 3D Express Coach (Китай)

3D Express Coach имеет высокотехнологичный интерьер, посадка производится через стеклянный лифт. Транспортное средство обладает полкой нижней частью салона высотой 4–4,5 м над поверхностью дороги, что позволяет автомобилям свободно проходить под ним. Благодаря этому при посадке и высадке пассажиров не создаются заторы. Таким образом можно уменьшить пробки по основным маршрутам на 25–30 %.

Водители автомобилей, едущих в автобусной арке, предупреждаются, когда автобусу нужно будет сделать поворот. Радиолокационные сканеры автобуса также будут подавать сигнал, если водитель слишком приблизится к автобусным колесам.

В случае пожара или другой чрезвычайной ситуации соответствующие датчики автоматически откроют двери и активируют надувной трап, аналогичный находящемуся в пассажирских самолетах.

По подсчетам конструкторов, один электробус эквивалентен 40 простым автобусам, способен уменьшить потребление топлива на 860 т и, соответственно, снизить выбросы CO₂ на 2640 т в год.

Модель была впервые выставлена в Пекине на международной выставке Expo 2010 и предполагается к введению в опытную эксплуатацию в Пекине (район Мэньтоугоу).

В соответствии с техническим заданием стоимость проекта, включающего создание электробуса и устройство 40-километровой трассы, составит около 74,5 млн долл. (10 % от стоимости строительства эквивалентной линии метро).

Основными плюсами проекта 3D Express Coach можно считать экологичность, низкую стоимость и снижение уровня пробок.

К недостаткам системы относятся: отсутствие адаптивности к пассажиропотоку (проект подходит для участков с высоким потоком, в противном случае его рентабельность будет невысока), относительно долгая загрузка-выгрузка пассажиров и высокие затраты на подъем людей на высоту транспортного средства.

6.5. Автокараванинг и его разновидности

Автокараванинг – это автоматический процесс составления каравана из беспилотных автомобилей. Несколько лет назад фирма Gatting KG на опытных образцах продемонстрировала собственную систему управления автомобильным конвоем из нескольких самосвалов. Первой машиной каравана управляет водитель, а электронные устройства, смонтированные на этом грузовике, отслеживали его действия и передавали по радиосвязи контроллерам на других автомобилях данные о скорости движения, угле поворота рулевого колеса, степени нажатия на педали акселератора и тормоза. На испытаниях все ведомые автомобили имели лазерные сканеры для более тщательного контроля впереди идущего транспортного средства.

Подобными экспериментами занималась также корпорация Daimler. Совместно с европейскими специалистами американские конструкторы раз-

рабатывали технологию управления колонной для беспилотных дальнебойных автопоездов в США.

Недавно были обнародованы результаты успешных испытаний системы SARTRE, финансируемой бюджетом Евросоюза (см. раздел 5.4.7). Проект, осуществленный Trucks Technology (подразделение Volvo Group) улучшает дорожную безопасность путем минимизации негативного влияния человеческого фактора, являющегося причиной почти 80 % ДТП. Кроме того, движение караванами снижает потребление горючего примерно на 20 % и способствует разгрузке автодорог за счет уплотнения интервалов между машинами.

Для реализации систем автокараванинга в общем случае могут быть использованы базовые структурные подсистемы современных бортовых информационных управляющих систем автомобиля:

- подсистема предотвращения столкновения с впереди идущим автомобилем;
- подсистема контроля полосы движения;
- адаптивный круиз-контроль;
- подсистема парковки;
- подсистема информирования о мертвых зонах;
- подсистема измерения дальности;
- видеосистема;
- локационная система и др.

6.5.1. Общественный транспорт на базе беспилотных автомобилей

В крупных городах существующие транспортные системы (особенно наземные) зачастую не справляются с пассажиропотоком. Одной из самых организованных систем является метрополитен, однако он не способен решить все проблемы перевозок – городу требуется правильно спроектированная наземная транспортная сеть с такой же высокой пропускной способностью и привязкой к станциям метро. Необходимую пропускную способность и движение по расписанию можно обеспечить за счет создания отдельных полос для движения городского транспорта. Но есть и другой путь.

Вероятно, каждый из нас хоть раз сталкивался с ситуацией, когда в час пик на маршруте ходят автобусы средней вместимости, которые просто не способны вместить всех пассажиров. Такие случаи довольно типичны для крупных городов, особенно они болезненны для городов, где нет метро и наземный транспорт является единственным средством передвижения. Источниками проблемы могут быть как нехватка транспорта, так и неверная логистика автобусных или троллейбусных парков. Однако основная причина состоит в том, что практически невозможно определить пассажиропоток в определенное время по определенному маршруту. Следовательно, городские транспортные системы требуют реорганизации.

Как правило, автобусные и троллейбусные парки имеют в распоряжении транспортные средства различной вместимости, предназначенные как раз для адаптации к текущему пассажиропотоку. Приведем примерную классификацию автобусов по длине и вместимости:

- *особо малые* – длиной до 5 м, общей вместимостью до 10 мест;
- *малые* – длиной 6,0–7,5 м, вместимостью до 40 мест;
- *средние* – длиной 8,0–9,5 м, вместимостью до 65 мест;
- *большие* – длиной 10,5–12,0 м, вместимостью до 110 мест;
- *особо большие (сочлененные)* – длиной 16,5 и более, вместимостью более 110 мест.

Очевидно, что пускать большой автобус на рейс с малым пассажиропотоком невыгодно. Естественно, он справится с нагрузкой на маршруте, но при этом затраты, которые понесет автопарк, будут несопоставимы с выполненной работой. И так же очевидно, что нелепо выпустить автобус малой вместимости на рейс с большим потоком – он не выполнит задачу, что подорвет отношение пассажиров к автопарку.

Необходимо коренным образом изменить текущую классификацию транспортных средств и оставить только малый тип. Тогда в систему перевозок войдут несколько подсистем:

- система определения загрузки пассажиропотока;
- система сбора статистики и прогнозирования;
- система формирования каравана.

Функционирование системы будет происходить следующим образом. В автопарке находятся автобусы (роботы-электрокары) малой или средней вместимости (40–70 чел.), оснащенные всеми необходимыми системами для автономной работы. Они расположены в специальной очереди или нескольких очередях, по примеру тележек в супермаркете. Водитель, выезжающий в рейс, садится в первый автобус в очереди, который будет главой каравана. Затем система определения пассажиропотока совместно с системой формирования каравана определяет количество людей, ожидающих данный автобус на всех остановках, и с учетом уже имеющихся на маршруте транспортных средств решает, какой длины должен быть караван. К тому времени, когда водитель будет выезжать из бокса, состав каравана уже определится и завершится «электронная сцепка» автобусов. При движении головного автобуса по маршруту остальные автобусы будут повторять его действия согласно принципам автокараванинга [83, 84].

Наиболее сложной задачей является определение пассажиропотока. Для ее решения необходимо оснастить каждую остановку несколькими камерами (предварительно 2–3), картинка с которых в режиме реального времени и будет обрабатываться. Но тут возникает следующий вопрос: распределение пассажиров по разным маршрутам – ведь практически через любую остановку проходит несколько маршрутов. Вероятно, эта проблема никогда не будет решена вполне точно, но оценочное решение можно получить путем сбора и исследования статистических данных.

Естественно, описанная система не будет сразу вводиться в «боевые» условия. Даже для автопарков решение о создании или изменении маршрута проходит длительный путь сбора и анализа статистических данных. Поэтому пара месяцев предварительного сбора и анализа статистики до ввода в эксплуатацию позволит системе начать работать в бесперебойном режиме. Немаловажное преимущество будет заключаться в том, что с помощью камер наблюдения процесс сбора статистики можно автоматизировать и в идеале никогда не прекращать. Таким образом, мы получаем самообучающуюся и прогнозирующую систему, не требующую затрат человеческих ресурсов.

Рассмотрим некоторые экономические показатели на примере минских автопарков. В настоящее время подавляющее количество (примерно 80 %) используемых автобусов марок МАЗ-103, МАЗ-104, МАЗ-203 и др. имеют большую вместимость – в среднем 100–110 чел. Расход их топлива составляет приблизительно 35 л на 100 км пути. Расход автобусов МАЗ-206 средней вместимости (60 чел.) составляет 22 л на 100 км пути.

Предположим, что автобус за один день проезжает 200 км при средней длине маршрута 10 км с полной посадкой пассажиров (т. е. совершает 20 рейсов). При таких условиях автобус большой вместимости перевезет 2000 чел. и затратит 70 л топлива, а два средних автобуса общей вместимостью 120 чел. перевезут 2400 чел. и затратят 88 л топлива.

Кажется, что иметь два средних автобуса вместо одного большого невыгодно, но если подсчитать количество перевезенных пассажиров на литр топлива, то получим следующие цифры: большой автобус – 28,6 чел/л, два средних – 27,3 чел/л. На первый взгляд, разница незначительна, однако если включить в расчеты неверную логистику автопарков и нехватку автобусов, можно смело сказать, что данная система будет гораздо выгоднее в плане потребления топлива. Тем более, что в расчетах не учитывались автобусы малой вместимости, у которых расход топлива еще ниже, чем у средних.

Улучшение работы городского транспорта неминуемо увеличит пассажиропоток и внесет свой вклад в решение проблемы заторов.

6.5.2. Организация маршрутов роботизированного общественного транспорта

Роботизированная транспортная система автокараванинга может быть реализована для маршрутов двух типов:

- кольцевой;
- центроориентированный.

Для *кольцевого маршрута* устанавливается единый автопарк, где находятся все беспилотные автобусы перед выездом в рейс (рис. 6.19). При этом маршрут движения должен обязательно пролегать через парк, чтобы дополнительные автобусы могли сцепляться с уже находящимися на трассе при увеличении пассажиропотока или отцепляться при сильном спаде трафика [83, 84].

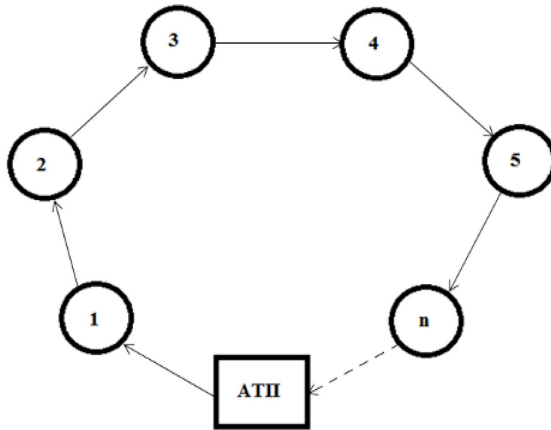


Рис. 6.19. Кольцевой маршрут

При использовании кольцевого маршрута всегда есть возможность точно оценить пассажиропоток и рационально использовать транспортные средства. Данный подход может быть полезен на простых маршрутах, например до аэропорта, отдаленной больницы и пр.

Основная сложность состоит в выделении изолированного участка транспортной сети, где можно внедрить использование караванов, так как в большинстве случаев маршруты различных транспортных средств пересекаются и оценка пассажиропотока может быть неверной, если основывается только на показаниях камер и эмпирических данных.

Кроме того, возникают проблемы выбора положения автопарка и протяженности маршрута. При не совсем удачном расположении парка может получиться, что на первых двух этапах пути объем пассажиров будет наибольшим, а далее спадет практически до нуля, что нивелирует все преимущества автокараванинга, поскольку расход ресурсов будет примерно таким же, как при отправке автобусов в свободном порядке.

На *центроориентированном маршруте* также можно использовать адаптивную оценку пассажиропотока и автокараванинг без серьезных ограничений. В этом случае определяется центр схемы, где располагается автопарк, служащий также центром пересадки между ветками, и конечные точки веток.

Пример схемы движения такого типа представлен на рис. 6.20. Здесь у пяти маршрутов есть совпадение. Центр, через который они проходят, – это автопарк либо место перехода на другую линию.

Опираясь на показатели, полученные с остановок вне центра, можно точно определить необходимое количество автобусов, которые отправятся в рейс, а также автобусов, которые будут добавлены или сняты в конечных точках маршрута.

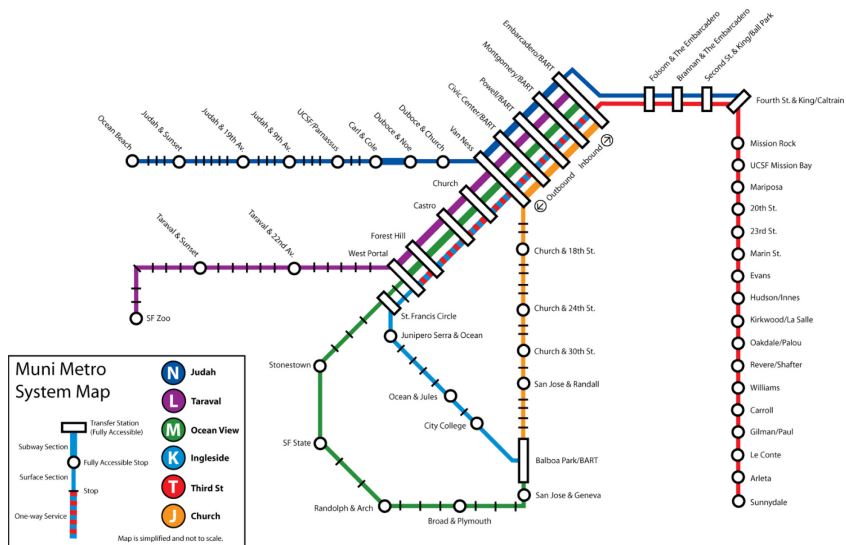


Рис. 6.20. Центроориентированная схема

В каждой конечной точке есть транспортный док, где могут находиться не задействованные в данный момент автобусы, что позволит уменьшить количество курсирующего транспорта на дорогах.

Такой подход изначально более трудозатратен, нежели кольцевой, поскольку для каждой линии нужен дополнительный док, но и более рационален, так как позволяет лучше оперировать количеством автобусов, подстраиваясь под пассажиропоток.

Караваны могут формироваться либо прямо на пересечении маршрутов, либо в центре – в случае отсутствия нагрузки на одной линии и повышения на другой. Части каравана могут отделяться и направляться по другому маршруту, что позволит сократить простои и поездки с пустым салоном.

6.6. Транспортная система кассетного движения инфобусов

Рост уровня автомобилизации и транспортной подвижности населения привел к насыщению городских улиц. Это стало причиной переоценки принципов управления транспортными потоками, а также стимулом к разработке новых видов общественного транспорта. Статистические данные интенсивности движения на магистральных улицах США и Европы свидетельствуют, что именно на перемещение по городу люди тратят в среднем от 1 до 2,5 ч в день, в связи с чем повышается интерес к совершенствованию управления транспортными потоками и общественным транспортом на городских доро-

гах и магистральных улицах. Ежегодное увеличение транспортной нагрузки на основные магистрали приводит к устойчивому снижению скорости движения и образованию заторов.

Частный автотранспорт не способен обеспечить высокую провозную способность магистрали, так как в каждом авто в среднем перемещается 1,2–1,5 чел. [85]. Чтобы избежать транспортного коллапса, необходимо разгрузить перенасыщенные магистрали путем расширения масштабов перевозок наземным общественным транспортом, сопоставимым по эффективности с метрополитеном, строительство которого является дорогостоящим мероприятием (1 км метро стоит порядка 40–60 млн долл.) [86].

Таким образом, беспомеховый наземный транспорт для массовых перевозок – это лучшая альтернатива городского транспорта будущего. В данном разделе мы рассмотрим новый тип городского общественного транспорта – *информационный роботизированный транспорт*. Он способен без помех со стороны других транспортных средств функционировать в насыщенной улично-дорожной среде и перевозить большое количество пассажиров, сравнимое с метрополитеном. Кроме того, этот транспорт более энергоэкономичен, так как не использует эскалаторы.

Информационный роботизированный транспорт является системой, основу которой составляют непрерывно реализуемые информационные процессы (сбор и обработка информации, принятие решений). Нарушение любого из процессов делает систему неработоспособной. Единичное транспортное средство системы представляет собой автономный электрокар без водителя вместимостью до 50 чел., который будем называть *инфобусом*. В отличие от автобуса, троллейбуса, трамвая и других транспортных средств, работающих автономно, инфобус может функционировать только в составе информационной транспортной системы.

6.6.1. Анализ условий городских пассажирских перевозок

Для характеристики потребностей городского населения в перевозках и систематического анализа условий пассажирских перевозок в практике используется такая категория, как *пассажиропоток* [87]. Основной характеристикой пассажиропотока является *интенсивность* – среднее количество пассажиров, перевозимых в единицу времени. Данные об интенсивности используются для определения необходимой вместимости и требуемого количества транспортных средств.

На каждом маршруте могут быть использованы транспортные средства одинаковой или разной вместимости. Выбор и обоснование вместимости, необходимой для качественного обслуживания пассажиров, а также более рационального и эффективного использования транспорта, является сложной управленческой задачей, особенно в условиях неполной, а зачастую и недостоверной информации. Вместимость транспортного средства устанавлива-

ется по данным о распределении интенсивности пассажиропотока, характеру его неравномерности во времени, длине маршрута и направлениям следования. Информация носит вероятностный характер и представлена в форме моментов первого и второго порядков распределения случайной величины (математическое ожидание, дисперсия).

Для принятия решения в таких сложных условиях необходимо обладать соответствующей квалификацией, опытом работы и даже интуицией [88]. Неверные решения приводят к потерям. Так, например, использование транспортных средств малой вместимости при большой интенсивности пассажиропотока увеличивает необходимое количество транспорта (и водителей) и повышает загрузку улиц. И наоборот, эксплуатация транспортных средств большой вместимости на маршруте с малой интенсивностью приводит к слишком большому интервалу движения, излишним затратам времени на ожидание и большим неудобствам для населения. Основным критерием выбора рациональной вместимости транспортного средства для того или иного маршрута является, прежде всего, целесообразный интервал движения.

Таким образом, можно выделить следующие основные проблемы современного состояния пассажирских перевозок:

- отсутствие точной и объективной информации в режиме реального времени об интенсивности пассажиропотока на маршруте, препятствующее принятию оптимальных решений и ведущее к экономическим потерям;
- влияние человеческого фактора на принятие ответственных решений;
- малая номенклатура транспортных средств различной вместимости для более точного покрытия меняющегося пассажиропотока.

Последний недостаток является наиболее существенным и, возможно, самым главным. В рамках современного технического обеспечения городских пассажирских перевозок его преодолеть невозможно, так как промышленность не в состоянии произвести, например, 20 типов автобусов различной вместимости. Даже если гипотетически предположить, что нужный ассортимент изготовлен, то трудно найти специалистов для эффективного управления им. Тем более, что управляющие решения принимаются на основе интегральной (усредненной) прошлой информации о пассажиропотоках. К тому же возникает вопрос: где и как хранить такой разнообразный парк?

С момента появления первых городских пассажирских автотранспортных средств более 100 лет назад организация перевозок населения не изменилась (под организацией здесь понимается весь комплекс мероприятий по планированию, контролю и управлению движением городских пассажирских транспортных средств). Такая стабильность обусловлена неизменностью самих транспортных средств.

Развитие информационных технологий позволяет пересмотреть концепции организации современного городского транспорта и управления им. При этом все разнообразие городских пассажирских транспортных средств должно быть упразднено и сведено к одной транспортной единице номинальной

вместимости – инфобусу. В зависимости от интенсивности пассажиропотока на маршруте, измеряемой датчиками в автоматическом режиме, управляющий компьютер высылает на маршрут такое число инфобусов, чтобы их суммарный объем был равен объему пассажиропотока или незначительно превышал его.

Инфобусы собираются в кассеты различной длины – в зависимости от интенсивности пассажиропотока в текущий момент (отсюда термин «кассетный тип транспорта»). Поскольку механические соединения в кассете отсутствуют, можно быстро и без затрат собрать транспортное средство любой вместимости, требуемое на маршруте именно сейчас. Соединение инфобусов виртуальное, как в автопоезде [89]. Минимальное безопасное расстояние между ними обеспечивает электроника.

Для более эффективной организации работы транспортной системы пассажир, проходя через турникет и оплачивая проезд, должен указывать оставшуюся, до которой едет.

Информационная роботизированная транспортная система является адаптивной к пассажиропотоку, поскольку своевременно и оперативно меняется и подстраивается под него. В связи с этим она будет наиболее экономичной и наилучшим образом сможет удовлетворить потребности населения, так как транспорт не будет курсировать полупустым или переполненным.

6.6.2. Основа кассетной сборки инфобусов – система SARTRE

Проект SARTRE [89], инициированный Еврокомиссией с целью изучения стратегий автокараванов и создания технологий их испытаний на регулярных автомобильных дорогах общего пользования (см. раздел 5.4.7), как нельзя лучше подходит для решения аналогичной задачи – кассетной сборки инфобусов в автопоезд.

Как уже упоминалось, в системе SARTRE автомобили движутся за головной машиной на электронной сцепке. По желанию каждый автомобиль в любой момент может покинуть группу. Таким образом, состав колонны время от времени меняется: одни водители берут руль в свои руки и едут дальше самостоятельно, другие присоединяются и передают управление автопилоту (рис. 6.21).

О возможности присоединиться к движущемуся впереди автопоезду водитель узнает благодаря спутниковой навигации, а затем передает сигнал о своем желании «стать вагоном» шоферу головной машины. Точно так же он оповещает о намерении продолжить путь в одиночку.

Введение автопоездов на дорогах с частными автотранспортными средствами дает ряд существенных преимуществ: приблизительно 20%-ное сокращение выбросов вредных веществ, повышение безопасности за счет уменьшения несчастных случаев по вине водителей, снижение перегруженности трасс путем организации более гладкого транспортного потока с потенциальным последовательным увеличением пропускной способности.

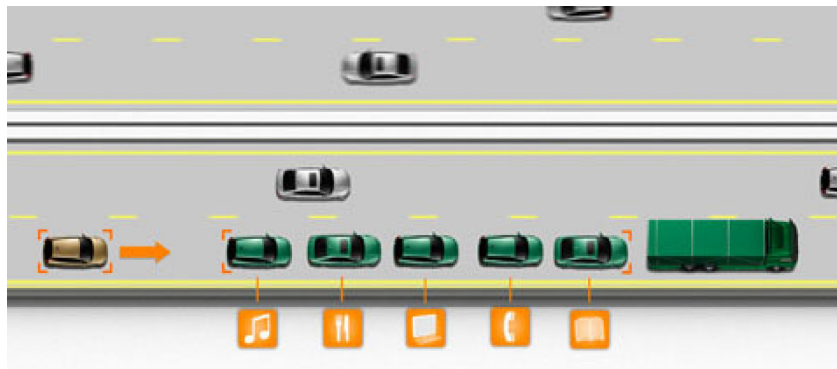


Рис. 6.21. Автопоезд проекта SARTRE

Для реализации системы автопоезда в информационной транспортной системе пассажирских перевозок «Инфобус» требуется оборудовать каждый инфобус дальномерами, бортовым компьютером и средством беспроводной связи.

На рис. 6.22 изображен автопоезд, состоящий из N инфобусов. Конкретное их число определяется уровнем мощности пассажиропотока на маршрутной линии в текущий момент. Информация о числе пассажиров с остановок маршрута поступает на сервер, который и вычисляет требуемое количество инфобусов в кассете. При этом сервер производит прогностический расчет по каждой остановке на предмет возможного увеличения числа пассажиров, так как обслуживание остановки выполняется с запаздыванием на время прибытия автопоезда. После выполнения задания, перед началом следующего рейса от автопоезда может отсоединиться некоторое число инфобусов (либо, наоборот, присоединиться к нему) в зависимости от складывающейся ситуации с пассажиропотоком на предстоящий рейс.

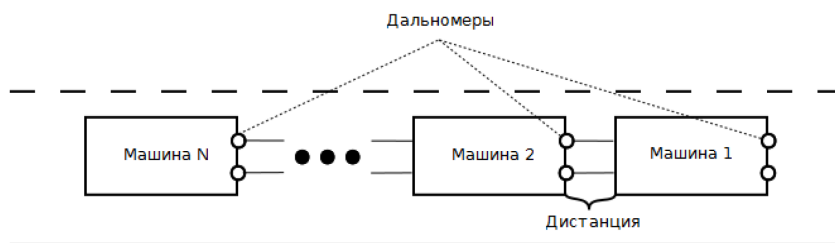


Рис. 6.22. Автопоезд из N инфобусов

Таким образом, система управления транспортными средствами в данном проекте является адаптивной к основному параметру перевозок – мощности пассажиропотока на маршруте. Этим обеспечивается ее высокая экономич-

ность и привлекательность для пассажиров (комфортный проезд в равномерно заполненном салоне и гарантия приемлемого времени ожидания на остановке). Подобные характеристики недоступны эксплуатируемым в настоящее время системам управления городским пассажирским транспортом.

6.6.3. Движение инфобусов в улично-дорожной среде

Улично-дорожная сеть должна быть как можно более нейтральна к движению инфобусов. Конечно, полностью исключить ее влияние (как в метро) нельзя, но частичное его снижение обеспечит выделение специальной полосы движения, как это делается сейчас для общественного транспорта. Недостатком данного решения является сокращение числа полос для других участников движения и, следовательно, уменьшение пропускной способности магистрали. При этом интенсивность использования выделенной полосы сегодня зачастую невысока.

Отсюда вытекает требование к ширине инфобуса: она должна быть минимальной – около 1–1,5 м. Это обусловлено двумя факторами. Во-первых, ширина полосы магистрали обычно составляет 3–3,5 м. Достаточно эту полосу поделить пополам, и мы получим две полосы движения (прямое и обратное) для инфобусов.

Полоса движения инфобусов непосредственно примыкает к тротуару и отделена от него ограждением, а от основной дороги слева – сплошной линией (рис. 6.23). В некоторых случаях может использоваться легкое ограждение в виде установленных на сплошной линии пластмассовых конусов. Интенсивность использования инфобусами дорожной инфраструктуры (в частности, полосы движения) высокая.



Рис. 6.23. Автопоезд из двух инфобусов на перекрестке

Вторая причина, по которой инфобус должен быть узким, связана с процессом загрузки пассажиров в салон. Для ускорения загрузки-выгрузки инфобус имеет низкий пол (вровень с тротуаром), а также много дверей. При этом время посадки-высадки ограничено и в идеале не должно превышать длительности светофорного цикла (80–120 с) либо быть кратным ему. Это позволит инфопоезду без задержки пересекать перекрестки со светофорным регулированием в координированной зеленой волне, так как после остановки он начинает движение с того самого момента в светофорном цикле на котором остановился.

Если светофорный объект автономен (не включен в план координации), то поезду сообщается момент старта с остановки, позволяющий проехать светофор беспрепятственно. Для этого используется информационная система «Мобильный помощник водителя» [45], которая на любом этапе движения инфобуса указывает оставшееся время зеленой фазы светофора по ходу движения и рекомендованную скорость для безостановочного проезда. Некоторые сложные перекрестки инфобус может проезжать по подземным переездам (рис. 6.24).

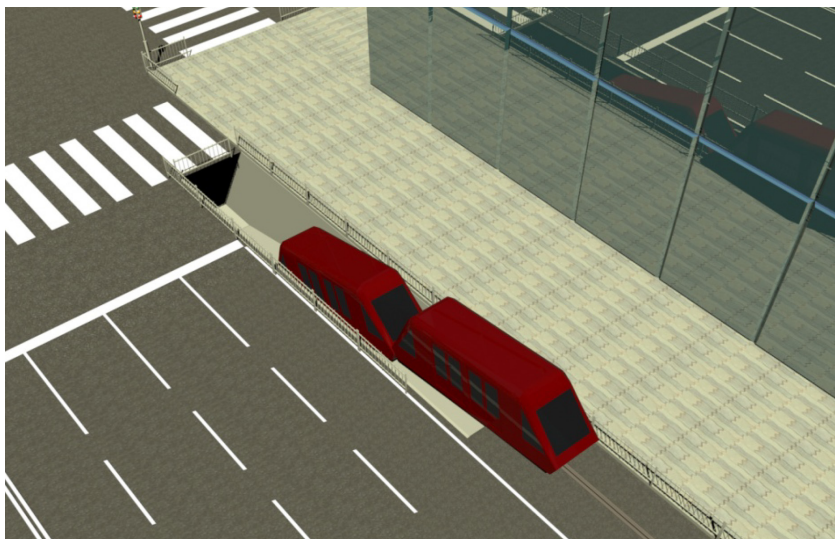


Рис. 6.24. Подземный переезд на сложном перекрестке

Время загрузки-выгрузки пассажиров в системе составляет 20 с. Таким образом, каждые 20 с от остановки отъезжает автопоезд максимальной длиной в 6 инфобусов (в час пик). Ограничение числа инфобусов связано с нормативной рекомендуемой длиной остановки (30 м) и длиной самих инфобусов (5 м). Вместимость каждого инфобуса – 50 чел. Следовательно, автопоезд из

6 инфобусов в течение 1 мин перевозит до 1000 пассажиров, а в течение 1 ч – до 60 000, что сравнимо с производительностью метрополитена.

Каждый инфобус оснащен бортовым компьютером, GPS-навигатором, устройством связи с главным управляющим компьютером системы и другими инфобусами, а также обеспечивающими безопасностью датчиками. Бортовой компьютер осуществляет контроль всех действий (слежение за положением вагона, скоростью, открыванием-закрыванием дверей и т. д.) [90]. Инфобус имеет различные системы безопасности, в том числе буфера, представляющие собой резиновые уплотнения спереди и сзади.

6.6.4. Математические модели работы транспортной системы «Инфобус»

Модель с известными вероятностными характеристиками пассажиропотока

Выделим основные принципы, лежащие в основе функционирования данной транспортной системы:

- 1) пассажир на остановочном пункте во время оплаты проезда через терминал указывает также остановку, до которой желает ехать;
- 2) информация с терминалов поступает на диспетчерский пункт;
- 3) из депо на маршрут отправляется поезд из нескольких самоуправляемых вагонов, количество которых можно изменять;
- 4) емкость вагонов, интервалы времени движения между остановками и время стоянки на остановках известны.

Рассмотрим основные этапы подготовки движения поезда:

- 1) при формировании состава в депо имеется как точная информация о пассажирах на станциях (количество и пункты назначения), так и некоторая вероятностная информация о будущих пассажирах, которые подойдут на остановки до прихода поезда;
- 2) если данный поезд не первый, учитывается, что впереди идущие поезда также собирают пассажиров;
- 3) на основе всей этой информации формируется состав, т. е. определяется количество вагонов по какому-либо критерию (например, собрать всех пассажиров с заданной доверительной вероятностью).

Концептуальная модель данной системы должна учитывать следующие моменты:

- 1) считается, что оба направления движения имеют совершенно симметричные свойства, поэтому без потерь адекватности можно рассматривать только одну ветвь маршрута;
- 2) на маршруте имеется k станций;
- 3) интервал времени движения поезда от депо до 1-й станции равен Δt_1 , а от $(i - 1)$ -й до i -й станции равен Δt_i ($i = 2, \dots, k$) считаем известными;

4) известна интенсивность подхода новых пассажиров $\lambda_i(t)$, где $i = 1, \dots, k$; k – номер станции.

Критерием оптимальности выберем определение минимального количества вагонов, выходящих в рейс, которые соберут всех пассажиров на остановках с заданной доверительной вероятностью α (например, $\alpha = 95\%$).

На основе данных с терминалов на остановках на момент отправления поезда можно построить матрицу корреспонденций \mathbf{M} :

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} 0 & m_{1,2} & m_{1,3} & \dots & \dots & m_{1,j} & \dots & m_{1,k} \\ 0 & 0 & m_{2,3} & \dots & \dots & m_{2,j} & \dots & m_{2,k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & m_{i,i+1} & \dots & m_{i,j} & \dots & m_{i,k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & m_{k-1,k} \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \end{pmatrix}, \quad (6.1)$$

где k – количество остановок; $m_{i,j}$ – количество пассажиров, севших на i -й остановке с целью доехать до j -й остановки ($i, j = 1, \dots, k$).

Все элементы матрицы \mathbf{M} на главной диагонали и под ней равны нулю, так как пассажир не может выйти на остановке, на которой сел, и не может ехать назад.

По матрице корреспонденций можно рассчитать общее количество пассажиров, садящихся на i -й остановке m_i , которое определяется как сумма элементов i -й строки матрицы \mathbf{M} :

$$m_i = \sum_{j=1}^k m_{i,j} = \sum_{j=i+1}^k m_{i,j}; i = 1, \dots, k, \quad (6.2)$$

и количество выходящих на i -й остановке m_i как сумму элементов i -го столбца:

$$m_i = \sum_{j=1}^k m_{j,i} = \sum_{j=1}^{i-1} m_{j,i}; i = 1, \dots, k. \quad (6.3)$$

Тогда после отъезда от остановки с номером r количество пассажиров составит

$$s_r = \sum_{i=1}^r m_i - \sum_{i=1}^r m_i = \sum_{i=1}^r (m_i - m_i); r = 1, \dots, k. \quad (6.4)$$

Формулы (6.1)–(6.4) учитывают только пассажиров, известных на момент выезда поезда из депо. Но за время движения поезда на остановки подходят новые пассажиры. Учет дополнительных пассажиров требует знания априорной вероятностной информации о режиме их поступления на каждой станции и распределении вероятности их пожеланий относительно пунктов назначения. Тогда (например, по предварительным статистическим наблюдениям) нам известны значения $p_{i,n}$ – вероятности того, что за заданное время на i -ю станцию подойдет ровно n пассажиров ($i = 1, \dots, (k - 1)$; $n = 0, 1, 2, \dots$) и матрица вероятностей Q , заданная как

$$Q = \begin{pmatrix} 0 & q_{1,2} & q_{1,3} & \cdots & \cdots & q_{1,j} & \cdots & q_{1,k} \\ 0 & 0 & q_{2,3} & \cdots & \cdots & q_{2,j} & \cdots & q_{2,k} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & \cdots & 0 & q_{i,i+1} & \cdots & q_{i,j} & \cdots & q_{i,k} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 & q_{k-1,k} \\ 0 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 \end{pmatrix}, \quad (6.5)$$

где $q_{i,j}$ – вероятность того, что севший на i -й остановке пассажир выйдет на j -й. Очевидным является условие нормировки. Для каждой строки с номером i матрицы Q

$$\sum_{j=1}^k q_{i,j} = \sum_{j=i+1}^k q_{i,j} = 1; i = 1, \dots, k. \quad (6.6)$$

В частности, $q_{k-1,k} \equiv 1$, так как пассажир с предпоследней $(k - 1)$ -й станции достоверно едет на последнюю k -ю станцию.

Рассмотрим случай, когда потоки пассажиров являются пуассоновскими с известными интенсивностями $\lambda_i(t)$, $i = 1, \dots, (k - 1)$ (очевидно, что на последней k -й остановке никто не садится).

Данное предположение достаточно корректно, поскольку доказано, что сумма большого количества независимых ординарных случайных потоков стремится к пуассоновскому потоку [91]. При этом сумма пуассоновских потоков с известными интенсивностями является также пуассоновским потоком, интенсивность которого равна сумме интенсивностей потоков-слагаемых, а при независимом прореживании пуассоновского потока получается также пуассоновский поток, интенсивность которого уменьшается в соответствующее количество раз.

Введем величину ΔT_i (интервал времени от выхода поезда из депо до отъезда от i -й станции), которая определяется как

$$\Delta T_i = \sum_{j=1}^i \Delta t_j; i = 1, \dots, k. \quad (6.7)$$

Тогда количество дополнительных пассажиров на i -й остановке будет описываться распределением Пуассона с параметром Λ_i , где

$$\Lambda_1 = \int_0^{\Delta T_1} \ddot{e}_1(t) dt, \Lambda_i = \sum_{j=1}^{i-1} \left[\int_0^{\Delta T_j} \ddot{e}_j(t) dt \cdot \prod_{l=j+1}^i (1 - q_{j,l}) \right] + \dots \quad (6.8)$$

$$\ddot{e}_i(t) = \int_0^{\Delta T_i} \ddot{e}_i(t) dt; i = \overline{1, k}$$

откуда можно получить распределение количества дополнительных пассажиров [8]:

$$p_{i,n} = \frac{(\Lambda_i)^n}{n!} \exp(-\Lambda_i); i = \overline{1, k-1}; n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (6.9)$$

Поскольку была поставлена задача собрать всех пассажиров с заданной вероятностью α , то, используя (6.9), определим для каждой остановки с номером r такое число z_r , что вероятность появления на данной остановке дополнительных пассажиров в количестве, не превышающем z_r , равна α .

Очевидно, что

$$z_r = \min \left(i : \sum_{j=1}^i p_{r,j} \geq \alpha \right). \quad (6.10)$$

Тогда, учитывая известных на момент выезда из депо пассажиров, задаваемых формулой (6.4), и дополнительных пассажиров, определяемых формулой (6.10), можно утверждать, что с заданной вероятностью α после выхода со станции с номером r пассажиров в вагонах будет не больше чем

$$S'_r = S_r + z_r. \quad (6.11)$$

Получим $S' = \max_r (S'_r)$, а затем и необходимое число вагонов:

$$W = \left[\frac{S'}{V} \right], \quad (6.12)$$

где V – емкость вагона (квадратные скобки в данном случае обозначают округление вверх).

Для проверки полученных соотношений были проведены имитационные эксперименты. Моделировалась транспортная система, имеющая 10 остановок. Интервалы времени движения от депо до первой остановки и между соседними остановками одинаковые и равны 10 условным временным единицам. Известное на момент выезда из депо количество пассажиров одинаково на всех остановках (от 1 до 40); каждый пассажир с равной вероятностью может ехать до любой из следующих остановок. Интенсивности появления дополнительных пассажиров одинаковы для всех остановок и имеют два варианта: $\lambda = 0,1$ и $\lambda = 1$; при этом каждый дополнительный пассажир также с равной вероятностью может ехать до любой из следующих остановок. Емкость каждого вагона $V = 50$ чел. Количество прогонов для каждого случая $N = 10^6$.

Необходимое количество вагонов оценивалось с использованием формулы (6.12) для каждого конкретного вида матрицы (6.1) при учете заданных параметров появления дополнительных пассажиров.

На рис. 6.25 отображена зависимость среднего количества вагонов, которые с заданной вероятностью $\alpha = 95\%$ соберут всех пассажиров со всех остановок, от начального количества пассажиров на остановках.

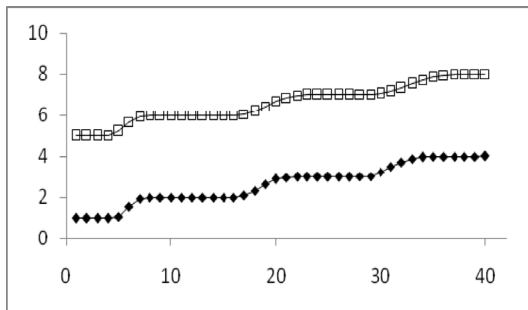


Рис. 6.25. Зависимость среднего количества вагонов от начального числа пассажиров на каждой остановке: \blacklozenge – $\lambda = 0,1$; \square – $\lambda = 1$

На рис. 6.26 приведены результаты имитационных экспериментов. По оси абсцисс отложено начальное количество пассажиров на каждой остановке, по оси ординат – доля полностью обслуженных прогонов.

Графики показывают, что методика расчета оптимального количества вагонов позволяет выполнить вычисления с заданной надежностью.

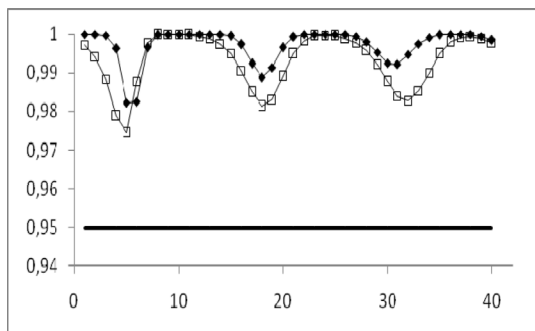


Рис. 6.26. Зависимость доли полностью обслуженных прогонов от начального количества пассажиров на каждой остановке: \blacklozenge – $\lambda = 0,1$; \blacksquare – $\lambda = 1$

Модель с неизвестными вероятностными характеристиками пассажиропотока

В работах [92–96] была рассмотрена математическая модель, в которой вероятностные характеристики пассажиропотока принимались известными: поток пассажиров на каждой станции считался пуассоновским с заданной интенсивностью $\lambda_i(t)$, ($i = 1, \dots, k$). Известными считались и предпочтения пассажиров $q_{i,j}$ ($i = 1, \dots, (k-1)$; $j = (i+1), \dots, k$), задающие вероятность того, что пассажир, севший на i -й станции, собирается ехать до j -й станции.

В реальном случае поток пассажиров не обязан быть пуассоновским и его характеристики могут быть точно не известны. Естественным выходом можно было бы считать использование статистических данных, собранных за достаточно большой срок работы системы. Но при этом возникает новая проблема: как организовать работу системы на начальном этапе, пока необходимая статистика еще не собрана?

Для решения этой проблемы можно, например, в начальный период запустить максимальное количество вагонов в каждом поезде, а потом, собрав достаточную статистику, определять необходимое количество вагонов для каждого нового рейса.

Недостатком такого подхода является то, что получаемые при этом статистические оценки очень медленно сходятся к вероятностным. Например, чтобы получить оценки распределения вероятностей количества пассажиров на станциях с точностью до трех значащих цифр, нужно совершить порядка 10 000 прогонов (рейсов), и это при условии, что характеристики пассажиропотока не меняются ни в течение суток, ни по дням недели. В противном случае количество необходимых для статистики рейсов значительно увеличивается и сбор данных может занять несколько лет.

В работах [97–100] предложен другой подход. Пусть характеристики пассажиропотока известны не точно. Известными считаются интенсивность пассажиропотока $\gamma_i(t) \approx \lambda_i(t)$, $i = 1, \dots, (k - 1)$ и некоторые вероятности предпочтений $w_{i,j} \approx q_{i,j}$, $i = 1, \dots, (k - 1); j = (i + 1), \dots, k$.

Случайные потоки пассажиров будем считать пуассоновскими с заданными интенсивностями $\gamma_i(t)$ (хотя в реальности может быть и не так). Это позволит получить начальное приближение распределения количества новых пассажиров на каждой станции $p_i(n)$, $i = 1, \dots, (k - 1); n = 0, 1, 2, \dots$, т. е. вероятность того, что за заданный период времени на i -ю станцию подойдет ровно n пассажиров.

Очевидно, что полученные таким образом оценки количества пассажиров и вероятностей их предпочтений могут давать погрешности при расчете необходимого количества вагонов. Эти показатели будут непрерывно уточняться в процессе работы системы.

Для этого предлагается следующий прием. До начала работы системы введем некоторые целые числа m_i – веса распределения количества пассажиров на i -й станции.

Получим новые величины $P_i(n) = p_i(n) \times m_i$. Откуда

$$p_i(n) = P_i(n)/m_i; i = 1, \dots, (k - 1); n = 0, 1, 2, \dots \quad (6.13)$$

Пусть на очередном прогоне на i -ю станцию подошло z новых пассажиров. Увеличим на единицу значение $P_i(z)$: $P_i(z) := P_i(z) + 1$, а также значение m_i : $m_i := m_i + 1$. С ростом количества прогонов оценка распределения вероятностей, вычисленная по формуле (6.13), будет приближаться к истинному распределению.

При малых значениях начальных весов скорость приближения к истинному распределению будет выше, но и статистический разброс получаемых оценок также будет высок. Для больших значений начальных весов получим обратный результат: статистический разброс оценок невысок, но время приближения к истинному распределению значительно возрастает. На практике, очевидно, необходимо выбирать какое-то среднее значение. Нами, например, использовалось начальное значение $m_i = 50$.

Аналогично решается проблема с оценкой вероятностей предпочтений. Для этого удобнее всего изначально считать, что пассажир с равной вероятностью может поехать до любой из последующих станций: $w_{i,j} = 1/(k - i)$; $i = 1, \dots, (k - 1); j = (i + 1), \dots, k$.

Введем для каждой станции начальные веса s_i и новые величины $W_{i,j} = w_{i,j} \times s_i$. Тогда

$$w_{i,j} = W_{i,j}/s_i; i = 1, \dots, (k - 1); j = (i + 1), \dots, k. \quad (6.14)$$

Пусть на очередном прогоне на i -ю станцию подошло z новых пассажиров, при этом из них z_{i+1} едет до $(i+1)$ -й станции, z_{i+2} — до $(i+2)$ -й станции и т. д. Увеличим значение $W_{i,j}$ на z : $W_{i,j} := W_{i,j} + z$, а также значение s_i на z : $s_i := s_i + z$. С ростом количества прогонов оценка вероятностей предпочтений, вычисленная по формуле (6.14), будет приближаться к истинной.

Данный подход позволяет увеличить скорость приближения статистических характеристик к вероятностным. При реализации модели для достижения достаточно точных оценок понадобилось несколько сотен прогонов (рейсов).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Если исходить из того, что к 2030 г. автомобили будут полностью автоматизированы, то примерно в 2020–2025 гг. закончится уровень условной автоматизации по SAE 9.

Что же позволяет сегодня говорить о наступлении эры автопилотируемых машин?

В первую очередь уровень современных технологий, наличие опытных образцов автоматизированных транспортных средств, использование сенсорных и коммуникационных технологий для безопасного и эффективного движения практически без участия человека, а также наличие автоматизированных технологий навигации, включающей одну или обе системы самостоятельного вождения:

- V2V – навигационная система автомобиля обменивается информацией с датчиками других транспортных средств;
- V2I – навигационная система автомобиля обменивается информацией с инфраструктурной системой связи.

Одно из наиболее перспективных направлений в этой области – применение технологий «машинного зрения», т. е. создание систем предупреждения аварийных ситуаций. В настоящее время активно развиваются технологии Mobileye и City Safety.

Машинное зрение отслеживает траекторию движения автомобиля и предупреждает водителя о чрезмерном приближении к впереди идущему транспорту или о его резком торможении. В критических ситуациях возможно также автоматическое торможение с помощью автономной системы экстренного торможения Autonomous Emergency Braking, используемой в беспилотных автомобилях.

Анализ уровней автоматизации управления автомобилем по SAE 9 (см. табл. на с. 3) с точки зрения автотранспортной психологии позволяет сделать вывод, что при переходе на 4-й уровень автоматизации произойдет резкий скачок аварийности, поскольку водители будут постепенно терять необходимые навыки из-за пользования автопилотом и именно в экстренных ситуациях, когда

эти навыки, мастерство и умение потребуются, не смогут адекватно управлять транспортным средством. В связи с этим необходимо запретить на 4-м уровне автоматизации в экстренных случаях передавать управление транспортным средством водителю, как это указано в стандартах.

В подтверждение сказанного приведем некоторые печальные случаи из опыта использования автопилотируемых транспортных средств в повседневной жизни.

1 июля 2016 г. сообщество Geektimes опубликовало новость о том, что автомобиль Tesla Model S с включенным автопилотом попал в ДТП со смертельным исходом. Погиб 40-летний владелец Дж. Браун. Автопилот не идентифицировал прицеп фургона как препятствие и въехал под него. Это первый случай гибели водителя автомобиля, находящегося под управлением компьютерной системы.

10 июля 2016 г. произошла новая авария с участием автомобиля Tesla. Автопилот «не увидел» деревянное ограждение и въехал в него на скорости 80–100 км/ч. Ограждение было снесено, а сам электромобиль вылетел с дороги. Люди не погибли, но получили ранения, а электромобиль был поврежден со стороны пассажира.

Соотношение количества погибших и расстояния, пройденного автомобилями автономно и под управлением человека, показывает, что сейчас водители надежнее автопилотов. Например, в США в ДТП с водителем погибает 1 чел. на 130 млн миль, а с автопилотом – 1 чел. на 1,5 млн миль [128].

Отсюда можно заключить, что необходимо учесть ошибки международных норм и принять соответствующие отечественные законодательные акты в области защиты и безопасности участников дорожного движения, а также в сфере разработки стандартов автоматизации транспортных средств.

Библиографический список

1. *Поспелов Г. С.* Искусственный интеллект – прикладные системы / Г. С. Поспелов, Д. А. Поспелов. – М. : Знание, 1985. – 46 с.
2. Искусственный интеллект. В 3 кн. Кн. 1. Системы общения и экспертные системы : справочник / под ред. Э. В. Попова. – М. : Радио и связь, 1990. – 420 с.
3. *Бирюков Б. В.* Машина и творчество : Результаты, проблемы, перспективы / Б. В. Бирюков, И. Б. Гутчин. – М. : Радио и связь, 1982. – 152 с.
4. *Логика. Автоматы. Алгоритмы / М. А. Айзерман [и др.].* – М. : Физматгиз, 1963. – 556 с.
5. *Дудкин А. А.* Обработка изображений в проектировании и производстве интегральных схем / А. А. Дудкин, Р. Х. Садыхов. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2008. – 270 с.
6. *Пасхин Е. Н.* Автоматизированная система обучения / Е. Н. Пасхин, А. И. Митин. – М. : Изд-во МГУ, 1985. – 144 с.
7. *Головко В. А.* Нейронные сети: обучение, организация и применение : учеб. пособие для вузов / В. А. Головко. – М. : ИПРЖР, 2001. – 256 с. – (Нейрокомпьютеры и их применение ; кн. 4).
8. *Головко В. А.* Нейроинтеллект: теория и применение. Кн. 1. Организация и обучение нейронных сетей с прямыми и обратными связями / В. А. Головко. – Брест : Изд-во БПИ, 2009.
9. *Головко В. А.* Нейроинтеллект: теория и применение. Кн. 2. Самоорганизация, отказоустойчивость и применение нейронных сетей / В. А. Головко. – Брест : Изд-во БПИ, 2009.
10. *Комарцова Л. Г.* Нейрокомпьютеры : учеб. пособие для вузов / Л. Г. Комарцова, А. В. Максимов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 400 с.
11. *Кочерга В. Г.* Интеллектуальные транспортные системы в дорожном движении : учеб. пособие / В. Г. Кочерга, В. В. Зырянов, В. И. Коноплянко. – Ростов н/Д : Рост. гос. строит. ун-т, 2001. – 108 с.

12. *Грабауров В. А.* Интеллектуальная транспортная система как инновационная концепция развития транспорта / В. А. Грабауров // Наука и техника. – 2014. – № 1. – С. 63–69.

13. *Грабауров В. А.* Беларусь на пороге создания интеллектуальных транспортных систем / В. А. Грабауров // Наука и техника. – 2015. – № 4. – С. 56–65.

14. *Маркелов В. М.* Интеллектуальные транспортные системы как инструмент управления / В. М. Маркелов, И. В. Соловьев, В. Я. Цветков // Государственный советник. – 2014. – № 3. – С. 42–48.

15. Intelligent transportation system, Intelligent transportation system [Электронный ресурс] // Wikipedia, the free encyclopedia. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Intelligent_transportation_system, Intelligent transportation system

16. *Савиных В. П.* Развитие методов искусственного интеллекта в геоинформатике / В. П. Савиных, В. Я. Цветков // Транспорт Российской Федерации. – 2010. – № 5. – С. 41–43.

17. *Майоров А. А.* Пространственное когнитивное моделирование / А. А. Майоров // Перспективы науки и образования. – 2014. – № 1. – С. 33–37.

18. *Tsvetkov V. Ya.* Dichotomous Systemic Analysis / V. Ya. Tsvetkov // Life Science Journal. – 2014. – № 1 (6). – Pp. 586–590.

19. *Монахов С. В.* Методология анализа и проектирования сложных систем / С. В. Монахов, В. П. Савиных, В. Я. Цветков. – М. : Просвещение, 2005. – 264 с.

20. *Соловьев И. В.* Геодезия и прикладная информатика / И. В. Соловьев // Вестник МГТУ МИРЭА. – 2014. – № 2 (3). – С. 126–144.

21. *Соловьев И. В.* Информационное пространство как инструмент управления в транспортной сфере / И. В. Соловьев, В. Я. Цветков // Государственный советник. – 2014. – № 2 (6). – С. 58–63.

22. *Болбаков Р. Г.* Топологическое моделирование на геоданных / Р. Г. Болбаков, В. М. Маркелов, В. Я. Цветков // Перспективы науки и образования. – 2014. – № 2. – С. 34–39.

23. *Цветков В. Я.* Интегральное управление высокоскоростной магистралью / В. Я. Цветков // Мир транспорта. – 2013. – № 5 (49). – С. 6–9.

24. *Савиных В. П.* Информационное обеспечение космических исследований / В. П. Савиных // Перспективы науки и образования. – 2014. – № 2. – С. 9–14.

25. *Кандрашина Е. Ю.* Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах / Е. Ю. Кандрашина, Л. В. Литвинцева, Д. А. Поспелов. – М. : Наука, 1989. – 328 с.

26. *Поляков А. А.* Информационные технологии в управлении / А. А. Поляков, В. Я. Цветков. – М. : МГУ им. М. В. Ломоносова, 2007. – 138 с.

27. *Tsvetkov V. Ya.* Information field / V. Ya. Tsvetkov // Life Science Journal. – 2014. – № 11 (5). – Pp. 551–554.

28. Искусственный интеллект. В 3-х кн. Кн. 2. Модели и методы : справочник / под ред. Д. А. Поспелова. – М. : Радио и связь, 1990. – 340 с.

29. *Tsvetkov V. Ya.* Semantic environment of information units / V. Ya. Tsvetkov // European Researcher. – 2014. – Vol. 76. – No. 6–1. – Pp. 1059–1065.
30. *Tsvetkov V. Ya.* Information Units as the Elements of Complex Models / V. Ya. Tsvetkov // Nanotechnology Research and Practice. – 2014. – Vol. 1. – No. 1. – Pp. 57–64.
31. *Tsvetkov V. Ya.* Global Monitoring / V. Ya. Tsvetkov // European Researcher. – 2012. – Vol. 33. – No. 11-1. – Pp. 1843–1851.
32. *Цветков В. Я.* Использование спутниковой навигации на железнодорожном и автомобильном транспорте [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс дисциплины дополн. проф. образоват. программы повышения квалификации специалистов по спутниковой навигации / В. Я. Цветков. – М.: МИИГАиК, 2013. – 323 с.
33. *Куропаткин П. В.* Оптимальные и адаптивные системы / П. В. Куропаткин. – М. : Высш. школа, 1980. – 270 с.
34. Основы управления сложной организационно-технической системой: Информационный аспект / А. Н. Тихонов [и др.]. – М. : МАКС Пресс, 2010. – 228 с.
35. *Кудж С. А.* Организация геоданных / С. А. Кудж // Перспективы науки и образования. – 2014. – № 1. – С. 61–65.
36. *Jaffe R. S.* The US National ITS Architecture. Part 1 – Definition / R. S. Jaffe // Traffic technology international. – 1998. – Aug/Sept. – Pp. 58–64.
37. Integration is the key // Traffic technology international. – 1998. – Annual Review. – Pp. 99–104.
38. *Reynolds S.* Architectural TRENDS. A real time distributed database for Europe / S. Reynolds // Traffic technology international. – 1998. – Feb/Mar. – Pp. 37–39.
39. *Orski K.* Balancing the budget for the Federal vision / K. Orski // Traffic technology international. – 1997. – Feb/Mar. – Pp. 49–50.
40. *Cassenbaum O.* Supervisory control of hybrid powertrains / O. Cassenbaum // Proceedings of the International Congress of Heavy Vehicles, Road Trains and Urban Transport (Minsk, 6–9 Oct. 2010). – Минск : БНТУ, 2010.
41. *Koukoumidis E.* SignalGuru: Leveraging Mobile Phones for Collaborative Traffic Signal Schedule Advisory / E. Koukoumidis, Li-Shiuan Peh, M. R. Martonosi // Proceedings of the 9th International conference on Mobile systems, applications and services. – Bethesda (USA, Maryland), 2011. – Pp. 127–140.
42. *Егоров В.* Зеленая волна / В. Егоров // icarbio.ru. – URL: <http://icarbio.ru/articles/zelenaja-volna.html> (дата обращения: 30.07.2019).
43. *Плотников А. Г.* Указатель оптимальной скорости [Электронный ресурс] / А. Г. Плотников. – URL: <http://delovar.info/idea/izobr/view=7924> (дата обращения: 08.09.2012).
44. *Шуть В. Н.* Управление транспортными потоками в улично-дорожной сети города на основе спутниковой навигации / В. Н. Шуть // Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации: РИНТИ-2013 : докл. XII Междунар. конф. (Минск, 20 нояб. 2013 г.). – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2013. – С. 147–151.

45. *Шуть В. Н.* Мобильный помощник водителя в выборе стратегии вождения / В. Н. Шуть, В. В. Касьяник // Искусственный интеллект. – 2012. – № 3. – С. 253–259.

46. Алгоритм адаптивного управления перекрестком со сложной структурой / А. Л. Согоян [и др.] // Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов : сб. науч. тр. – Минск : БНТУ, 2013. – С. 3–14.

47. *Шуть В. Н.* Организация адаптивного движения автотранспортных средств в улично-дорожной сети города / В. Н. Шуть, А. Л. Согоян // Искусственный интеллект. – 2013. – № 3. – С. 253–259.

48. *Шуть В. Н.* Концепция городского бессветофорного движения / В. Н. Шуть, А. Л. Согоян // Електроніка та інформаційні технології: мат-лы IV Науч.-практ. конф. (Львів-Чинадієво, 30 авг.–2 сент. 2013 г.). – Львов: Львов. нац. ун-т, 2013. – С. 11–14.

49. *Шуть В. Н.* Навигационно-інформаційна система моніторингу і управління автотранспортом екстрених служб / В. Н. Шуть // Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы : мат-лы Междунар. науч.-техн. конф. – Донецк : ИПИИ «Наука і освіта», 2013. – С. 216–218.

50. *Шуть В. Н.* Информационные системы управления автотранспортом экстренных служб / В. Н. Шуть // Второй Белорусско-Латвийский форум «Наука, инновации, инвестиции» : сб. мат-лов. – Минск, 2014. – С. 40–42.

51. *Шуть В. Н.* Управление транспортными потоками города на базе информационных технологий / В. Н. Шуть // Тенденции интеграции образования, науки и бизнеса : сб. мат-лов Белорусско-Литовской биржи деловых контактов (27–28 нояб. 2014 г.). – Минск : БНТУ, 2014. – С. 114–116.

52. *Anfilets S.* Evaluating the Effectiveness of the Adaptive Control System in Brest Region / S. Anfilets, V. Shut // Proceedings of the International Congress of Heavy Vehicles, Road Trains and Urban Transport (Minsk, 6–9 Oct. 2010). – Минск: БНТУ, 2010. – С. 222–226.

53. *Ходоскин Д. П.* Определение местоположения зоны дилеммы с учетом опыта отечественных и зарубежных исследований / Д. П. Ходоскин, О. А. Шевель // Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов: сб. науч. тр. – Минск, 2011. – С. 153–155.

54. *Кременец Ю. А.* Технические средства регулирования дорожного движения / Ю. А. Кременец, М. П. Печерский. – М. : Транспорт, 1981. – 138 с.

55. Автотранспортные потоки и окружающая среда : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по автотрактор. и дорож. специальностям / В. Н. Луканин [и др.]. – М. : Инфра-М, 1988. – 380 с.

56. *Врубель Ю. А.* Определение потерь в дорожном движении / Ю. А. Врубель, Д. В. Капский, Е. Н. Кот. – Минск : БНТУ, 2006.

57. Антиблокировочная система [Электронный ресурс] // Википедия – свободная энциклопедия. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D1%82%D0%B8%D0%B1%D0%BB%D0%BE%D0%BA%D0%B8%D1%8>

0%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0

58. ABS – 30 лет на страже жизни [Электронный ресурс] // За рулем. – URL: http://www.zr.ru/content/news/34067-abs_-_30_let_na_strazhe_zhizni/

59. *Sivinski R.* Crash Prevention Effectiveness of Light-Vehicle Electronic Stability Control: An Update of the 2007 NHTSA Evaluation : NHTSA Technical Report (June 2011) / R. Sivinski. – URL: <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/811486>

60. Система курсовой устойчивости [Электронный ресурс] // Системы современного автомобиля. – URL: <http://systemsauto.ru/active/esp>

61. Система автоматической парковки [Электронный ресурс] // Системы современного автомобиля. – URL: http://systemsauto.ru/active/active_park

62. AutoKatalog [Электронный ресурс]. – URL: <http://autokatalog.by/article/456/>

63. Адаптивный круиз-контроль [Электронный ресурс] // Системы современного автомобиля. – URL: <http://systemsauto.ru/active/acc>

64. Система экстренного торможения [Электронный ресурс] // Системы современного автомобиля. – URL: http://systemsauto.ru/active/brake_assist

65. У Audi появится автопилот для пробок [Электронный ресурс] // Motor. – URL: <http://motor.ru/news/2012/01/13/auditram/>

66. Ford's New Traffic Jam Assist Technology Paves the Way to Self-Driving Cars [Электронный ресурс] // Inhabitat. – URL: <http://inhabitat.com/fords-new-traffic-jam-assist-technology-paves-the-way-to-self-driving-cars/>

67. Volvo Promises Autonomous Tech by 2014 [Электронный ресурс] // WIRED. – URL: <http://www.wired.com/2012/10/volvo-autonomous/>

68. *Ваннах М.* Роботы и люди на улицах Гетеборга [Электронный ресурс] / М. Ваннах // Компьютерра. – URL: <http://www.computerra.ru/89665/roboty-i-lyudi-na-ulitsah-gyoteborga/>

69. *Анисимов Г.* Volvo установит «автопилот для пробок» на серийные машины в 2014 г. [Электронный ресурс] / Г. Анисимов // ВЕДОМОСТИ. – URL: http://www.vedomosti.ru/auto/news/5329411/volvo_ustanovit_na_serijnye_mashiny_avtopilot_dlya_probok_v

70. Система Super Cruise Cadillac – шаг к пробуждению Skynet [Электронный ресурс] // dealerON.ru – URL: <http://www.dealeron.ru/news/623-%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0-Super-Cruise-Cadillac-%E2%80%93-93-%D1%88%D0%B0%D0%B3-%D0%BA-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B1%D1%83%D0%B6%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8E-Skynet/>

71. Safe Road Trains for the Environment [Электронный ресурс] // Wikipedia, the free encyclopedia. – URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Safe_Road_Trains_for_the_Environment

72. Crashes vs. Congestion – What’s the Cost to Society? [Электронный ресурс] / AAA, Cambridge Systematics, Inc. – URL: http://newsroom.aaa.com/wp-content/uploads/2011/11/2011_AAA_CrashvCongUpd.pdf

73. *Schrank D., Eisele B., Lomax T.* TTI’s 2012 Urban Mobility Report : Powered by INRIX Traffic Data / D. Schrank, B. Eisele, T. Lomax. – College Station (USA, Texas) : Texas A&M Transportation Institute : The Texas A&M University System, 2012. – URL: <https://static.tti.tamu.edu/tti.tamu.edu/documents/ums/archive/mobility-report-2012-wappx.pdf>

74. *Frazzoli E.* Can We Put a Price on Autonomous Driving? [Электронный ресурс] / E. Frazzoli // MIT Technology Review. – URL: www.technologyreview.com/view/525591/can-we-put-a-price-on-autonomous-driving/

75. Toward a Systematic Approach to the Design and Evaluation of Automated Mobility-on-Demand Systems : A Case Study in Singapore [Электронный ресурс] / K. Spieser [et al.] // MIT Libraries. – URL: <http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/82904>

76. Особенности и детали Lexus IS F [Электронный ресурс] // Quto.ru. – URL: <http://quto.ru/Lexus/ISF/II/sedan4d/features/9805/>

77. Персональный автоматический транспорт [Электронный ресурс] // Википедия – свободная энциклопедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Персональный_автоматический_транспорт

78. *Ларионов В.* Российская компания Volgabus представила беспилотный модульный автобус / В. Ларионов // Hi-News.ru. – URL: <https://hi-news.ru/technology/rossijskaya-kompaniya-volgabus-predstavila-bespilotnyj-modulnyj-avtobus.html>

79. Uber начнет разработку беспилотных автомобилей [Электронный ресурс] // Lenta.ru. – URL: <https://lenta.ru/news/2015/02/04/ubercar/>

80. Autonomous taxis could greatly reduce greenhouse-gas emissions of US light-duty vehicles [Электронный ресурс] // ResearchGate. – URL: https://www.researchgate.net/publication/282497116_Autonomous_taxi_s_could_greatly_reduce_greenhouse-gas_emissions_of_US_light-duty_vehicles

81. *Шуть В. Н.* Использование эффекта автокараванинга для формирования автопоезда любой размерности для адаптации к пассажиропотоку на маршруте (часть 1) / В. Н. Шуть // Мат-лы Междунар. науч. конф. Actual problems of fundamental science (Луцк, 1–4 июня 2016 г.). – Луцк : Луцкий нац. техн. ун-т, 2016. – С. 217–220.

82. *Шуть В. Н.* Использование эффекта автокараванинга для формирования автопоезда любой размерности для адаптации к пассажиропотоку на маршруте (часть 2) / В. Н. Шуть // Мат-лы Междунар. науч. конф. Actual problems of fundamental science (Луцк, 1–4 июня 2016 г.). – Луцк : Луцкий нац. техн. ун-т, 2016. – С. 220–222.

83. *Михайлов А. Ю.* Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов / А. Ю. Михайлов, И. М. Головных. – Новосибирск : Наука, 2004. – 267 с.

84. Стоимость сооружения 1 км метро в Минске составляет от 40 до 60 млн долларов [Электронный ресурс] // Агентство «Минск-новости». – URL: <http://minsknews.by/blog/2014/08/19/stoimost-sooruzheniya-1-km-metro-v-minske-sostavlyayet-ot-40-do-60-mln-dollarov/>

85. *Варелопуло Г. А.* Организация движения и перевозок (на городском пассажирском транспорте) : учеб. для техникумов по спец. № 1611 «Эксплуатация, ремонт и энергоснабжение гор. электротранспорта» / Г. А. Варелопуло. – М.: Транспорт, 1981. – 199 с.

86. *Аристов А. О.* Компьютерная система поддержки принятия решений по управлению транспортными потоками / А. О. Аристов, К. В. Моргачев // Сб. науч. докл. II Науч.-практ. конф. «Научно-техническое творчество молодежи – путь к обществу, основанному на знаниях». – М. : МГСУ, 2010. – С. 205–208.

87. Project SARTRE (Safe Road Trains for the Environment) [Электронный ресурс] // Verdict Traffic. – URL: <https://www.roadtraffic-technology.com/projects/the-sartre-project/>

88. *Shuts V.* Mobile Autonomous robots – a new type of city public transport / V. Shuts, V. Kasyanik // Transport and Telecommunication. – 2011. – Vol. 12. – No. 4. – Pp. 52–60.

89. *Большаков И. А.* Прикладная теория случайных потоков / И. А. Большаков, В. С. Ракошиц. – М. : Советское радио, 1978. – 248 с.

90. *Пролиско Е. Е.* Высокопроизводительный вид городского пассажирского транспорта на базе современных информационных технологий / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Сб. науч. тр. по мат-лам Междунар. заоч. науч.-практ. конф. «Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика» (Воронеж, 2016 г.). – Т. 4. – № 5. – Ч. 3. – Воронеж : ВГЛТУ, 2016. – С. 336–341.

91. *Пролиско Е. Е.* Динамическая модель работы транспортной системы «Инфобус» / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Искусственный интеллект. Интеллектуальные транспортные системы (Be-Safe 2016) : мат-лы Междунар. науч.-техн. конф. (Брест, Беларусь, 25–28 мая 2016 г.). – Брест : БрГТУ, 2016. – С. 49–54.

92. *Шуть В. Н.* Высокопроизводительная система городской транспортировки пассажиров / В. Н. Шуть, Е. Е. Пролиско // Мат-лы VIII Украинско-польской науч.-практ. конф. «Електроніка та інформаційні технології» (Львов, 27–30 авг. 2016 г.). – Львов, 2016. – С. 62–64.

93. *Пролиско Е. Е.* Роботизированный городской транспорт кассетно-конвейерной перевозки пассажиров / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Докл. XV Междунар. конф. «Развитие информатизации и государственной системы научной-технической информации» (Минск, 17 нояб. 2016 г.). – Минск, 2016. – С. 86–91.

94. High capacity robotic urban cluster-pipeline passengers transport / L. Persia [et al.] // Искусственный интеллект. Интеллектуальные транспортные системы (Be-Safe 2016) : мат-лы Междунар. науч.-техн. конф. (Брест, Беларусь, 25–28 мая 2016 г.). – Брест : БрГТУ, 2016. – С. 62–68.

95. *Капский Д. В., Пролиско Е. Е., Шуть В. Н.* Система городского общественного транспорта будущего / Д. В. Капский, Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф. «Автомобильные дороги: безопасность и надежность» (Белорус. дорож. науч.-исслед. ин-т «БелдорНИИ», 22–23 нояб. 2018 г.). – Ч. 1. – Минск, 2018. – С. 194–202.

96. *Пролиско Е. Е.* Новый тип высокопроизводительного общественного городского транспорта / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Мат-лы II Междунар. заоч. науч.-практ. конф. «Перспективы развития транспортного комплекса» (Минск, 4–6 окт. 2016 г.). – Минск, 2016. – С. 11–14.

97. *Пролиско Е. Е.* Высокопроизводительный вид городского пассажирского транспорта на базе современных интеллектуальных информационных технологий / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Мат-лы Всерос. науч.-техн. конф. «Проблемы эксплуатации автомобильного транспорта и пути их решения на основе современных информационно-коммуникационных и энергосберегающих технологий» (Воронеж, 14–16 нояб. 2016 г.). – Воронеж, 2016. – С. 336–341.

98. *Ракитский А. В.* Робототехническая транспортная система / А. В. Ракитский, В. Н. Шуть // Информационные технологии и системы 2013 (ИТС 2013): мат-лы Междунар. науч. конф. (БГУИР, Минск, Беларусь, 23 окт. 2013 г.). – Минск: БГУИР, 2013. – С. 82–83.

99. Robot Violinist [Электронный ресурс] // YouTube. – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=EzjkBwZtxp4>

100. Robot Bar Melbourne [сайт]. – URL: <http://www.robotsushi.com>

101. *Ловин Дж.* Создаем робота-андроида своими руками / Дж. Ловин. – М.: ДМК-Пресс, 2009. – 313 с.

102. *Головко В. А.* Основы искусственного интеллекта / В. А. Головко, Л. П. Матюшков, В. Н. Шуть. – Брест, 2010. – 112 с.

103. U.S. Department of Transportation : Federal Highway Administration [официальный сайт]. – URL: <http://www.fhwa.dot.gov>

104. *Шуть В. Н.* Робототехническая магистральная система «Пешеходный переход» / В. Н. Шуть // Мат-лы Междунар. науч.-техн. конф. «Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы. ИИ-2011» (19–23 сент. 2011 г.). – Донецк : ИПИИ «Наука і освіта». – С. 240–243.

105. *Шуть В. Н.* Робототехническая магистральная система «Пешеходный переход» / В. Н. Шуть // Искусственный интеллект. – 2011. – № 3. – С. 423–427.

106. *Шуть В. Н.* Пешеходный робот / В. Н. Шуть // International Journal of Computing. – 2013. – Т. 12. – Вып. 2. – С. 170–174.

107. *Shut V.* A new approach to solve crosswalk problems / V. Shut, O. Vaitsekhovich // International congress of heavy vehicles, road trains and urban transport (06–09 October 2010) : book of papers. – Minsk : BNTU, 2010. – Pp. 176–180.

108. *Шуть В. Н.* Концепция городского бессветофорного движения / В. Н. Шуть, А. В. Михневич // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях:

XIII Республик. науч. конф. студентов и аспирантов (ГГУ им. Ф. Скорины, Гомель, 15–17 марта 2010 г.). – Ч. 1. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2010. – С. 215–216.

109. *Завадский А. А.* Использование мультиагентных систем для управления дорожно-транспортным движением / А. А. Завадский, В. Н. Шуть // Информационные технологии и системы 2014 (ИТС 2014) : мат-лы Междунар. науч. конф. (БГУИР, Минск, Беларусь, 29 окт. 2014 г.). – Минск : БГУИР, 2014. – С. 138–139.

110. *Шуть В. Н.* Мультиагентное управление перекрестком / В. Н. Шуть // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2014. – № 3 (50). – С. 179–184.

111. *Шуть В. Н.* Мультиагентный подход в решении транспортных проблем городов / В. Н. Шуть, В. В. Касьяник // Мат-лы Междунар. науч.-техн. конф. «Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы. ИИ-2012». – Донецк : ИПИИ «Наука і освіта», 2012. – С. 203–206.

112. *Михневич В. А.* Регулирование городского перекрестка на основе многоагентного подхода / В. А. Михневич, В. Н. Шуть // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2012. – № 5. – С. 30–33.

113. *Завадский А. А.* Оптимизация дорожного движения на перекрестке с использованием мультиагентного подхода / А. А. Завадский, В. Н. Шуть // Мат-лы VIII Междунар. науч.-техн. конф. «Информационные технологии в промышленности. ИТИ-2015». – Минск, 2015. – С. 108–119.

114. *Варшавский В. И.* Оркестр играет без дирижера : Размышления об эволюции некоторых технических систем и управлении ими / В. И. Варшавский, Д. А. Поспелов. – М. : Наука, 1984.

115. *Рассел С.* Искусственный интеллект : Современный подход: [пер. с англ.] / С. Рассел, П. Норвич. – 2-е изд. – М. : И.Д. Вильямс, 2016. – 1408 с. – URL: <http://i.uran.ru/webcab/system/files/bookspdf/iskusstvennyu-intellekt-sovremennyu-podhod/229021.pdf>

116. *Moonen H.* Multi-agent systems for transportation planning and coordination / H. Moonen. – Rotterdam : Erasmus Research Institute of Management, 2009. – 278 p. – URL: <https://repub.eur.nl/pub/16208/>

117. *Claes R.* A decentralized approach for anticipatory vehicle routing using delegate multiagent systems / R. Claes, T. Holvoet, D. Weyns // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2011. – Vol. 12. – No. 2. – Pp. 364–373.

118. *Городецкий В. И.* Самоорганизация и многоагентные системы. I. Модели самоорганизации и их приложения в программных инфраструктурах компьютерных сетей / В. И. Городецкий // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2012. – Т. 51. – № 2. – С. 256–281.

119. SARTRE Project [сайт]. – URL: <http://www.attitudes-roadsafety.eu/index.php>

120. *Roosmond D. A.* Using autonomous intelligent agents for urban traffic control systems / D. A. Roosmond // Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence in Transportation Systems and Science, 1999. – Pp. 69–79.

121. *Lodding K. N., Brewster P.* Multi-agent organisms for persistent computing / K. N. Lodding, P. Brewster // Proceedings of the Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, 2004. AAMAS 2004 (23–23 July 2004). – Vol. 3. – New York : IEEE, 2004. – Pp. 1038–1045. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1373624>
122. AIM: Autonomous Intersection Management [сайт]. – URL: <http://www.cs.utexas.edu/~aim/>
123. Eclipse Project [сайт]. – URL: <https://www.eclipse.org/eclipse/>
124. *Пегин П. А.* Законодательство в сфере дорожного движения / П. А. Пегин. – М. : Издательский центр «Академия», 2018. – 112 с.
125. *Пегин П. А.* Обеспечение безопасности дорожного движения в сложных погодных-климатических условиях / П. А. Пегин, В. Ф. Карев, В. В. Карева. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2016. – 272 с.
126. *Капский Д. В.* Психофизиология участников дорожного движения (автотранспортная психология) : учеб.-метод. пособие / Д. В. Капский, П. А. Пегин, И. И. Лобач. – Минск : Капитал Принт, 2017. – 383 с.
127. *Пегин П. А.* Автотранспортная психология / П. А. Пегин. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 208 с.
128. *Abuelsamid S.* Добавим немного статистики к заявлению компании Тесла о безопасности автопилота : пер. с англ. [Электронный ресурс] / S. Abuelsamid // habr. – URL: <https://habr.com/ru/post/396395/>
129. *Капский Д. В., Шуть В. Н., Пегин П. А.* Графовая модель конфликтного взаимодействия транспортных средств на различных перекрестках / Д. В. Капский, В. Н. Шуть, П. А. Пегин // Наука и техника. – 2018. – Т. 17. – № 3. – С. 246–254.
130. Автоматизированные системы управления дорожным движением / Д. В. Капский [и др.]. – Минск : Новое знание, 2015. – 368 с.
131. *Грабауров А. А., Капский Д. В.* Создание и развитие интеллектуальных транспортных систем на базе автоматизированных систем управления движением / А. А. Грабауров, Д. В. Капский // Искусственный интеллект. Интеллектуальные транспортные системы (Be-Safe 2016) : мат-лы Междунар. науч.-техн. конф. (Брест, Беларусь, 25–28 мая 2016 г.). – Брест : БрГТУ, 2016. – С. 37–40.

Оглавление

Введение	3
Глава 1. Надежность водителя и интеллектуальные системы автомобиля	7
1.1. Общие вопросы надежности водителя в системе «водитель – автомобиль – дорога – среда»	7
1.2. Восприятие водителем окружающей информации	15
1.3. Аварийность и виды аварий с участием беспилотного автомобиля	20
1.3.1. Аварии с участием беспилотного автомобиля	25
1.3.2. Беспилотный автомобиль как средство терроризма	26
Глава 2. Беспилотный автомобиль	27
2.1. Предпосылки к разработке беспилотных транспортных средств.	27
2.2. Автомобиль «видящий» и коммуницирующий	29
2.2.1. Гироскопы для автомобильных навигационных систем	31
2.2.2. Радар и ладар (лидар)	32
2.2.3. Инфракрасный датчик движения и ультразвуковой датчик	34
2.3. История развития беспилотных автомобилей	34
2.4. Обоснования перехода на беспилотные технологии	36
Глава 3. Проблемы создания искусственного интеллекта	40
3.1. Распознавание образов и обработка изображений	40
3.2. Сильный и слабый искусственный интеллект. Беспилотное вождение.	43
3.3. Система «Мобильный помощник водителя»	46
3.3.1. Ориентация водителей в пространстве	48
3.3.2. Пересечение зоны дилеммы с мобильным помощником	50
3.3.3. Дифференцирование и интегрирование транспортного потока с мобильным помощником.	54
Глава 4. Управление дорожным движением на базе многоагентных систем	58
4.1. Структура и организация многоагентной системы автономного транспортного движения	58
4.2. Агенты в многоагентной транспортной системе: описание и взаимодействие	60
4.3. Подсистема планирования разъезда на перекрестке	63
4.4. Система имитационного моделирования управления перекрестком	67

4.4.1. Настройки генерации моделирования для светофорного регулирования перекрестка (Traffic Signals)	68
4.4.2. Настройки генерации моделирования для многоагентного подхода (AIM Protocol)	68
Глава 5. Встроенные интеллектуальные системы автоматизации вождения.	76
5.1. Системы управления автомобилем	76
5.1.1. Антиблокировочная система ABS	80
5.1.2. Противобуксовочная система (система контроля тяги).	83
5.1.3. Система курсовой устойчивости	84
5.1.4. Система экстренного торможения	89
5.1.5. Адаптивный круиз-контроль	92
5.1.6. Торможение по проводам (Brake-by-wire).	95
5.1.7. Система активного рулевого управления AFS	96
5.1.8. Система предотвращения опрокидывания ARP	98
5.1.9. Активная (адаптивная) подвеска	98
5.1.10. Автоматическая система управления стеклоочистителями	99
5.1.11. Автоматическая система управления световыми приборами.	100
5.1.12. Система помощи движению по полосе.	100
5.2. Бортовые системы информирования водителя.	102
5.2.1. Система информирования о техническом состоянии автомобиля	102
5.2.2. Система распознавания дорожных знаков	104
5.2.3. Система мониторинга состояния водителя.	106
5.2.4. Система информирования о превышении скорости	109
5.2.5. Система обнаружения препятствий.	110
5.2.6. Система информирования о техническом состоянии дорожного покрытия	112
5.2.7. Система обнаружения пешеходов	113
5.2.8. Спутниковая система навигации GNSS	114
5.3. Системы сбора и передачи информации	116
5.3.1. Интеллектуальная транспортная система ITS Connect	116
5.3.2. Система автоматической парковки	118
5.3.3. Тахограф.	120
5.4. Обзор основных разработок беспилотных автомобилей.	120
5.4.1. Беспилотные автомобильные системы корпорации Google	120
5.4.2. Автомобильная система Temporary Auto Pilot (Volkswagen).	123

5.4.3. Система Traffic Jam Assistant (Audi)	124
5.4.4. Система Traffic Jam Assist (Ford)	125
5.4.5. Система Traffic Jam Assistance (Volvo).	126
5.4.6. Система Super Cruise (Cadillac)	127
5.4.7. Система SARTRE (Volvo)	128
5.4.8. Разработки Renault – Nissan – Mitsubishi Alliance	129
5.4.9. Системы Cruise и Comma	130
5.4.10. Беспилотный автомобиль от Tesla	130
Глава 6. Автоматические транспортные системы	
перевозки пассажиров	135
6.1. Персональный автоматический транспорт	135
6.1.1. История развития автоматического транспорта	137
6.1.2. Транспортные системы с движением по специальным путям (PRT)	142
6.1.3. Классы персонального автоматического транспорта.	143
6.1.4. Сравнение различных концепций персонального автоматического транспорта.	144
6.1.5. Система персонального скоростного комбинированного транспорта Dual Mode PRT Zest	149
6.1.6. Система скоростного автоматического транспорта Rapid Transit “TRAM-Zest”	153
6.1.7. Беспилотные такси	157
6.2. Наземный автоматический общественный транспорт.	159
6.3. Эстакадный автоматический общественный транспорт.	161
6.4. Автобусная система 3D Express Coach	162
6.5. Автокараванинг и его разновидности	163
6.5.1. Общественный транспорт на базе беспилотных автомобилей	164
6.5.2. Организация маршрутов роботизированного общественного транспорта	166
6.6. Транспортная система кассетного движения инфобусов.	168
6.6.1. Анализ условий городских пассажирских перевозок	169
6.6.2. Основа кассетной сборки инфобусов – система SARTRE	171
6.6.3. Движение инфобусов в улично-дорожной среде	173
6.6.4. Математические модели работы транспортной системы «Инфобус»	175
Заключение.	183
Библиографический список	185

Научное издание

Пегин Павел Анатольевич
Капский Денис Васильевич
Касьяник Валерий Викторович
Шуть Василий Николаевич

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ БОРТОВЫХ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**

Монография

Редактор *Т. В. Ананченко*
Компьютерная верстка *В. С. Весниной*

Подписано к печати 17.09.2019. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бум. офсетная.

Усл. печ. л. 11,5. Тираж 500 экз. Заказ 113. «С» 52.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Отпечатано на МФУ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А.