

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Е. А. ОЛЕНЕВ С. Е. ОЛЕНЕВ Ш. А. АМИРСЕЙИДОВ

# ОРГАНИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ НА АВТОМАГИСТРАЛЯХ И В ГОРОДАХ Инновационные решения

Учебник

*Допущено Федеральным УМО по укрупненной группе специальностей и направлений подготовки 23.00.00 «Техника и технологии наземного транспорта» в качестве учебника для обучающихся по направлениям подготовки 23.03.01, 23.04.01 «Технология транспортных процессов», уровень образования – «бакалавриат», «магистратура», 23.03.03, 23.04.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», уровень образования – «бакалавриат», «магистратура»*



Владимир 2024

УДК 656.13  
ББК 39.808  
О-53

Рецензенты:

Доктор технических наук, доцент  
профессор кафедры строительных и дорожных машин  
Нижегородского государственного технического университета  
им. Р. Е. Алексеева  
*Ю. И. Молев*

Доктор технических наук, профессор  
профессор кафедры автоматизации, мехатроники и робототехники  
Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
*А. А. Кобзев*

Издается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

**Оленев, Е. А. ОРГАНИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ НА АВТО-  
О-53 МАГИСТРАЛЯХ И В ГОРОДАХ.** Инновационные решения :  
учебник / Е. А. Оленев, С. Е. Оленев, Ш. А. Амирсейидов ; Вла-  
дим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во  
ВлГУ, 2024. – 183 с. – ISBN 978-5-9984-1807-5.

Изложены вопросы, касающиеся организации движения на автомагистралях и в городах. Даны инновационные решения по управлению движением как городского пассажирского транспорта, так и автомобилей. Разработаны математические модели, позволяющие оценить эффективность предложенных решений. Содержит иллюстрации и примеры, облегчающие понимание представленного материала.

Предназначен для студентов вузов 3 – 4-го курсов, обучающихся по направлениям подготовки 23.03.01, 23.04.01 «Технология транспортных процессов», 23.03.03, 23.04.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» всех форм обучения.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Ил. 82. Табл. 1. Библиогр.: 41 назв.

УДК 656.13  
ББК 39.808

ISBN 978-5-9984-1807-5

© ВлГУ, 2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
ВВЕДЕНИЕ .....	7
Глава 1. ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ.....	8
1.1. Концепция управления движением.....	8
1.2. Структура и состав автоматической системы диспетчерского управления движением ГПТ .....	21
1.3. Показатели качества удовлетворения потребности населения в поездках.....	24
1.4. Формирование функции степени достижения цели управления .....	31
1.5. Проблемы экологии и транспортной сети .....	35
1.6. Вынужденная и планируемая стоянка .....	41
<i>Контрольные вопросы</i> .....	44
Глава 2. ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ .....	45
2.1. Повышение пропускной способности перекрестков.....	45
2.2. Измерение количества транспортных средств на дорогах .....	62
2.3. Управление движением на магистралях типа МКАД.....	71
2.4. Уменьшение времени проезда железнодорожных переездов .....	83
2.5. Улучшение состояния дорожного покрытия.....	95
<i>Контрольные вопросы</i> .....	110

Глава 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, СВЯЗАННЫХ С УЛУЧШЕНИЕМ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ .....	112
3.1. Модель автоматического управления ходом перевозочного процесса.....	112
3.2. Правила составления графиков движения.....	117
3.3. Правила контроля и управления движением .....	124
3.4. Формирование информационного ядра .....	133
3.5. Организация диалога между системой и объектом управления. Передача пассажирам оперативной информации.....	143
<i>Контрольные вопросы</i> .....	152
Глава 4. ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПРАВИЛА И ОРГАНИЗАЦИЮ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ .....	153
4.1. Сигналы светофора .....	153
4.2. Остановка и стоянка.....	164
4.3. Скорость движения в городах и на магистралях .....	166
4.4. Камеры на дорогах и штрафы .....	171
<i>Контрольные вопросы</i> .....	176
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	177
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	179

Сложность объективно необходимых задач управления растёт быстрее, чем квадрат числа людей, задействованных в управлении.

*В. М. Глушков*

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

Настоящая книга предназначена в качестве учебника для студентов высших технических учебных заведений, а также для аспирантов и молодых инженеров, которым необходимы знания по организации дорожного движения.

Большая протяженность и разветвленность транспортной сети города, наличие на ней огромного числа транспортных единиц, движущихся в разных направлениях, делают чрезвычайно сложным процесс управления транспортными потоками. При этом в работу по управлению вовлекаются различные городские службы, осуществляющие организационно-хозяйственную деятельность – транспортную, коммунальную, энергетическую и т. п.

На протяжении многих лет управление транспортными потоками, особенно в крупных городах, оставляет желать лучшего. Рост современных городов обусловлен увеличением численности населения и удалением мест жительства от мест работы, что приводит к расширению транспортной сети города и насыщению ее транспортными единицами различных видов. Большое количество транспортных средств на магистралях ведет к снижению скорости движения, что вызывает транспортную усталость водителей и пассажиров, вынуждает их находиться длительное время в среде с повышенным содержанием вредных веществ и отрицательно сказывается на их здоровье и качестве жизни.

Уровень организации дорожного движения прямым образом влияет на развитие общественного производства и его эффективность. Поэтому для решения транспортных проблем городов необходимо прежде всего повысить качество управления транспортными потоками за счет применения более современных методов и средств управления ими, а также снижения вредных выбросов в атмосферу путем улучшения эксплуатационных показателей транспортных средств.

Несмотря на разнообразие литературы, освещающей те или иные аспекты решения задач по организации движения, существо процесса управления не показано, не обозначены какие-либо оценки или критерии качества этого управления, не выявлены конкретные проблемы процесса управления, не даны пути их решения.

В учебнике рассмотрены инновационные методы, поднимающие управление транспортными потоками на новый качественный уровень и снижающие вредную нагрузку на городскую среду.

Материал книги доступен для понимания широкому кругу читателей.

## ВВЕДЕНИЕ

В относительно простых ситуациях, связанных с управлением, опыт и здравый смысл помогают человеку принять правильное, разумное решение и тем самым обеспечить эффективность управления. В более сложных ситуациях, характеризующихся неполнотой исходной информации, наличием случайных факторов и тому подобным, опыта и интуиции человека недостаточно – необходимы прочный научный фундамент для принимаемых решений, математическое моделирование процесса с учетом динамики его хода, прогнозирование результатов управления посредством формализованной обработки информации, собираемой с транспортной сети в целях управления. При этом реализация указанных процессов предполагает разработку прежде всего нового подхода к проведению математико-статистического анализа объектов управления (транспортных единиц) и среды их функционирования (транспортной сети).

В настоящее время транспортными потоками управляют автоматизированные системы управления, которые независимо от принципов построения и видов решаемых ими задач имеют один общий существенный недостаток: выполнение самых сложных и ответственных операций по анализу поступающей информации и выработке управленческого воздействия ложится на человека. Следует заметить, что человек способен за рабочий день выполнить ограниченное число элементарных логических и вычислительных операций. Кроме того, вследствие сложности и многообразия объектов управления, взаимосвязей между ними, влияния дестабилизирующих факторов среды, в которой функционируют эти объекты, а также ограниченной возможности мозга человека по объемам переработки информации человек не может охватить и осмыслить весь поток сведений, поступающий к нему, оценить сложившуюся обстановку, найти и принять оптимальный вариант решения.

Таким образом, существует объективная необходимость в создании систем управления нового поколения, в которых обработка информации и формирование управляющих команд для водителей транспортных средств происходят автоматически.

# Глава 1

## ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

### 1.1. Концепция управления движением

Условно транспортные единицы можно разделить на автомобили, перемещающиеся по транспортной сети в различных направлениях, и городской пассажирский транспорт (ГПТ), транспортные единицы которого движутся по определенным маршрутам.

Сеть автомобильных дорог имеет большую протяженность и, как правило, сильно переплетена, особенно это касается крупных городов. По этой сети в различных направлениях движутся транспортные средства разных категорий.

Движение транспортных средств хаотическое, поэтому сложно спрогнозировать направление и время перемещения по сети немаршрутизированного транспорта, что затрудняет организацию движения на магистралях и в городах с целью эффективного управления транспортными потоками. Так называемые транспортные задачи – это специальные виды задач линейного программирования, сводящиеся к выбору оптимального маршрута движения какого-либо транспортного средства. Например, в городе имеется  $n$  пунктов производства (хлебозаводы) и  $m$  пунктов потребления (магазины) какого-либо продукта, причем полагается, что объемы производства и потребления сбалансированны. Известны также затраты по перевозке единицы продукции из  $k$ -го пункта производства в  $i$ -й пункт потребления. Требуется найти такой план перевозок, который бы обеспечивал продуктом все пункты потребления при минимальных затратах на транспортное обслуживание. Решение такой относительно простой задачи, т. е. определение оптимального плана перевозок, даже на ЭВМ редко удается получить с первого раза, обычно найденное решение оптимизируется с помощью итераций.

Есть еще одна разновидность задач линейного программирования – линейное стохастическое программирование, в рамках которого учитывается воздействие тех или иных случайных факторов. Применительно к управлению потоками на транспортной сети такие задачи будут иметь сотни различных переменных и столько же разных ограничений, что не позволит воспользоваться результатами решения для управления в режиме реального времени. Более того, рассмотренные

задачи линейного программирования дают в результате одно решение, что малоприемлемо для транспортной сети в целом. Говоря другими словами, обеспечение быстрого (без значительного промедления) проезда транспортными средствами одного перекрестка не гарантирует их быстрый проезд на других перекрестках вследствие формирования на других перекрестках транспортных пробок, в том числе с других направлений. По этой причине не получил широкого распространения метод управления движением на перекрестках «Зеленая волна». Это связано с большими трудностями в согласовании синхронного движения по примыкающим к магистрали «Зеленая волна» дорогам.

Для управления транспортными потоками более пригодны задачи, в которых требуется отыскать не одно, а несколько решений, причем принимаемых в различные моменты времени. Задачи такого класса получили название динамических, или многошаговых, процессов управления. Однако решения и таких задач не обеспечивают эффективного управления потоками транспортных средств на магистралях и в городах. Например, возникновение даже незначительного препятствия (ДТП) на одной из полос загруженной магистрали типа Московской кольцевой автомобильной дороги (МКАД) практически мгновенно приводит к образованию транспортной пробки.

Таким образом, решение проблемы эффективного управления транспортными потоками видится не в составлении и решении рассмотренных задач программирования, а в изменении пропускной способности перекрестков в зависимости от складывающейся ситуации на пересекающихся магистралях. При этом необходимо стараться максимально увеличить пропускную способность каждого перекрестка. Концепция такого управления заключается в том, что если транспортное средство беспрепятственно проезжает все перекрестки на своем пути, что условно можно приравнять к их отсутствию, то оно доберется до пункта назначения за минимальное время, определяемое скоростью движения на этом пути. Такую организацию движения можно принять за отличную, что бывает очень редко, поэтому оценку целесообразно проводить с учетом работы ГПТ. Предложенная концепция беспрепятственного проезда перекрестков, по существу, определяет первый этап управления, а именно постановку задачи с формулированием цели. Этот этап также включает в себя оценку воз-

возможности решения и определение области возможных решений, перечня различных приемлемых решений.

Второй этап предполагает выявление ключевых факторов, оказывающих влияние на конечные результаты. Сюда также можно отнести концептуальный пункт, заключающийся в создании условий максимального комфорта для движения и касающийся как водителей транспортных средств, так и их пассажиров. Помимо этого, естественно, должны быть соблюдены условия безопасности, но именно те, которые в данном случае необходимы, а не те, которые были необоснованно придуманы и не имеют под собой никакой логической основы. Например, в настоящее время знак 3.27 «Остановка запрещена» практически везде сопровождается табличкой «Работает эвакуатор». В данном случае получается, что если указанный знак используется без этой таблички, то транспортное средство в случае его оставления под этим знаком не заберет эвакуатор, даже если оно будет стоять там целый день.

На третьем этапе необходимо выбрать критерии эффективности организации движения, к которым можно отнести следующий концептуальный пункт: время в пути по сравнению с городским пассажирским транспортом и удобство данной поездки. Поскольку организовать работу ГПТ легче (движение маршрутизированных транспортных единиц происходит по запланированным графикам движения), то и отследить и оценить его работу тоже легче. После оценки работы ГПТ, в частности данных о скорости движения ГПТ по участкам дорожной сети, уже можно оценить организацию движения автомобильного транспорта на указанных участках в первую очередь по времени прохождения этих участков, которое в данный контролируемый период должно быть по крайней мере в два раза меньше времени, затрачиваемого маршрутизированными единицами. В противном случае передвижение на автомобильном транспорте нельзя признать комфортным по сравнению с общественным. Оценка по времени движения автомобильного транспорта выявляет также и качество работы служб, задействованных в организации движения в городах и на магистралях.

Для организации движения в соответствии с выдвинутой концепцией необходимо внедрение ряда инновационных решений, о которых будет рассказано далее. В настоящее время управление движе-

нием транспортных потоков, по существу, сводится к установке на дорожной сети большого количества камер для контроля соблюдения некоторых правил дорожного движения и последующего выписывания штрафов; размещению на перекрестках светофоров, работающих, как правило, в постоянном, заранее запрограммированном режиме, и переключению направления движения транспортных средств по реверсивным полосам.

Управление городским пассажирским транспортом, которым по России перевозится порядка 16 млрд пассажиров в год, тоже сложная задача. В относительно простых ситуациях интуиция, опыт и здравый смысл могут подсказать человеку, занимающемуся управленческой деятельностью, рациональное решение и тем самым обеспечить эффективное управление. Однако в сложных ситуациях, содержащих большое число случайных факторов, характерных для диспетчерского управления, опыта и интуиции недостаточно – необходимы математическое моделирование перевозочного процесса с учетом динамики его хода, прогнозирование результатов управления и формализованная переработка собираемой с транспортной сети информации в целях управления.

Неэффективное управление ведет к уменьшению скорости движения транспортных единиц, что вызывает транспортную усталость пассажиров и в конечном счете снижает производительность труда. Сейчас при управлении ГПТ основной упор делается на автоматизированные системы, на которые возлагается как управление общественным транспортом, так и контроль за его движением. Эти системы повышают уровень соблюдения графиков движения, согласовывают взаимодействие различных видов транспорта на узловых пунктах, создают информационную базу для планирования перевозок и накапливают статистическую информацию, позволяющую объективно оценивать работу транспортных предприятий, участвующих в перевозочном процессе. Однако автоматизированные системы контроля и управления движением ГПТ обеспечивают только автоматический сбор информации о движении и положении транспортных средств, а также передачу ее на диспетчерский пункт [1]. При этом логические операции анализа и управления выполняет диспетчерский аппарат, в результате чего ограничивается возможность эффективной переработки информации и выработки оптимальных управляющих воздей-

ствий даже при большом количестве диспетчерского персонала. Так, например, существующая система управления движением ГПТ в Москве представляет собой иерархическую четырехуровневую структуру, первый и второй уровни которой реализуют диспетчерское управление на конечных станциях и в территориальных диспетчерских отделах [2].

Устранить эти объективные трудности путем смены людей, ответственных за диспетчерское управление, нельзя. Основные причины малоэффективного управления – сложность и многообразие объектов управления, взаимосвязи между ними, а также влияние дестабилизирующего фактора среды, в которой функционируют эти объекты. Можно считать доказанным [3], что возможности мозга человека по объемам информации, перерабатываемой в единицу времени, ограничены. Вследствие этого диспетчер не может охватить и осмыслить весь поток сведений, поступающий к нему, оценить сложившуюся обстановку, найти и принять нужное решение.

Повысить качество работы общественного транспорта можно только за счет применения более современных методов и средств управления им: необходимо создать автоматические системы контроля и управления движением ГПТ, которые характеризуются автоматизацией всего технологического процесса диспетчерского управления, включая анализ поступающей информации и выработку управляющих воздействий [4]. В автоматической системе технологические процессы планирования перевозок, управления движением транспортных средств и контроля за этим движением должны быть непрерывно связаны во времени, поскольку они оказывают существенное влияние друг на друга. Поэтому запрос на удовлетворение потребности в поездках по транспортной сети города должен сопровождаться планированием графиков движения соответствующих транспортных средств и последующим контролем их исполнения. По результатам контроля проводится коррекция запроса на пассажирские перевозки, вновь планируется план движения транспортных средств и т. д.

Автоматические информационные системы в основном предназначены для обслуживания пассажиров на остановочных пунктах. Если такая система выдает информацию, которая не связана с параметрами перевозочного процесса (например, индикация текущего времени, плановых моментов прибытия транспортных средств на остано-

вочный пункт, расчетных интервалов движения), то она может быть спроектирована и установлена в виде самостоятельного информативного объекта.

Более полезную информацию можно передавать пассажирам при использовании информационной системы совместно с системами контроля и управления. Поскольку автоматическая система контроля и управления постоянно ведет переработку поступающих параметров в целях управления ходом перевозочного процесса, то сопряженная с ней система информации может получить и передать потребителю практически любые сведения, отражающие картину пассажирских перевозок.

Самая сложная по своему составу и структуре – автоматическая система, контролирующая ход перевозочного процесса, управляющая им и снабжающая пассажиров необходимой информацией.

Состав основных целей управления и их предпочтение следует устанавливать исходя из рисков потерь, которые может понести пассажир или лицо, находящееся в зоне влияния движения транспортного средства, в результате перехода процесса движения в нештатное состояние.

Главная цель – безопасность. В целом безопасность пассажирских перевозок на городском транспорте зависит от различных составляющих: скорости движения транспортного средства, состояния дорожного покрытия, погодных условий, квалификации водителя, соблюдения правил посадки и высадки пассажиров и технического состояния транспортных средств.

Своевременной доставке пассажира к месту назначения способствует соблюдение транспортными средствами графиков движения и обеспечение разумного времени ожидания на остановочном пункте этих транспортных средств. Поскольку каждый пассажир располагает ограниченным временем на совершение поездки, то увеличение продолжительности ожидания транспортных средств и их передвижения в намеченный пункт может привести к опозданию пассажира и обернуться для него моральными, а иногда и материальными потерями. Произвести подсчет указанных потерь не представляется возможным, поэтому предлагается в качестве критерия достижения цели взять такое допустимое отклонение (от средней величины) времени поездки пассажира (ожидание и передвижение), которое при случайном пре-

вышении не позволяло бы (по теории вероятностей) пассажиру опаздывать более одного-двух раз в год при совершении им регулярных ежедневных поездок на работу.

Переполнение подвижного состава сопровождается, как правило, транспортной усталостью пассажиров, поэтому поддержание хотя бы элементарной комфортабельности поездок должно также входить в основной состав целей управления. Степень достижения этой цели предлагается определять значением коэффициента снижения комфортабельности поездки, который представляет собой отношение текущей плотности размещения пассажиров в салоне транспортного средства к абсолютной плотности их размещения в нем.

Снабжение оперативной информацией пассажиров, ожидающих на остановочных пунктах общественный транспорт, – дополнительная услуга, улучшающая качество их обслуживания. Как уже отмечалось, в условиях работы автоматической системы диспетчерского управления пассажирам может быть передан практически весь состав сведений о ходе перевозочного процесса. Однако избыток представляемых параметров не только увеличит стоимость отображения этих данных, но и усложнит задачу выбора пассажиром нужной ему информации, а также увеличит время ее получения. Поэтому оптимальным для пассажиров представляется состав данных, содержащий значения времени, оставшегося до предполагаемого момента прихода на остановочный пункт транспортной единицы по каждому проходящему через этот пункт маршруту. Причем указанные значения времени должны постоянно изменяться в соответствии с протекающим временем (временной отсчет до момента прибытия), а также корректироваться при необходимости в связи с изменяющейся картиной перевозочного процесса.

Основополагающей является разработка методов, обеспечивающих сбор нужной информации, анализ и переработку ее в целях управления, а также выработку управляющих воздействий. При этом все указанные действия должны выполняться с учетом динамики перевозочного процесса.

Для решения этой задачи были разработаны методы, позволяющие автоматизировать процесс диспетчерского управления. Состав этих методов и воздействие каждого из них на достижение определенных целей автоматического управления показаны на рис. 1.1.

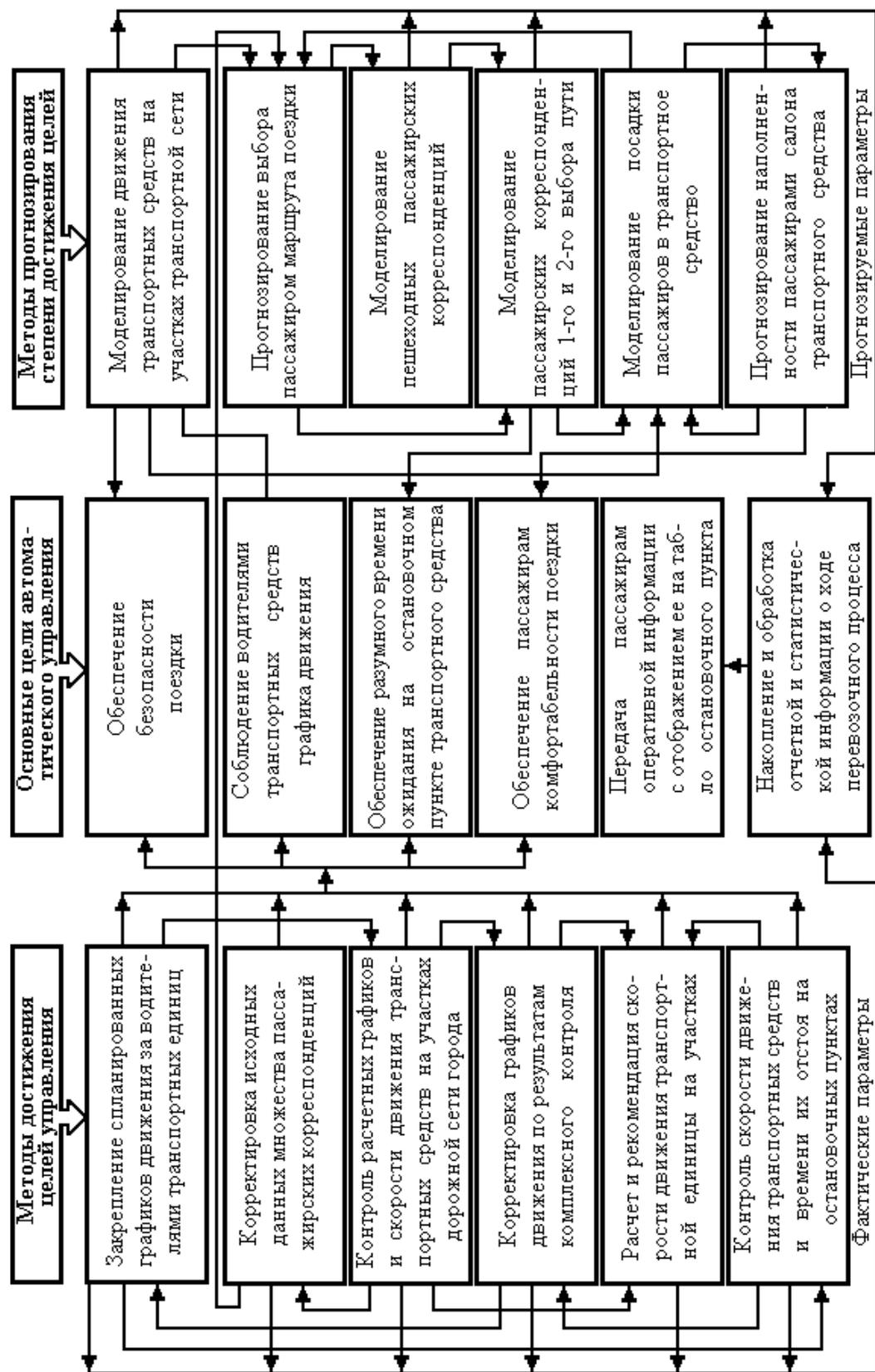


Рис. 1.1. Состав методов, на которых базируется технология автоматического управления перевозочным процессом, и схема воздействия поставленных целей управления

Методы можно разделить на две категории: методы, прогнозирующие ход перевозочного процесса и степень достижения цели, и методы, с помощью которых эти цели достигаются через управление транспортными средствами и контроль за их движением.

Методы прогнозирования моделируют развитие перевозочного процесса на основе контролируемых (наблюдаемых) системой параметров перевоза и статистических данных, которые в процессе работы дополняются, уточняются и корректируются. Состав этих методов обеспечивает выполнение следующих функций:

- прогнозирование выбора пассажиром маршрута поездки;
- моделирование пассажирских корреспонденций 1-го и 2-го выбора пути следования;
- моделирование пешеходных пассажирских корреспонденций;
- моделирование движения транспортных средств на участках дорожной сети города;
- моделирование посадки в транспортное средство;
- прогнозирование наполненности транспортного средства.

Прогнозирование выбора пассажиром маршрута поездки выполняют по данным статистического исследования формирования во времени и по направлениям транспортной сети города пассажирских корреспонденций, а также на основе поступающих сведений о фактическом интервале движения транспортных средств по множеству маршрутов, проходящих через данный остановочный пункт, и предполагаемой наполненности салона этих транспортных средств.

Придя на остановочный пункт, пассажир, как правило, имеет возможность выбора маршрута поездки. Во-первых, он может воспользоваться множеством маршрутов, наиболее удобных для него (пассажирская корреспонденция 1-го выбора пути).

Во-вторых, если по каким-то причинам (срыв графика движения, прекращение электропитания контактной сети, переполнение подвижного состава и т. д.) пассажир не может воспользоваться маршрутами 1-го выбора, то он старается добраться до места назначения менее удобным множеством маршрутов (2-й выбор) или идет пешком (3-й выбор).

Прогнозировать можно путем перебора возможных альтернатив выбора маршрутов поездки и получаемых в результате выбора исходов поездки. Вариант с наибольшим значением вероятности исхода

без опоздания или исхода с наименьшим опозданием отождествляются системой с выбором пассажиром данного множества маршрутов следования.

Моделирование пассажирских корреспонденций 1-го и 2-го выбора пути следования заключается в расчете нагрузки на каждый конкретный маршрут множеств 1-го и 2-го выбора пути, а также в определении в момент прихода к остановочному пункту транспортного средства предполагаемого числа пассажиров, которые могут совершить на нем поездку.

Моделирование пешеходных корреспонденций ведется посредством подсчета моментов времени достижения пешеходами остановочных пунктов, пересекаемых графом пешеходного пути. Если к расчетному моменту времени прихода на остановочный пункт условия хода перевозочного процесса, побудившие сделать 3-й выбор, становятся благоприятными для совершения поездки, то пассажирская корреспонденция закрепляется за этим остановочным пунктом и включается в процесс моделирования поездки вместе с другими корреспонденциями этого пункта. В противном случае моделируется переход до следующего остановочного пункта.

Моделирование движения транспортных средств на участках дорожной сети города проводится в соответствии с математической моделью движения, параметры которой определяются статистическими исследованиями. На участках, по которым пролегает несколько маршрутов общественного транспорта, моделирование происходит с учетом разработанного способа, о котором будет рассказано ниже.

Моделирование посадки в транспортное средство заключается в подсчете (в условных единицах) энергии, которую готов затратить пассажир при совершении посадки в транспортное средство. Чем больше наполненность салона и больше желающих произвести посадку, тем выше уровень психофизической энергии, затрачиваемой пассажиром при входе. Картина учета психофизиологического состояния пассажира, определяющая его действия на остановочном пункте, оказывается весьма сложной, и не всегда можно дать точное, даже формальное ее описание. Поэтому принятая модель должна отражать лишь некоторые черты рассматриваемого явления, пренебрегать которыми нельзя, чтобы не совершить грубых ошибок. Рассчитанный по модели уровень энергии отождествляется системой с активизацией

различных функций организма, выражающейся конкретными волевыми актами, побуждающими пассажира нести определенные энергетические затраты при посадке в общественный транспорт и проезде в нем.

Прогнозирование наполненности салона транспортного средства заключается в отборе (при подходе к остановочному пункту транспортного средства) пассажирских корреспонденций с наибольшим расчетным уровнем энергии, которую готов затратить пассажир при посадке. При этом считается, что посадка закончена, когда указанный уровень не превосходит значения уровня, требуемого для посадки в текущий момент.

Таким образом, предлагаемые методы прогнозирования в своей совокупности позволяют предвидеть развитие хода перевозочного процесса и оценить предполагаемую степень достижения целей.

С помощью методов достижения целей организуется движение ГПТ. Эти методы обеспечивают:

- закрепление графиков движения за транспортными средствами;
- контроль графиков и скорости движения транспортных средств на участках пути;
- контроль предполагаемой скорости движения и времени отстоя транспортных средств на остановочных пунктах;
- расчет и рекомендацию предполагаемой скорости движения транспортных средств на участках пути;
- корректировку графиков движения по результатам комплексного контроля;
- корректировку исходных данных множества пассажирских корреспонденций на остановочных пунктах.

Совокупность всех принимающих участие в перевозочном процессе транспортных средств (объектов управления) можно разделить на три непересекающихся множества:

- множество транспортных средств, расположенных на конечных пунктах отстоя;
- множество транспортных средств, находящихся в данный момент на остановочных пунктах транспортной сети города;
- множество транспортных средств, которые, следуя по участкам дорожной сети, временно отсутствуют в указанных выше пунктах.

В процессе перемещения по транспортной сети города транспортные средства изменяют принадлежащие им признаки разбиения на множества, в результате чего транспортные средства меняют свое место в множествах, переходя из одного в другое. Исходя из этого, представляется целесообразным закрепить графиков движения за конкретными транспортными единицами проводить на конечных пунктах отстоя, сообщая водителю время отправления по спланированному графику. После выхода машины в рейс автоматически фиксируется ее гаражный номер, за которым и закрепляется плановый график движения.

По мере перемещения транспортного средства по участкам дорожной сети с ним необходимо вести диалог, при этом в качестве точек проведения диалога лучше всего выбрать остановочные пункты. За основу диалога предлагается принять следующее. Объект управления сообщает системе о своем местонахождении на транспортной сети города, а система рекомендует ему после анализа обстановки скорость движения до следующего остановочного пункта, т. е. до следующей точки диалога. Рекомендация скорости дается с таким расчетом, чтобы провести транспортное средство по маршруту с максимальным приближением к спланированному графику, а в случае срыва графика движения – организовать его движение с минимумом помех для других участников перевозочного процесса.

Выработку указанных рекомендаций целесообразно вести посредством метода нечеткого управления с прогнозированием, существенное отличие которого от метода нечеткого управления заключается в том, что оцениваются не только состояния объектов, но и степень достижения целей автоматического управления, а также прогнозируется состояние среды, в которой эти объекты функционируют. Данный метод организует обе указанные категории методов в единую, взаимосвязанную совокупность, которая становится основой системы искусственного интеллекта.

Для эффективной работы системы необходимо контролировать график движения, время отстоя транспортного средства на остановочном пункте, скорость движения и критические для хода перевозочного процесса значения этой скорости.

По времени отстоя транспортного средства на остановочном пункте и скорости движения до следующего остановочного пункта

можно косвенно судить о величине пассажирообмена на этом пути. Чем больше время отстоя, тем выше должна быть скорость движения до следующего остановочного пункта, следовательно, пока в транспортное средство производится посадка пассажиров, система должна рассчитывать значение скорости путем деления расстояния (до следующего пункта) на разность между плановым временем прибытия на следующий пункт и текущим временем отстоя. В момент трогания водитель должен получить данные последнего расчета рекомендуемой скорости движения, которую обязан поддерживать в пути.

Если при очередном расчете скорость движения превышает допустимое значение, а транспортное средство еще не покинуло остановочный пункт, то система корректирует график движения, после чего возобновляются расчет и рекомендация скорости движения до следующего остановочного пункта по откорректированному графику.

Увеличение времени отстоя и приближение скорости движения к предельному ее значению на последующем участке пути сигнализируют о перегрузке подвижного состава на этом участке маршрута и возможном впоследствии массовом срыве графиков движения.

Очевидно, что малое время отстоя транспортного средства и низкая его скорость движения говорят, как правило, о небольшом количестве пассажиров, желающих произвести посадку по данному маршруту.

В последних двух случаях должна быть сделана корректировка данных о количестве пассажирских корреспонденций соответственно в большую и меньшую сторону, что, в свою очередь, немедленно отразится на прогнозировании хода перевозочного процесса и составлении графиков движения, в результате чего процесс нормализуется.

Среднее значение времени отстоя и длительное время в пути до следующего остановочного пункта, т. е. значительно меньшая рекомендуемой скорости движения, позволяют сделать логический вывод о возникшем препятствии на дороге, которое может спровоцировать скопление транспортных средств, перегрузку подстанции, питающей контактную сеть силовой энергией, и полную остановку пассажирских перевозок. Для предотвращения указанных нежелательных последствий следует снижать скорость движения транспортных средств на предыдущих участках дорожной сети или направить движение объездным путем.

Таким образом, совокупность методов достижения цели обеспечивает автоматическое управление ходом перевозочного процесса и выявляет основные его фактические параметры.

Прогнозируемые и фактические данные накапливаются и обрабатываются системой. Часть из них используется для оперативного информирования пассажиров, а оставшиеся предназначены для дальнейшей обработки, например для начисления заработной платы и получения объективной оценки работы других транспортных предприятий, задействованных в городских пассажирских перевозках.

Для автоматической системы диспетчерского управления движением ГПТ характерна большая пространственная разнесенность, поэтому для согласованного функционирования необходима синхронизация работы всех ее звеньев.

Перейдем теперь к структуре и составу средств реализации описанных методов.

## **1.2. Структура и состав автоматической системы диспетчерского управления движением ГПТ**

Прежде чем перейти к структуре автоматической системы диспетчерского управления движением ГПТ, заметим, что в последнее время оплата билетов в транспортных средствах стала производиться с помощью пластиковых карт, прикладываемых к считывающему устройству. С помощью таких считывающих устройств можно относительно легко определять наполненность салона транспортного средства и виды пассажирских корреспонденций, благодаря чему уточняется состав информационных данных, используемых автоматической системой управления движением ГПТ. Поэтому на рис. 1.2 представлена разработанная структура и состав параметрических связей автоматической системы диспетчерского управления движением ГПТ вместе со считывающим устройством, которое входит в систему декодирования пассажирских корреспонденций. Назначение этой системы заключается в расшифровке вида каждой пассажирской корреспонденции (пункты отправления и назначения по данным входа и выхода) и определении их общего количества с последующей передачей полученных параметров для соответствующей обработки. Численность перевозимых в транспортном средстве пассажиров позволяет судить о наполненности салона (комфортабельности поездки) и

оперативно реагировать в случае необходимости на изменение этого показателя. Данные о видах пассажирских корреспонденций дают возможность отслеживать формирование пассажиропотоков во времени и по направлениям транспортной сети, что, во-первых, помогает составлять оптимальные графики движения общественного транспорта, а во-вторых, освобождает от необходимости проведения регулярных дорогостоящих статистических исследований по определению пассажиропотоков.



Рис. 1.2. Структура и состав связей автоматической системы диспетчерского управления

Для переработки и анализа информации о состоянии объектов управления и среды, в которой эти объекты функционируют, а также для принятия обоснованных решений, направленных на достижение целей управления, необходимо иметь систему искусственного интеллекта. Выполнение логических и вычислительных операций возможно только при использовании множества правил (алгоритмов) перера-

ботки информации, благодаря которым последняя становится динамическим объектом и преобразуется в управляющие параметры. О методах формализованного преобразования информации и ее получении будет рассказано в следующих главах.

Тесная связь между «мозгом» и объектами управления, посредством которой осуществляется обмен необходимой информацией, устанавливается техническими средствами автоматизации. Они должны не только создавать условия для сбора, учета и обработки множества параметров, но и обеспечивать ведение диалога между системой искусственного интеллекта и людьми, задействованными в технологическом процессе перевоза, а также передавать необходимую информацию пассажирам, находящимся на остановочных пунктах транспортной сети города [4].

Еще одну сопряженную систему составляет информационная база, являющаяся памятью автоматической системы диспетчерского управления. По существу, массив информационной базы можно разделить на шесть множеств, содержащих следующие данные:

- алгоритмы, обеспечивающие функционирование автоматической системы диспетчерского управления движением ГПТ, являющиеся как бы формализованным отображением этой системы, объектов управления и условий их функционирования;
- параметры, описывающие состояние автоматической системы диспетчерского управления движением ГПТ;
- параметры управляемых объектов;
- параметры среды, в которой функционируют объекты управления;
- статистические данные о ходе перевозочного процесса;
- вспомогательные параметры, обеспечивающие надежность работы технических средств автоматизации.

Важная задача при построении базы – приведение ее содержания к единому времени, причем эта задача должна решаться как для источников информации, так и для ее потребителей. Это упрощает регламент автоматического удаления из базы ненужных, устаревших сведений.

Система точного времени призвана обеспечить согласование во времени работы транспортных средств (объектов управления), участвующих в перевозочном процессе, и всех звеньев автоматической си-

стемы диспетчерского управления движением ГПТ. Несмотря на большую пространственную разнесенность указанных звеньев и объектов, усложняющую функционирование последних в едином отсчете времени, формируемый аппаратурой состав временных параметров должен отвечать по точности их представления требованиям, которые необходимы для нормальной работы автоматической системы диспетчерского управления.

Система кодированных сообщений, установленная на объекте управления, формирует информацию о данном транспортном средстве. Кодовые послышки, идущие от объекта управления, принимаются на остановочном пункте периферийной частью системы искусственного интеллекта, предварительно обрабатываются и передаются в центральную ее часть для анализа и выработки управляющего воздействия, которое вскоре доводится до данного объекта управления.

Орган административного управления предназначен для контроля за работой автоматики и решения незапрограммированных задач.

Таким образом, автоматическую систему диспетчерского управления движением городского пассажирского транспорта, содержащую объекты определенной структуры, обладающие некоторыми функциональными свойствами, отражающими их информационную природу и изменяющими свое состояние в дискретные моменты времени, следует отнести к сложным управляющим динамическим системам дискретных событий.

### **1.3. Показатели качества удовлетворения потребности населения в поездках**

Ввиду сложного, разностороннего и многоцелевого характера оценки перевозочного процесса качество удовлетворения  $w(x)$  потребности городского населения в поездках следует оценивать с помощью набора частных критериев эффективности пассажирских перевозок:

$$w(x) = w_{x1} + \dots + w_{xk}, \quad (1.1)$$

где  $k$  – число критериев.

Предлагается использовать следующие восемь разработанных критериев.

*Наличие или отсутствие дорожно-транспортного происшествия (ДТП) и соблюдение скоростного режима движения транспортного средства* могут служить соответственно первым  $w_{x1}$  и вторым  $w_{x2}$  частными критериями, позволяющими оценивать безопасность поездки.

Конечная цель соблюдения транспортными средствами графиков движения и обеспечения разумного времени ожидания на остановочном пункте этих транспортных средств – своевременная доставка пассажиров к месту назначения. *Своевременность доставки пассажиров* предлагается определять с помощью трех критериев: времени передвижения в транспортном средстве  $w_{x3}$ , времени ожидания этого транспортного средства  $w_{x4}$  и неудовлетворенности поездкой  $w_{x5}$ .

*Коэффициент снижения комфортабельности поездки*  $w_{x6}$  может быть принят в качестве шестого критерия, посредством которого вычисляется наполненность салона транспортного средства и оценивается комфортабельность поездки пассажира.

*Услугу снабжения оперативной информацией пассажиров, ожидающих на остановочных пунктах общественный транспорт,* предлагается оценивать двумя дополнительными критериями – работоспособностью табло  $w_{x7}$  и полезностью передаваемых сведений  $w_{x8}$ . Уже во многих городах на остановочных пунктах существуют такие табло.

Таким образом, положив в основу оценки степени достижения целей автоматического управления шесть основных и два дополнительных критерия, перейдем к нахождению непосредственно значений этих показателей.

Скорость движения транспортного средства должна соответствовать условиям, обеспечивающим безопасность движения на данном участке пути. Водитель обязан вести транспортное средство безопасно для других участников дорожного движения и не создавать аварийных ситуаций, приводящих к дорожно-транспортному происшествию. Поэтому поездку можно считать безопасной по первому критерию, если в ее процессе не произошло дорожно-транспортного происшествия (положительная оценка) ( $P$ ), и небезопасной в противном случае (отрицательная оценка) ( $M$ ).

Определять безопасность по второму критерию будем через нахождение в течение всего рейса размера  $p(P)$  множества положи-

тельных ( $P$ ) и размера  $p(M)$  множества отрицательных ( $M$ ) оценок. При этом прохождение транспортным средством участка дорожной сети без превышения предельной скорости отметим положительной оценкой, а с превышением – отрицательной. Если количество положительных оценок в процентном отношении будет более 50, то все поездки, выполняемые этим рейсом, признаются безопасными. Преобладание отрицательных оценок переведет указанные поездки в категорию рискованных.

Степень достижения цели по третьему и четвертому критериям предлагается выявлять, используя следующие четыре оценки:  $VG$  – очень хорошая,  $G$  – хорошая,  $S$  – удовлетворительная и  $B$  – плохая. Отклонения скорости движения  $p(x)$  на участках дорожной сети (моментов прибытия на остановочный пункт) можно описать выражением [5]

$$p(x) = A(\alpha) \exp\left(-\left|\frac{x-\bar{t}_g}{\lambda\sigma_g}\right|^\alpha\right), \quad (1.2)$$

где  $\alpha$  – показатель степени распределения;  $A(\alpha)$  – множитель, зависящий от показателя;  $\bar{t}_g$  – среднее время прохождения участка пути (математическое ожидание);  $\lambda = \sqrt{\frac{\Gamma(1/\alpha)}{\Gamma(3/\alpha)}}$  – коэффициент;  $\Gamma(*)$  – гамма-функция;  $\sigma_g$  – среднее квадратическое отклонение. Отклонения времени ожидания пассажиром транспортного средства на остановочном пункте распределены по нормальному закону:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma_0\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\bar{t}_0)^2}{2\sigma_0^2}\right), \quad (1.3)$$

где  $\sigma_0$  – среднее квадратическое отклонение;  $\bar{t}_0$  – среднее время ожидания пассажиром транспортного средства.

Отведенное пассажиром время ожидания  $t_0$  (для совершения посадки в транспортное средство) составляет

$$t_0 \approx \bar{t}_0 + 2\sigma_0. \quad (1.4)$$

Если отклонение  $t_0$  превысит значение  $2\sigma_0$ , то пассажир может опоздать в пункт назначения, поэтому такое отклонение предлагается оценивать как плохое ( $B$ ) (рис. 1.3, а).

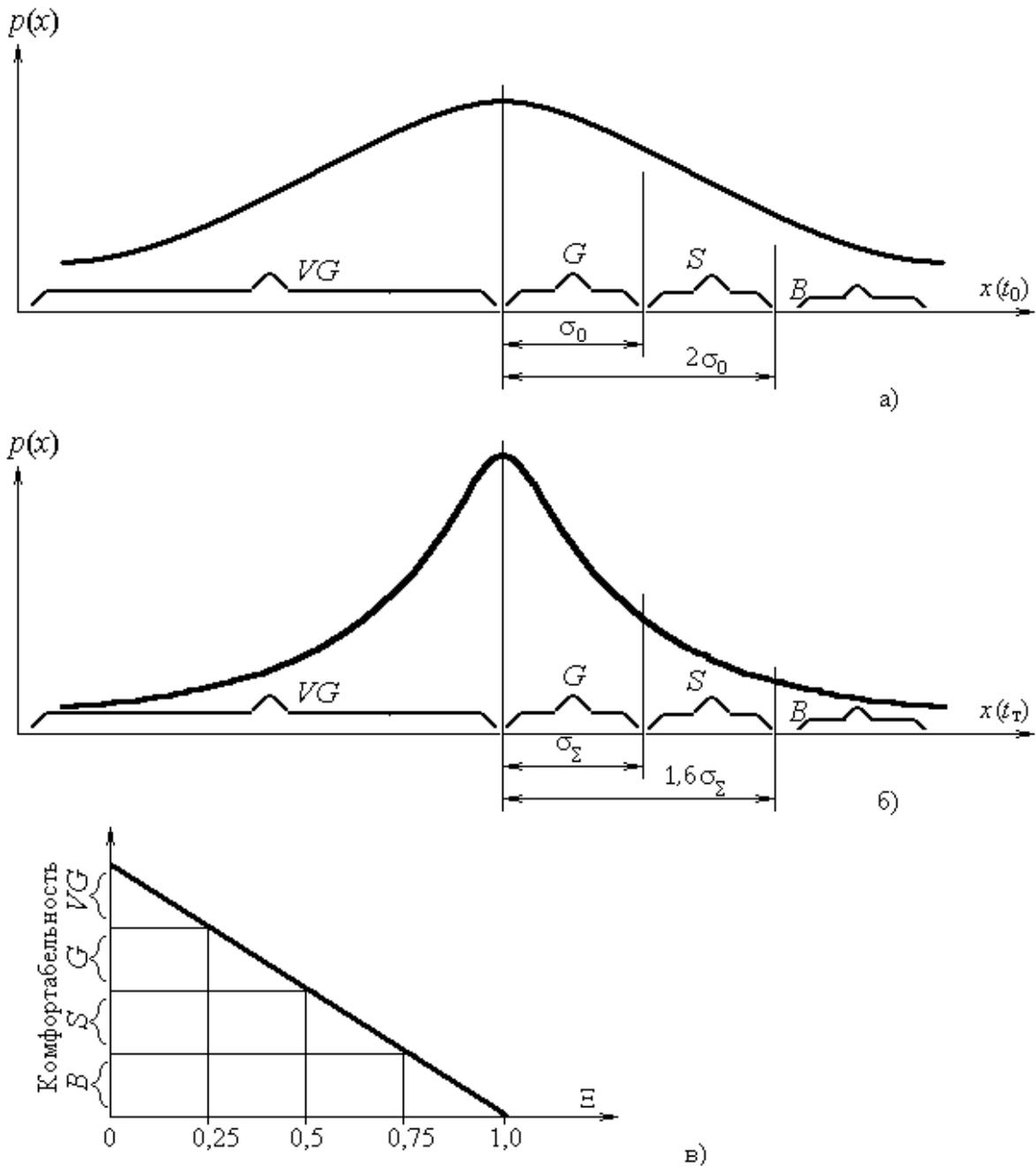


Рис. 1.3. Оценка основных целей управления ГПТ

Совершение посадки за время, которое не превосходит значения  $\bar{t}_0$ , следует считать очень удачным событием, а следовательно, оценивать величину  $t_0 \leq \bar{t}_0$  как очень хорошую (VG). Значение  $\bar{t}_0 \leq t_0 \leq (\bar{t}_0 + \sigma_0)$  предлагается обозначать хорошей оценкой (G), а значение  $(\bar{t}_0 + \sigma_0) < t_0 \leq (\bar{t}_0 + 2\sigma_0)$  – удовлетворительной (S).

Среднее время ожидания определяется через первый начальный момент

$$t_0 = \int_{-\infty}^{\infty} xp(x)dx, \quad (1.5)$$

а среднее квадратическое отклонение

$$\sigma_0 = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} (x - \bar{t}_0)^2 p(x) dx}. \quad (1.6)$$

Вычислив из уравнений (1.5), (1.6) значения  $\bar{t}_0$  и  $\sigma_0$ , можно получить временные границы указанных оценок.

Время  $t_T$ , отводимое пассажиром на передвижение в транспортном средстве,

$$t_T = \bar{t}_T + 1,6\sigma_\Sigma, \quad (1.7)$$

где  $\bar{t}_T$  – среднее время поездки;  $\sigma_\Sigma$  – среднее квадратическое отклонение времени поездки.

Превышение времени  $t_T$ , определяемого уравнением (1.7), может привести к опозданию, поэтому такое значение имеет плохую оценку (*B*) (рис. 1.3, б). Если время в пути меньше или равно среднему времени поездки, то такое значение  $t_T$  следует оценивать как очень хорошее (*VG*).

Хорошей оценкой (*G*) будем обозначать время поездки  $\bar{t}_T < t_T \leq (\bar{t}_T + \sigma_\Sigma)$ , а удовлетворительной (*S*) – значение  $(\bar{t}_T + \sigma_\Sigma) < t_T \leq (\bar{t}_T + 1,6\sigma_\Sigma)$ .

По аналогии с уравнениями (1.5), (1.6) среднее время прохождения транспортной единицей участка пути и среднее квадратическое отклонение этого времени выразятся следующим образом:

$$\bar{t}_g = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)p(x)dx, \quad (1.8)$$

$$\sigma_g = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} (x(t) - \bar{t}_g)^2 p(x) dx}. \quad (1.9)$$

Математическое ожидание времени поездки

$$\bar{t}_T = \sum_{g=1}^g \bar{t}_g, \quad (1.10)$$

где  $g$  – количество суммируемых участков маршрута поездки.

Среднее квадратическое отклонение  $\sigma_{\Sigma}$  времени прохождения транспортным средством маршрута с доверительной вероятностью 0,9

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{g=1}^g \sigma_g^2}. \quad (1.11)$$

Если по причине плохой организации перевозочного процесса пассажиры вынуждены воспользоваться пешеходным маршрутом, то неудовлетворенные и незавершенные поездки предлагается оценивать отрицательно ( $M$ ). При отсутствии пешеходных пассажирских корреспонденций (ППК) все поездки, совершаемые на транспортных средствах, получают положительную оценку ( $P$ ).

Для обеспечения элементарной комфортабельности поездки наполнение салона подвижного состава не должно превышать 6 чел./м<sup>2</sup>. По данным работы [6] в часы пик на 1 м<sup>2</sup> свободной площади пола салона приходится восемь человек. Поэтому при значении коэффициента снижения комфортабельности  $0,75 < \Xi \leq 1$ , где  $\Xi = p/p^*$  ( $p$  – текущее значение наполнения салона,  $p^*$  – наполнение салона, равное 8 чел./м<sup>2</sup>), условия перевозки пассажиров следует считать плохими, вызывающими значительную транспортную усталость, и оценивать комфортабельность как плохую ( $B$ ). Если наполнение салона происходит из расчета не более 2 чел./м<sup>2</sup> ( $\Xi \leq 0,25$ ), то в таких условиях вход и выход пассажиров происходит беспрепятственно, поэтому оценка должна быть очень хорошей ( $VG$ ). При плотности не более 4 чел./м<sup>2</sup> ( $0,25 < \Xi \leq 0,5$ ) поездка характеризуется хорошей ( $G$ ) комфортабельностью (рис. 1.3, в), а при  $0,5 < \Xi \leq 0,75$  – удовлетворительной ( $S$ ).

Качеству информационного обслуживания пассажиров можно дать положительную оценку ( $P$ ), если табло, через которое до пассажиров доводятся сведения, исправно, и отрицательную ( $M$ ), если оно не работает.

Кроме того, поскольку полезность передаваемой пассажирам информации зависит от правильного и оперативного отображения хода перевозочного процесса, то предлагается положительно оценивать информационное слово при условиях его правильного состава и своевременной подачи. При нарушении хотя бы одного из указанных условий выносится отрицательная оценка ( $M$ ).

Для удобства восприятия все показатели качества удовлетворения городского населения в поездках сведены в таблицу.

### Параметры оценок основных и дополнительных критериев

Наименование оценки	Обозначение оценки	Параметры оценок критериев достижения целей автоматического управления							
		Основные критерии						Дополнительные критерии	
		$w_{x1}$	$w_{x2}$	$w_{x3}$	$w_{x4}$	$w_{x5}$	$w_{x6}$	$w_{x7}$	$w_{x8}$
Положительная	$P$	Нет ДТП	$\frac{p(P)}{p(P) \cup p(M)} > 0,5$	-	-	Нет ППК	-	Исправное табло	Правильная своевременная информация
Отрицательная	$M$	Есть ДТП	$\frac{p(P)}{p(P) \cup p(M)} \leq 0,5$	-	-	Есть ППК	-	Неисправное табло	Искаженная несвоевременная информация
Плохая	$B$	-	-	$(\bar{t}_0 + 2\sigma_0) < t_0$	$(\bar{t}_T + 1,6\sigma_\Sigma) < t_T$	-	$0,75 < \varepsilon \leq 1$	-	-
Удовлетворительная	$S$	-	-	$(\bar{t}_0 + \sigma_0) < t_0 \leq (\bar{t}_0 + 2\sigma_0)$	$(\bar{t}_T + \sigma_\Sigma) < t_T \leq (\bar{t}_T + 1,6\sigma_\Sigma)$	-	$0,5 < \varepsilon \leq 0,75$	-	-
Хорошая	$G$	-	-	$\bar{t}_0 < t_0 \leq \bar{t}_0 + \sigma_0$	$\bar{t}_T < t_T \leq \bar{t}_T + \sigma_\Sigma$	-	$0,25 < \varepsilon \leq 0,5$	-	-
Очень хорошая	$VG$	-	-	$t_0 \leq \bar{t}_0$	$t_T \leq \bar{t}_T$	-	$\varepsilon \leq 0,25$	-	-

Отрицательная оценка критерия  $w_{x1}$  (возникновение ДТП) не может быть зарегистрирована автоматической системой диспетчерского управления, поэтому необходим ручной ввод сведений о дорожно-транспортных происшествиях. Желателен также дополнительный визуальный контроль за исправностью индикаторов табло системы, по результатам которого выставляются оценки по критерию  $w_{x7}$ . Все остальные оценки должны формироваться системой автоматически.

Построение скалярной сверки соотношения (1.1), приводящее к единому критерию эффективности обслуживания пассажиров, который выражается в виде сложной функции

$$F = F(w(x)), \quad (1.12)$$

представляет интерес для экономических расчетов (при дифференцированной оплате труда водителей, вспомогательных служб, административно-хозяйственного аппарата и т. д.), а поэтому выходит за рамки учебника и не рассматривается. Несмотря на разнообразие критериев, они могут быть сведены к двум основным, характеризующим достижение цели управления.

Все приведенные критерии и оценки касаются ГПТ, работу которого легче контролировать и оценивать, что нельзя сказать об автомобильном транспорте. Поэтому качество управления потоками автомобильного транспорта нужно оценивать временем прохождения ГПТ соответствующих участков дорог, которое для автомобильного транспорта должно быть по крайней мере в два раза меньше.

#### **1.4. Формирование функции степени достижения цели управления**

Автоматическая система диспетчерского управления движением ГПТ характеризуется составом основных целей управления, достижение которых должно оцениваться с помощью функции степени достижения цели. Существуют и другие критерии оценки транспортных услуг [7; 8], но все они могут быть сведены к двум основным: времени, затрачиваемому пассажиром на ожидание транспортного средства и проезд в нем, и комфортабельности поездки. Поэтому можно оценивать степень достижения цели управления с помощью обобщенной функции, представляющей собой композицию двух частных функций: зависимости эффективности  $\mathcal{E}$  поездки от коэффициента снижения

комфортабельности  $\Xi$  и зависимости эффективности поездки от времени  $T$ , которое затрачивает пассажир на ее совершение (включая время ожидания посадки).

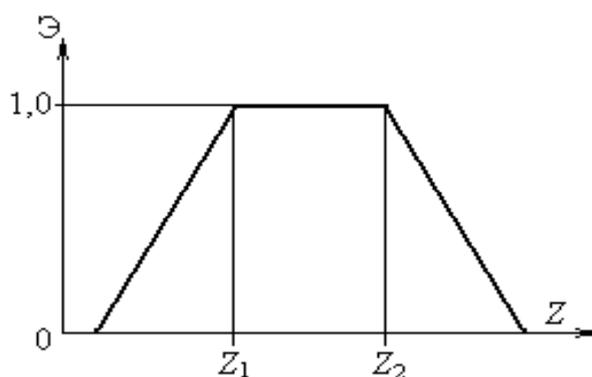


Рис. 1.4. Частная функция, определяющая критерий эффективности поездки

Первая частная функция, определяющая интересы транспортного предприятия и пассажиров на основании показателя наполненности салона транспортного средства, может иметь вид, показанный на рис. 1.4. Можно утверждать, что существует некоторое оптимальное число  $Z_0$  пассажиров ( $Z_1 \leq Z_0 \leq Z_2$ ), совершающих поездку в данной транспортной единице, которое окупает

расходы на эксплуатацию (вместе с прибылью) и оправдывает затраты (включая дотацию) на оплату проезда. При уменьшении количества перевозимых пассажиров ( $Z_0 < Z_1$ ) снижается рентабельность перевозки, а при увеличении этого числа ( $Z_0 > Z_2$ ) пассажиры испытывают дискомфорт и повышенную транспортную усталость. Все это делает поездку малоэффективной.

Очевидно, что при возрастании платы за проезд график функции будет смещаться влево.

Аналогичным образом выглядит и вторая частная функция, отражающая главным образом соотношение между интервалом движения транспортных средств и временем, отводимым пассажиром на поездку. Сокращение времени ожидания требует увеличения парка подвижного состава, что связано с большими материальными затратами. Поэтому значение времени ожидания должно быть разумным. Значительное уменьшение этого времени при имеющемся на маршруте количестве транспортных единиц может привести к нежелательному увеличению последующего интервала движения, а следовательно, к возможной перегрузке транспортного средства. Продолжительное ожидание общественного транспорта провоцирует пассажира на альтернативный выбор пути, из-за чего возрастает вероятность прибытия в пункт назначения с опозданием. К такому же последствию ведет увеличение времени в пути. Таким образом, для каждого класса поез-

док существует определенный временной интервал, ограничивающий продолжительность поездки, соблюдение которого наиболее благоприятно отражается на эффективности поездки.

*Физический смысл критерия эффективности поездки заключается в достигаемом паритете затрат организатора и потребителя на поездку при данной ее продолжительности и комфортабельности.*

Очевидно, что наибольший уровень паритета (равный единице) достигается при равенстве указанных затрат.

Более точно частные функции можно определить, изучив затратный механизм транспортного предприятия, дотационный уровень финансирования этого предприятия местными администрациями, а также пассажиропотоки и соотношение количества льготных пассажиров и пассажиров, в той или иной степени оплачивающих свой проезд. Действительное соотношение указанных величин в каждом городе зависит от множества факторов, которые выявляются при комплексном обследовании пассажирских перевозок.

В работе [6] дана стоимостная оценка затрат (потерь), которые несет пассажир при длительном ожидании на остановочном пункте транспортного средства. В этом случае можно также исходить и из предложенного критерия допустимого отклонения времени поездки пассажира, приняв за нулевой уровень эффективности поездки значение времени, случайное превышение которого приводило бы (по теории вероятностей) пассажира к опозданию не более одного-двух раз в год при совершении им регулярных ежедневных поездок на работу.

Поскольку параметры обобщенной функции степени достижения цели управления (рис. 1.5) не могут быть взаимно-однозначно определены для всех классов пассажирских корреспонденций, различных состояний дорожного покрытия и метеоусловий, то необходимо подготовить несколько обобщенных функций, с тем чтобы их можно было автоматически выбирать в зависимости от условий работы городского пассажирского транспорта.

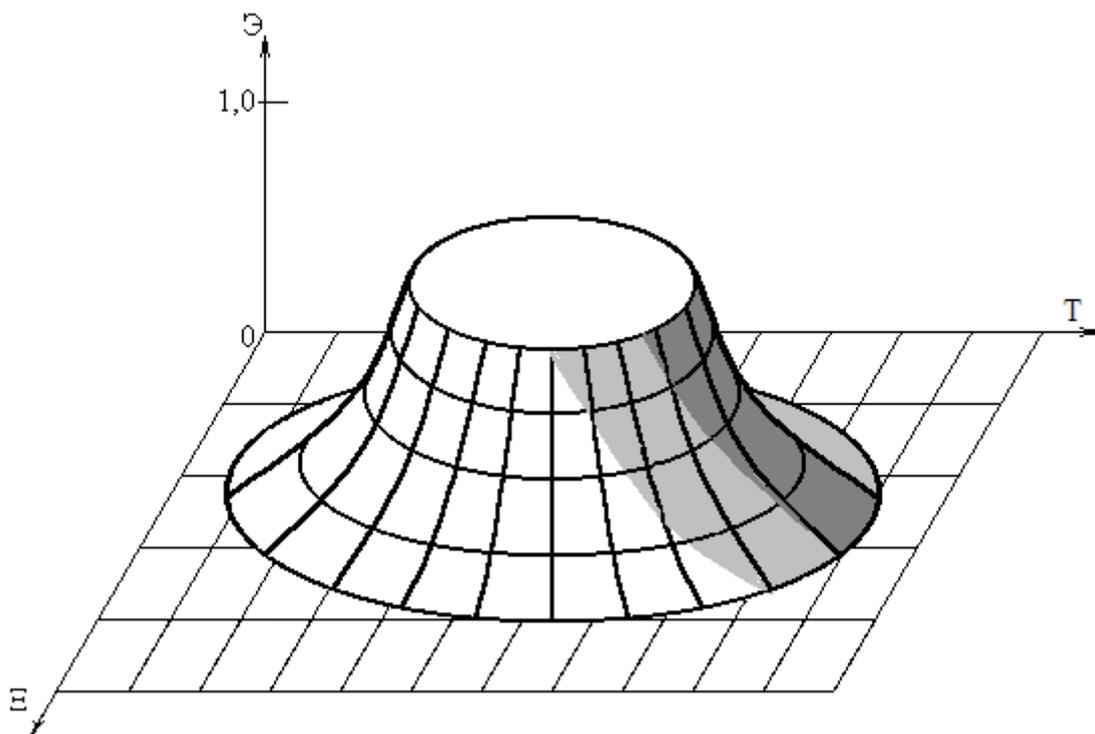


Рис. 1.5. Обобщенная функция степени достижения цели управления

Главная цель управления – безопасность – также достигается, хотя параметры влияющих на нее факторов не входят в явном виде в аргументы обобщенной функции. Рассмотрим три затрагиваемые при управлении составляющие безопасности движения:

- скорость движения транспортного средства;
- квалификацию водителя;
- продолжительность предоставляемого водителю в процессе работы отдыха.

Планирование графиков движения с учетом максимально возможной допустимой скорости преднамеренно исключает ее превышение в процессе движения, а постоянный контроль скоростного режима дисциплинирует водителей. Именно непостоянство скорости движения в основном и предопределяет варианты трехмерной обобщенной функции степени достижения цели управления.

Квалификация водителей, достаточность их подготовки (владение всесторонней оценкой дорожной обстановки), требуемые для вождения транспортных средств по маршрутам той или иной категории сложности, могут быть выявлены как заранее, в процессе статистических исследований, так и непосредственно во время повседневной работы. Поскольку при управлении используются данные о номере

транспортной единицы, которые при желании всегда можно дополнить информацией о квалификации водителя, то появляется возможность подбирать для каждой категории маршрута водителей с соответствующей подготовкой, а также предотвращать переключение (в процессе перевозок) на сложный маршрут транспортной единицы, управляемой неопытным водителем.

Во время работы водителям необходимо предоставлять минимально необходимый отдых. Короткий отдых может ухудшить работу водителя, т. е. повредить безопасности. Слишком большой – невыгоден. Причем для отдыха важно выбирать не только его продолжительность, но и время его предоставления в течение смены. При этом следует предусмотреть обеденный перерыв. Поэтому все данные о режиме работы водителей используются при сборе сведений о моментах готовности водителей отправиться в очередной рейс.

Кроме того, постоянный учет числа транспортных единиц, которые прекращают участие в перевозочном процессе из-за технической неисправности, повышает ответственность за выпуск на линию исправного подвижного состава.

Таким образом, применяемый комплекс мер, отвечающий требованиям федерального закона Российской Федерации «О безопасности дорожного движения», способствует безаварийной работе городского пассажирского транспорта.

### **1.5. Проблемы экологии и транспортной сети**

Защита атмосферного воздуха от загрязнения – одна из наиболее острых проблем современности. Поступающие в атмосферный воздух огромные объемы отработавших газов автомобилей изменяют его состав, приближая концентрацию токсичных веществ к опасным по биологическому действию на человека показателям. В связи с этим необходимо постоянно повышать удельную мощность двигателей внутреннего сгорания, их топливную экономичность и чистоту выхлопных газов. При этом совершенствование процесса сгорания рабочей смеси приобретает особое значение, поскольку мощность, экономические и экологические показатели двигателя в значительной мере определяются и лимитируются особенностями этого процесса.

Качество процесса сгорания предопределяется в основном составом рабочей смеси и оптимальным для протекания предпламенных

реакций и горения размещением в камере сгорания компонентов этого состава. Для получения высоких качественных характеристик этого процесса необходимо обеспечить своевременное и возможно более полное выделение тепла при его минимальных потерях в стенки камеры, что в сложных и постоянно изменяющихся условиях работы двигателя выполнить не так просто.

Более того, часто противоречивый характер имеют и условия проведения самого процесса сгорания, протекающего в идеальном варианте. Так, например, применение в автомобильных моторах обедненных рабочих смесей (с коэффициентом избытка воздуха  $1,5 \div 1,6$ ) обеспечивает исключительную полноту сгорания топлива, практическое отсутствие токсичных компонентов и значительную экономию топлива. Однако достичь традиционными методами устойчивости и полноты горения такой смеси не представляется возможным.

Противоречивыми также являются повышение степени сжатия, благотворно влияющее на развитие процесса сгорания в начальной фазе, способствующее увеличению скоростей распространения турбулентного пламени в основной фазе горения, и связанное с повышением степени сжатия уменьшение размеров камеры сгорания, приводящее к сокращению масштабов турбулентных пульсаций, ухудшающих распространение фронта пламени.

Трудно также достичь более полного выделения тепла при минимальной теплоотдаче от сгоревших газов в стенки камеры сгорания и днище поршня (считается, что до 25 % энергии топлива отводится в систему охлаждения) и провести ряд других мероприятий, направленных на повышение коэффициента полезного действия от преобразования термохимической энергии в механическую.

Известно несовершенство сгорания топливной смеси при прогреве двигателя на холостом ходу, когда он производит значительно больше выбросов, чем в стационарном режиме работы, и имеет меньшую удельную мощность.

Вместе с несовершенной конструкцией тепловых двигателей негативный вклад в загрязнение окружающей среды вносит и топливо, используемое для их работы. Подавляющее число транспортных средств работает на традиционном углеводородном топливе. Известно, что углеводороды на 90 – 98 % определяют валовой выброс вредных веществ в большинстве городов [9]. Углеводороды, выбрасывае-

мые при работе автомобильных двигателей, под действием солнечного света вступают в реакцию с оксидами азота, в результате чего образуются перекиси, альдегиды, кислоты и другие химические соединения, наносящие вред здоровью человека. Вдыхание паров углеводородов, содержащихся в несгоревшем топливе или продуктах его крекинга, также весьма вредно. Как правило, значительный выброс двигателем канцерогенных веществ связан с общим ухудшением качества горения.

Уменьшения вредных выбросов в атмосферу вместе с выхлопными газами транспортных средств можно достичь совершенствованием конструкции двигателей внутреннего сгорания и частичной заменой углеводородного топлива другим, не имеющим в своем составе углеводородных компонентов. В качестве этой замены может быть использован каменный уголь, который содержит более 90 % углерода. Помимо своей сравнительно невысокой стоимости, уголь имеет малое количество азота, обуславливающее пониженный выход окислов азота. Чем меньше в топливе азота, тем меньше его окислов образуется в процессе горения, поскольку считается, что содержащийся в топливе связанный азот легче и быстрее окисляется кислородом, чем молекулярный азот воздуха. На отщепление атомов азота от остальной части топлива затрачивается в 1,5 – 4 раза меньше энергии, чем на диссоциацию молекулы азота из воздуха.

Кроме того, сжигание топливной смеси в камере сгорания двигателя имеет ряд особенностей, в частности по мере развития процесса горения и расходования кислорода отдельные объемы смеси могут оказаться в зоне продуктов реакции. При применении традиционного топлива забалластированные углекислотой объемы не сгорают, если не смешаются с остатками неизрасходованного кислорода. В случае использования угля картина изменяется. В этих условиях, когда кислород не в состоянии достигать углеродной поверхности, носителем кислорода становится углекислота. Углекислота диффундирует в угольную частицу и в области высоких температур может с высокой скоростью восстанавливаться углеродной поверхностью, образуя при этом горючий газ – окись углерода. Завершают процесс имеющиеся в продуктах сгорания пары воды, обеспечивая реакцию конверсии окиси углерода в двуокись.

Также уголь имеет большую энергоемкость единицы объема по сравнению с жидкими топливами и газами.

Перечисленные обстоятельства позволяют надеяться на достижение положительного эффекта при использовании угля в качестве компонента горючей смеси. Однако для определения возможности использования такого смесевого топлива в существующих быстроходных двигателях должны быть исследованы в первую очередь следующие его свойства: время сгорания, теплота сгорания, воспламеняемость и степень воздействия на окружающую среду и человека.

Также очень вредное влияние на организм человека оказывает мелкодисперсная пыль, выделяемая при износе резиновых покрышек колес и тормозных колодок. При этом чем хуже качество дорожного покрытия, тем интенсивнее износ тормозных колодок и покрышек колес и, следовательно, хуже экологическая обстановка. Пока не придумано менее вредных и более экологически чистых материалов для изготовления указанных изделий, поэтому уменьшить вред при эксплуатации транспортных средств можно, например, снизив интенсивность пользования тормозами и их массу, что уменьшает износ покрышек колес.

Безопасная эксплуатация транспортных средств, продолжительность их пробега до капитального ремонта и комфортабельность поездок значительно зависят от состояния дорожного покрытия. Сохранность дорожного покрытия определяется в первую очередь прочностью основания, на котором оно лежит, а также величиной температурной деформации, возникающей при его нагреве и охлаждении в процессе эксплуатации.

Существующие технологии строительства дорог не обеспечивают сохранности покрытия в течение длительного срока. Это связано прежде всего с тем, что состоящая из гравия и песка верхняя часть основания, во-первых, имеет низкую теплопроводность, в результате чего асфальт сильно нагревается летом и остывает зимой, подвергаясь при этом большим температурным деформациям, приводящим к его разрушению. Во-вторых, при вибрации, возникающей при движении транспортных средств, особенно большегрузных, происходит локальное уплотнение указанной части основания, приводящее к проседанию гравия и последующему механическому повреждению асфальта.

Находящийся между гравием в основании воздух изменяет давление снизу на покрытие, например при колебаниях температуры или уровня грунтовых вод. В результате этого покрытие подвергается дополнительным (знакопеременным) нагрузкам и отстает (отрывается) от основания. После отрыва асфальта происходит быстрое механическое (от ударов колес автомобилей) разрушение, образуется яма, которая в дождливую погоду заполняется грязью и водой. Ямы вынуждают водителей снижать скорость движения, особенно в дождливую погоду, так как возникает опасность обрызгать пешеходов, движущихся по тротуару.

Отсутствие регулярной и качественной уборки дороги от грязи и песка приводит к тому, что часть этих грязевых элементов при воздействии нагрузки от транспорта внедряется в покрытие дороги, перераспределяя соотношение между его связующим компонентом (битум) и минеральными составляющими (гравий, песок). В результате этого содержание связующей составляющей в асфальте уменьшается и асфальт разрушается.

Разрушает асфальт и вода на нем, которая, постепенно просачиваясь в небольшие трещины, вымывает из гравия основания мелкие частички, уплотняет песчаную подушку, в результате чего элементы структуры основания изменяют свое первоначальное положение и основание проседает. После этого происходит повреждение и самого асфальта. Особенно негативным указанный процесс становится в период смены положительной и отрицательной температур окружающего воздуха, когда замерзающая в трещине асфальта и в основании вода расширяется и сильно деформирует их. В такое время года решетки ливневой канализации должны быть очищены от грязи и снега, чтобы образующаяся на асфальте вода могла беспрепятственно стекать в них с поверхности дороги, а не просачиваться вглубь через мелкие трещины. Однако, как правило, большое количество решеток оказываются забитыми грязью или засыпанными снегом и не выполняют своего предназначения в этот период. Разумеется, само дорожное полотно должно быть выполнено таким образом, чтобы на нем имелся постоянный уклон для стока воды, в противном случае будут образовываться зоны для застоя воды.

Особое внимание основанию дороги следует уделять в местах остановочных пунктов общественного транспорта. Выполнение доро-

ги на этих участках обычным способом приводит к появлению около остановочного пункта низины с ямами, поскольку многочисленные остановки на одном и том же месте многотонных транспортных средств приводят к проседанию дороги. Вода в образовавшейся низине, например после дождя, создает проблему при посадке и высадке пассажиров, вынуждая их каким-то образом преодолевать водную преграду. Кроме того, от проезжающих мимо остановочного пункта транспортных средств на пассажиров, ожидающих общественный транспорт, летит жидкая грязь, а водители маршрутного транспорта вынуждены подъезжать очень медленно. В результате этого увеличивается их время отстоя на остановочном пункте и в конечном счете снижается средняя скорость движения по маршруту. В зимний период времени необходима своевременная уборка снега с проезжей части улиц городов и магистралей, а также обработка опасных участков противогололедными препаратами.

За рубежом для привлечения пассажиров к поездкам на городском транспорте применяют целый комплекс мер: освещение в вечерние часы дневным светом остановочных пунктов общественного транспорта, введение в эксплуатацию информационных установок для расчета времени поездки между двумя задаваемыми пассажирами пунктами и т. д. Совершенно противоположная картина наблюдается на отечественных остановочных пунктах: разбросан мусор, часто они не очищаются ото льда и снега, в результате чего повышается вероятность падения пассажиров при посадке и высадке. Качественно очистить большое количество остановочных пунктов на транспортной сети вручную, с помощью метлы и лопаты, не представляется возможным. Поэтому для приведения территории остановочного пункта в надлежащий вид необходимо конструктивно выполнять его так, чтобы становилась возможной механизированная уборка его с помощью машин. При этом в зоне остановочного пункта не должно находиться столбов и других объектов, мешающих проезду уборочной техники. Кроме того, вблизи остановочного пункта желательно иметь площадку для временного хранения снега, на которую во время очистки территории сгребают снег. Возможен также вариант подогрева тротуара в зоне остановочного пункта, что исключит уборку снега на нем.

## 1.6. Вынужденная и планируемая стоянка

Еще один негативный фактор, усложняющий организацию движения в городах, – стоянка (остановка) вынужденная или планируемая. Считается, что наземные парковки «разрывают» инфраструктуру города: привычный вид городского ландшафта дополняется скоплением машин, стоящих как на парковках, так и в не предназначенных для этого местах. Из-за нехватки парковочных мест водители нередко оставляют свои автомобили на краю проезжей части, тем самым уменьшая и так небольшую пропускную способность дороги, или уезжают от запланированного места стоянки (остановки) на значительное расстояние, тратя при этом лишнее топливо, дополнительно загрязняя окружающую среду. По стандартам Евросоюза проблема парковок в пределах города считается решенной, если местами обеспечены по крайней мере 60 % зарегистрированных в городе автомобилей. За рубежом, например в Швеции, около 15 % улиц городов предназначены для парковки автомобилей [10]. Универсального решения проблемы парковок до настоящего времени не найдено. Это актуальная проблема во всех городах. Припаркованное вдоль дороги транспортное средство всегда создает определенные неудобства: вынужденный объезд его движущимися по полосе автомобилями, т. е. создание помех общему движению, в том числе и при выезде с парковки; сужение ширины проезжей части, приводящее к уменьшению скорости движения на городских магистралях. Кроме того, парковки становятся причиной загрязнения воздуха на придомовой территории и, как следствие, ухудшения жизни в городах.

Вынужденная стоянка происходит в транспортных пробках и на перекрестках с малой пропускной способностью, что также ухудшает экологическую обстановку в городе, не говоря уже о бесполезно затрачиваемом на это времени участников движения.

Основной способ регулирования движения – светофоры-автоматы, поэтому актуальна проблема их оптимальной и эффективной работы. На содержательном уровне алгоритм работы светофора

для регулирования дорожного движения заключается в отсчете длительности действия красного и зеленого света, а также в обеспечении требуемой очередности переключений. Поскольку в России до сих пор по-прежнему почти на всех перекрестках дорог в светофорах используется алгоритм с фиксированным (заранее запрограммированным) циклом переключения [11; 12], то важно решить проблему адаптивного управления движением на таких дорогах.

Для решения этой проблемы необходимо, во-первых, иметь информацию о скорости и интенсивности движения на полосах дороги на всем ее протяжении в точках, расположенных на некотором расстоянии друг от друга. Во-вторых, для регулирования движения по полосам на дороге необходимы светофоры, расположенные в указанных точках. В-третьих, нужно создать алгоритмы для автоматической системы, управляющей этими светофорами.

Для правильного описания физических явлений, происходящих на транспортной сети, эти алгоритмы должны учитывать информацию о скорости движения транспортных средств и интенсивности движения на участках дороги между светофорами, а также психологию водителей.

В работах [13 – 16] и других описываются различные более сложные и гибкие по сравнению с существующими алгоритмы для автоматического регулирования движения автомобильного транспорта. При исследовании систем управления движением транспорта перекресток представляется в виде прибора (светофора) системы массового обслуживания (СМО), обрабатывающего входные потоки заявок (машин). В соответствии с классической теорией СМО время обслуживания заявки – это время проезда автомашины через перекресток, а время переналадки прибора – это продолжительность действия желтого сигнала светофора. При таком подходе к решению задачи управления движением транспорта на перекрестке (управление конфликтными транспортными потоками) делается много допущений, которые

неадекватны действительно складывающейся дорожной обстановке. Для учета характерных особенностей перекрестков и конкретной картины движения транспорта через них необходимо проводить постоянный сбор информации с транспортной сети и ее обработку в реальном масштабе времени с целью получения управляющих параметров. При этом нужно не только иметь информацию о количестве и скорости движения транспортных средств по полосам дороги, но и прогнозировать направление движения их через перекресток. По существу, это должна быть автоматическая система управления, об эффективности работы которой следует судить по минимуму суммарного среднего времени проезда определенных по численности групп автомобилей через зону перекрестка, а также по среднеквадратическому отклонению этого времени. При этом эксцесс распределения случайной величины (указанного времени) может стать комплексной оценкой эффективности управления движением транспорта на перекрестке.

Важный момент в процессе повышения средней скорости движения общественного транспорта – по возможности беспрепятственный пропуск этих транспортных единиц через перекресток. Автоматизированная система управления движением автобусов, функционирующая в Оснабрюке (Германия), автоматически предоставляет приоритет движению автобусов на регулируемых перекрестках, что благоприятно сказывается на работе городского транспорта, особенно в часы пик. В настоящее время для увеличения средней скорости движения городского транспорта на загруженных автотранспортом участках дорожной сети отводятся полосы для движения общественного транспорта. Чтобы указанное мероприятие (отведение полос для общественного транспорта) проводилось с минимальным ущербом для движения других транспортных средств, желательно сократить до минимума протяженность этих участков (при необходимости в определенные временные промежутки в течение суток), для чего требуется установка дополнительных светофоров, регулирующих движение по полосам.

## Контрольные вопросы

1. Какие существуют проблемы в организации дорожного движения?
2. Назовите факторы, оказывающие влияние на конечные результаты.
3. Какими критериями эффективности руководствуются при организации дорожного движения?
4. Какие инновационные решения выдвигают при организации дорожного движения?
5. К чему приводит неэффективное управление транспортными потоками?
6. Какая организация занимается логистическим анализом и управлением на транспорте? Каковы принципы проведения логистических операций?
7. Как происходит процесс переработки и анализа информации о состоянии объектов управления?
8. Какие параметры описывают состояние автоматической системы диспетчерского управления движением ГПТ?
9. Что формирует система кодированных сообщений?
10. Для чего предназначен орган административного управления?
11. Какие меры необходимы для увеличения средней скорости движения городского транспорта?
12. Какие меры необходимы для повышения пропускной способности перекрестков?

## Глава 2

# ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

### 2.1. Повышение пропускной способности перекрестков

Для регулирования движения на перекрестках создаются системы светофорной сигнализации, способные изменять режим работы светофоров на перекрестке с учетом результатов измерений интенсивности движения транспортных потоков. Однако такие системы сложны и обладают рядом недостатков:

- возможность ухудшения условий проезда другого перекрестка в случае выработки системой отказа водителям в проезде через данный перекресток из-за увеличения плотности потока движения через него. Кроме того, объезд данного перекрестка по другому пути с точки зрения экономии времени, горючего и вредных выбросов в атмосферу по сравнению с простым (медленным движением) в пробке может вовсе не дать никакой экономии. В пробке по крайней мере можно заглушить двигатель, в результате чего сэкономят горючее и снизить количество вредных выбросов в атмосферу;
- снижение пропускной способности магистралей вследствие наличия на левой полосе транспортных средств, ожидающих возможности совершения поворота (разворота) налево;
- увеличение вредных выбросов в атмосферу, связанное с образованием и разъездом очереди.

Для устранения указанных недостатков был разработан новый способ регулирования движения на перекрестке [17].

Перекресток содержит первую и вторую магистрали 1, 2, имеющие соответственно полосы 3, 4, 5 и 6, 7, предназначенные для проезда перекрестка соответственно налево, прямо, направо и прямо, направо, а также границы 8, 9, разделяющие транспортные потоки противоположных направлений (рис. 2.1).

На перекрестке установлен светофор 10 с дополнительными секциями в виде стрелки 11, разрешающей поворот налево, и стрелки 12, позволяющей транспортным средствам 13 ехать направо. До перекрестка (рис. 2.2) на полосах 3, 4, 5 соответственно размещены дополнительные светофоры 14, 15, 16 с табличками 17, указывающими направление движения через перекресток, причем светофор 15 снаб-

жен стрелочными указателями 18, 19, указывающими полосу, на которую необходимо перестроиться. Граница может быть сделана в виде полосы 20 с меньшим приоритетом.

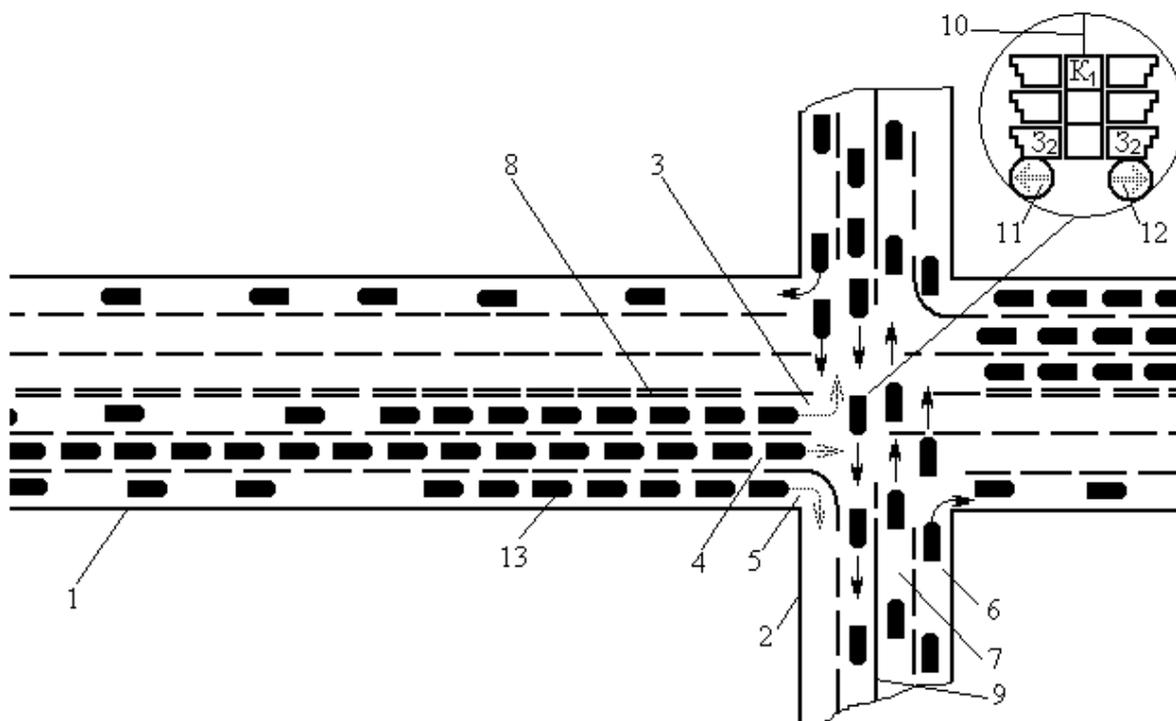


Рис. 2.1. Схема движения транспортных средств на перекрестке двух магистралей

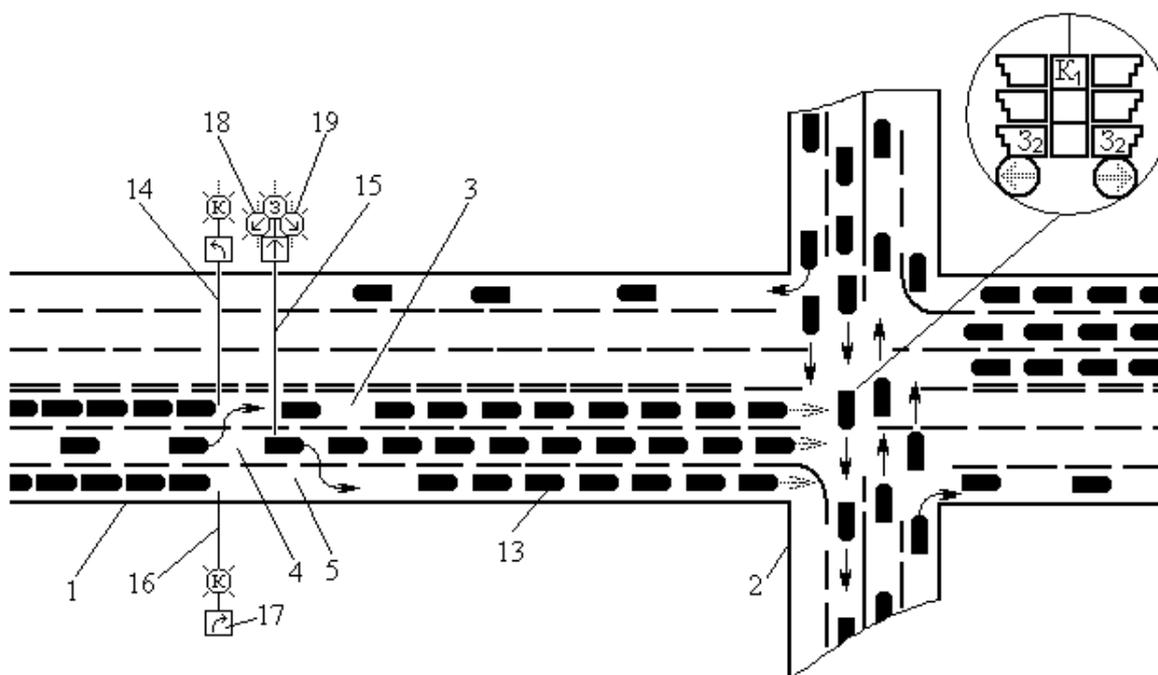


Рис. 2.2. Схема формирования транспортных средств в группы согласно их предполагаемому направлению проезда перекрестка

Предположим, что на магистраль *1* распространяется красный  $K_1$ , а на магистраль *2* – зеленый  $Z_2$  сигнал светофора *10*, при этом стрелки *11*, *12* выключены.

Обычно в этом случае транспортные средства *13* по полосе *7* движутся в прямом направлении, по полосе *6* – прямо и направо, а на полосах *3*, *4*, *5* накапливаются транспортные средства, готовые при включении разрешающего сигнала проехать перекресток соответственно налево, прямо и направо (на рис. 2.1 указанные направления показаны пунктирными стрелками на полосах).

Аналогичная картина наблюдается и на полосах встречного направления. Выстроившиеся на полосе *3* транспортные средства, как правило, проезжают перекресток после того, как будет перекрыто движение по этой магистрали в прямом направлении, а поэтому мешают попутному движению в прямом направлении в течение всего времени действия зеленого сигнала. Точно так же мешают движению в прямом направлении и транспортные средства, накапливающиеся на полосе *5* перед перекрестком. Даже если разрешить движение направо одновременно с пересечением перекрестка в прямом направлении и позволить с этой правой полосы движение прямо, то все равно движение транспортных средств будет затруднено из-за медленной скорости автомобилей, поворачивающих направо. В результате этого на средней полосе *4* будет накапливаться очередь, приводящая впоследствии к возникновению пробки на перекрестке.

Для устранения описанного явления и повышения пропускной способности перекрестка до него устанавливаются накопительные светофоры *14* – *16*, при этом при тех же исходных сигналах светофора *10* светофоры *14* и *16* вырабатывают красные, а светофор *15* и стрелочные указатели *18*, *19* – зеленые сигналы (см. рис. 2.2).

В результате этого у светофоров *14*, *16* будут формироваться группы из транспортных средств, водители которых намереваются проехать перекресток соответственно налево и направо. При этом на участке магистрали *1*, расположенном между дополнительными светофорами *14* – *16* и светофором *10*, полосы *3* и *5* окажутся свободными. Благодаря этому на них, а также на полосе *4* (в соответствии с зелеными сигналами светофора *15* и стрелочных указателей *18*, *19*) формируют наибольшую по численности группу из транспортных средств, водители которых будут потом проезжать перекресток пря-

мо. В результате в данном случае длина очереди из автомобилей, водители которых собираются проезжать перекресток прямо, уменьшится в три раза. Поскольку зависимость времени разъезда очереди от ее длины – величина нелинейная, то это время будет более чем в три раза меньше по сравнению со случаем, когда вся очередь находилась бы на одной полосе 4. Это способствует беспрепятственному движению транспортных средств в прямом направлении по левой полосе. Кроме того, сокращается расстояние, которое следует преодолеть транспортному средству, чтобы миновать перекресток, что, в свою очередь, требует меньшего интервала между встречными транспортными средствами, позволяющего совершить поворот. Все это увеличивает пропускную способность перекрестка.

Предоставляют первоочередность проезда наибольшей группе транспортных средств, для чего включают красный сигнал  $K_2$  для магистрали 2 и зеленый  $Z_1$  – для магистрали 1 (рис. 2.3).

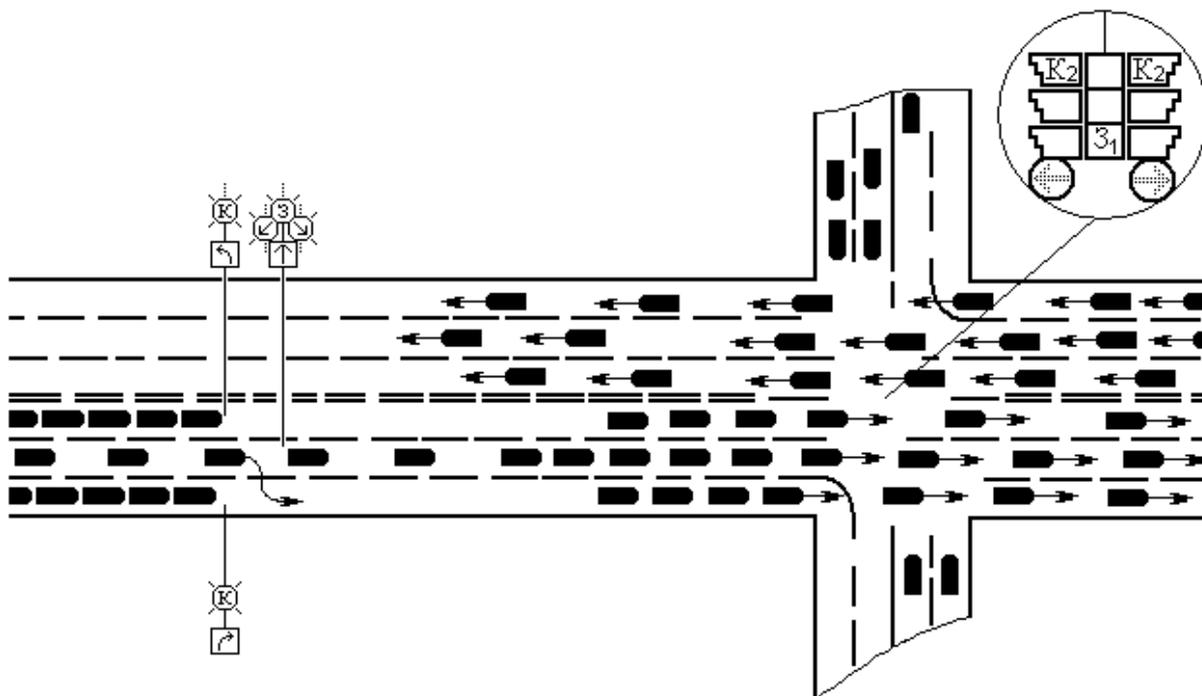


Рис. 2.3. Схема разъезда очереди из транспортных средств наибольшей группы

Транспортные средства со всех полос (3 – 5) начинают проезд перекрестка в прямом направлении в одинаковых условиях для дви-

жения и, проехав перекресток, продолжают (не перестраиваясь) движение в прямом направлении, благодаря чему обеспечивается быстрый разъезд этой группы транспортных средств. В это время пешеходы могут переходить магистраль 2, не создавая помех движению.

Спустя некоторое время включают зеленый сигнал на светофорах 14, 16 и выключают зеленый сигнал (или включают красный) стрелочных указателей 18, 19 (рис. 2.4). На освободившихся полосах 3, 5 (на участке между светофорами 14, 16 и уезжающими в прямом направлении автомобилями) начинают разъезд очередей групп меньшей численности, водители которых намереваются выполнять поворот налево и направо. При этом водители транспортных средств, движущихся по полосе 4, согласно зеленому сигналу светофора 15 могут двигаться только прямо и не имеют права перестраиваться на полосы 3 и 5. Благодаря этому не создаются помехи транспортным средствам, ускоряющимся по полосам 3 и 5.

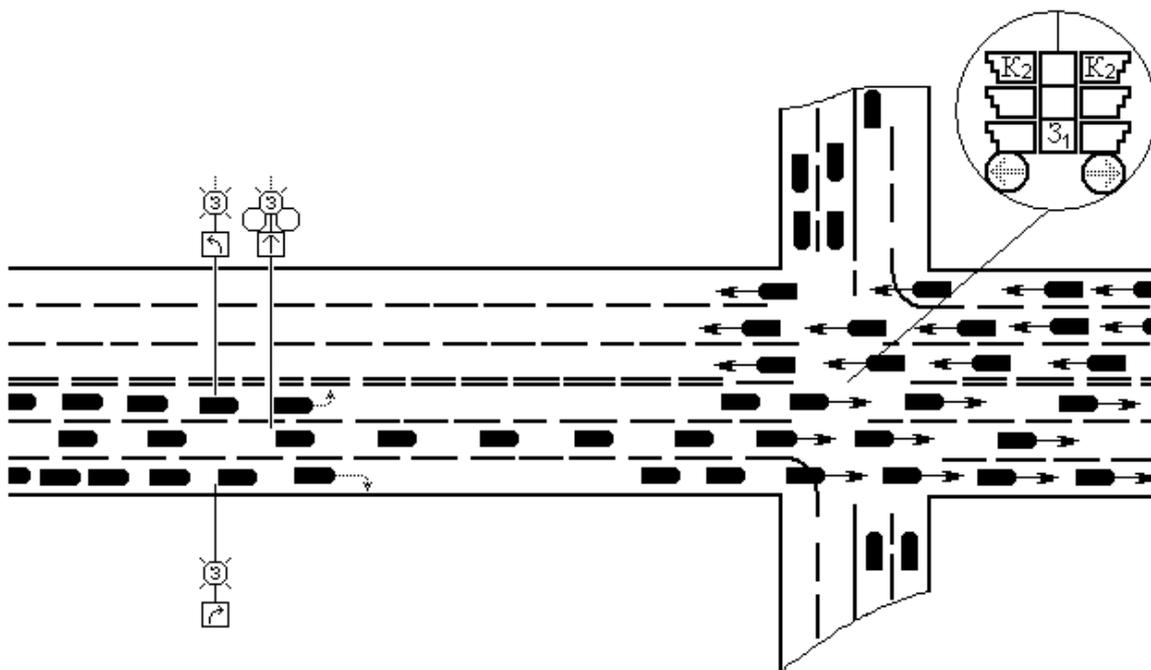


Рис. 2.4. Схема разъезда очереди из транспортных средств групп меньшей численности

Далее включают красный сигнал  $K_1$  светофора 10 для магистрали 1, а также зеленые сигналы на стрелках 11, 12 (рис. 2.5). Движение по полосе 4 прекращается (с полосы 6 можно разрешить поворот направо), с полос 3, 5 водители выполняют соответственно поворот налево и направо.

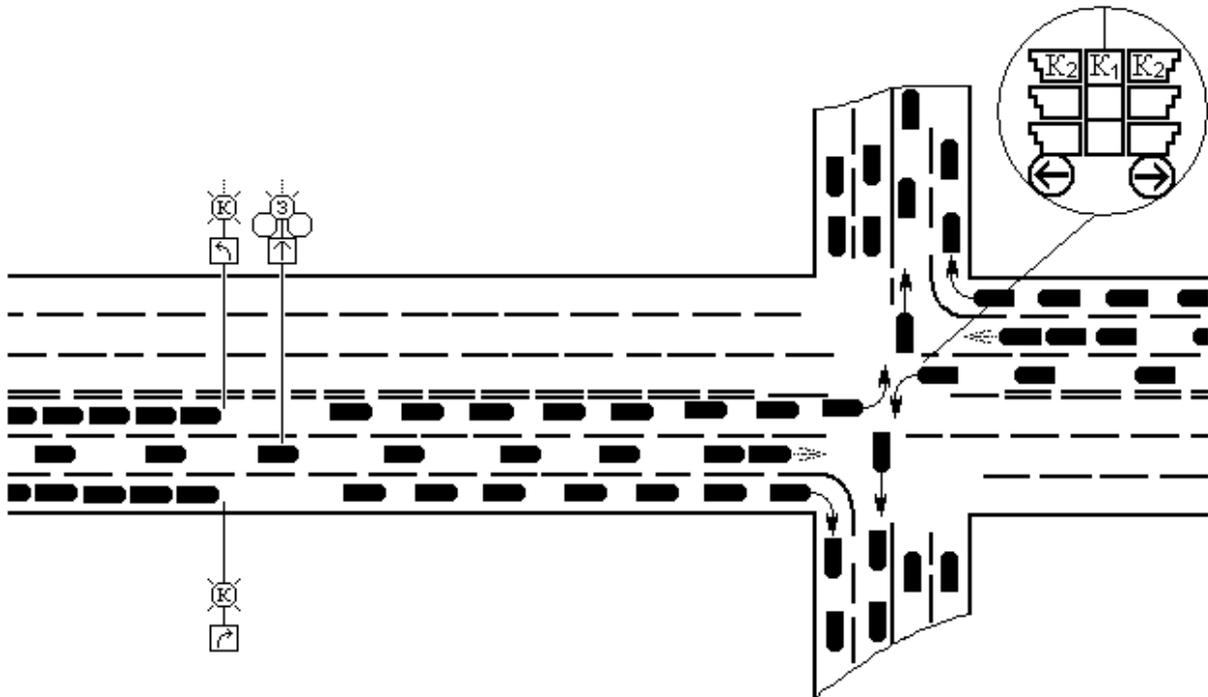


Рис. 2.5. Схема проезда перекрестка транспортными группами меньшей численности

В данном случае режим светофора 15 задан так, что на полосу 4 всегда распространяется зеленый сигнал. Однако если в группах транспортных средств, движущихся налево и направо, будет такое число транспортных средств, что одной полосы будет мало для проезда перекрестка, то указанный режим можно изменить. Например, одновременно с выключением стрелочных указателей 18, 19 можно включать красный сигнал на светофоре 15. Тогда полоса 4 будет освобождаться от транспортных средств, проезжающих перекресток прямо, одновременно с полосами 3 и 5. При включении светофоров 14 и 16 транспортные средства, поворачивающие налево и направо, могут использовать полосу 4 для поворота, т. е. разъезжаться по двум полосам налево и направо.

Спустя некоторое время включают для магистрали 2 одновременно красный  $K_2$  и желтый  $Ж_2$  сигналы светофора 10 и выключают зеленые сигналы на стрелках 11, 12 (рис. 2.6). Движение по магистрали 1 прекращается. Может оказаться, что к этому моменту водитель какого-то транспортного средства не успеет выполнить поворот налево.

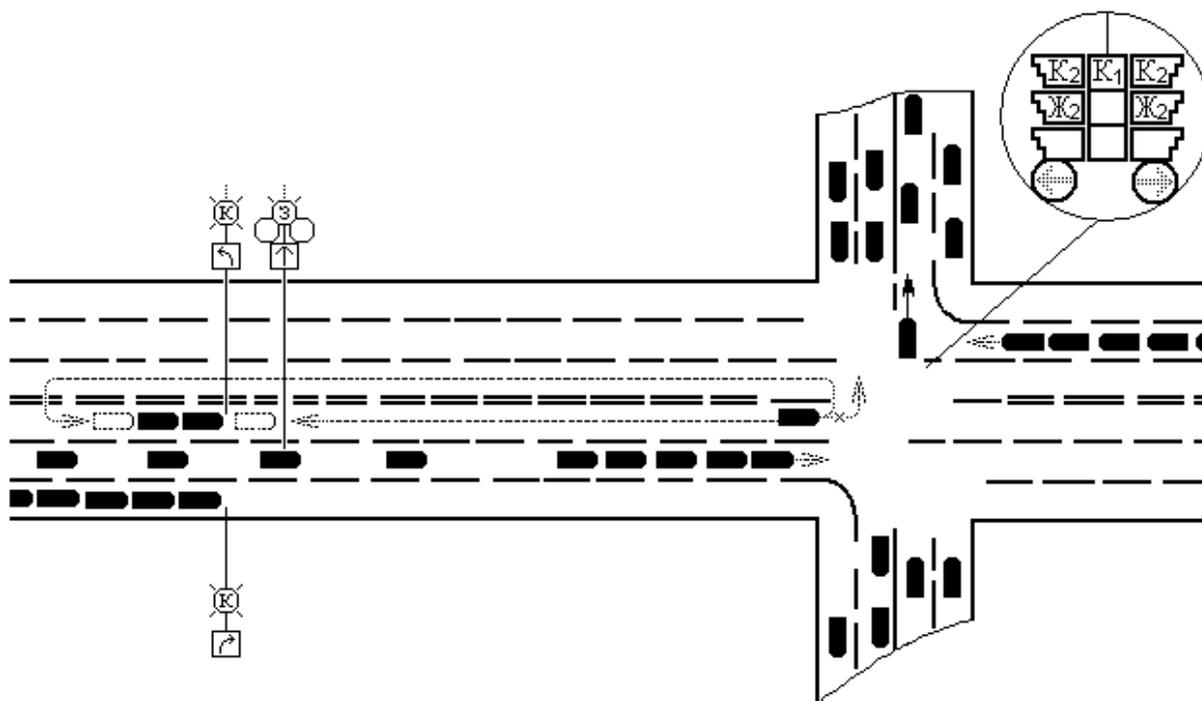


Рис. 2.6. Схема начала формирования групп

Тогда, чтобы не мешать впоследствии движению с полосы 3 в прямом направлении, этот водитель обязан или задним ходом подъехать к светофору 14 и остановиться у него, или пересечь границу 8 и встать в очередь за автомобилями, накапливающимися у светофора 14 (на рис. 2.6 эти маневры показаны пунктиром). Для выполнения указанных маневров, во-первых, формирование группы для движения прямо начинают на полосе 4, направление движения по которой совпадает с направлением проезда группы через перекресток (стрелочные указатели 18, 19 выключены). В результате этого не создается помеха для движения автомобиля по полосе 3 задним ходом. Во-вторых, группу формируют из транспортных средств попутного и встречного направления, которые пересекают вне перекрестка границу 8 между встречными полосами.

Чтобы не создавать помех попутному и встречному транспорту при пересечении границы, ее выполняют в виде имеющей меньший приоритет полосы 20, на которой в случае необходимости выполняют остановку транспортных средств. При этом транспортные средства при необходимости могут развернуться до перекрестка, не загружая его дополнительно, благодаря тому, что границу вне перекрестка пересекают с любой стороны магистрали и в любом месте, при этом

границу вне перекрестка выполняют с достаточной шириной для размещения на ней транспортного средства (рис. 2.7). Изменяют ширину границы вне перекрестка для рационального размещения на ней транспортных средств.

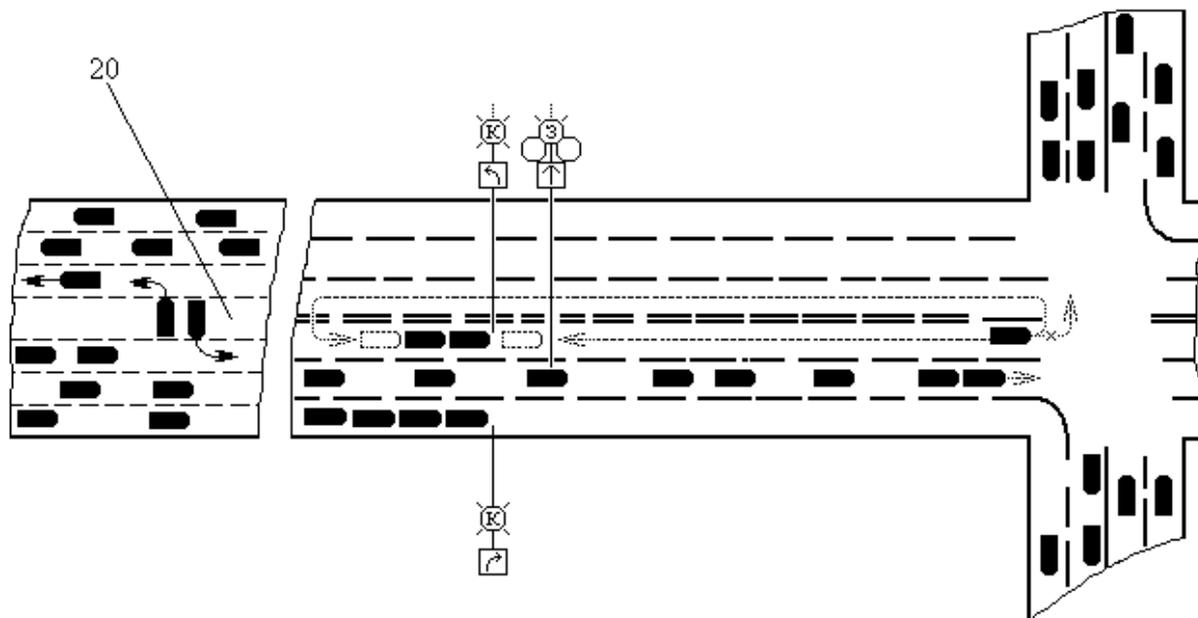


Рис. 2.7. Вариант выполнения границы, разделяющей встречные потоки, в виде полосы

На полосе 20 возможна стоянка транспортных средств, благодаря чему улучшаются условия проезда по магистрали. Во-первых, с полосы 20 после стоянки автомобиль может начать движение по магистрали 1 в любом направлении, что является преимуществом по сравнению со стоянкой у тротуара. Во-вторых, стоящие у тротуара автомобили практически блокируют движение по крайней правой полосе, мешают работе общественного транспорта, следующего большую часть маршрута по правой полосе, и препятствуют ходу снегоуборочной техники.

Ранее было сказано, что если водитель какого-то транспортного средства не успел выполнить поворот налево, то он обязан или задним ходом подъехать к светофору 14 и остановиться у него, или пересечь границу 8 и встать в очередь за автомобилями, накапливающимися у светофора 14. Если эти маневры он выполнить не смог, то должен будет при разрешающем сигнале светофора 10 проехать перекресток в прямом направлении. После проезда перекрестка он может



дам, т. е. водителю в этом случае нужно руководствоваться правилом проезда нерегулируемого пешеходного перехода [18].

Рассмотрим схему, отражающую указанный способ регулирования движения транспортных средств на перекрестке транспортных магистралей, на которой представлены магистрали 1, 2, имеющие соответственно полосы 3, 4, 5 и 6, 7, предназначенные для проезда перекрестка соответственно налево, прямо, направо и прямо и прямо, направо и прямо, а также границы 8, 9, разделяющие транспортные потоки противоположных направлений, и границу 10, отделяющую в зоне перекрестка (за пересечением) крайнюю правую полосу 5 от средней полосы 4 (рис. 2.9). На перекрестке установлен светофор 11 для регулирования движения транспортных средств и пешеходов (групп пешеходов) 12.

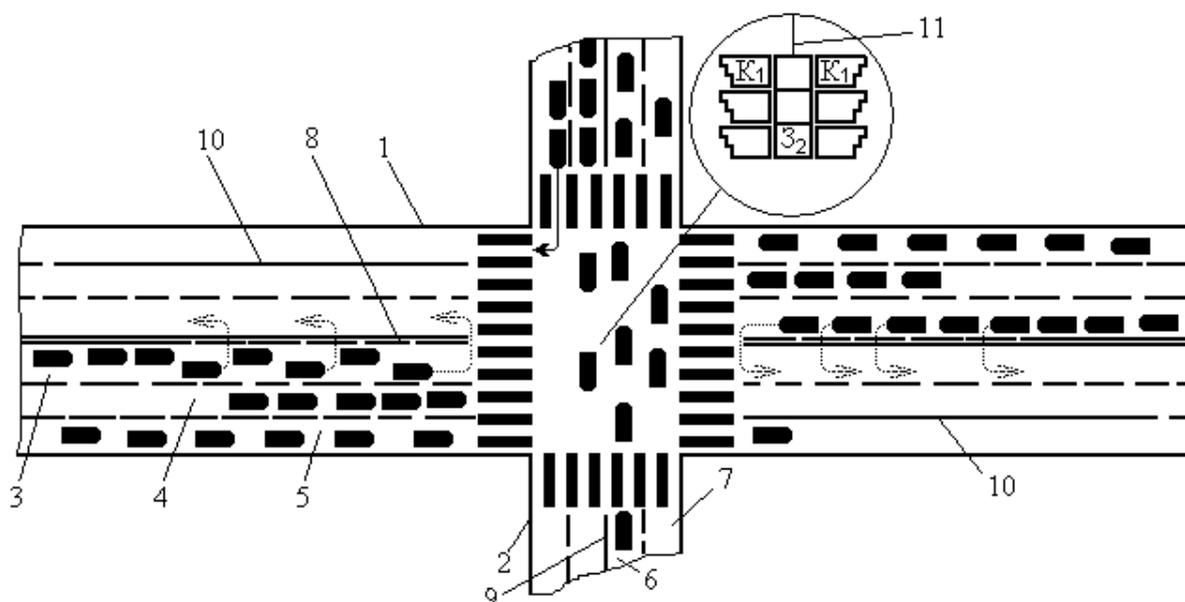


Рис. 2.9. Схема регулирования движения транспортных средств на перекрестке транспортных магистралей при отсутствии помех

Предположим, что для магистралей 1, 2 соответственно включены красный  $K_1$  и зеленый  $Z_2$  сигналы светофора 11. Транспортные средства движутся из полос 6, 7 в прямом направлении и/или поворачивают из полосы 7 направо, не имея возможности из-за границы 10 (сплошной линии в зоне перекрестка) перестроиться на полосы 4, 3. Для транспортных средств, находящихся на полосе 3 магистрали 1 и желающих развернуться, отсутствует расчетная (предполагаемая) помеха их движению. Поэтому включают красный  $K_1$  сигнал светофора 11 в

мигающий режим, разрешающий им разворот (со своего места остановки, не доезжая до перекрестка), который не мешает пешеходам переходить проезжую часть. Разрешение мигающим красным сигналом светофора проезда в прямом направлении транспортным средствам, находящимся перед указанным красным сигналом, при отсутствии помех от пешеходов позволяет повысить пропускную способность перекрестка за счет сокращения времени простоя перед красным сигналом.

Для уменьшения при развороте захвата ширины полос(ы) встречного направления разрешают указанным транспортным средствам занять крайнее правое положение на полосе 3 (рис. 2.9 слева). Крайнее правое положение транспортного средства с мигающим левым сигналом поворота информирует водителя следующего за ним транспортного средства о намерении выполнить разворот (а не поворот налево), что повышает безопасность движения на перекрестке. После ухода разворачивающихся транспортных средств очередь на проезд перекрестка уменьшается. Кроме того, у разворачивающегося на перекрестке обычным способом автомобиля скорость движения уменьшается практически до нуля, что задерживает проезд следующих за ним автомобилей, поэтому вывод заранее (до начала движения через перекресток) из очереди разворачивающихся автомобилей увеличивает скорость движения транспортных средств через перекресток. Все это повышает его пропускную способность.

Предположим теперь, что для обеих магистралей включены красные  $K_1$  и  $K_2$  сигналы светофора 11, причем для магистрали 1 красный  $K_1$  сигнал работает в мигающем режиме. При этом пешеходам 12 разрешен переход проезжей части, а после окончания действия красного сигнала  $K_1$  будет включен зеленый сигнал светофора 11 для магистрали 1 (рис. 2.10).

В момент начала движения пешеходов 12 последние создают помеху движению транспортных средств, находящихся на полосах 4, 5, при этом поскольку пешеходы еще не достигли полосы 3 магистрали 1 и не создают пока помехи находящимся на ней транспортным средствам, то последние выезжают в прямом направлении на перекресток.

По мере достижения пешеходами середины проезжей части создается помеха транспортным средствам, движущимся по полосе 3,

поэтому последние останавливаются, пропуская пешеходов. При этом, как правило, освобождаются от пешеходов полосы 4, 5, по которым транспортные средства начинают движение на мигающий красный сигнал, в том числе и направо.

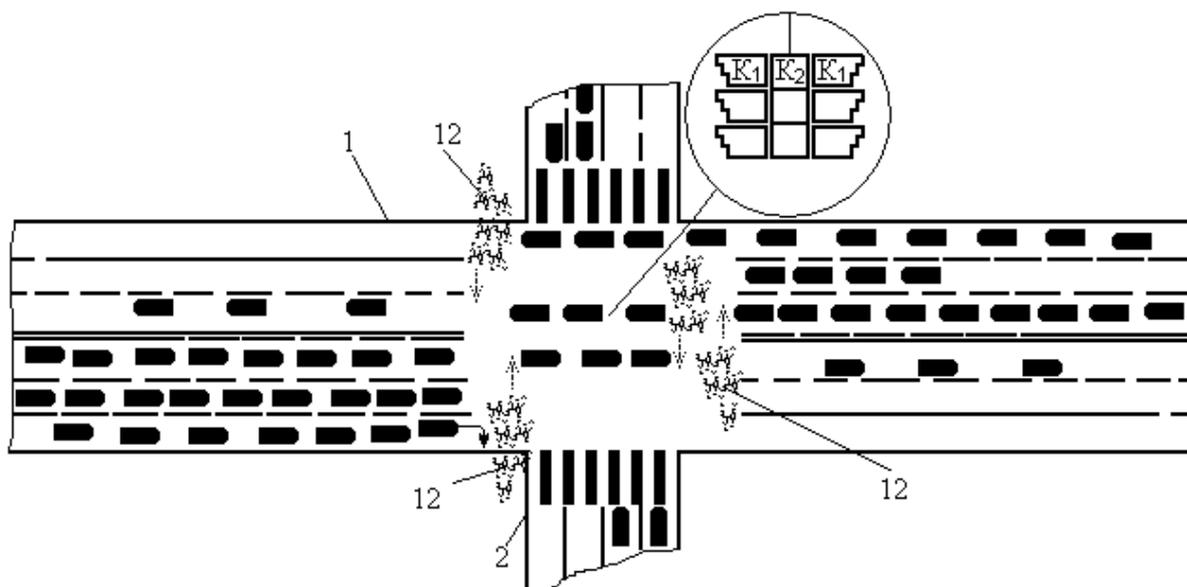


Рис. 2.10. Схема перекрестка в момент начала пешеходного движения через проезжую часть

После того как пешеходы пройдут середину проезжей части, транспортные средства возобновляют движение по полосе 3, не дожидаясь завершения пешеходами перехода проезжей части и смены мигающего красного сигнала на зеленый (рис. 2.11). При таком проезде перекрестка транспортными средствами безопасность движения не снижается, так как водители указанных транспортных средств, по существу, будут пользоваться правилом проезда нерегулируемых пешеходных переходов, уступая при необходимости дорогу пешеходам, которые имеют преимущество на пешеходном переходе. Направление движения на мигающий, например желтый, сигнал может быть изображено на линзе контурной стрелкой.

Такой способ позволит при незначительной модернизации светофоров проводить регулирование движения транспортных средств на перекрестке транспортных магистралей, увеличивающее пропускную способность перекрестка.

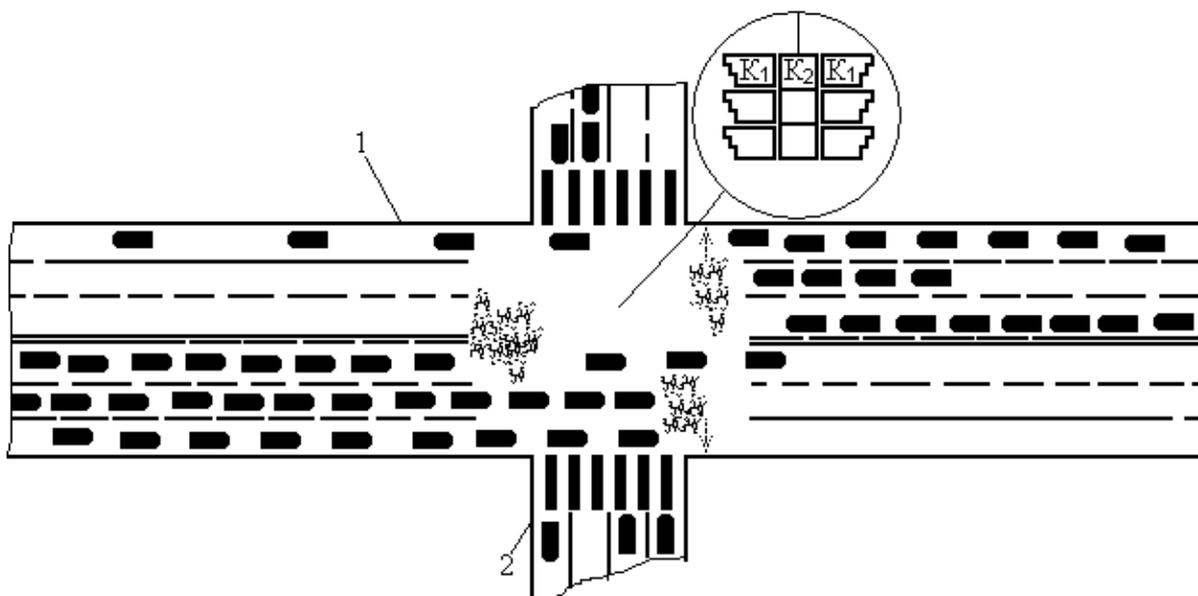


Рис. 2.11. Схема перекрестка в момент окончания пешеходного движения через проезжую часть

Для получения информации о движении по полосам проезжей части можно применить следующий способ [19].

На перекрестке, образованном пересечением магистралей  $1$  и  $2$ , на которых возле воображаемых стоп-линий  $3$  размещены датчики  $a_1, b_1, a_2, b_2$ , установлен в центре светофор  $4$  (рис. 2.12). На линии, разделяющей транспортные потоки противоположных направлений, расположены датчики  $a'_1, b'_1$ , а на линии, отстоящей от воображаемой стоп-линии на расстоянии  $L$ , установлен датчик  $b''_1$ . На выходе каждого датчика формируется сигнал (например, высокий уровень напряжения) при проезде над ним транспортного средства  $5$ . В качестве указанного датчика, регистрирующего факт пересечения его транспортным средством, можно, например, использовать устройство, описанное в работе [20], которое также позволяет определить скорость и направление движения транспортного средства (и даже человека). Датчик выполнен в виде двух параллельно расположенных поперек проезжей части проводов, один из которых – передатчик, а другой – приемник. При этом провод приемника разделен на части линиями задержки, которые расположены на границах полос проезжей части. При проезде автомобиля над датчиком часть энергии отсасывается его металлической массой, в результате чего уменьшается ампли-

туда электрического сигнала приемника той части провода приемника, над которой проехал автомобиль.

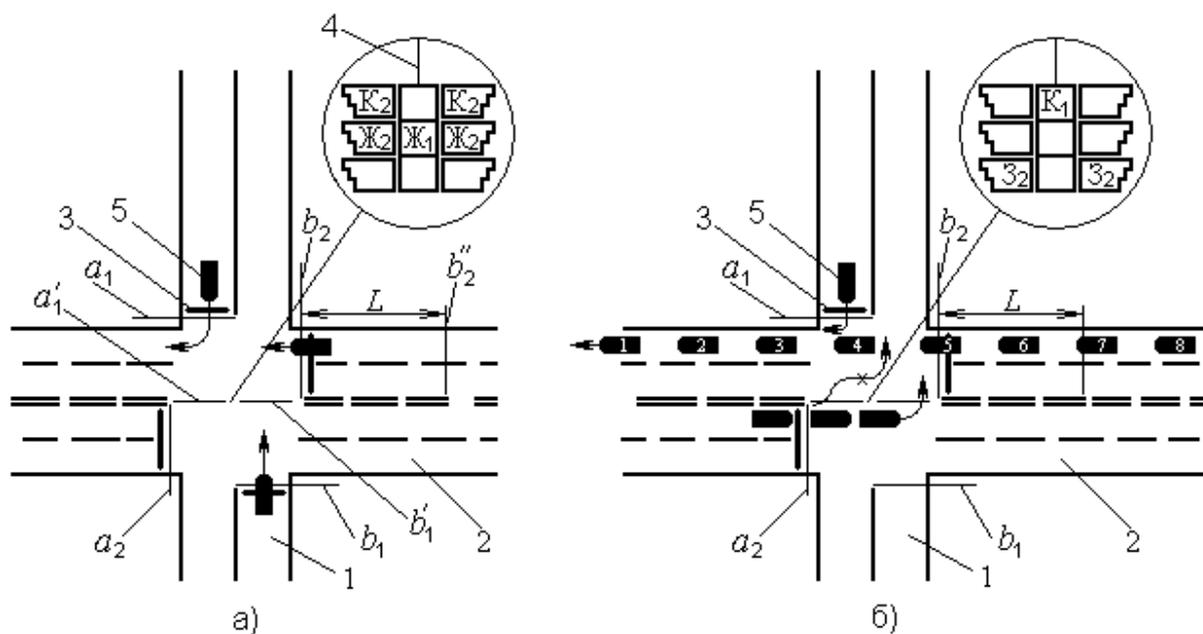


Рис. 2.12. Схема движения транспортных средств на перекрестке двух магистралей: *а* – движение по обеим магистралям на запрещающие сигналы светофора; *б* – смена сигналов светофора

Предположим, что в момент времени  $t_1$  (рис. 2.13) сигналы светофора 4 сформированы таким образом, что на магистраль 1 распространяется действие желтого Ж<sub>1</sub> сигнала, а на магистраль 2 – желтого Ж<sub>2</sub> и красного К<sub>2</sub> сигналов, при этом согласно Правилам дорожного движения (ПДД) выезд транспортных средств на перекресток запрещен.

Регистрируют датчиком  $b_1$  момент пересечения воображаемой стоп-линии 3 транспортным средством, въезжающим на перекресток по магистрали 1 на запрещающий сигнал светофора 4, а датчиком  $b_2$  – момент преждевременного начала движения через перекресток транспортного средства, находящегося на магистрали 2. По этим моментам, совпадающим по времени с действием запрещающего сигнала, фиксируют нарушение проезда транспортным средством перекрестка. При этом фиксирование выполняют относительно продолжительности действия запрещающих сигналов.

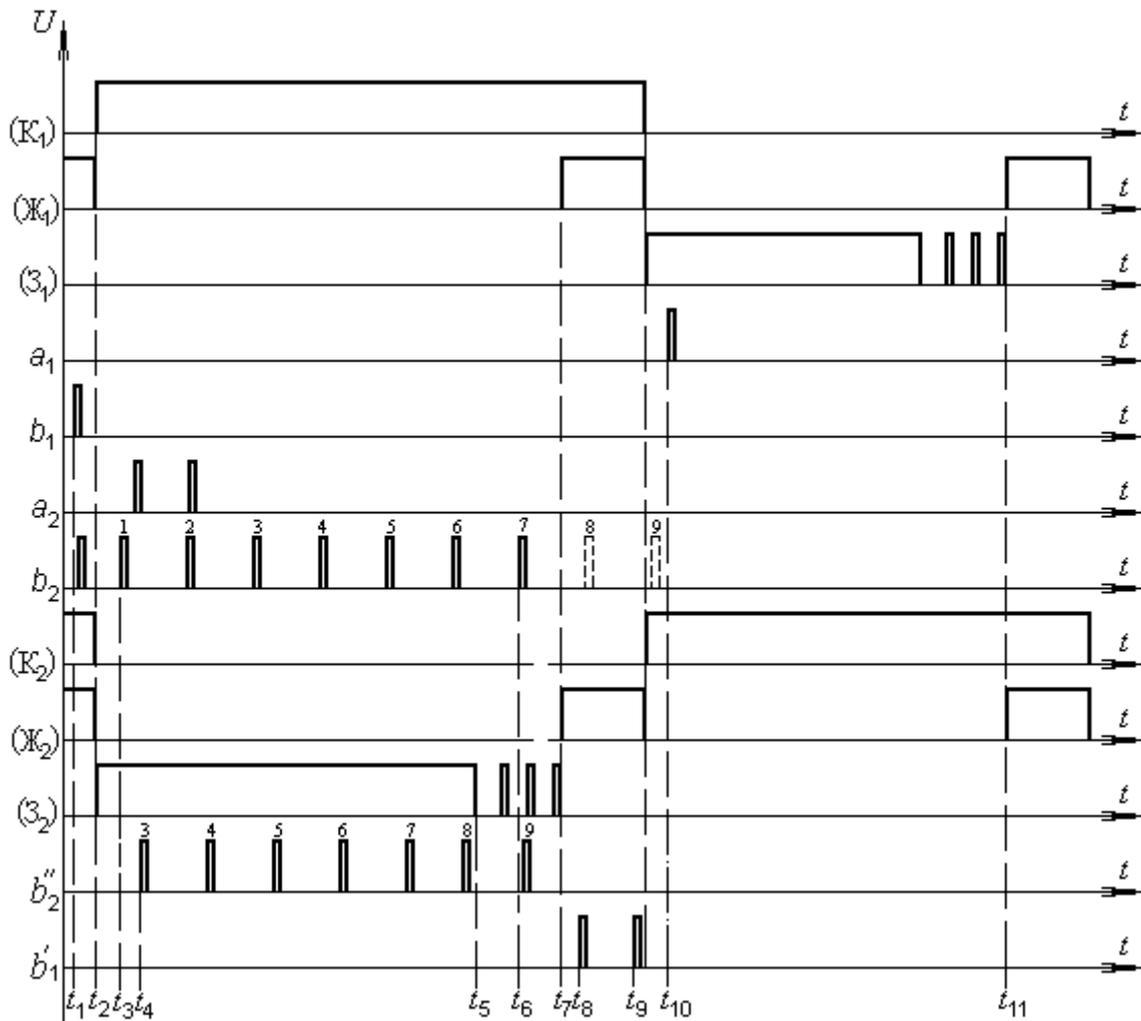


Рис. 2.13. Диаграмма работы светофора

Фиксировать нарушения можно автоматически, например с помощью фотокамеры, определяя при этом номер транспортного средства нарушителя, а также путем записи сигналов датчиков и светофора на носитель информации. Запись нарушения на носителе информации в виде сигнала, привязанного к временной оси, позволяет проводить последующий анализ дорожной обстановки на данном участке. При этом при таком появлении сигналов возможна автоматическая регистрация нарушителя(ей), а также просмотр записи, сделанной камерой в случае возникновения ДТП. При необходимости впоследствии можно изучить на носителе сигналы (диаграмму) в интересующий период времени.

Регистрирование моментов происходит по каждой полосе движения проезжей части. Например, диаграмма (см. рис. 2.13) свидетельствует о том, что в происшествии виноваты водители обоих

транспортных средств (см. рис. 2.12, *а*): один водитель двигался по магистрали 1 на запрещающий сигнал светофора, что подтверждается сигналом в момент времени  $t_1$ , а другой преждевременно начинал движение (между моментами времени  $t_1$  и  $t_2$ ). Для облегчения чтения диаграммы можно фиксировать выявленные нарушения на отдельном поле носителя информации, привязав их к временной оси. При достаточно большом числе нарушений правил проезда перекрестка (даже без возникновения ДТП) можно проанализировать причины частого нарушения ПДД в этом месте и принять необходимые меры для профилактики и предупреждения нарушений: установить на данном перекрестке передвижную фотокамеру (или привлечь сотрудника ГИБДД) для выявления и наказания конкретных виновников.

В момент времени  $t_2$  происходит смена сигналов светофора и для транспортных средств, расположенных на магистрали 2 (см. рис. 2.12, *б*), включается зеленый  $Z_2$  сигнал. Водители начинают движение, и в моменты времени  $t_3$  и  $t_4$  с датчиков  $b_2$  и  $b_2''$  поступают сигналы, причем поскольку на расстоянии  $L$  (как это видно по рис. 2.12, *б*) размещается два транспортных средства, то сигнал на выходе датчика  $b_2''$  начнет формироваться (в момент времени  $t_4$ ) третьим по счету транспортным средством, а на выходе датчика  $b_2$  – первым. Фиксируют моменты пересечения транспортными средствами линии, отстоящей от воображаемой стоп-линии на расстоянии  $L$ , которое позволяет остановить транспортное средство перед перекрестком, не прибегая к экстренному торможению. В момент времени  $t_5$  зеленый сигнал светофора начинает мигать, при этом восьмое по счету транспортное средство (как видно по диаграмме рис. 2.13) находится вблизи датчика  $b_2''$  и его водитель имеет возможность произвести торможение. В противном случае это транспортное средство будет пересекать перекресток на желтый сигнал светофора (на диаграмме восьмой импульс с датчика  $b_2$  показан пунктиром), мешая при этом транспортным средствам, выехавшим на перекресток, завершить левый поворот в моменты времени  $t_8$  и  $t_9$ . Для контроля выполнения этими транспортными средствами левого поворота регистрируют посредством датчика  $b_1'$  ( $a_1'$ ) моменты пересечения ими линии, разделяющей транспортные потоки противоположных направлений.

Девятое транспортное средство проезжает датчик  $b_2''$  непосредственно в процессе мигания зеленого сигнала светофора. Если водитель не выполнит торможение, то он проедет перекресток на красный сигнал. По времени между сигналами с датчиков  $b_2$  и  $b_2''$  можно также определить скорость движения транспортного средства перед перекрестком.

Наличие двух импульсов с выхода датчика  $a_2$ , который установлен на левой полосе (предназначенной для поворота налево), и последующее отсутствие сигналов с датчика  $b_1'$  свидетельствуют о том, что поворот налево затруднен из-за транспортных средств, движущихся навстречу в прямом направлении. Если следующее (третье) транспортное средство попытается, например, осуществить поворот налево, проезжая по встречной полосе, то этот факт нарушения регистрируют с помощью датчика  $a_1'$ .

По количеству и частоте моментов пересечения, совпадающих по времени с действием разрешающего сигнала светофора, определяют условия проезда транспортными средствами перекрестка. Например, по сигналу в момент времени  $t_{10}$ , который в течение всего времени действия зеленого  $Z_1$  сигнала (до момента времени  $t_{11}$ ) является единственным, можно предположить, что движение через перекресток заблокировано. Такой вывод может служить основанием для выезда к этому перекрестку машины ГИБДД с целью выявления причины блокирования движения.

Аналогичным образом могут быть выявлены ситуации, касающиеся правил проезда пешеходного перехода, находящегося как на перекрестке, так и вне его. Кроме того, посредством таких датчиков можно определить число транспортных средств, приближающихся по полосам к перекрестку, для чего датчик следует разместить, например, за 100 м до перекрестка. Зная число транспортных средств, находящихся на полосах перед перекрестком, можно управлять светофором в интерактивном режиме, изменяя продолжительность работы каждого сигнала в соответствии с числом машин, находящихся на полосе.

## 2.2. Измерение количества транспортных средств на дорогах

Рассмотрим более подробно метод определения количества транспортных средств, движущихся по полосам проезжей части [20].

Устройство (датчик) содержит излучатель (антенну) 1 и приемник (антенну) 2, выполненные в виде проводника, например провода, и размещенные вдоль линии, пересекающей зону движения транспортного средства ниже поверхности 3 дороги 4, по которой движется транспортное средство 5 (рис. 2.14). Приемник 2 может быть разделен на части 6, 7, которые соединены между собой через линию задержки 8, размещаемую в зоне разделительной полосы (линии) 9.

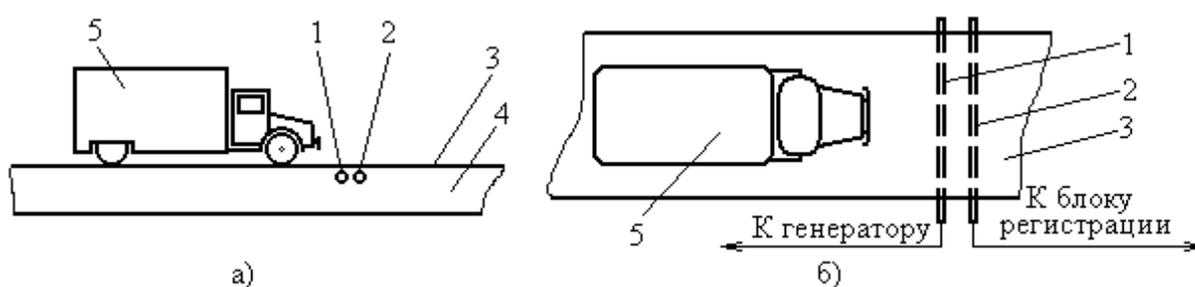


Рис. 2.14. Схема установки излучателя и приемника устройства:

а – вид сбоку; б – вид сверху

С генератора подают электрические сигналы (импульсы) на излучатель 1 и создают последним электромагнитное поле, которое излучается в окружающее пространство. Преобразуют электромагнитное поле в электрический сигнал путем помещения приемника 2 в указанное поле и наведения в приемнике индукционного напряжения, регистрируют электрический сигнал приемника. При этом создание поля и его преобразование в сигнал осуществляют ниже поверхности 3 дороги. Транспортное средство изменяет электромагнитное поле вследствие того, что при пересечении транспортным средством излучателя и приемника часть электромагнитной энергии отсасывается ферромагнитными и электропроводными частями транспортного средства. Преобразуют указанное изменение в электрический сигнал, который в приемнике уменьшается из-за отсоса части энергии, и затем регистрируют последний. Поскольку период  $\tau$  импульсов, поступающих от генератора (рис. 2.15, а), меньше времени  $T = t_2 - t_1$  нахождения транспортного средства над излучателем и приемником, то изме-

нение амплитуды происходит у нескольких импульсов, сформированных в приемнике за указанное время  $T$  (рис. 2.15, б).

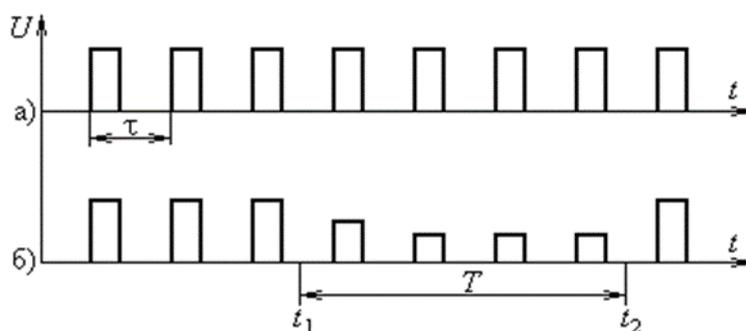


Рис. 2.15. Диаграммы сигналов, поступающих на излучатель (а) в блок регистрации (б)

Задерживают (например, с помощью линии задержки  $\delta$ ) перед регистрацией электрический сигнал, сформированный на части б приемника, относительно сигнала, сформированного на части 7 (рис. 2.16), при этом сигнал со второй полосы (на рисунках обозначены соответствующими цифрами, расположенными горизонтально) дороги поступает в блок регистрации через время задержки  $t_3 = t'_0 - t_0$  в момент времени  $t'_0$  относительно сигнала, поступающего в блок регистрации в момент времени  $t_0$  с первой полосы.

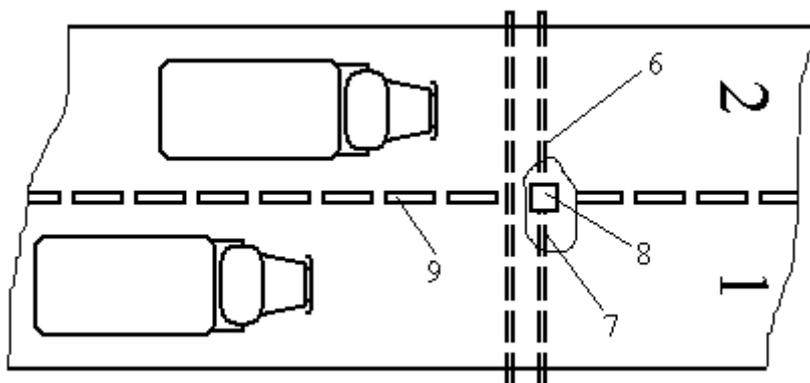


Рис. 2.16. Схема установки приемника устройства с линией задержки

В результате этого на каждый импульс излучателя (рис. 2.17, а, б) в блок регистрации поступает два импульса. При этом если на первой полосе дороги транспортное средство будет пересекать излучатель и приемник за время  $T$ , то сигнал, поступающий со второй полосы,

останется неизменным (см. рис. 2.17, б). Если транспортное средство будет пересекать излучатель и приемник на второй полосе, то произойдет изменение амплитуды задержанного сигнала, а сигнал с первой полосы останется прежним (см. рис. 2.17, в).

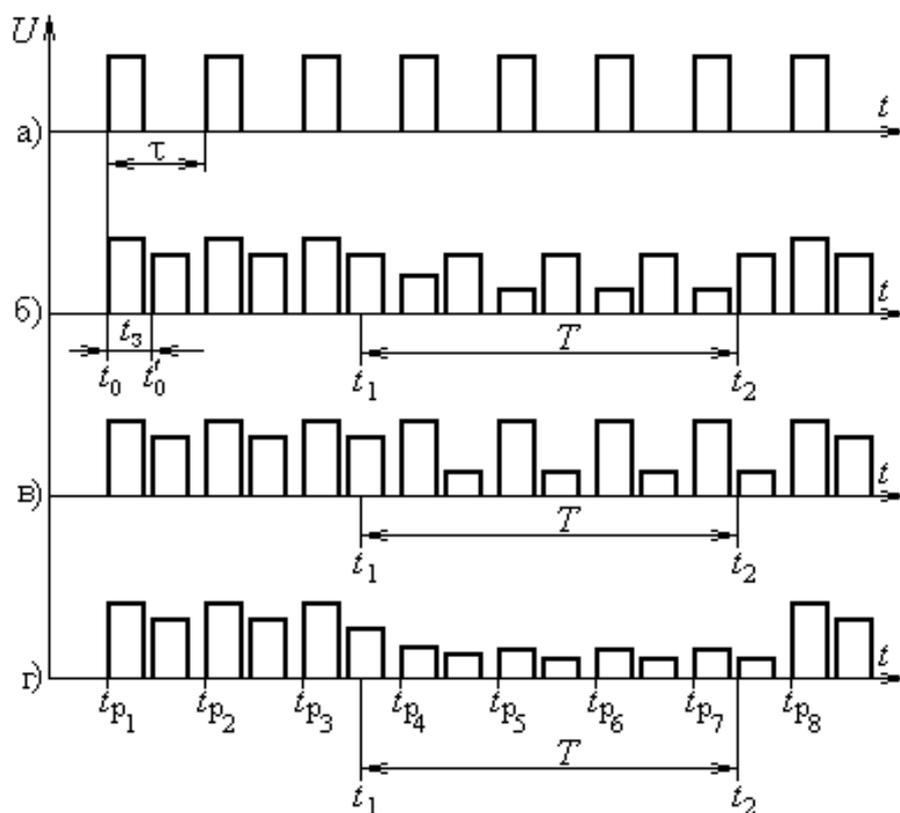


Рис. 2.17. Диаграммы сигналов: а – излучателя; б – приемника; в – с первой полосы; г – моменты регистрации

На рис. 2.17, г показана диаграмма сигналов в случае, когда транспортные средства пересекают излучатель и приемник одновременно на обеих полосах. Задержка сигнала дает возможность идентифицировать сигналы, поступающие в блок регистрации из разных мест, не изменяя при этом конструкции излучателя и конструкции приемника.

Начинают регистрацию электрического сигнала в моменты времени  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  и так далее создания электромагнитного поля и сопровождают измерением скорости изменения амплитуды сигнала (см. рис. 2.17, г). Синхронизация моментов создания поля и начала регистрации облегчает отделение полезного сигнала от возможной помехи. Измерение скорости изменения амплитуды сигнала в течение

времени от  $t_1$  до  $t_2$  позволяет судить о скорости движения транспортного средства. Чем выше его скорость, тем быстрее произойдет изменение амплитуды сигнала на указанном временном промежутке.

Преобразование электромагнитного поля в электрический сигнал проводят на разном расстоянии относительно источника поля (рис. 2.18). На второй полосе расстояние между излучателем и приемником меньше, чем на первой полосе, поэтому изначально амплитуда сигнала, поступающего со второй полосы, больше амплитуды сигнала, идущего с первой полосы. Однако сигнал с большей амплитудой, пройдя линию задержки, подвергнется частичному затуханию, и его амплитуда сравняется с амплитудой другого сигнала. Это упростит процедуру регистрации и распознавания сигналов, а также позволит использовать большее число линий задержки при многополосном движении транспортных средств (правая часть рис. 2.19).

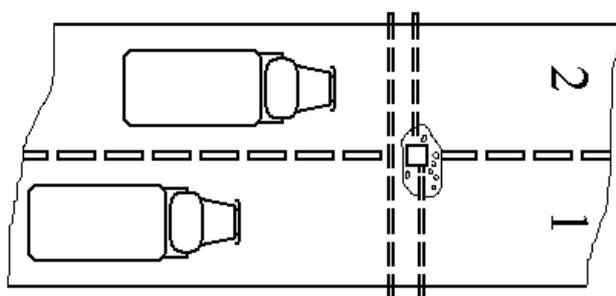


Рис. 2.18. Схема установки приемника на разном расстоянии от излучателя

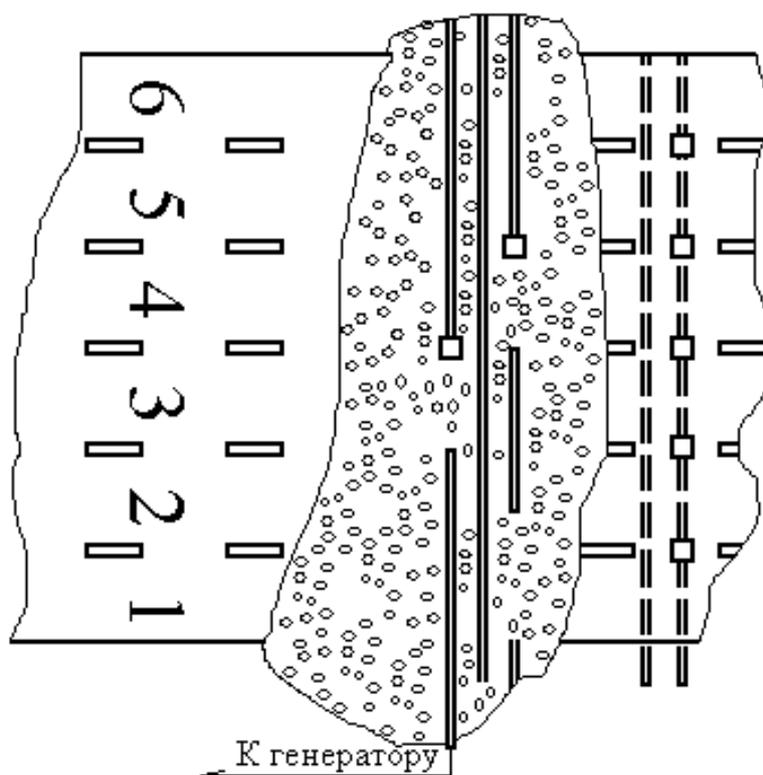


Рис. 2.19. Вариант размещения излучателя и приемника

Фиксируют прекращение изменения электрического сигнала в процессе его регистрации, в результате чего получают информацию об остановке транспортного средства, а при необходимости вычисляют и место остановки, что позволяет определить длину очереди на полосах у перекрестка.

Регистрацию осуществляют по обе стороны от источника электромагнитного поля, благодаря чему можно легко определить направление движения транспортного средства, например на участках дорог с реверсивным движением.

Поочередные прекращение и возобновление преобразования электромагнитного поля на одной стороне сдвигают на шаг по отношению к поочередным прекращению и возобновлению преобразования электромагнитного поля на другой стороне, что позволяет проводить идентификацию электрических сигналов при меньшем числе линий задержки (см. рис. 2.19). Поскольку, проходя по следующей полосе, транспортное средство пересекает зоны и части приемников, отличные от пересекаемых по предыдущей полосе, то по изменению амплитуд сигналов в каждом приемнике легко определить полосу, на которой транспортное средство пересекает излучатель и приемники. На рис. 2.20, *а* показаны изменения амплитуды сигналов, поступающих в блок регистрации с левого от излучателя приемника (см. рис. 2.19) в моменты времени:  $t_0$ , когда транспортное средство не пересекает излучатель и приемник ни на одной полосе;  $t_1, t_2, \dots, t_6$ , когда транспортное средство пересекает излучатель и приемники соответственно по 1, 2, ..., 6-й полосам. На рис. 2.20, *б* показаны изменения амплитуды сигналов, поступающих в блок регистрации с правого от излучателя приемника в соответствующие моменты времени.

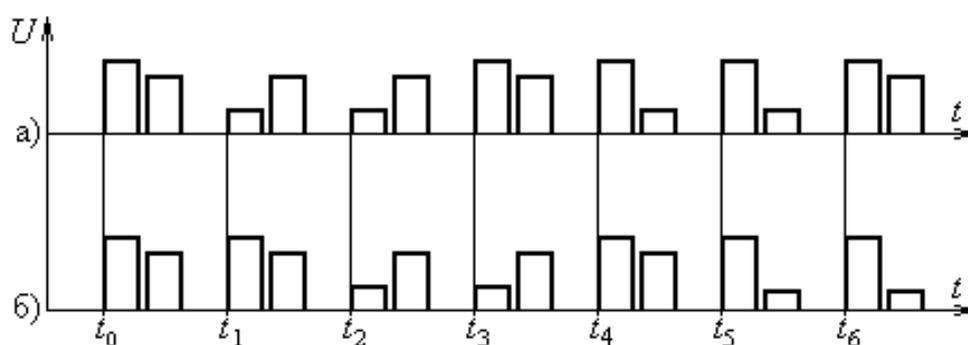


Рис. 2.20. Диаграммы изменения амплитуд сигналов:  
*а* – с левого приемника; *б* – с правого приемника

Как видно по рис. 2.20, легко идентифицируются сигналы, поступающие с шести полос, при этом используется только две линии задержки (по одной на каждый приемник), что позволяет уменьшить затухание сигнала и увеличить протяженность контролируемого участка. Однако при пересечении излучателя и приемников транспортными средствами одновременно по нескольким полосам идентификация сигналов затрудняется. В этом случае целесообразно применять несколько линий задержки (см. рис. 2.19, правая часть), в результате чего сигналы будут легко идентифицироваться.

На рис. 2.21 изображены сигналы, поступающие в блок регистрации с шести полос, в моменты:  $t_0$ , когда транспортные средства не пересекают излучатель и приемник ни по одной полосе;  $t_1$ , когда транспортные средства пересекают излучатель и приемник одновременно по 1, 3 и 5-й полосам.

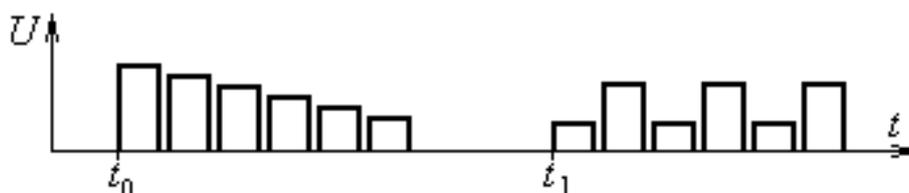


Рис. 2.21. Диаграммы сигналов от приемника с несколькими линиями задержки

При этом наблюдается изменение амплитуд соответствующих сигналов. Поочередные прекращение и возобновление преобразования электромагнитного поля получают путем погружения части приемника этого поля в дорогу (см. рис. 2.19) или вывода части приемника этого поля из зоны движения транспортного средства. Поочередные прекращение и возобновление преобразования электромагнитного поля в процессе регистрации электрического сигнала способствуют созданию на пути движения транспортного средства чувствительных и нечувствительных зон в ограниченных по площади габаритах (т. е. в случаях, когда источник нельзя вывести, например, за пределы полосы движения транспортного средства, а также в случаях, когда в нечувствительной зоне источник электромагнитного поля может создать помехи каким-либо другим устройствам).

При регистрации фиксируют форму огибающей амплитуды электрических сигналов, претерпевших изменение при пересечении

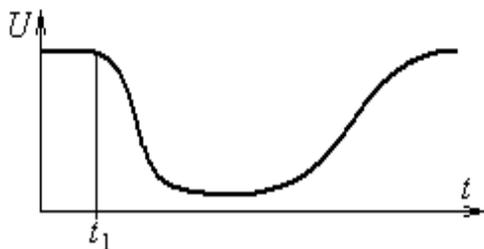


Рис. 2.22.

Огибающая амплитуд сигналов

транспортным средством излучателя и приемника (рис. 2.22). По рис. 2.22 видно, что транспортное средство двигалось со стороны излучателя. Наиболее близкое расположение к излучателю транспортного средства в момент времени  $t_1$  способствовало интенсивному отсосу энергии поля, а следовательно, быстрому изменению

амплитуды сигналов (крутой спад кривой на рис. 2.22). По мере удаления транспортного средства от излучателя влияние его на поле постепенно ослабевало, в результате чего произошло более медленное восстановление амплитуды сигналов до первоначального уровня. На рис. 2.22 это характеризуется участком с подъемом кривой. Таким образом, по форме огибающей амплитуды сигналов можно определить направление движения транспортного средства.

Применение рассмотренного устройства позволяет определить многие обозначенные ранее параметры транспортного потока, в том числе плотность потока, посредством регистрации частоты пересечения излучателя и приемника в определенный фиксированный временной промежуток. Это, в свою очередь, дает возможность вырабатывать управляющие воздействия, направленные на улучшение дорожного движения на магистралях. В работе [21] дан способ управления движением транспортных средств на перекрестке двух магистралей с различным приоритетом движения, основанный на измерении интенсивности транспортных потоков на входах перекрестков и подаче управляющих сигналов на светофорную сигнализацию. Этот способ исключает снижение пропускной способности магистрали с большим приоритетом для транспортных средств, движущихся по ней прямо, вследствие сохранения для них числа полос посредством запрета использования крайней левой полосы для поворота (разворота) налево при большой интенсивности движения, что позволяет предотвратить возникновение транспортной пробки.

Сущность изобретения заключается в том, что при большой интенсивности движения левый поворот на пересекаемую магистраль начинают после перекрестка, при этом число полос для движения в прямом направлении делают по крайней мере на единицу больше, чем до него, причем крайнюю правую полосу после перекрестка размещают правее крайней правой полосы до него. В результате транспортные средства с менее приоритетной магистрали, которым следовало бы проехать перекресток в прямом направлении, сначала поворачивают направо, на вторую магистраль, перестраиваются в левый ряд и останавливаются на границе в случае помехи справа. Затем покидают границу, перестраиваются по полосам второй магистрали вправо и, делая затем правый поворот, продолжают движение по первой магистрали, минуя таким образом перекресток.

Известно, что во время торможения и разгона автомобилей в атмосферный воздух выбрасывается значительно большее количество вредных веществ, чем в процессе движения. Кроме того, на разъезд очереди транспортных средств, которая образуется во время остановки на перекрестке, требуется, как правило, много времени, в результате чего пропускная способность магистрали на перекрестке снижается. Поэтому обеспечение безостановочного движения по второй магистрали способствует снижению вредных выбросов в атмосферу и улучшению условий проезда перекрестка.

Кроме того, отпадает необходимость в крайней левой полосе для поворота налево, в результате этого число полос для движения в прямом направлении не изменяется, что также способствует повышению пропускной способности магистрали, снижению вредных выбросов в атмосферу и улучшению условий проезда перекрестка.

Сторона 1 магистрали с меньшим приоритетом (первая магистраль) имеет для выезда на сторону 2 магистрали с бóльшим приоритетом (вторая магистраль) полосы 3 и 4, предназначенные для поворота направо (рис. 2.23). Сторона второй магистрали имеет полосу 5 для движения направо до перекрестка и прямо после него и полосы 6, 7 для движения прямо, а также границу, выполненную в виде имеющей меньший приоритет полосы 8, на которой в случае надобности осуществляют остановку транспортных средств 9 – 14.

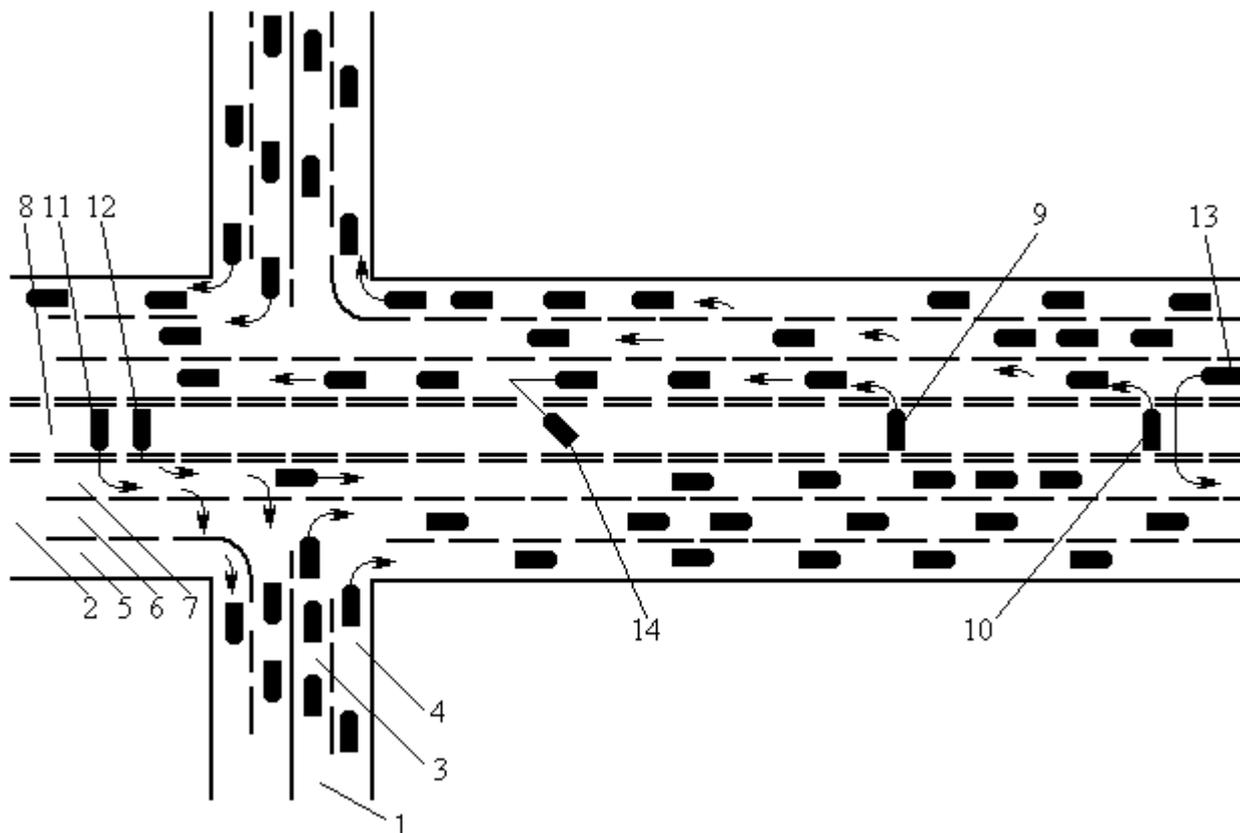


Рис. 2.23. Схема движения транспортных средств на перекрестке двух магистралей с различным приоритетом

Транспортные средства по полосе 4 стороны 1 первой магистрали, имеющей меньший приоритет, выезжают на полосу 5 второй магистрали с большим приоритетом, делая при этом правый поворот. При отсутствии помехи движению транспортные средства аналогичным образом по полосе 3 выезжают на полосу 6. Затем те транспортные средства, которым следовало бы проехать перекресток в прямом направлении или повернуть налево, перестраиваются на полосу 7 и останавливаются на имеющей меньший приоритет полосе 8 (границе), например транспортные средства 10 и 9. При отсутствии помехи справа эти транспортные средства покидают границу, причем транспортное средство 10 перестраивается по полосам второй магистрали вправо и, делая затем правый поворот, продолжает движение по первой магистрали, минуя таким образом перекресток, а транспортное средство 9 делает левый поворот и продолжает движение прямо. При этом указанные транспортные средства пересекают границы вне перекрестка в любом месте в зависимости от складывающейся дорожной

ситуации и вида маневра. Так, транспортное средство 9 может занять к перекрестку более близкое положение, чем транспортное средство 10, поскольку ему не требуется в дальнейшем перестраиваться по полосам второй магистрали.

Для повышения пропускной способности второй магистрали транспортные средства, движущиеся по ней, для поворота направо должны использовать только полосу 5. В то же время транспортным средствам 11, 12 после пересечения границы предоставляют возможность выезжать на первую магистраль с полос 5 и 6, чтобы уменьшить время их пребывания на второй магистрали, т. е. ускорить маневр. Поскольку эти транспортные средства движутся при отсутствии помехи, то выезд на первую магистраль с полосы 6 не препятствует движению по второй магистрали и не снижает ее пропускную способность. При этом одновременно не загружается дополнительно полоса 5, а по первой магистрали движение начинается по обеим полосам непосредственно от перекрестка, причем из-за отсутствия практически радиуса поворота со значительно большей скоростью, чем это было бы возможно при выполнении маневра только с полосы 5.

Полосу 8 пересекают с любой стороны и в любом месте, что позволяет, например транспортному средству 13, выполнить разворот, не доезжая до перекрестка. На полосе 8 осуществляют стоянку транспортных средств, благодаря чему движение после стоянки можно начинать по любой стороне 2 второй магистрали.

Транспортное средство 14 на границе 8 размещают под острым углом, образуемым продольной осью транспортного средства и направлением движения приближающихся к нему по второй магистрали других транспортных средств, что исключает боковое ослепление водителей последних.

### **2.3. Управление движением на магистралях типа МКАД**

В настоящее время в связи со стремительным увеличением числа транспортных средств возрастает интенсивность движения на магистралях, которая порой бывает столь велика, что при возникновении препятствия на какой-либо полосе практически мгновенно образуется автомобильная пробка, значительно снижающая пропускную способность дороги. При этом на ликвидацию пробки и восстановление нормального движения уходит достаточно много времени, в ре-

зультате чего водители транспортных средств вынуждены выстаивать в длинных очередях, ожидая разрешения возникшей ситуации. Подобные явления имеют место даже на таких многополосных магистралях, как Московская кольцевая автомобильная дорога (МКАД).

Проблема адаптивного управления движением на таких дорогах становится актуальной. Для решения этой проблемы необходимо, во-первых, иметь информацию о скорости и интенсивности движения на полосах дороги на всем ее протяжении в точках, расположенных на некотором расстоянии друг от друга. Во-вторых, нужно создать алгоритм работы интеллектуальной системы управления движением посредством светофоров. В-третьих, на дороге требуются светофоры, расположенные в указанных точках, для регулирования движения по полосам (рис. 2.24).

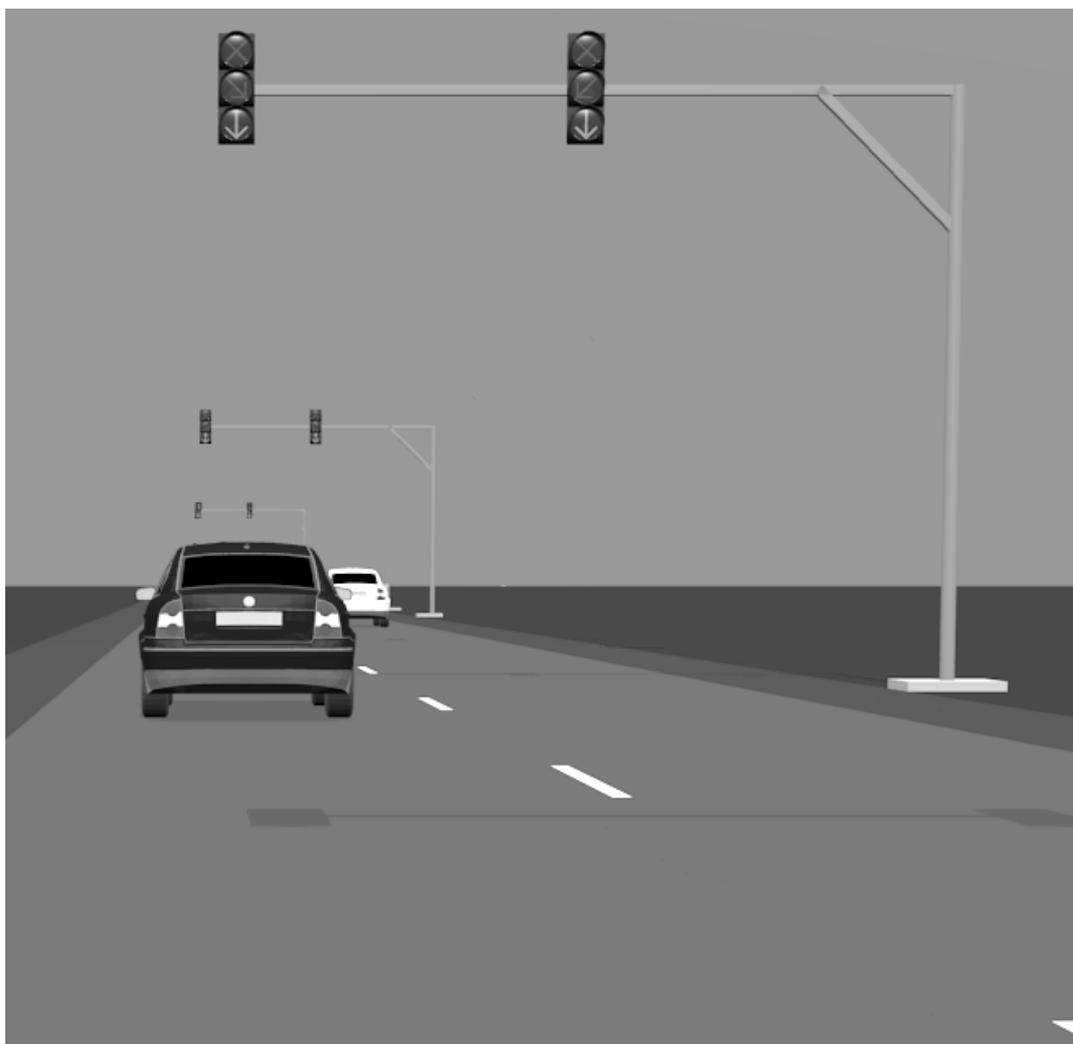


Рис. 2.24. Размещение светофоров и датчиков на магистрали

Поперек дороги, ниже ее поверхности, размещают два провода (датчик), один из которых – излучатель, а другой – приемник. Причем последний разделен линиями задержки на отрезки, число которых равно количеству полос для движения, а длина – ширине полосы. Электрические импульсы с генератора поступают на излучатель, который преобразует их в электромагнитное поле, принимаемое приемником, последний формирует из него электрический сигнал. Причем на один импульс генератора с приемника в регистрирующее устройство будет приходить количество импульсов, равное числу полос, и эти импульсы будут смещены относительно друг друга на время задержки. При пересечении транспортным средством приемника и излучателя происходит изменение электромагнитного поля вследствие того, что часть электромагнитной энергии отсасывается ферромагнитными и электропроводными частями транспортного средства. В результате этого в приемнике уменьшается амплитуда электрического импульса, соответствующего полосе, на которой произошло пересечение. Таким образом, можно определить скорость и интенсивность движения транспортных средств по полосам.

Рассмотрим часть дорожной магистрали, содержащей несколько участков:  $ef$ ,  $fg$ ,  $gh$  (рис. 2.25), на границах которых размещены светофоры, имеющие, например, линзу красного цвета с изображением двух перекрещивающихся отрезков, и упомянутые датчики.



Рис. 2.25. Схема части дорожной магистрали

В моменты времени  $t_2, t_4, t_6, t_8, t_{10}, t_{12}$  посредством датчика, расположенного на границе  $ef$ , сформируются импульсы от проезжающих по первой полосе машин 1 – 6, а в моменты времени  $t_1, t_3, t_5, t_7, t_9, t_{11}, t_{13}$  – от машин 1 – 7, проезжающих по второй полосе (рис. 2.26). Аналогичные импульсы спустя некоторое время, определяемое скоростью прохождения соответствующих участков, будут поступать с датчиков, установленных на границах  $f, g, h$ .

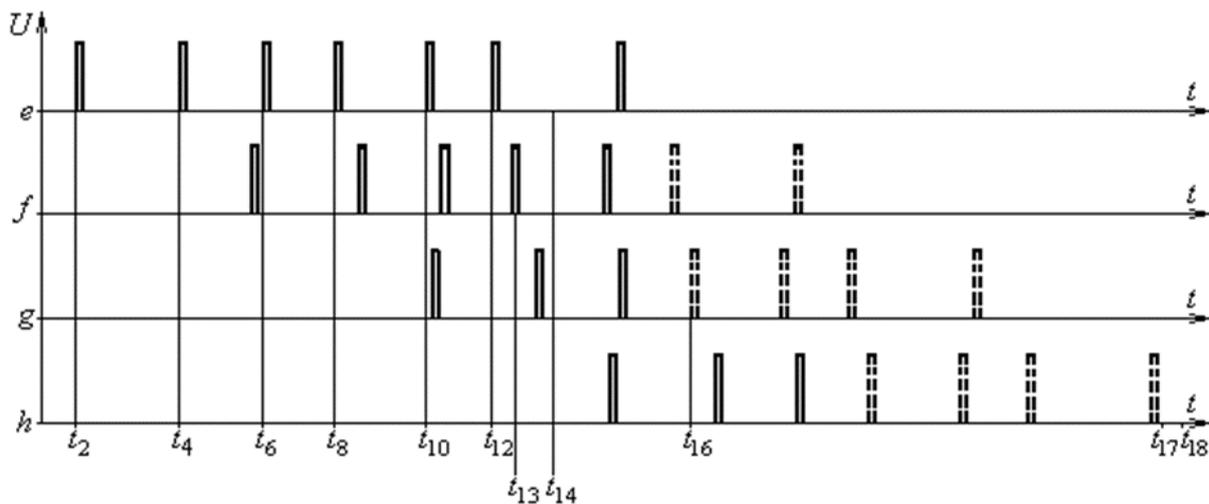


Рис. 2.26. Диаграмма импульсов с датчиков, расположенных на границах участков первой полосы магистрали

Предположим, что по первой полосе интенсивность потока равна  $\lambda_1$ , а по второй –  $\lambda_2$ . Требуется определить основные данные динамики движения транспортных средств для выработки автоматической системой управляющих воздействий.

Для математического описания динамики движения транспортных средств будем рассматривать в качестве канала системы массового обслуживания часть участка протяженностью  $l$ , равной так называемой динамической длине автомобиля, которая складывается из средней длины автомобилей и безопасной минимальной дистанции между ними.

При беспрепятственном движении потоков машин по полосам среднее время занятости канала

$$t_{з.к} = \frac{l}{\bar{v}}, \quad (2.1)$$

где  $t_{з.к}$  – среднее время занятости канала;  $\bar{v}$  – средняя скорость движения автомобилей в потоке.

Предположим, что в момент времени  $t_{14}$  произошла остановка автомобиля 4 на первой полосе и положение автомобилей на полосах при этом соответствует схеме, изображенной на рис. 2.25. В результате этого начнется блокирование по первой полосе движения автомобилей, следующих за автомобилем 4. Поэтому автомобили 1 – 3, движущиеся перед этим автомобилем, продолжат движение и вызовут после момента времени  $t_{14}$  формирование одного сигнала в датчике,

расположенном на границе  $gg$ , и трех импульсов в датчике на границе  $hh$  (см. рис. 2.26,  $g, h$ ). К ожидаемому моменту времени  $t_{16}$  появления автомобиля 4 на границе импульс в датчике на границе  $gg$  не сформируется, так же как и не будет импульса на границе  $hh$ . Не появятся в датчиках на указанных границах также импульсы от автомобилей 5, 6, 7. Все отсутствующие импульсы показаны на рис. 2.26 пунктиром. Автомобиль 5 пересечет границу  $ff$ , формируя импульс в устройстве (см. рис. 2.26,  $f$ ), и затем остановится.

По второй полосе движение будет продолжаться, например в момент времени  $t_{15}$  автомобиль 5 пересечет границу  $ff$  на этой полосе. После момента времени  $t_{14}$  период следования импульсов может несколько отличаться от соответствующих периодов до указанного момента, поскольку для оценки возникшей ситуации водители транспортных средств, движущиеся по второй полосе, могут снизить скорость движения в  $m$  раз на отрезке длиной  $l$ . Однако общий характер формирования импульсов после момента времени  $t_{14}$  не изменится (рис. 2.27).

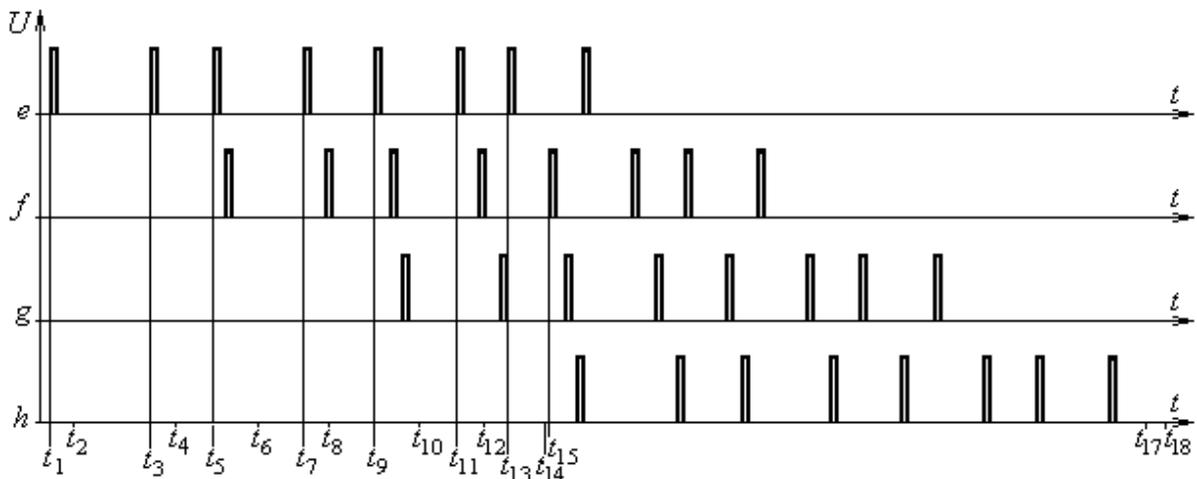


Рис. 2.27. Диаграмма импульсов с датчиков, расположенных на границах участков второй полосы магистрали

В интеллектуальной системе управления отсутствует информация о моменте времени  $t_{14}$  начала блокирования движения на первой полосе, но после проведения нескольких логических и вычислительных операций этот момент может быть определен. Так, отсутствие ожидаемых импульсов в течение времени  $t_{17} - t_{16}$  свидетельствует о том, что блокирование движения возникло на участке  $fg$ . Это видно

как по числу отсутствующих импульсов на рис. 2.26, *g* и 2.26, *h*, так и по различающемуся характеру диаграмм на рис. 2.26, *f* и 2.26, *g*.

Поскольку к моменту времени  $t_{16}$  импульс не сформировался (см. рис. 2.26, *g*), то начало блокирования движения приходится на период времени  $t_{16} - t_{13}$ . Сопоставление рис. 2.26, *f* и 2.26, *g* показывает, что из пересекших границу *ff* пяти машин границу *gg* миновало только три, поэтому две машины находятся на участке *fg*, причем ближе к границе *f*, так как машине *б* не хватило места на этом участке и она остановилась до границы *ff*. Сказанное подтверждается отсутствием шестого импульса на рис. 2.26, *f*.

Таким образом, момент начала блокирования движения определяется достаточно точно. Будем полагать, что система в момент времени  $t_{17}$  зафиксировала начало блокирования движения на первой полосе в момент времени  $t_{14}$ . Время, определяемое как разность  $t_{17}$  и  $t_{14}$ , будем называть временем выявления блокирования движения и обозначать  $t_{в.б}$ .

После начала блокирования движения по первой полосе ситуация на дороге наиболее вероятно будет развиваться, как показано на рис. 2.28.

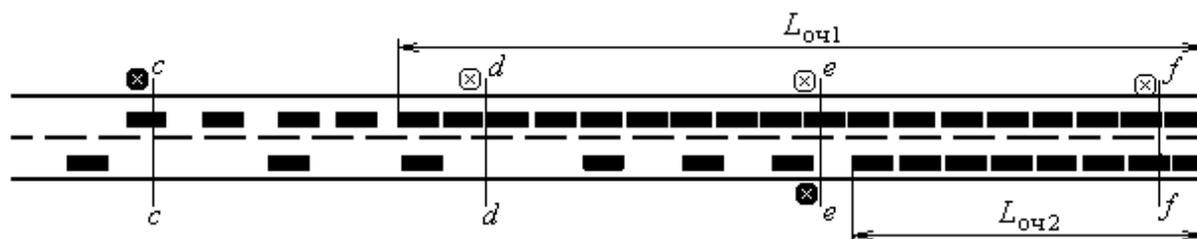


Рис. 2.28. Схема возникших очередей на первой и второй полосах магистрали

Поскольку на второй полосе на отрезке длиной  $l$  скорость движения будет снижена в  $m$  раз, то по аналогии с уравнением (2.1) можно записать

$$t_{з.к} = m \frac{l}{v} = \frac{1}{\mu}, \quad (2.2)$$

где  $\mu$  – интенсивность потока обслуживания канала.

Если интенсивность потока  $\lambda_2$  будет больше  $\mu$ , то на второй полосе перед отрезком длиной  $l$  будет накапливаться очередь, в которой число автомобилей

$$n = (\lambda_2 - \mu)t, \quad (2.3)$$

где  $n$  – число автомобилей в очереди, скопившееся за время  $t$ ;  $t$  – время образования очереди.

Длину  $L_{оч}$  этой очереди можно определить из следующего выражения:

$$L_{оч} = nl. \quad (2.4)$$

Водители, находящиеся на первой полосе перед возникшим препятствием, не могут объехать его по второй полосе, так как согласно Правилам дорожного движения при перестроении они должны пропускать автомобили, двигающиеся по второй полосе. В результате этого очередь на первой полосе (при близких значениях  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ ) будет расти быстрее (так как  $\mu = 0$  в этом случае), чем на второй полосе, и при этом не будет продвигаться вперед. Такая ситуация не сможет долго просуществовать, терпение водителей в очереди на первой полосе иссякнет, и в момент времени  $t_{18}$  эта очередь начнет вклиниваться на вторую полосу, останавливая при этом продвижение очереди на второй полосе. Так как через канал обслуживания могут проезжать машины только из одной очереди, то, очевидно, потоки становятся конфликтными. Если даже после проезда одной машины из очереди на второй полосе пропускать одну машину из очереди на первой полосе, то время занятости канала для машин, находящихся на второй полосе, увеличится более чем вдвое, так как перестроение из первой полосы во вторую дополнительно занимает определенный промежуток времени. Для устранения негативных последствий сложившейся ситуации необходимо обеспечить работу системы по определенному алгоритму.

Система управляет транспортными потоками путем переключения сигналов светофоров, вырабатывая для этого управляющие воздействия на основе информации, поступающей в нее от множества датчиков, размещенных на дорожной магистрали. Структурная схема системы управления показана на рис. 2.29. Она содержит датчики регистрации параметров движения транспортных средств, светофоры и микропроцессорный комплект.

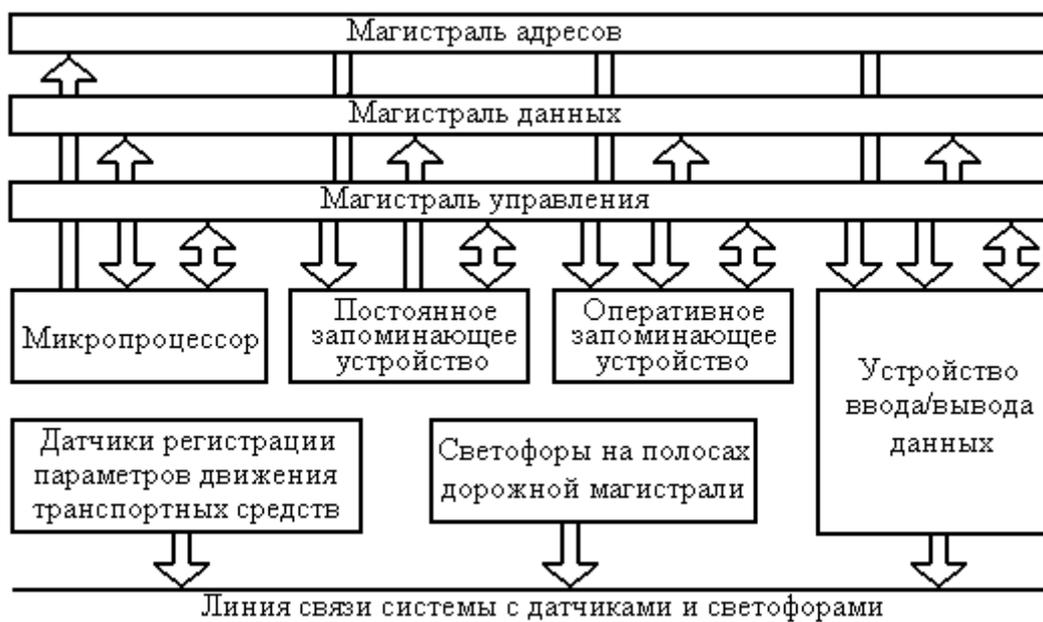


Рис. 2.29. Структурная схема интеллектуальной системы управления

При выключенном светофоре водителям транспортных средств разрешается въезд на участок магистрали, перед которым установлен данный светофор. Мигающий сигнал предупреждает водителей о том, что впереди на данной полосе имеются участки, движение по которым запрещено, поэтому им следует покинуть эту полосу движения. Въезд на указанную полосу транспортных средств с других полос запрещен. Включенный постоянно красный сигнал светофора запрещает въезд на участок, перед которым он установлен.

После определения времени блокирования движения  $t_{в.б}$  нужно подсчитать по выражению (2.3) количество машин, скопившихся на обеих полосах за время  $t = t_{в.б}$ , а затем по формуле (2.4) определить длину очередей на первой и второй полосах (см. рис. 2.28). Предположим, очередь на первой полосе заканчивается на участке  $cd$ , а очередь на второй полосе – на участке  $ef$ . Тогда на первой полосе на границах  $dd$ ,  $ee$ ,  $ff$  система включает мигающий красный сигнал (знак  $\otimes$ ), а на границе  $cc$  – постоянно горящий красный свет (знак  $\otimes$ ). Кроме того, мигающий красный сигнал включается на первой полосе на границах  $aa$ ,  $bb$  (рис. 2.30). Одновременно также постоянно горящий красный свет система включает на второй полосе, на границе  $ee$ . В результате выполненных управляющих воздействий сначала разъедется очередь на второй полосе, а затем – на первой. При этом общее время разъезда очередей

$$t_{p.оч} = (n_1 - n_2)m \frac{l}{v}, \quad (2.5)$$

где  $t_{p.оч}$  – время разъезда очереди;  $n_1, n_2$  – соответственно число машин в очередях на первой и второй полосах.

По истечении  $t_{p.оч}$  первая полоса полностью очистится на расстоянии от  $f$  до  $c$  (см. рис. 2.28), а вторая – от  $f$  до  $e$  (при этом на второй полосе за указанное время может образоваться новая очередь, простирающаяся, например, от  $e$  до  $d$ ).

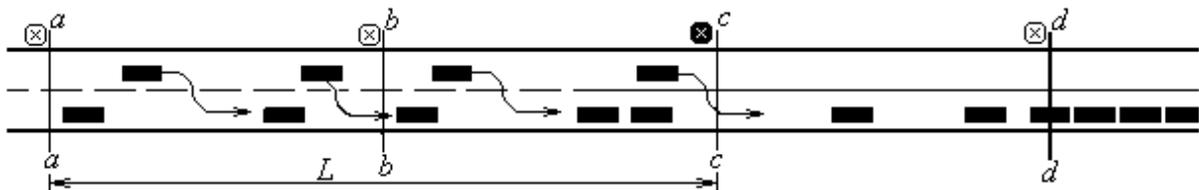


Рис. 2.30. Схема движения автомобилей в момент перестроения на свободную полосу

Система выключает красный свет на второй полосе, на границе  $ee$ , разрешая тем самым движение только по этой полосе. Двигущиеся по первой полосе автомобили на расстоянии от  $a$  до  $c$  перестраиваются на вторую полосу движения, сливаясь в единый поток интенсивностью  $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2$  (рис. 2.31).

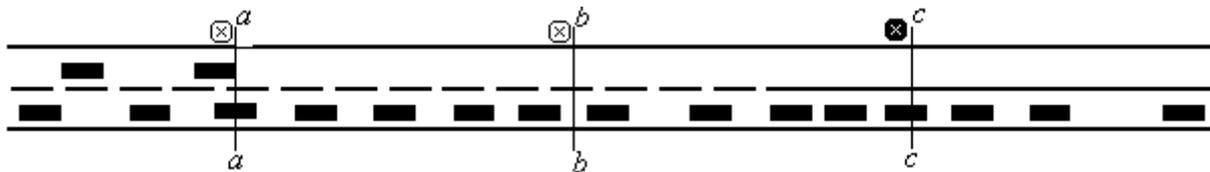


Рис. 2.31. Схема движения автомобилей после перестроения на свободную полосу

Для обеспечения беспрепятственного слияния двух указанных потоков протяженность зоны перестроения автомобилей должна быть такой, чтобы на протяжении этой зоны было достаточно промежутков между автомобилями, движущимися по второй полосе.

Совокупность указанных промежутков можно рассматривать как число  $n$  каналов обслуживания многоканальной системы массового обслуживания, обладающих одинаковой производительностью, которая характеризуется параметром  $\eta$ . Будем считать, что время об-

служивания требования подчиняется показательному закону распределения, а его среднее значение

$$\bar{t}_{\text{обс}} = \frac{1}{\eta} = \bar{t}_{\text{пер}}, \quad (2.6)$$

где  $\bar{t}_{\text{обс}}$  – среднее время перестроения из первой полосы движения во вторую.

Для вычисления количества обслуживающих каналов следует выделить некоторый участок известной длины  $L$  (расстояние между светофорами) на второй полосе, например от  $a$  до  $c$  (см. рис. 2.30), а затем подсчитать количество автомобилей на этом участке:

$$n = \frac{L}{\bar{l}} - \frac{L\lambda_2}{\bar{v}_2} = L \left( \frac{1}{\bar{l}} - \frac{\lambda_2}{\bar{v}_2} \right), \quad (2.7)$$

где  $L$  – протяженность выделенного участка;  $\bar{l}$  – средняя динамическая длина автомобиля на выделенном участке;  $\bar{v}_2$  – средняя скорость движения автомобилей на выделенном участке второй полосы.

После этого определяется количество автомобилей в группе на участке первой полосы, расположенном параллельно выделенному участку на второй полосе:

$$m = \frac{L\lambda_1}{\bar{v}_1}, \quad (2.8)$$

где  $\bar{v}_1$  – средняя скорость движения автомобилей на параллельном участке первой полосы.

Плотность поступления групп автомобилей (групп требований на обслуживание) можно вычислить следующим образом:

$$\sigma \approx \frac{\bar{v}_1}{L} + \frac{1}{\bar{t}_{\text{пер}}}, \quad (2.9)$$

где  $\sigma$  – плотность поступления групп автомобилей на обслуживание.

Вероятности возможных состояний системы можно найти, используя методы теории массового обслуживания, прикладные вопросы которой рассмотрены, например, в работе [22].

Таким образом, при блокировании движения на одной из полос интеллектуальная система управления может автоматически вычислить по приведенным формулам параметры движения транспортных средств и выработать управляющие воздействия, благодаря которым перекрывается движение на одной из полос и определяется протяженность участка перестроения автомобилей на свободную полосу.

Если полученные значения удовлетворяют параметрам, заложенным в базу данных этой системы, то указанные управляющие воздействия не изменяются. В противном случае увеличивается протяженность участка перестроения на свободную полосу (для повышения числа каналов обслуживания на последней) или участок перестроения удаляется от места блокирования движения (для поиска на свободной полосе зоны с меньшей интенсивностью движения).

Указанные управляющие воздействия должны сохраняться до тех пор, пока ситуация, из-за которой произошло блокирование движения на полосе, не изменится в лучшую сторону. Это изменение система может определить по увеличению скорости движения по второй полосе вследствие ликвидации препятствия на первой полосе, поскольку у водителей отпадет необходимость снижать скорость в этом случае и оценивать ситуацию. Для проверки изменившейся ситуации, т. е. для проверки отсутствия препятствия движению по первой полосе, система на короткий промежуток времени выключает светофоры на границах  $aa - ff$  первой полосы, в результате чего на ней возникнет движение некоторой пробной группы автомобилей, прохождение которых отслеживается системой на этих участках. Если эти автомобили беспрепятственно пройдут по первой полосе, то можно сделать логический вывод о возобновлении движения по ней и снять введенные ранее ограничения. Если движение пробной группы автомобилей застопорится, то необходимо повторить описанные выше управляющие воздействия для пропуска этих автомобилей по второй полосе и возобновления запрета на движение по первой полосе.

Таким образом, предложена новая технология автоматического управления транспортными потоками на магистралях, позволяющая оперативно ликвидировать случайно возникающие в процессе движения автомобильные пробки путем предотвращения возникновения конфликтных потоков. В результате управляющих воздействий, вырабатываемых системой, автомобили, движущиеся по полосе, движение на которой впереди заблокировано, заранее переводятся на другие свободные полосы. Из-за этого пропускная способность дороги хотя и снижается, но остается достаточной для продолжения движения по ней с удовлетворительной скоростью в местах возникновения автомобильных пробок.

Аналогичные действия могут быть выполнены и для большего числа полос, при этом при необходимости возможна организация системой движения по встречной (или резервной полосе). На МКАД разделительная полоса выполнена в виде преграды (стены), которая на протяжении большого расстояния не имеет разрывов. Подобные разделительные преграды большой протяженности можно видеть и на других магистралях, что не дает никакой возможности в случае необходимости организовать реверсивное движение по встречной полосе. В результате очень часто можно наблюдать картину, когда в одном направлении движение большого числа транспортных средств или происходит с малой скоростью, или вовсе заблокировано, а по встречным полосам поток транспортных средств сильно разрежен. Для создания возможности организации движения по встречной полосе необходимо в разделительной преграде выполнять откатные ворота (рис. 2.32).

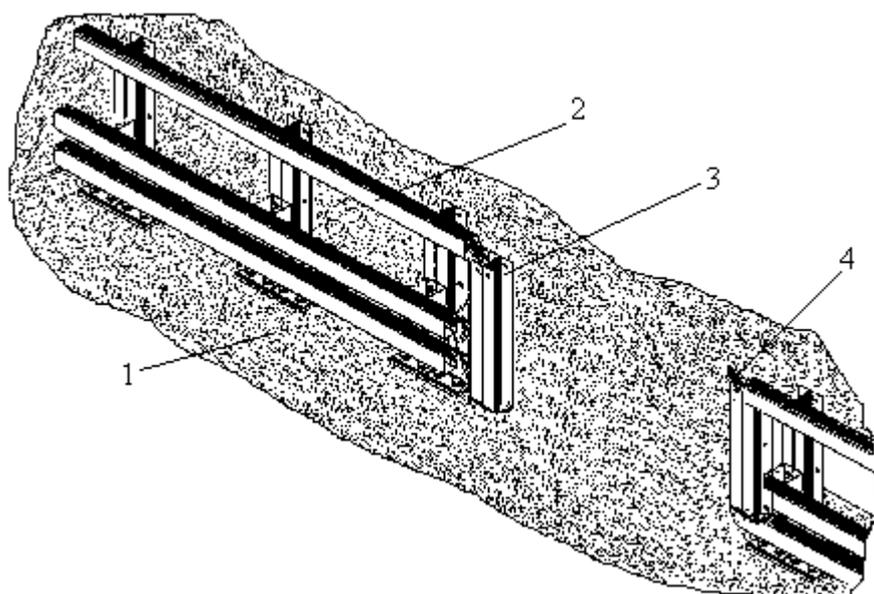


Рис. 2.32. Разделительное ограждение с откатными воротами

На дорожном полотне 1 на границе, разделяющей полосы встречного движения, установлено ограждение 2, имеющее в определенных местах откатные ворота с левой 3 и правой 4 створками. При возникновении (или угрозе возникновения) транспортной пробки из транспортных средств, движущихся в одном направлении, сначала посредством реверсивных светофоров организуют реверс на полосе

встречного движения, примыкающей к ограждению 2, затем с помощью дорожной службы или дистанционно открывают створки 3, 4 ворот и включают светофор, разрешающий водителям, находящимся в пробке, переезд на организованную реверсивную полосу и движение по ней.

В результате проезжая часть, на которой образовалась транспортная пробка, дополнительно снабжается полосой для движения в том же направлении. После того как транспортные средства по реверсивной полосе минуют неблагоприятный для движения участок дороги, их следует вернуть на прежние полосы движения. Для этого открывают ближайšie к возможному месту обратного переезда ворота и с помощью сигнала светофора направляют транспортные средства на прежние полосы движения. При этом ближняя к ограждению полоса должна быть перекрыта, чтобы не мешать въезду указанных транспортных средств. После того как пробка будет ликвидирована, восстанавливают движение на реверсивной полосе в прежнем направлении.

#### **2.4. Уменьшение времени проезда железнодорожных переездов**

Для повышения пропускной способности железнодорожных переездов необходимо, во-первых, точно определять момент прохождения последним вагоном поезда переезда, чтобы выработать сигнал управления на возобновление движения нерельсовых транспортных средств через переезд. При этом с момента закрывания переезда до момента проезда по нему поезда должно проходить минимально возможное и достаточно необходимое для безопасности движения время, т. е. перед приближающимся тихоходным грузовым поездом с закрыванием переезда можно повременить, а перед скоростным поездом закрывание должно происходить немедленно. Для выполнения таких управленческих операций необходимо измерять скорость приближающегося к переезду поезда, чтобы правильно рассчитать момент закрывания переезда для нерельсового транспорта.

Во-вторых, шлагбаум должен открываться быстро. Точно так же быстро должен убираться барьер на дороге (если такой присутствует) для пропуска транспортных средств.

Новый способ автоматического управления движением на железнодорожных переездах [23] может быть использован на перегонах железных дорог для определения состояния их занятости.

Железнодорожный переезд 1 пересекает рельсовый путь 2 с участками 3, 4 соответственно приближения к переезду и за ним, в начале которых размещены датчики 5, 6 прохода колеса (рис. 2.33).

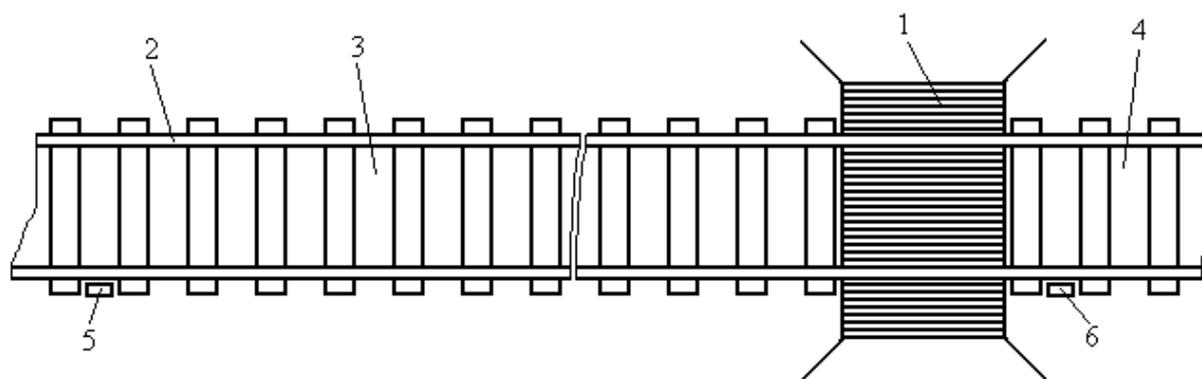


Рис. 2.33. Схема железнодорожного переезда

Вступление подвижного состава на участок 3 приближения к переезду 1 вызывает срабатывание датчика 5 прохода колеса после перемещения над ним колесной пары. В процессе следования состава на выходе датчика 5 появляются пачки из двух импульсов, возникающих, например, от колес задней двухосной тележки предыдущего вагона в моменты времени  $t_1, t_2$  и передней тележки последующего вагона в моменты времени  $t_3, t_4$  (рис. 2.34, а).

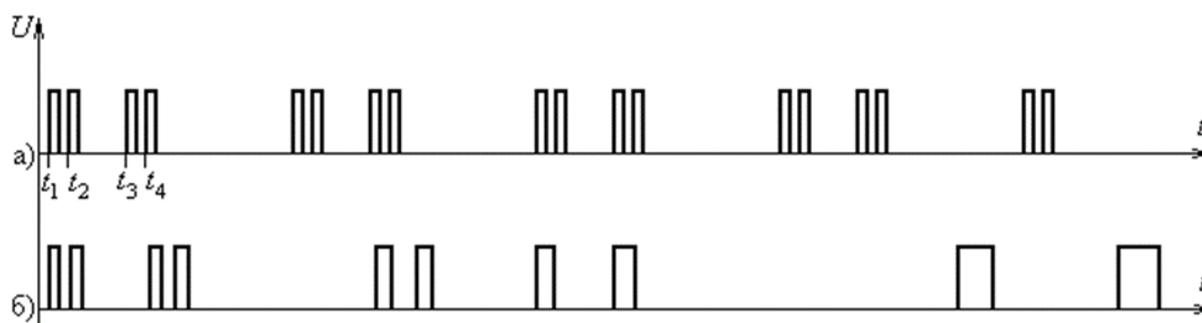


Рис. 2.34. Диаграмма работы устройства счета осей колесных пар поезда: а — при обычном режиме движения поезда; б — в режиме торможения поезда

Аналогичная последовательность импульсов появляется и на выходе датчика б при следовании через него соответствующих ваго-

нов. При этом отношения временных промежутков между пачками импульсов приблизительно одинаковые в штатном режиме движения, когда скорость изменяется незначительно. Кроме того, при определенном методе формирования импульсов датчика их длительность будет относительно постоянной. В случае экстренного торможения время между пачками импульсов, а также их длительность увеличиваются (рис. 2.34, б).

Если подвижной состав движется через переезд в штатном режиме, то при разности содержимого накопителей импульсов датчиков 5 и 6, например счетчиков, не превышающей двух, выдается команда на открывание шлагбаума. При этом положение хвостовой части состава относительно датчика 6 может быть следующим.

Предположим, что на участок приближения к переезду входит состав с общим числом осей колесных пар 240, при этом датчик 5 и обслуживающая его аппаратура сработали без сбоев, в результате чего было подсчитано ровно 240 импульсов. Предположим, что обслуживающая датчик 6 аппаратура так же точно производит счет проходящих над датчиком колесных пар. Тогда при поступлении 238 импульсов разность между подсчитанными количествами колесных пар не будет превосходить двух, что сформирует команду на открывание шлагбаума. Поскольку команда подается на 238-м импульсе, соответствующем прохождению датчика 6 последним колесом передней двухосной тележки последнего вагона, то приблизительно  $\frac{3}{4}$  вагона окажутся сзади этого датчика. Однако переезд можно считать свободным, так как оставшиеся за датчиком  $\frac{3}{4}$  вагона благополучно минуют датчик.

Наибольшее выступание состава сзади датчика 6 будет в случае, когда подсчет в силу ряда причин окажется неточным, причем на входе участка приближения к переезду будет подсчитано 239 импульсов, а аппаратура датчика 6 будет вести подсчет количества на единицу больше фактического значения. Тогда уже на 236-й оси показания будут составлять 237 импульсов, а разность между количествами будет равна двум, что также вызовет команду на открывание шлагбаума. При этом сзади датчика окажется последний вагон, отодвинутый на расстояние, равное промежутку между тележками. Однако переезд также можно считать свободным, так как в штатном режиме движения последний вагон проследует за составом.

В случае экстренного торможения (или служебного с остановкой) последний вагон может оказаться перед датчиком б, команда на открывание шлагбаума не будет выдана, так как в этом случае меняются условия подачи команды: разность между количествами импульсов должна быть равна нулю. Переезд будет считаться занятым. При возобновлении движения и проходе передней тележки последнего вагона над датчиком б указанные количества совпадут, будет подана команда на открывание шлагбаума, а сзади датчика б в этот момент окажется  $\frac{3}{4}$  последнего вагона, как и в первом случае, когда подсчет производился без ошибок.

Аналогичным образом переезд будет считаться занятым, если по какой-то причине на участке приближения к переезду отцепится хвостовой вагон. При этом произойдет обрыв соединительного рукава между последним и предпоследним вагонами, что вызовет экстренное торможение состава и, следовательно, изменение условий подачи команды на открывание шлагбаума, т. е. уменьшение разности с двух до нуля.

Во всех возможных случаях подсчета импульсов до момента подачи команды на открывание нельзя определить исправность работы датчиков и аппаратуры с точки зрения их точности. Поэтому после принятия решения о незанятости переезда и подачи команды на открывание шлагбаума продолжают подсчет импульсов аппаратурой датчика б. Если расхождение в количествах импульсов будет часто повторяться, то необходимо выявить и устранить причины неправильного счета.

Если количество осей, подсчитанное датчиком 5, характерно для грузового поезда, например 80 осей, время до начала закрывания переезда изменяют обратно пропорционально значению измеренной скорости. Аналогичным образом поступают и при малом числе осей, свойственном, например, дрезине или тепловозу.

Таким образом, измерение скорости движения подвижного состава одновременно со счетом осей колесных пар и принятие решения о незанятости переезда при отсутствии снижения скорости, если разность в количествах счета осей на участке приближения к переезду и за ним не превышает двух, позволяет в автоматическом режиме выявить незанятость переезда даже при сбое аппаратуры в процессе процедуры подсчета. При этом не снижается безопасность движения

железнодорожного и автомобильного транспорта. Кроме того, принятие решения о незанятости переезда при значительном снижении скорости, характерном для экстренного торможения, и разности в количествах счета осей, равной нулю, позволяет ужесточить контроль положения последнего вагона поезда и в автоматическом режиме выявить незапятность переезда в нештатной ситуации.

Изменение времени до начала закрывания переезда обратно пропорционально значению измеренной скорости при количестве осей, характерном для грузового подвижного состава, а также меньшем шести, и вступлении подвижного состава на участок приближения к переезду позволяет оптимально рассчитать момент закрывания переезда, увеличивая пропускную способность последнего путем уменьшения времени закрытого состояния переезда. Грузовой подвижной состав не может быстро изменить скорость на участке приближения к переезду, поэтому время его подхода к переезду можно спрогнозировать относительно точно. Аналогичным образом происходит движение подвижной единицы с малым числом осей, например дрезины или небольшого тепловоза. Динамика пассажирского (особенно скорого) поезда значительно выше грузового, поэтому если не ограничивать скоростной режим пассажирского состава на указанном участке, то сложно точно спрогнозировать время прохождения им данного участка, вследствие чего целесообразно закрывать переезд на время, которое необходимо для безопасного следования состава через железнодорожный переезд.

В настоящее время для исключения несанкционированного проезда транспортными средствами железнодорожный переезд снабжают механическим препятствием в виде поднимающегося и опускающегося барьера. Такая конструкция имеет ряд существенных недостатков:

- относительно большое энергопотребление, связанное с подниманием массивной крышки и последующим ее опусканием;
- значительное время, необходимое для возобновления движения через переезд после разрешающего сигнала;
- трудоемкость в эксплуатации, вызванная попаданием мусора (особенно в ветреную погоду) и снега в нишу под крышку, в результате чего требуется периодическое освобождение ниши от указанного мусора.

Для исключения этих недостатков и повышения безопасности движения был разработан новый способ ограждения железнодорожного переезда [24].

Искусственный участок дорожного полотна содержит раму 1 с неподвижной осью 2, на которой установлена петля 3, через пружину 4 связанная с рамой и закрепленная на одном конце основания 5, другой конец которого имеет возможность взаимодействия с выступом 6 рамы и кулачком 7 приводного вала 8, имеющего возможность взаимодействия с упором 9 рамы. На кулачке может быть закреплен заградительный элемент 10 с цепью 11, а за настилом 12 переезда может быть установлен карликовый светофор 13, луч 14 которого проходит над настилом на высоте около 1 м (рис. 2.35, 2.36).

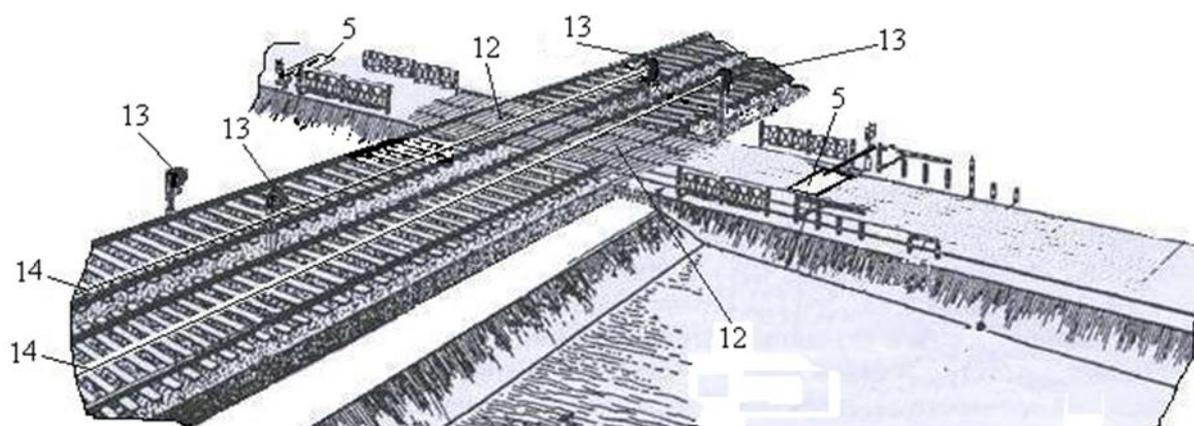


Рис. 2.35. Вид железнодорожного переезда

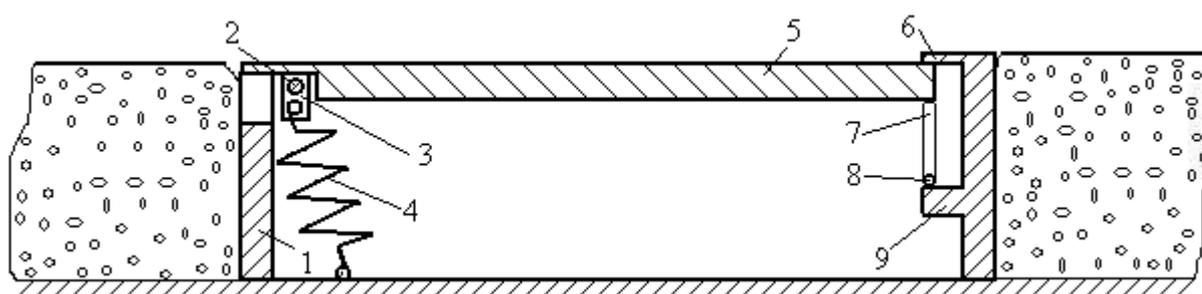


Рис. 2.36. Разрез искусственного участка дорожного полотна в режиме проезда транспортных средств

Установка светофора около железнодорожного пути за переездом по ходу следования поезда и пропускание светового луча сигнального огня над настилом переезда на высоте около 1 м повышает безопасность. Это объясняется тем, что в случае нахождения на

настиле застрявшего транспортного средства или свалившегося груза световой луч будет закрыт этими объектами, в результате чего машинист уже издалека не увидит сигнала светофора, выявляя тем самым неблагоприятную ситуацию на переезде. Такой светофор можно устанавливать совместно с заградительным светофором, который в настоящее время размещается перед переездом, или вместо него, что представляется более эффективным, особенно на необслуживаемых железнодорожных переездах.

Искусственный участок дорожного полотна устанавливают за шлагбаумом (см. рис. 2.35). В исходном состоянии, когда переезд открыт, кулачок 7 находится в крайнем левом положении под правым концом основания 5, которое удерживается в горизонтальном положении и поджатым к выступу 6 рамы 1 посредством упругой силы пружины 4, действующей на петлю 3 (см. рис. 2.36). Между кулачком 7 и основанием 5 имеется небольшой зазор. При наезде транспортного средства на основание 5 сила веса через петлю 3 передается на ось 2, а также через кулачок 7 (после выбирания зазора) и вал 8 – на упор 9. В результате основание 5 остается в горизонтальном положении, обеспечивая движение транспортных средств. Поскольку основание 5 практически всегда находится в закрытом состоянии, то туда не попадают мусор и атмосферные осадки, что улучшает условия эксплуатации.

Для закрывания переезда опускают шлагбаум и посредством приводного вала 8 поворачивают кулачок 7 по часовой стрелке в правое положение (рис. 2.37).

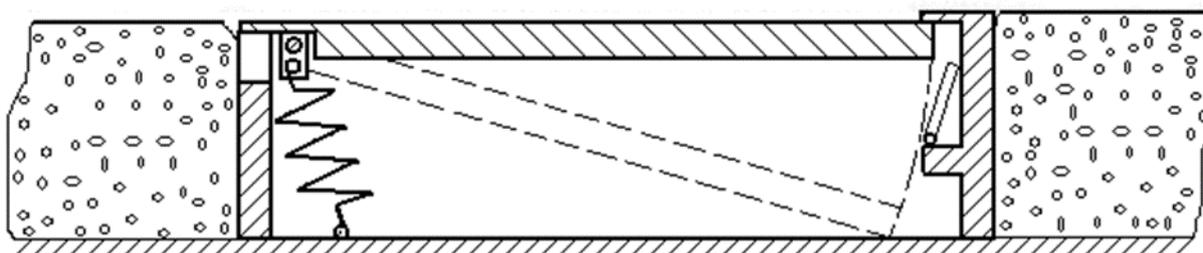


Рис. 2.37. Разрез искусственного участка дорожного полотна в режиме ловушки

Поскольку между кулачком и основанием имеется зазор, то усилие для поворота вала требуется небольшое, однако при нахождении в этот момент на основании транспортного средства указанный зазор

будет отсутствовать, что не позволит из-за большой силы трения между кулачком и основанием повернуть вал 8. Это, в свою очередь, может служить сигналом о неблагоприятной обстановке на переезде. Если кулачок повернулся в правое положение, то основание 5 будет удерживаться в горизонтальном положении на одной опоре (оси 2) за счет упругой силы пружины 4. Такое положение основания соответствует режиму ловушки. Затем включают светофор 13 с разрешающим сигнальным огнем. После проследования поезда поворачивают вал 8 с кулачком 7 в исходное крайнее левое положение и возобновляют движение транспортных средств через переезд.

В случае несанкционированного наезда транспортным средством на основание 5 в режиме ловушки оно, преодолевая усилие пружины 4, упадет вниз, создав непреодолимое препятствие для движения транспортного средства, колесо которого провалится. При срабатывании ловушки переключают разрешающий сигнал на светофоре 13 на запрещающий.

Если после установления режима ловушки и включения разрешающего сигнала светофора 13 на настиле 12 окажется какой-то объект, например транспортное средство или свалившийся груз, то луч 14 будет прерван этим объектом. В результате машинист не увидит огня светофора, что будет служить сигналом для торможения поезда. Для лучшего контроля зоны переезда устанавливают светофор 13 с обеих сторон железнодорожного пути.

Чтобы огни светофора 13 машинист не спутал с другими, работу указанного светофора ведут в режиме переездной сигнализации (мигающий режим) в течение времени ее функционирования.

Для лучшей визуализации режима ловушки и исключения проезда через ловушку на большой скорости легких транспортных средств, например мотоциклов, применяют заградительный элемент 10, который при разрешенном движении транспортных средств находится в горизонтальном положении на основании 5 (рис. 2.38).

При переходе в режим ловушки заградительный элемент 10 поднимают над основанием 5 заодно с поворотом вала 8 по часовой стрелке, создавая легкий заградительный барьер (рис. 2.39).

Укладывание заградительного барьера на полотно позволяет поднимать его на небольшую высоту, что улучшает быстродействие. Кроме того, снижается расход энергии.

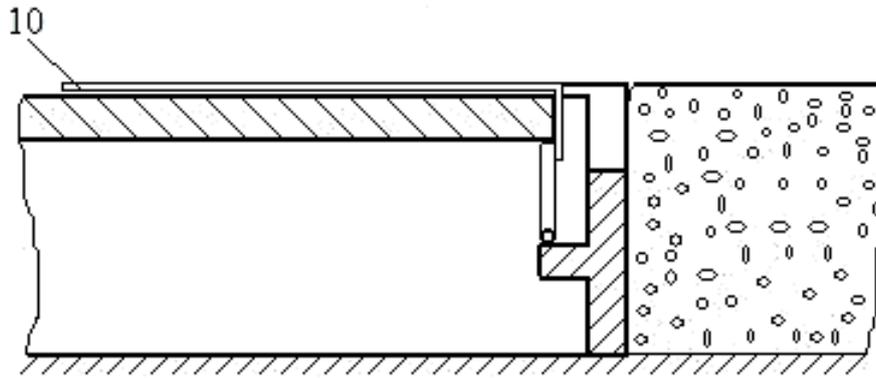


Рис. 2.38. Разрез искусственного участка дорожного полотна с легким заградительным барьером в режиме проезда транспортных средств

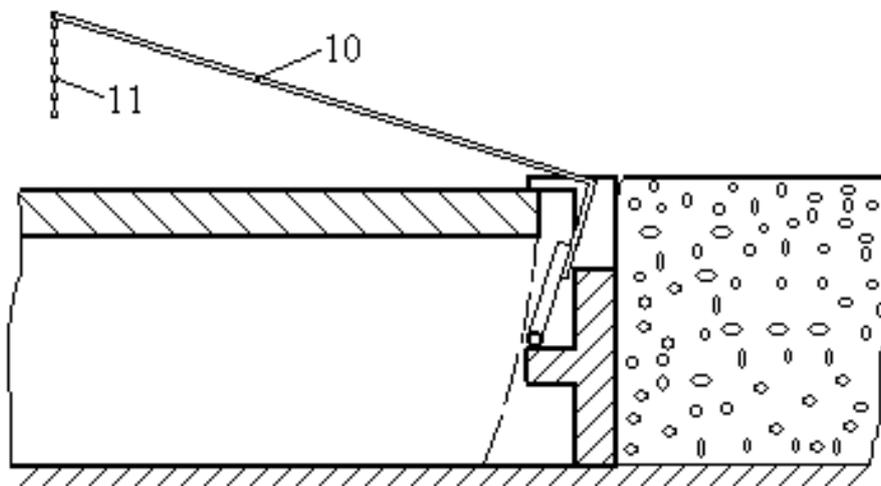


Рис. 2.39. Разрез искусственного участка дорожного полотна с легким заградительным барьером

Формирование препятствия и в виде легкого заградительного барьера повышает защитные функции ловушки, не позволяя, например, проехать на высокой скорости через ловушку мотоциклисту или выйти на переезд нетрезвому человеку. При этом также улучшаются условия работы водителей, которые более четко видят, что защитная функция включена и выезд на полотно запрещен. Все это улучшает условия эксплуатации и повышает безопасность.

Для повышения пропускной способности переезда необходимо также быстро открывать и шлагбаум. Быстродействующий привод шлагбаума, описанный в работе [25], содержит редуктор, одна часть которого размещена на платформе 1, установленной с возможностью поворота на втулке 2, неподвижно закрепленной на основании 3 (рис. 2.40, 2.41).

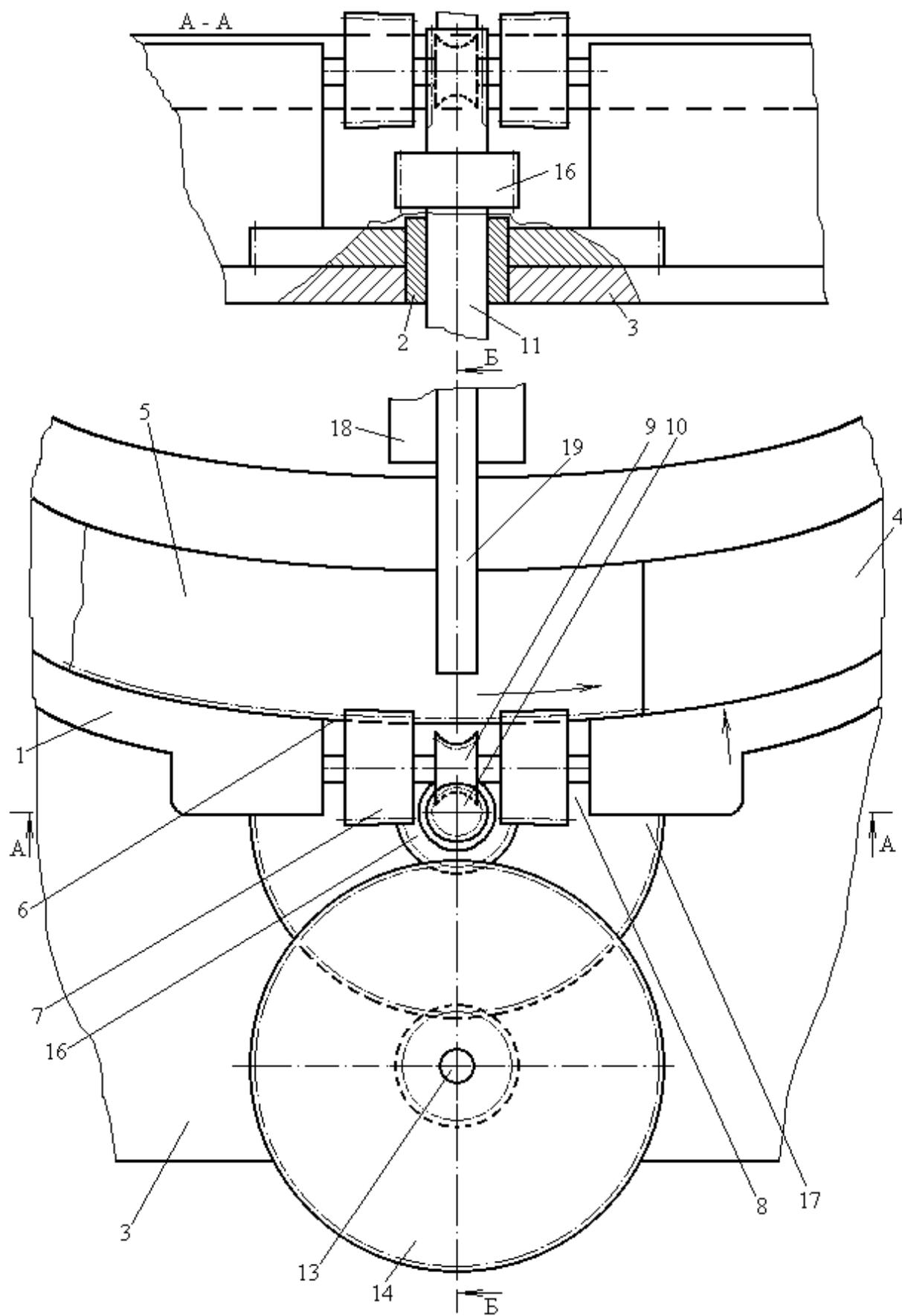


Рис. 2.40. Привод шлагбаума

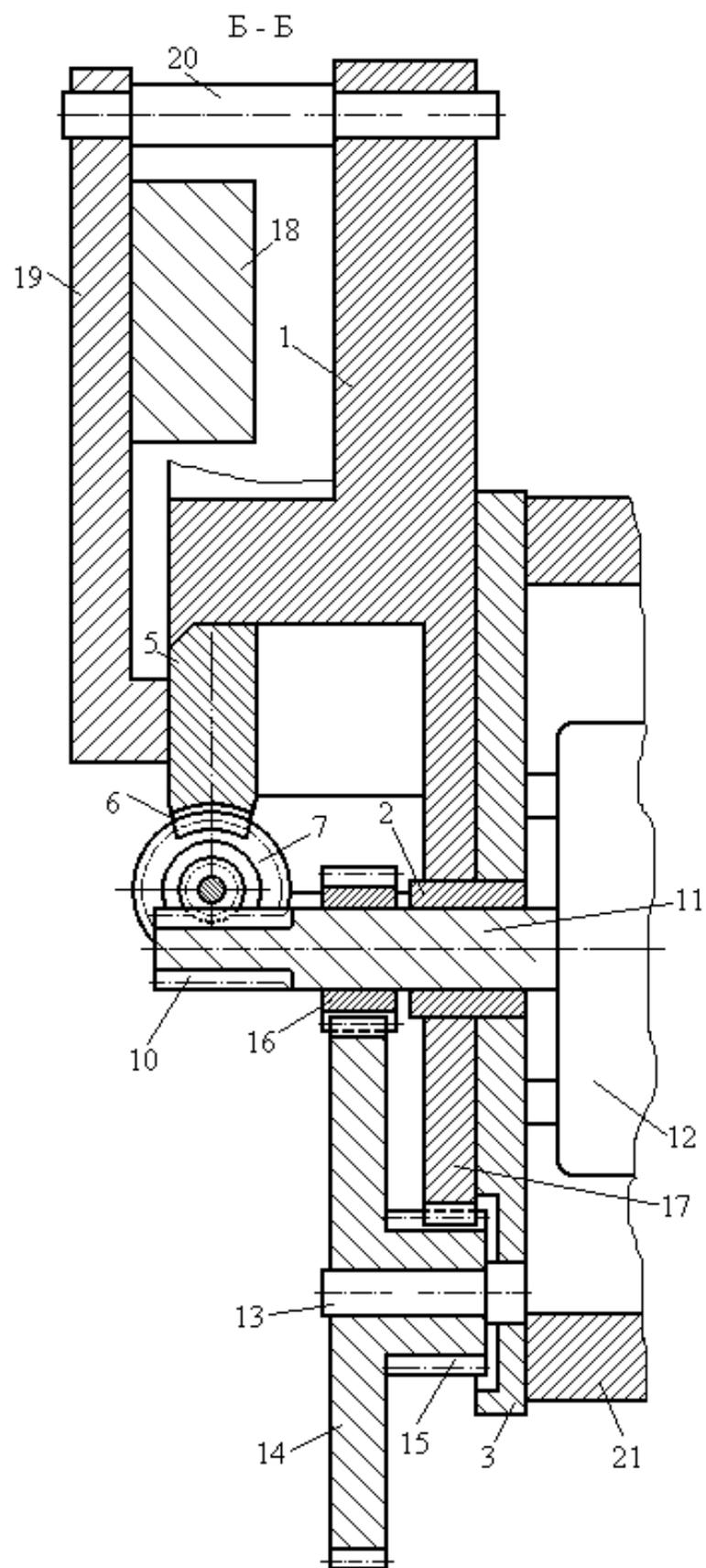


Рис. 2.41. Разрез Б-Б привода

В пазу 4 платформы 1 с возможностью перемещения по пазу установлена вторая платформа, выполненная в виде сегмента 5 и имеющая на боковой стороне зубья 6, взаимодействующие с зубьями глобоидного червяка 7, который установлен в пазу 8 платформы 1 с возможностью осевого вращения и имеет жестко закрепленное на оси червячное колесо 9, сопряженное с червяком 10, вал 11 которого установлен во втулке 2 с возможностью вращения и соединен с электродвигателем 12, закрепленным на основании.

Другая часть редуктора размещена на основании и имеет закрепленную в последнем ось 13, на которой с возможностью вращения установлены выполненные заодно колесо 14 и шестерня 15, которые сопряжены соответственно с неподвижно установленной на валу шестерней 16 и колесом 17, выполненным заодно с платформой 1. Сегмент 5 может быть выполнен заодно с креплением 18 шлагбаума и тягой 19, которая установлена с возможностью вращения на оси 20, совпадающей с геометрической осью вращения сегмента и закрепленной на платформе 1. Основание может быть установлено на столбе 21.

В исходном положении шлагбаум закрыт и крепление 18 с тягой 19 находятся в горизонтальном положении. Для подъема шлагбаума включают электродвигатель 12. Посредством двухступенчатой червячной передачи зубчатый сегмент 5 начинает перемещаться в пазу 4, поворачивая через тягу 19 крепление 18 и тем самым поднимая шлагбаум. При этом по количеству оборотов, сделанному, например, червяком 10, можно определить местоположение зубчатого сегмента в пазу 4 платформы 1.

Одновременно момент вращения от двигателя через шестерню 16, колесо 14 и шестерню 15 передается колесу 17, в результате чего платформа 1 начинает поворачиваться на основании 3 вокруг втулки 2 в ту же сторону, что и зубчатый сегмент 5, т. е. против часовой стрелки. После того как платформа 1 и зубчатый сектор 5 (относительно платформы) повернутся на  $45^\circ$ , шлагбаум займет вертикальное положение, достаточное для проезда транспортного средства. Если электродвигатель не выключать, то через некоторое время шлагбаум откроется на еще больший угол, в результате чего увеличивается пространство для маневра или провоза негабаритного груза. Закрывают шлагбаум включением двигателя в другую сторону.

После выключения электродвигателя его обмотку можно замкнуть на нагрузочный резистор, переводя тем самым электродвигатель в режим электродинамического тормоза, который будет препятствовать вращению вала *11* электродвигателя при приложении к шлагбауму внешнего усилия. Поскольку червячная передача самотормозящаяся, то зубчатый сегмент *5* в пазу *4* автоматически фиксируется относительно платформы.

Все это позволяет создать простой и надежный привод с относительно малым энергопотреблением для быстрого открывания (закрывания) шлагбаума.

## **2.5. Улучшение состояния дорожного покрытия**

Очевидно, что на скорость и безопасность движения транспортных средств влияет состояние дорожного покрытия. Причем в холодный период года необходимо очищать дорожное полотно от снега и не допускать образования на нем ледяной корки. В настоящее время уборка снега, как правило, проводится погрузчиком на большегрузные машины, в результате чего создается длительная помеха движению транспорта. Кроме того, на погрузку и транспортировку снега не только затрачивается много энергии, но и происходит дополнительное загрязнение окружающей среды от работы снегоуборочной техники. Для устранения указанных недостатков был разработан способ уборки снега с проезжей части [26].

К проезжей части *1* примыкает разделительная полоса (газон) *2*, на поверхности которой размещен термокабель *3*, конец которого прикрыт щитом *4*, частично выступающим за край *5* сугроба и образующим с кабелем зазор *б* для прохода атмосферного воздуха *7* в канал *8* снега *9*, помещенного на разделительную полосу с проезжей части роторной снегоуборочной машиной *10* (рис. 2.42).

На поверхность разделительной полосы *2* прямолинейно укладывают термокабель *3* и прикрывают конец и начало его щитом *4*, между которым и термокабелем формируют зазор *б*, при этом часть щита выдвигают за край *5* снежного сугроба (рис. 2.43). Подключают термокабель к источнику тока, например ветрогенератору (на рис. 2.42 не показан).

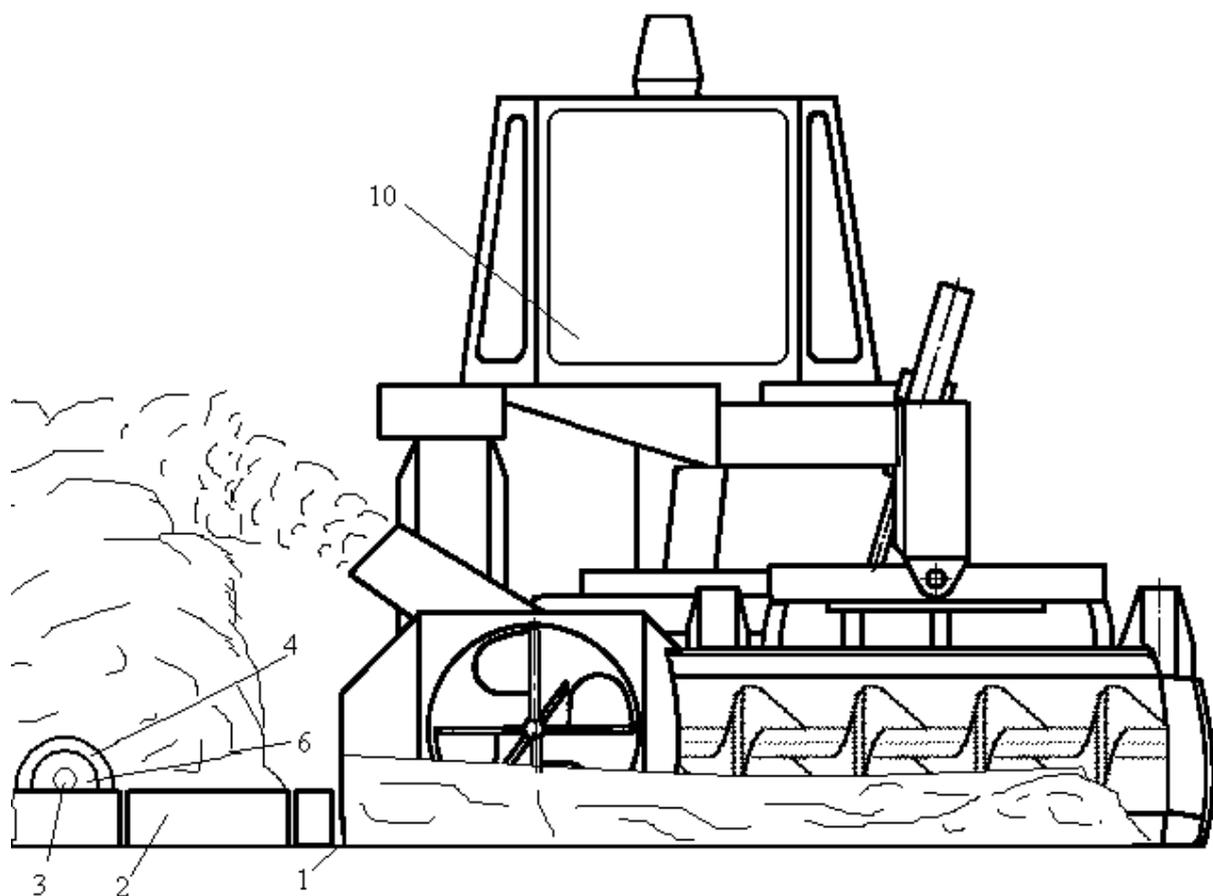


Рис. 2.42. Схема уборки проезжей части от снега

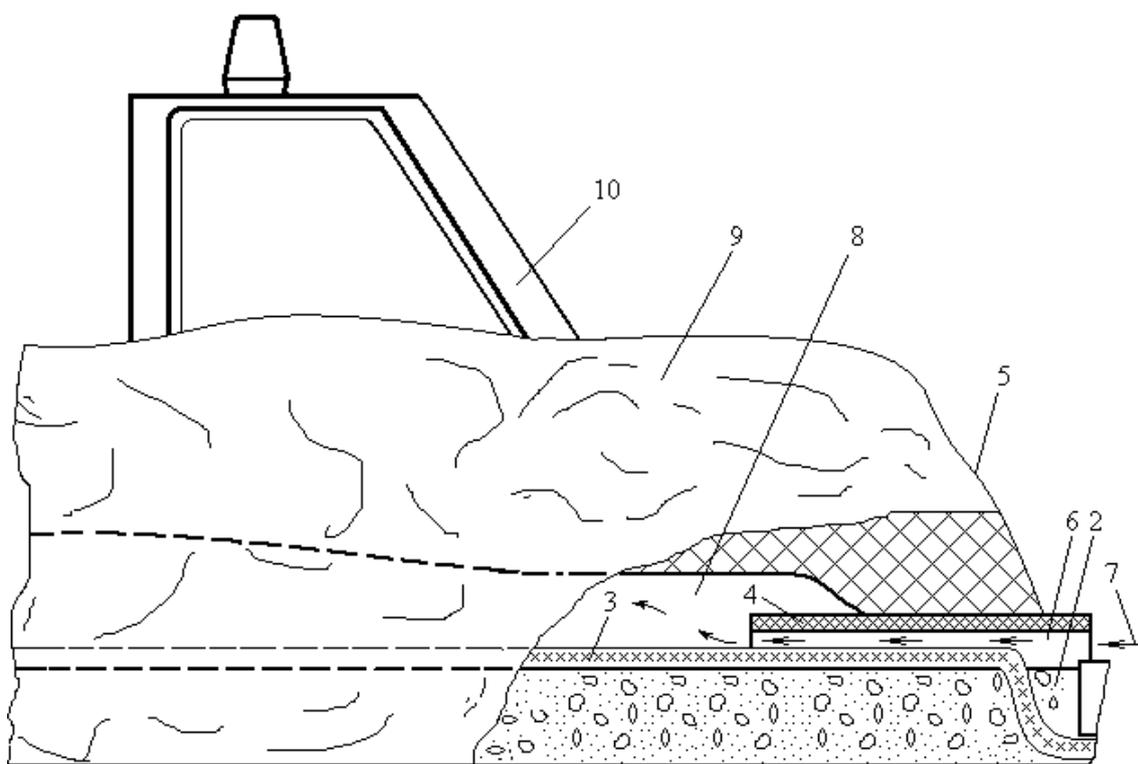


Рис. 2.43. Вид проезжей части со стороны разделительной полосы

Посредством роторной снегоуборочной машины 10 сгребают снег 9 с проезжей части 1 и набрасывают его на разделительную полосу. Тепло, исходящее от термокабеля, растапливает снег, в результате чего вокруг кабеля образуется канал 8, по которому за счет разности давлений на концах сугроба начинает двигаться воздух. При этом происходит засасывание в канал атмосферного воздуха 7. Движение воздуха в канале улучшает теплообмен. Кроме того, получаемая при таянии внутренней части сугроба вода испаряется, увлажняя воздух. Влажный воздух, как известно, обладает большей теплоемкостью, чем сухой, поэтому интенсивность теплообмена еще больше возрастает. Неиспарившаяся вода может быть отведена в ливневую канализацию или просачиваться в подогреваемую термокабелем землю.

По мере поступления тепла сугроб оседает, благодаря чему появляется возможность набрасывать на него новую порцию выпавшего снега. На разделительную полосу можно набрасывать снег и с тротуара. Как правило, снег зимой идет периодически, поэтому на таяние сугроба можно отвести несколько дней. За такой срок растопить снег можно даже источником относительно небольшой мощности. В случае отсутствия ветра перед ожидаемым по прогнозу снегопадом термокабель можно подключить к другому источнику тока, что позволит производить уборку проезжей части и тротуаров с небольшими энергетическими затратами и меньшим вредом для окружающей среды. Кроме того, уменьшается помеха движению транспорта по проезжей части, поскольку по ней движется только одна роторная снегоуборочная машина.

Для своевременной обработки на трассе, за городом, дорожного полотна противогололедным веществом нужны автоматические системы, способные при возникновении неблагоприятных и опасных для движения метеорологических условий провести обработку дороги (особенно подъемов) реагентом. До настоящего времени подобные системы в процессе работы измеряют на контролируемом участке дороги параметры окружающей среды и/или состояние дорожного покрытия посредством установленных вдоль дороги метеорологических датчиков и/или датчиков состояния дорожного покрытия, направляют полученные данные на терминал управления, ведут обработку и анализ полученных параметров с последующим определением нараста-

ния вероятности возникновения гололеда на контролируемом участке и в случае нарастания такой вероятности рассчитывают заданную плотность распределения реагента, направляя посредством терминала управления адресный сигнал на исполнительные механизмы разбрызгивающих головок, обеспечивающие их включение в любой последовательности для нанесения противогололедного реагента с заданной плотностью. Однако такие системы имеют значительные недостатки:

- сложность конструкции;
- большие затраты на эксплуатацию, обусловленные использованием дорогостоящей аппаратуры, которую нужно обслуживать, а также невозможностью повторного использования реагента.

Все это сдерживает широкое применение таких систем на дорогах. В работе [41] был разработан способ автоматической обработки дорожного покрытия противогололедным веществом. Устройство, реализующее этот способ, относится к автоматическим техническим средствам обеспечения противодействия гололедным явлениям и может быть использовано для борьбы с гололедом на крупных дорожных магистралях.

В этом устройстве для автоматической обработки дорожного покрытия противогололедным веществом применены датчик и исполнительный механизм, распределяющий вещество по полотну дороги, при этом исполнительный механизм выполнен в виде соединенного с источником сжатого воздуха сопла, установленного на поворотном круге, что позволяет размещать двигатель, поднимающий и опускающий сопло, вне круга. Это упрощает конструкцию, снижает весогабаритные характеристики поворачивающихся частей, а также их момент инерции, что уменьшает энергопотребление, дает возможность применять менее мощный двигатель, улучшает тем самым также и эксплуатационные характеристики.

Устройство для автоматической обработки дорожного покрытия противогололедным веществом содержит стойку 1, закрепленную на червячном зубчатом колесе 2, установленном с возможностью поворота на втулке 3, неподвижно закрепленной на основании 4, и сопряженном с червяком 5, соединенным с первым электродвигателем, который на рисунке не показан (рис. 2.44).

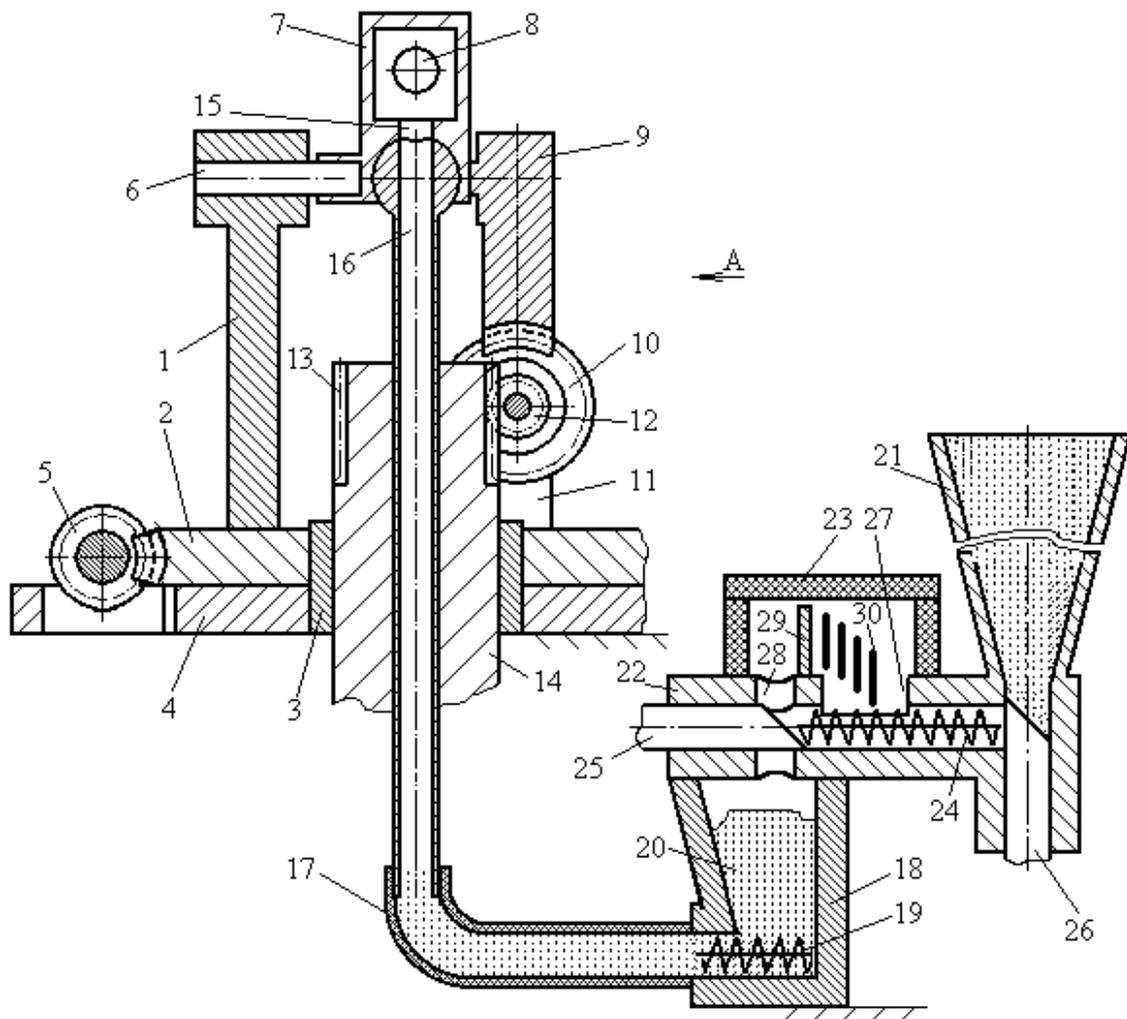


Рис. 2.44. Схема устройства для автоматической обработки дорожного покрытия противогололедным веществом

В стойке с возможностью вращения установлена ось 6, на которой неподвижно закреплены сопло 7 с отверстием 8 для подачи сжатого воздуха и зубчатый сектор 9, сопряженный с зубьями глобоидного червяка 10, который установлен в опорах 11, закрепленных на колесе 2, с возможностью осевого вращения и имеет жестко закрепленное на оси червячное колесо 12, сопряженное с червяком 13, вал 14 которого установлен во втулке 3 с возможностью вращения и соединен со вторым электродвигателем (не показан), закрепленным на основании 4. В нижней части сопла 7 выполнен продольный паз 15, сопряженный с отверстием пропущенной соосно сквозь червяк 13 трубы 16, один конец которой подвижно размещен в нижней части сопла, а другой – соединен с выходным патрубком 17 накопителя 18, в нижней части которого установлен шнек 19, покрытый прокаленным песком 20, а на верхней части размещен выполненный заодно с бункером 21 трубо-

провод 22, имеющий неподвижно закрепленную камеру 23, которая сообщена с полостью трубопровода, в котором установлены шнек 24 и поворотные задвижки 25, 26, посредством паза 27, а посредством радиального отверстия 28 – с полостью трубопровода и накопителем 18, и имеет перегородку 29 и нагревательные элементы 30. Датчик устройства реализован в виде трубы 31, выполненной заодно с нагревательным элементом, которая может быть закреплена непосредственно в полотне 32 дороги или над ним, с размещенной внутри консольной пружины 33, на свободный конец которой насажена пластина 34 с магнитом 35, взаимодействующим с неподвижным герконом 36, при этом концы трубы закрыты колпачком 37 с сеткой 38, которые могут быть покрыты снежно-ледяной массой 39 (рис. 2.45). Датчик соединен с исполнительными механизмами через блок обработки сигнала, содержащий по два конденсатора 40, 41 и элемента 42, 43 ИЛИ-НЕ, три резистора 44 – 46, счетчик 47, усилитель 48 мощности (УМ) и магнитный пускатель (КМ) с обмоткой 49, которая подключена через усилитель мощности к  $k$ -му выходу счетчика и первому входу элемента 42 ИЛИ-НЕ, второй вход которого соответственно через резистор 46 и конденсатор 41 соединен с объединенными с выходом элемента 42 входами элемента 43 и его выходом, подключенным к счетному входу счетчика, вход сброса в ноль которого соответственно через резистор 44, конденсатор 40 и резистор 45 подключен к шине питания и геркону, соединенному с землей (рис. 2.46).

Перед наступлением холодов (например, осенью) включают устройство в автоматический режим работы. Для этого подают электрическую энергию на исполнительные механизмы и блок обработки сигнала. После подачи напряжения питания посредством конденсатора 40 образуется короткий импульс логической единицы (лог. 1), устанавливающий счетчик 47 в нулевое состояние.

Предположим сначала, что метеоусловия благоприятные и осадков нет. В трубе 31, которая может быть проложена внутри полотна 32 дороги (на рис. 2.45 показана слева) или над ним (на рис. 2.45, 2.47 показана справа), за счет разности давлений на ее концах начинается движение воздуха (сквозняк) (рис. 2.45, 2.48). Разность давлений на концах трубы может образоваться из-за разной скорости движения воздуха, завихрений, различной плотности воздуха, его температуры и т. д. Движущийся в трубе поток воздуха воздействует на пластину 34 (служащую завихрителем), посредством которой консольная пружина 33 деформируется, отводя магнит 35 от геркона 36 (рис. 2.48).

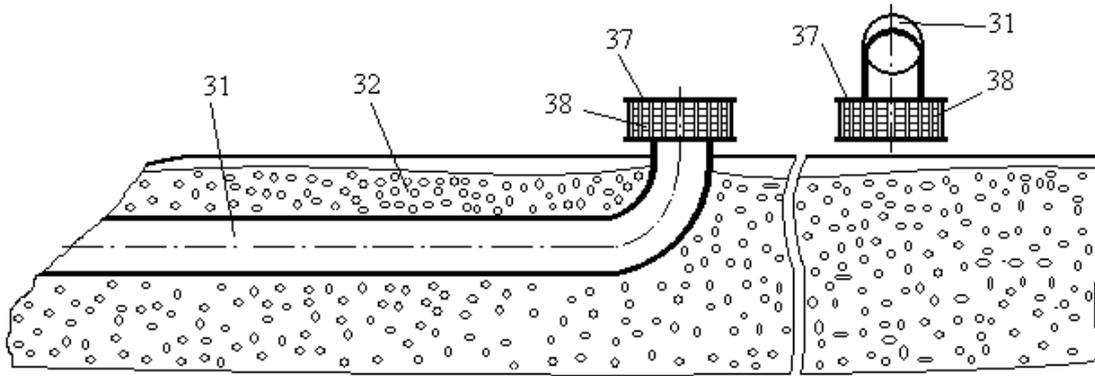


Рис. 2.45. Разрез датчика устройства

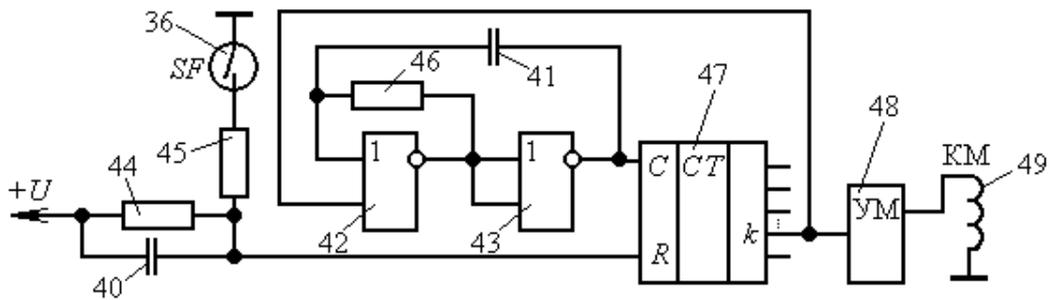


Рис. 2.46. Схема блока обработки сигнала датчика

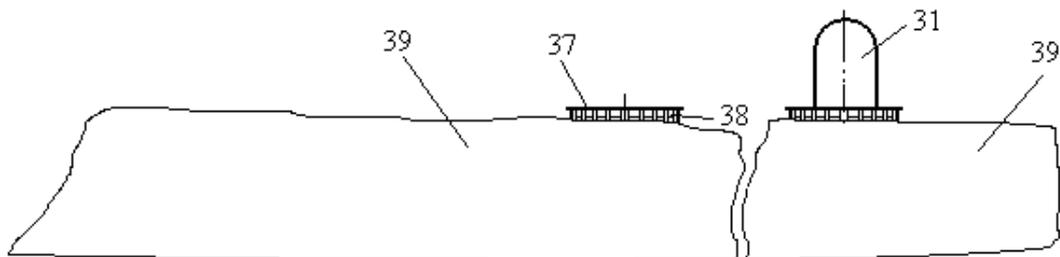


Рис. 2.47. Вид датчика в момент заноса его снегом

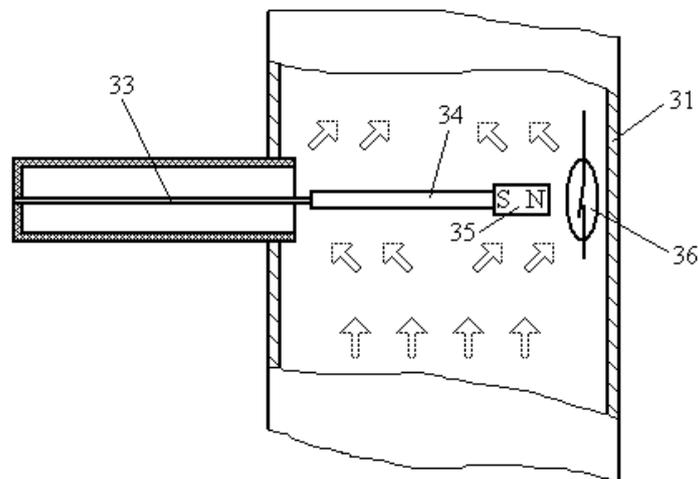


Рис. 2.48. Часть конструкции датчика

При этом контакты геркона, которые при недеформированном состоянии пружины находились в замкнутом состоянии, размыкаются, что приводит к появлению потенциала логической единицы (лог. 1) на входе  $R$  сброса счетчика 47, обнуляющей его и запрещающей ему накапливать импульсы по входу  $C$ , которые формируются элементами 42, 43, 41 и 46. Так будет продолжаться до тех пор, пока не начнется выпадение осадков, покрывающих поверхность дорожного полотна снежно-ледяной массой.

В процессе выпадения осадков толщина слоя снежно-ледяной массы 39 будет увеличиваться, что приведет к закрыванию ею отверстий сетки 38 колпачка 37 (см. рис. 2.47). В случае выпадения «ледяного» дождя капли воды будут стекать с крышки колпачка 37 и удерживаться на сетке 38, замерзая впоследствии и образуя ледяную воздухопроницаемую оболочку. Чувствительность датчика к толщине слоя снежной массы можно регулировать, предварительно изменяя положение конца трубы (колпачка 37) относительно поверхности дорожного полотна.

После того как снег (замерзшая вода) закроет отверстия в сетке 38, движение воздуха в трубе 31 прекратится и пружина 33 вернется в исходное, недеформированное состояние. Магнит 35 окажется у геркона 36, и контакты его замкнутся. В результате резистор 45 будет подключен к земле и на делителе, образованном резисторами 44, 45, сформируется сигнал логического нуля (лог. 0), который поступит на вход  $R$  сброса счетчика 47, разрешая ему накапливать импульсы. Предположим, что промежуток времени, равный пяти минутам, в течение которого не произойдет движения воздуха в трубе 31 (контакты геркона будут постоянно замкнуты), свидетельствует о наличии на дорожном полотне слоя снега, закрывшего отверстия сетки 38 колпачков 37 с обоих концов трубы. Тогда  $k$ -й разряд счетчика 47 на единицу должен быть больше  $n$  в числе  $2^n$ , которое приблизительно равно количеству импульсов, накапливаемых счетчиком за это время. Например, на вход  $C$  счетчика поступают импульсы с частотой 14 Гц. За 300 с (5 мин) счетчик накопит  $14 \cdot 300 = 4200$  импульсов, что приблизительно равно  $2^{12} = 4096$  импульсов,  $k = 12 + 1 = 13$ , т. е. задействован должен быть 13-й разряд счетчика.

Таким образом, приблизительно через пять минут (точнее – 293 с) на выходе  $k$  счетчика появится лог. 1, которая поступит на вход эле-

мента 42, и генерация импульсов на вход счетчика прекратится. Одновременно с выхода  $k$  лог. 1 поступит на усилитель 48 мощности, который, в свою очередь, запитает обмотку 49 магнитного пускателя, в результате чего на нагревательный элемент трубы 31 и программное устройство (на рисунках не показано) будет подано напряжение. Счетчик будет находиться в таком состоянии до размыкания контактов.

По сигналу программного устройства временно (на период обработки) перекрывается движение транспортных средств, например с помощью светофоров. После этого прокаленный песок 20 из накопителя 18 шнеком 19 через патрубков 17, трубу 16 и паз 15 подается во внутреннюю полость сопла 7, куда одновременно от компрессора (не показан) через отверстие 8 подается сжатый воздух, который выдувает поступающий песок из сопла и увлекает его, формируя песчано-воздушную струю, наносящую песок на поверхность дорожного покрытия (см. рис. 2.44; рис. 2.49).

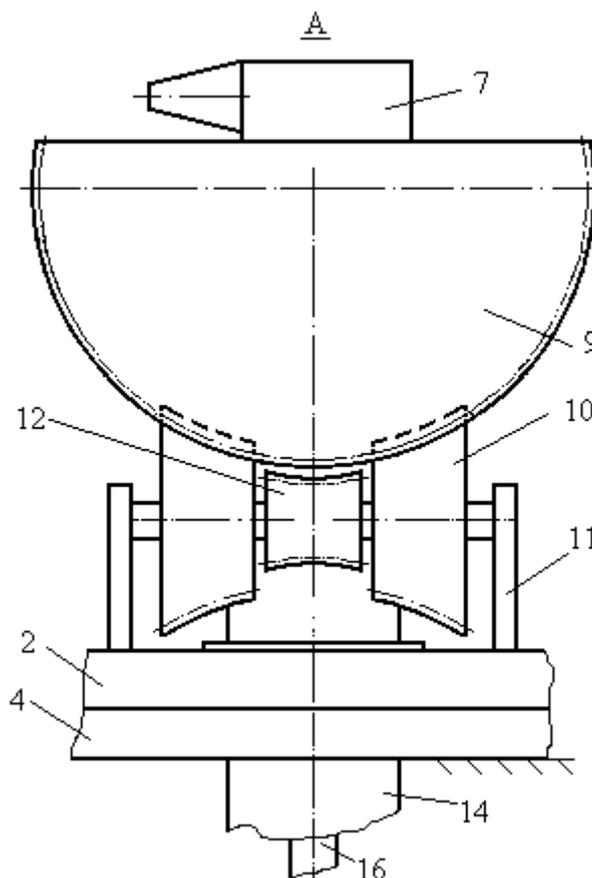


Рис. 2.49. Вид А устройства

Для нанесения равномерного слоя песка включают (по программе) двигатель, поворачивающий червяк 5. В результате этого колесо 2 вместе со стойкой 1, опорами 11, червяком 10, зубчатым сектором 9 и соплом 7 начнет поворачиваться на втулке 3, обеспечивая при этом покрытие песком на дорожном полотне участка кольцевой формы. Для увеличения (уменьшения) радиуса указанного кольца включают двигатель, вращающий вал 14 червяка 13, который посредством червячного колеса 12 и связанного с ним червяка 10 поворачивает зубчатый сектор 9 с соплом 7 и осью 6. При этом поворот сопла в вертикальной плоскости приведет к изменению радиуса обрабатываемого песком

участка. Поворачивая сопло 7 в горизонтальной и вертикальной плоскостях, постепенно покрывают песком все дорожное полотно.

Одновременно ведут подготовку очередной порции прокаленного песка. Для этого включают нагреватели 30, шнек 24 и поворачивают задвижку 26 на 180°, в результате чего песок из бункера 21 начнет сыпаться в полость трубопровода 22 и подаваться шнеком 24 через отверстие 28 в камеру 23 между ее левой стенкой и перегородкой 29 (см. рис. 2.44; рис. 2.50, 2.51).

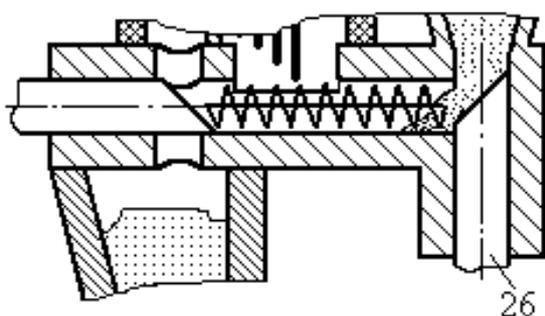


Рис. 2.50. Устройство в момент забора противогололедного вещества из бункера

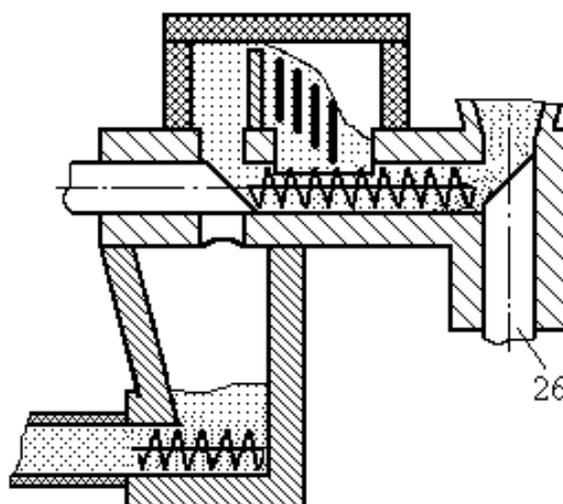


Рис. 2.51. Устройство в момент подготовки противогололедного вещества к использованию

Для исключения замерзания в бункере 21 песка он должен быть пропитан соевым раствором или нагреваться до положительной температуры, например нагревательным элементом. После достаточного заполнения камеры 23 песком прекращают подачу последнего из бункера 21, поворачивая задвижку 26 в исходное состояние.

Вращающийся шнек 24 будет подавать в левую часть камеры 23 песок, который, пересыпаясь через перегородку 29, будет попадать на нагревательные элементы 30, высыхая и прокаливаясь при этом, а потом, высыпаясь через паз 27 на шнек 24, будет снова подаваться последним в камеру 23.

Таким образом, пройдя несколько раз через камеру 23, порция песка будет полностью высушена, прокалена и готова к использованию. Для помещения ее в накопитель 18 поворачивают задвижку 25 на 180°, обеспечивая сброс песка в накопитель шнеком 24 (рис. 2.52). Если задвижку 25 повернуть потом на 90°, то в накопитель ссыплется песок, оставшийся в левой части камеры 23. После накопления нужного количества песка в накопителе 18 устройство приходит в исходное состояние, готовое к очередной обработке песком дорожного покрытия.

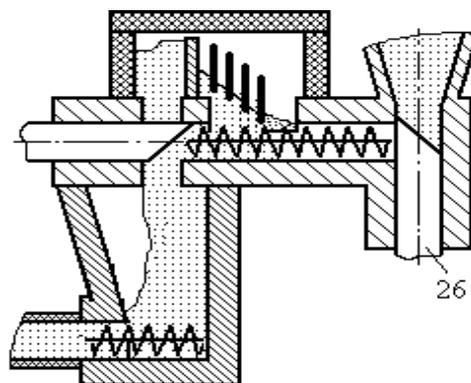


Рис. 2.52. Устройство в момент накопления противогололедного вещества перед использованием

Тепло от нагревательных элементов трубы 31 постепенно растопит снежно-ледяное покрытие на сетке 38, движение воздуха в трубе возобновится, и контакты геркона 36 разомкнутся, что приведет к появлению потенциала лог. 1 на входе R сброса счетчика 47, обнуляющей его и запрещающей ему накапливать импульсы по входу С.

Магнитный пускатель выключится, а вместе с ним выключится нагревательный элемент трубы 31 и снимется напряжение с исполнительных механизмов. Периодические прохождения магнитом 35 геркона 36 (в результате колебаний пластины 34 от напора воздуха) будут кратковременно замыкать контакты геркона, вызывая при этом появление лог. 1 на входе R счетчика 47, однако на его k-м выходе не успеет сформироваться лог. 1, так как вскоре контакты геркона разомкнутся, что приведет к обнулению счетчика, т. е. при движении воздуха в трубе счетчик, только начав считать импульсы, будет вскоре сбрасываться в ноль.

Если погодные условия к моменту выключения устройства не изменятся, то сетка 38 вновь начнет обмерзать и через некоторое время, определяемое продолжительностью обмерзания сетки, на выходе блока обработки сигнала вновь сформируется импульс, запускающий обработку дорожного покрытия песком. Возможен вариант работы устройства, когда обработка будет начинаться при наличии сигнала от датчика и таймера программного устройства, отсчитывающего минимальное время между обработками.

Все это позволяет создать простое по конструкции и удобное в эксплуатации устройство, обрабатывающее в автоматическом режиме противогололедным веществом дорожное покрытие на опасных участках магистралей.

Существующие технологии строительства дорог не обеспечивают сохранности покрытия в течение длительного срока. Это связано прежде всего с тем, что состоящая из гравия и песка верхняя часть основания, во-первых, имеет низкую теплопроводность, в результате чего асфальт сильно нагревается летом и остывает зимой, подвергаясь при этом большим температурным деформациям, приводящим к его разрушению. На остановках общественного транспорта (или у перекрестков), где часто осуществляется торможение транспортного средства, видны надолбы из асфальта. Это объясняется тем, что разогретый солнцем до высокой температуры асфальт теряет свою прочность и смещается колесами транспортных средств из своего первоначального положения, в результате чего образуются его сгустки в виде борозд и надолбов.

Во-вторых, при вибрации, возникающей при движении транспортных средств, особенно большегрузных, происходит локальное уплотнение указанной части основания, приводящее к проседанию гравия и последующему механическому повреждению асфальта. Можно привести еще несколько причин быстрого разрушения асфальта, что в конечном счете вызывает повреждение дорожного покрытия и образование ям. От состояния дорожного покрытия зависит не только безопасная эксплуатация транспортных средств, продолжительность их пробега до капитального ремонта, скорость движения и комфортабельность поездок, но и экология. Частые торможения перед ямами и последующие ускорения транспортного средства увеличивают выброс вредных веществ в атмосферу и способствуют дополнительному образованию пыли от тормозных колодок и покрышек колес. Сохранность дорожного покрытия определяется в первую очередь прочностью основания, на котором оно лежит, а также температурной деформацией, возникающей при его нагреве и охлаждении в процессе эксплуатации.

С целью повышения срока службы дорожного полотна был разработан способ возведения дорожной одежды [27], суть которого заключается в том, что основание выполняют из глины и камней, благо-

даря чему повышается прочность основания и его теплопроводность. Сцепление сухой глины составляет порядка  $10 \text{ т/м}^2$ , а сопротивление сжатию –  $60 \text{ т/м}^2$ , что позволяет дорожному покрытию выдерживать самые большие нагрузки при движении транспортных средств.

На рис. 2.53 изображен разрез дорожной одежды. Дорожная одежда содержит размещенное на земляном полотне 1 основание, выполненное из глины 2, камней 3 и заключенное в замкнутую гидроизоляционную оболочку 4, на верхнюю часть которой наносится покрытие 5.

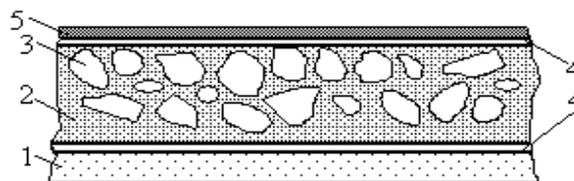


Рис. 2.53. Разрез дорожной одежды

На земляном полотне 1 формируют нижний слой гидроизоляционной оболочки, на который наносят глину 2 и разрыхляют ее верхний слой, например, с помощью плуга и бороны. Затем укладывают на него камни 3 и увлажняют через них разрыхленный верхний слой глины до получения жидкообразной консистенции. При этом одновременно происходит мойка камней, что впоследствии улучшает сцепление их с верхним слоем гидроизоляционной оболочки 4 с покрытием 5. После этого опускают камни, например с помощью виброкатка, в получившуюся жидкообразную консистенцию и затем удаляют влагу до получения монолитной структуры основания. Далее на основание наносят верхний и боковые слои гидроизоляционной оболочки и устраивают покрытие 5. Удалять влагу можно сушкой на воздухе или, например, с помощью плазмобразующей станции ППС-300. В качестве верхнего слоя этой оболочки может быть использовано асфальтовое покрытие, однако в случае его разрушения влага будет попадать на основание, размягчать глину, в результате чего несущая способность основания будет снижаться. Поэтому если в процессе сушки произвести обжиг поверхности основания, то получившаяся таким образом корка будет служить в качестве гидроизоляционной оболочки, и даже при поврежденном покрытии 5 основание сохранит высокую несущую способность. Кроме того, так как глина плохо пропускает воду, то утолщение нижней части основания препятствует проникновению в него влаги, например в случае кратковременного подъема грунтовых вод.

Монолитное основание из глины и камней практически не содержит воздуха, поэтому исключается образование влаги под покры-

тием 5 при резких сменах температур окружающего воздуха. Кроме того, если в обычном случае находящийся в основании воздух изменяет давление снизу на покрытие, например при изменении температуры или колебании уровня грунтовых вод, то отсутствие воздуха в основании исключает указанное явление. В результате этого покрытие не подвергается дополнительным (знакопеременным) нагрузкам и не отстает (не отрывается) от основания.

Все операции выполняются на месте строительства дороги из экологически чистых материалов, имеющих в природе в достаточно большом количестве, что снижает затраты на возведение основания. Кроме того, использование в качестве связующего вещества материалов глинистой породы, например глины, которая легко переходит из твердого состояния в жидкое (при увлажнении) и из жидкого в твердое (после удаления из нее влаги), позволяет улучшить ремонтпригодность основания и повысить его несущую способность. Глины – один из наиболее распространенных типов горных пород, слагающих до 11 % всего объема земной коры. Камни, скрепленные глиной, хорошо выдерживают нагрузку от усилий, возникающих в основании, а при необходимости легко удаляются после размягчения глины водой. Глины обладают высокой адсорбционной способностью. Это свойство позволяет использовать глины как природные высокоэффективные сорбенты для защиты почв, грунтов и подземных вод от техно-

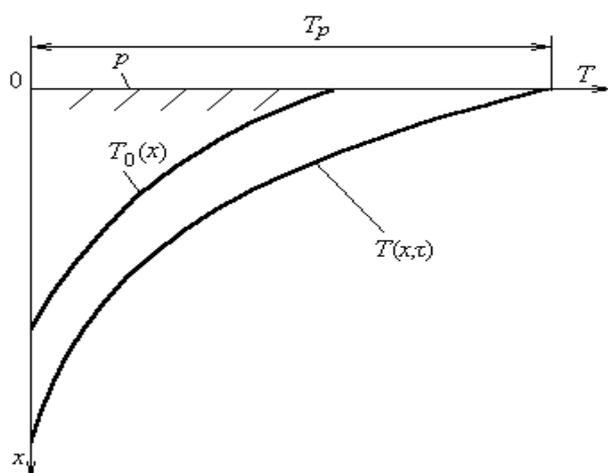


Рис. 2.54. Схема распределения температур в основании дороги

генных загрязнений, т. е. глина, находящаяся по краям загородной трассы, может выполнять роль природного фильтра.

В работе [28] рассмотрен массив основания дороги, имеющий в начальный момент времени ( $\tau = 0$ ) заданное распределение температур  $T_0(x)$  и подвергающийся на поверхности тепловому воздействию с неизменной во времени температурой  $T_p$  и изменяющейся во времени переменной температурой  $T(x, \tau)$  в любом месте массива (рис. 2.54).

Известно, что решение дифференциального уравнения теплопроводности для одномерного распространения тепла можно представить суммой для всего возможного спектра изменения произвольной размерной величины  $\varepsilon$ , которая применительно к задачам нагрева и охлаждения должна быть положительной. В результате решения этого дифференциального уравнения была получена зависимость температуры в массиве грунта от времени его нагрева (рис. 2.55).

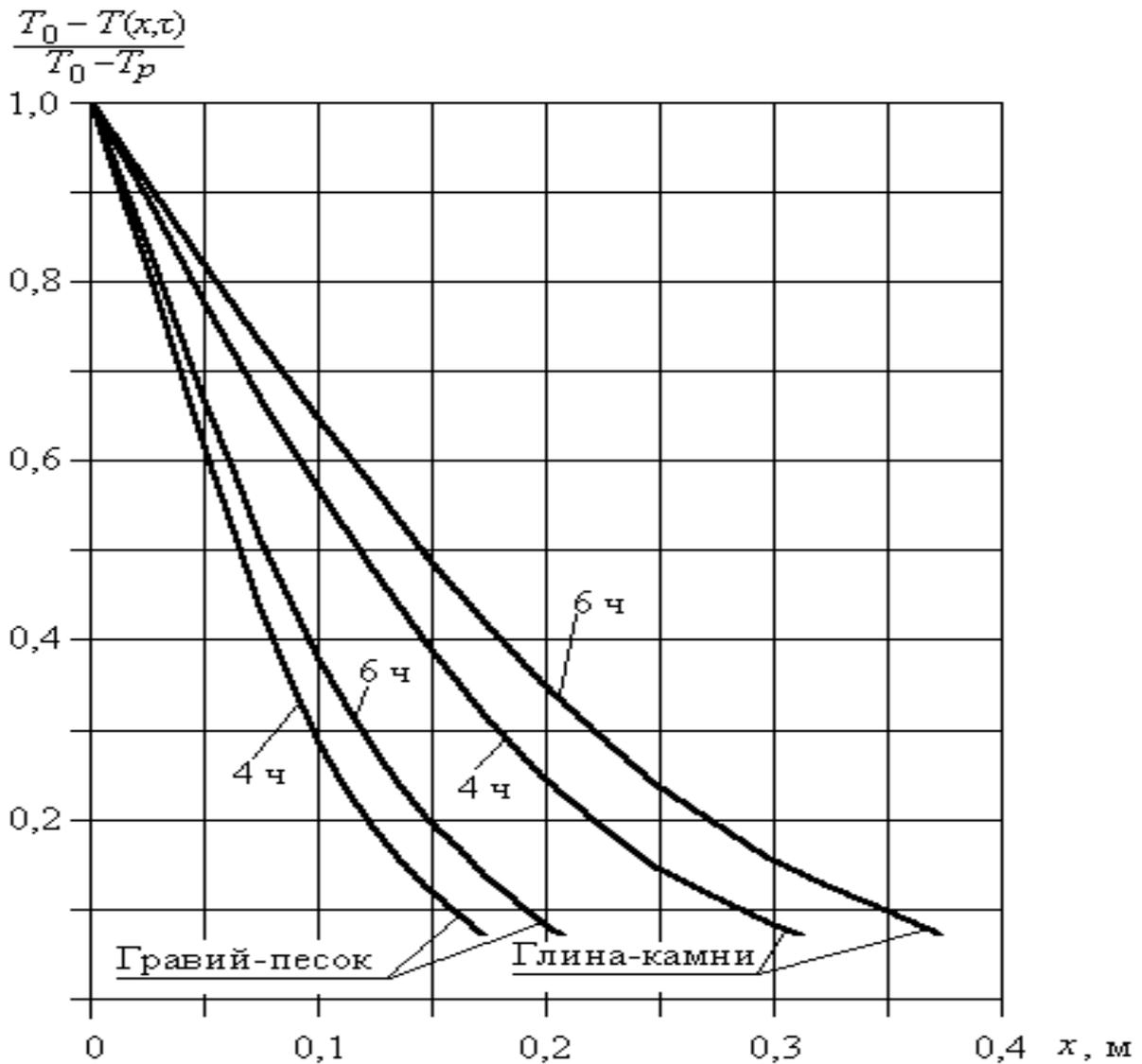


Рис. 2.55. Температурная функция при нагревании грунта основания дороги

Коэффициент температуропроводности  $a$  для грунта из гравия и песка составляет  $1,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{ч}$ , а для грунта из глины и камней –  $3,75 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{ч}$ .

Как видно по рис. 2.55, основание дороги, выполненное из глины и камней, за одно и то же время прогревается до одной и той же температуры значительно глубже, чем основание из гравия и песка. При этом коэффициент теплоусвоения грунта из глины и камней оказывается в 3,4 раза больше, чем у грунта из гравия и песка. В результате этого основание дороги, выполненное из глины и камней, будет значительно лучше забирать тепло у асфальтового покрытия, не давая ему сильно нагреваться в теплую погоду, благодаря чему асфальт не будет испытывать больших температурных деформаций, что позволит обеспечить его долгосрочную сохранность.

Указанное основание практически не содержит воздуха, поэтому исключается образование влаги под асфальтовым покрытием при резких сменах температур окружающего воздуха. Кроме того, если в обычном случае находящийся в основании воздух изменяет давление на покрытие, например при изменении температуры или колебании уровня грунтовых вод, то отсутствие воздуха в основании исключает указанное явление. В результате этого покрытие дороги не подвергается дополнительным знакопеременным нагрузкам и не отстает (не отрывается) от основания.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое состав транспортного потока и что понимают под интенсивностью движения?
2. Как определяется необходимое количество наблюдателей для экспериментальных исследований интенсивности движения?
3. Какие типы картограмм интенсивности транспортных потоков выделяют и каким образом строится условная картограмма интенсивности транспортных потоков?
4. Как строится масштабная картограмма интенсивности транспортных потоков?

5. Что такое теоретическая пропускная способность полосы движения и каков смысл определения теоретической пропускной способности полосы?

6. Что такое фактическая пропускная способность полосы? Что понимают под уровнем загрузки полосы?

7. Как экспериментально определить пропускную способность полосы?

8. Как происходит процесс управления движением на автомагистралях?

9. Какие проблемы возникают при проезде железнодорожных переездов?

10. Что такое дорожное покрытие и какие меры принимаются для улучшения состояния дорожного покрытия?

## Глава 3

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, СВЯЗАННЫХ С УЛУЧШЕНИЕМ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ

### 3.1. Модель автоматического управления ходом перевозочного процесса

Нечеткое управление – одна из попыток автоматизировать операции анализа информации о ходе перевозочного процесса и выработки управляющих воздействий (принятие решений), которые до сих пор выполняются диспетчерским аппаратом. Поскольку управление транспортной системой города представляет собой очень сложный процесс, то моделирование его с помощью математических выражений существенно затруднено. Если при этом учесть, что использование сложных формул предполагает определение большого числа параметров, измерение которых связано со значительными аппаратными затратами, а порой и просто невозможно, то становится очевидной практическая невозможность создания полностью адекватной модели управления. Поэтому представления о диспетчерском управлении ГПТ больше укладываются в идею использования нечеткой логики, которая дает возможность создать хорошую, качественную модель системы, описанную в работе [29].

При управлении ходом перевозочного процесса следует учитывать то обстоятельство, что отрицательные последствия, связанные с отклонением от нормального протекания этого процесса, нельзя, как правило, быстро устранить, поэтому для снижения возможных потерь необходимо постоянное моделирование картины пассажирских перевозок, обеспечивающее прогнозирование результатов управления. Возникновение конкретных ситуаций, ухудшающих пассажирские перевозки, сопровождается выдачей прогноза развития последующих событий, благодаря чему система организует движение транспортных единиц таким образом, чтобы нормализовать процесс перевоза.

На рис. 3.1 представлена разработанная модель автоматического управления ходом перевозочного процесса, которая работает следующим образом.

На основании информации контроля выполнения графиков движения и в соответствии с математической моделью, параметры которой определяются статистическими исследованиями, моделиру-

ется движение транспортной единицы на участках дорожной сети города. Получаемые при этом данные о предполагаемых моментах прибытия транспортной единицы на остановочные пункты маршрута дают возможность, используя сведения о времени, отводимом на поездку, прогнозировать выбор пассажиром маршрута поездки, т. е. в зависимости от складывающихся обстоятельств прогнозировать выбор им соответствующего множества маршрутов для поездки или пешеходного пути [5].

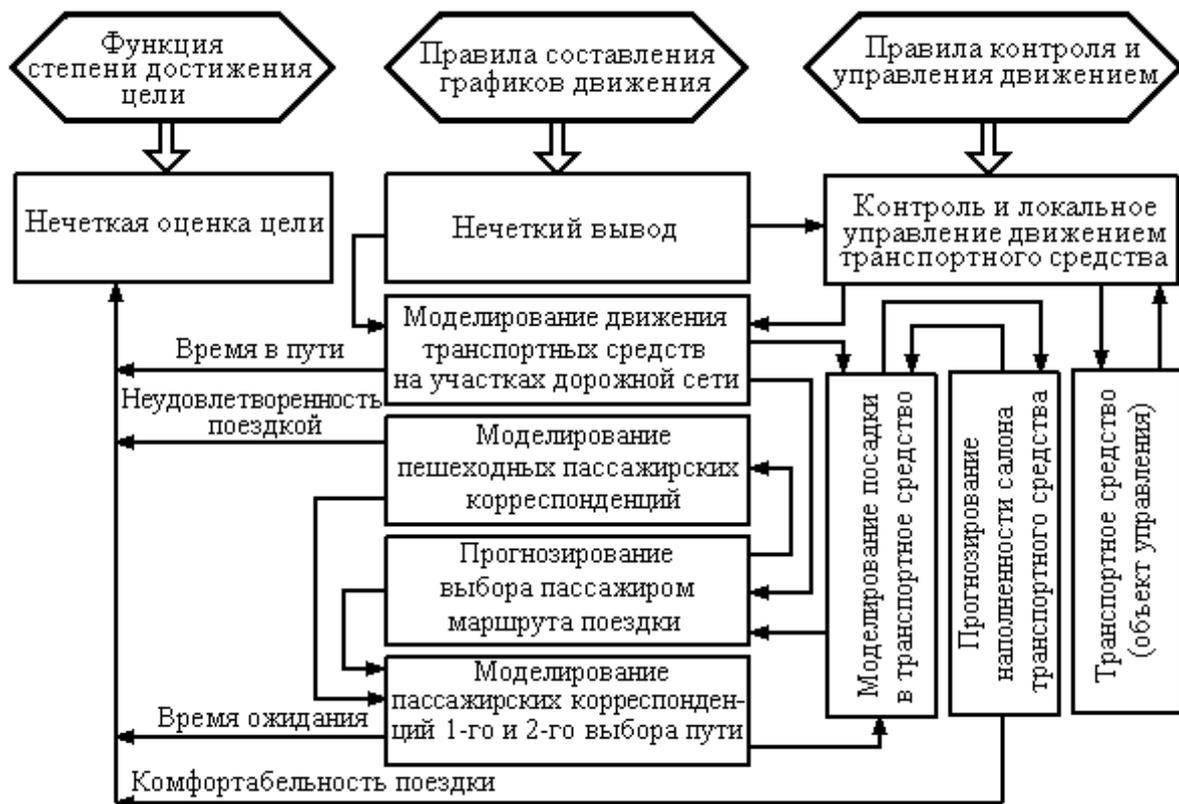


Рис. 3.1. Модель автоматического управления перевозочным процессом

Формируемые на остановочных пунктах (согласно статистическим данным) пассажирские корреспонденции, спрогнозированные на множестве маршрутов, подвергаются дальнейшему моделированию с целью более конкретного определения указанного множества и нагрузки на каждый маршрут. Кроме того, с помощью модели роста эмоционального напряжения для каждого класса пассажирских корреспонденций рассчитывается (в условных единицах) значение энергии, которую готов затратить пассажир при совершении посадки в транспортное средство.

Исходя из расчетного уровня указанной энергии, моделируют посадку в транспортное средство, причем эта операция выполняется последовательно для всех остановочных пунктов маршрута. Суть данного моделирования сводится к отбору пассажирских корреспонденций, чей уровень энергии превосходит требуемое в настоящий момент значение этого уровня для посадки. При этом требуемое для совершения посадки значение уровня энергии определяется наполненностью салона транспортной единицы. Таким образом, в процессе моделирования посадки на каждом остановочном пункте маршрута пассажирские корреспонденции разделяются на пассажиров, совершивших посадку в транспортное средство, и пассажиров, остающихся на этом пункте. По предполагаемому количеству пассажиров, сделавших посадку, прогнозируется значение наполненности салона транспортной единицы, которое на последующем остановочном пункте маршрута снова используется для моделирования посадки, а также для оценки комфортабельности поездки.

Комфортабельность (комфортность) поездки зависит еще от ряда факторов (удобные сиденья, современные отопительные приборы, кондиционирование воздуха и т. д.), присущих непосредственно транспортному средству, а также от квалификации и оплаты труда водителя, управляющего транспортным средством. Вследствие периодических резких ускорений транспортного средства в процессе движения пассажиры испытывают толчки большой амплитуды, и комфортабельность снижается. Для оценки труда водителя можно ввести дополнительный показатель уровня комфортабельности, который можно определить с помощью устройства [30], преобразующего в код амплитуду нестационарных механических колебаний, однако при этом бортовая амплитуда транспортного средства несколько усложнится.

Оставшиеся на остановочном пункте пассажирские корреспонденции продолжают участвовать в прогнозировании выбора маршрута поездки и моделировании нагрузки на каждый конкретный маршрут. Если в процессе прогнозирования выбора маршрута поездки предпочтение будет отдано 3-му выбору, то начинается моделирование пешеходных корреспонденций, которое ведется посредством подсчета моментов времени достижения ими остановочных пунктов транспортной сети, пересекаемых графом пешеходного пути. В рас-

четный момент времени прихода на остановочный пункт проверяются условия хода перевозочного процесса, побудившие сделать 3-й выбор. Если они становятся благоприятными для совершения поездки, то пассажирская корреспонденция включается в процесс моделирования нагрузки на маршрут и посадки в транспортное средство вместе с другими корреспонденциями этого остановочного пункта. При неблагоприятных условиях для посадки моделируется переход до следующего остановочного пункта. Пешеходные пассажирские корреспонденции свидетельствуют о плохом качестве предоставления транспортных услуг, которое в большинстве случаев является следствием перехода процесса движения транспортных средств в нештатное состояние. Порожденная 3-м выбором пути неудовлетворенность поездкой отмечается соответствующей оценкой.

Подлежат также оцениванию значения времени в пути и времени ожидания, которые получаются соответственно при моделировании движения транспортной единицы на участках дорожной сети и формировании пассажирских корреспонденций 1-го и 2-го выбора пути.

Оцениваемые величины посредством функции степени достижения цели приобретают значение нечеткой оценки цели управления, на основании которой с учетом правил составления графиков движения делается нечеткий вывод о закреплении за транспортной единицей спланированного графика движения и последующем контроле его выполнения или о повторном планировании этого графика с целью изменения в лучшую сторону значений оцениваемых величин.

Контроль за ходом перевозочного процесса позволяет не только отслеживать его динамику, получать параметры, необходимые для составления графиков движения, и оценки труда задействованных в технологическом процессе перевоза лиц, но и посредством логических выводов при получении информации с дорожной сети выявлять неблагоприятные ситуации и принимать ответные меры для нормализации пассажирских перевозок.

С помощью локального управления, проводимого на остановочных пунктах, выходные параметры модели представляются водителям транспортных средств и пассажирам в удобной для восприятия форме. Причем состав информационных данных и их значения постоянно изменяются периферийным процессором в соответствии с про-

текающим временем, а также корректируются при необходимости в связи с меняющейся картиной перевозочного процесса.

Естественно, что модель должна вырабатывать выходные параметры в реальном масштабе времени, определяемом в общем случае темпом движения транспортных единиц, их количеством, а также числом остановочных пунктов на дорожной сети города. Однако поскольку количество транспортных единиц и режим их движения по маршрутам обусловлены спланированным множеством графиков движения, то поток заявок, поступающий в систему на обслуживание, может быть определен из графиков движения, по которым в настоящее время множеством  $K$  транспортных единиц выполняются рейсы. Так как скорость движения транспортной единицы зависит от времени суток, состояния дорожного покрытия и ряда других факторов, то интенсивность потока заявок, поступающего в систему, будет переменной величиной. Если принять за  $\lambda_k(t)$  интенсивность потока заявок, создаваемого  $k$ -й транспортной единицей, то интенсивность суммарного потока заявок на обслуживание, поступающих в систему с дорожной сети,

$$\lambda(t) = \sum_{k=1}^K \lambda_k(t).$$

При этом суммарный поток близок к нестационарному пуассоновскому.

В базе данных автоматической системы находится совокупность предполагаемых моментов прихода транспортных единиц на остановочные пункты, которая должна соответствовать предполагаемым моментам поступления заявок на обслуживание. Это позволяет заранее вычислять параметры суммарного потока заявок и управлять вычислительным процессом в системе. Представляя модель в виде системы массового обслуживания с ограниченным временем нахождения заявки в очереди, можно получить все основные характеристики этой системы [22]. Используя полученные характеристики, можно изменять распределение заявок, добиваясь при этом более эффективного их обслуживания [31]. Так, например, при увеличении расчетной длины очереди на обслуживание следует наделять приоритетом заявки, поступающие с участков транспортной сети с большой интенсивностью движения.

Для сокращения времени обслуживания заявок в предполагаемой модели системы применено раздельное управление на двух уровнях. Управление на верхнем уровне выполняется центральной частью системы, которая анализирует состояние объектов управления и среды, в которой они функционируют. Управление на низком уровне ведется периферийной частью системы, которая преобразует в зависимости от ситуации, складывающейся на остановочных пунктах, данные, получаемые из центральной части.

### 3.2. Правила составления графиков движения

Закрепление графика движения за транспортной единицей городского пассажирского транспорта можно рассматривать как задачу принятия решения по выбору оптимального для реально складывающихся условий варианта из некоторого множества графиков, составленных с применением определенных правил.

В основе составления любого графика движения транспортной единицы может лежать специально разработанный Е. А. Оленевым метод, благодаря которому на участках дорожной сети для нее предусматриваются режимы «свободное движение» и «следование за лидером». Суть этого метода заключается в следующем.

Предположим, согласно спланированному графику  $k$ -я транспортная единица должна прибыть на данный участок пути в момент времени  $t_k$ , который является случайной величиной, определяемой функцией  $p_1(x)$  (рис. 3.2).

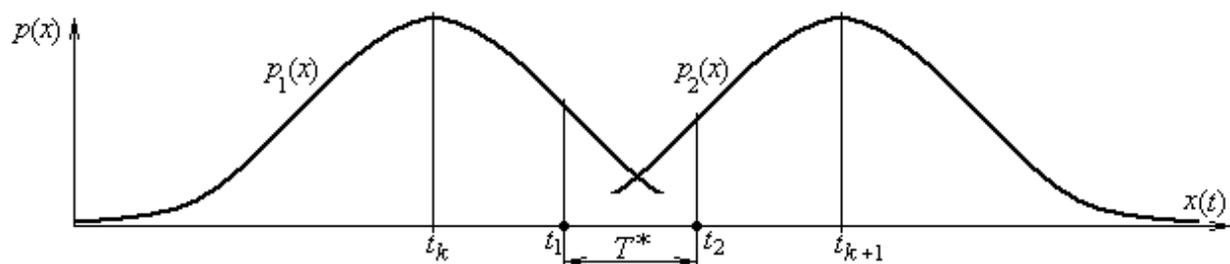


Рис. 3.2. К методу составления графика движения транспортной единицы

Согласно планируемому в настоящее время графику движения  $k + 1$  транспортная единица должна прибыть на указанный участок пути в момент времени  $t_{k+1}$ , который характеризуется соответственно функцией  $p_2(x)$ . При движении по этому участку в режиме «следо-

ние за лидером» между указанными моментами прибытия необходимо иметь некоторый промежуток времени  $T^*$  образования безопасной дистанции между транспортными единицами. Поскольку скорость и интенсивность движения, а также дорожная обстановка и ее влияние на работоспособность водителя и безопасность движения для всех участков дорожной сети различны, то, естественно, различаться будут и значения  $T^*$ .

Если момент прибытия  $k$ -й транспортной единицы будет больше времени  $t_1$  (первое событие), а  $k + 1$  единица прибудет на этот участок раньше времени  $t_2$  (второе событие), то предыдущая транспортная единица будет создавать помеху движению последующей, вынуждая водителя последней снижать скорость, в результате чего может также возникнуть очередная помеха. В связи с тем, что моменты прибытия транспортных единиц на данный участок пути можно считать независимыми событиями, то ситуация, при которой нарушается режим «следование за лидером», будет определяться произведением вероятностей первого и второго событий:

$$p(x) = p_1(x) p_2(x), \quad (3.1)$$

где  $p(x)$  – вероятность риска нарушения режима «следование за лидером»;  $p_1(x)$  – вероятность наступления первого события;  $p_2(x)$  – вероятность наступления второго события.

Обозначим через

$$x = t_1 - t_k = t_{k+1} - t_2 \quad (3.2)$$

допускаемое отклонение моментов прибытия транспортных единиц, тогда с учетом выражения (3.1) вероятности первого и второго событий соответственно будут иметь вид

$$p_1(x) = 0,5 - A(\alpha_1) \int_0^x \exp\left(-\left|\frac{x}{\lambda_1 \sigma_{\Sigma 1}}\right|^{\alpha_1}\right) dx, \quad (3.3)$$

$$p_2(x) = 0,5 - A(\alpha_2) \int_0^x \exp\left(-\left|\frac{x}{\lambda_2 \sigma_{\Sigma 2}}\right|^{\alpha_2}\right) dx. \quad (3.4)$$

Результат вычисления функций (3.3), (3.4), который обозначим  $p^*(x)$ , дан в работе [5]. Тогда с учетом обозначения уравнения (3.3) и (3.4) примут вид

$$p_1(x) = 0,5 - p_1^*(x), \quad (3.5)$$

$$p_2(x) = 0,5 - p_2^*(x), \quad (3.6)$$

а выражение (3.1) запишется так:

$$p(x) = (0,5 - p_1^*(x))(0,5 - p_2^*(x)). \quad (3.7)$$

Момент времени прибытия  $k$ -й транспортной единицы

$$t_1 = t_k + 0,5(t_{k+1} - t_k - T^*). \quad (3.8)$$

Из уравнений (3.2) и (3.8) будем иметь

$$x = 0,5(t_{k+1} - t_k - T^*). \quad (3.9)$$

Отсюда момент времени  $t_{k+1}$  прибытия на данный участок дорожного пути, обеспечивающий режим «следование за лидером», будет иметь значение

$$t_{k+1} \geq 2x + t_k + T^*. \quad (3.10)$$

Принимая за  $C$  допустимое значение вероятности риска нарушения режима «следование за лидером» и задавая параметр  $x$  в выражении для  $p^*(x)$ , находят значения  $p_1^*(x)$  и  $p_2^*(x)$ , которые затем подставляют в формулу (3.7). Если полученное при этом значение не превосходит значения  $C$ , то, делая подстановку этого параметра  $x$  в выражение (3.10), получают момент времени  $t_{k+1}$  прибытия последующей транспортной единицы.

При движении транспортных единиц по одному маршруту  $\alpha_1 = \alpha_2$  и  $\sigma_{\Sigma_1} = \sigma_{\Sigma_2}$ , поэтому выражение (3.7) для этого случая можно упростить:

$$p(x) = (0,5 - p^*(x))^2. \quad (3.11)$$

Учитывая, что при заданном значении  $C$  вероятности риска нарушения режима «следование за лидером» интервал  $d_c$  неопределенности случайной величины равен  $2x$ , получаем окончательно

$$t_{k+1} \geq d_c + t_k + T^*. \quad (3.12)$$

Таким образом, для обеспечения на участке транспортной сети режима «следование за лидером» достаточно, чтобы время прибытия на этот участок последующей транспортной единицы было бы не меньше, чем сумма времени прибытия на него предыдущей транспортной единицы, величины интервала неопределенности этого времени при заданном значении вероятности риска нарушения указанного режима движения и времени образования безопасной дистанции между указанными транспортными единицами. По мере увели-

чения времени прибытия последующей транспортной единицы движение ее на этом участке пути будет переходить в режим «свободное движение».

Изложенный метод планирования движения на участках транспортной сети должен применяться при составлении всех графиков движения. Для фиксирования спланированных моментов прибытия транспортных единиц на участки транспортной сети база данных должна содержать картотеку, в которую заносятся все указанные данные о моментах прибытия.

Другой важный момент при составлении графиков движения – совместное планирование тех графиков движения, изменение очередности моментов прибытия транспортных единиц по которым на остановочный пункт влияет на перераспределение пассажиропотоков по маршрутам, проходящим через этот остановочный пункт.

Действительно, если на остановочном пункте находятся пассажиры, которые имеют возможность воспользоваться для поездки некоторым множеством маршрутов, то при прочих равных условиях пассажиры будут совершать посадку в транспортную единицу, которая прибыла первой на этот остановочный пункт. Следовательно, формирование пассажиропотоков с данного остановочного пункта по маршрутам, проходящим через этот пункт, будет зависеть от порядка прибытия на него транспортных единиц. Поэтому для более равномерного и эффективного распределения пассажирских корреспонденций необходимо учитывать последовательность прибытия транспортных единиц на остановочные пункты транспортной сети.

Графики движения транспортных единиц по маршрутам, изменение очередности моментов прибытия на остановочный пункт по которым оказывает в данный момент времени влияние на перераспределение пассажиропотоков по этим маршрутам, предлагается называть корреляционными.

Поскольку состав корреляционных графиков на остановочных пунктах маршрута различный, то при планировании графика движения транспортной единицы целесообразно рассмотреть этот состав прежде всего на том остановочном пункте маршрута, на котором находится наибольшее число пассажирских корреспонденций.

Перейдем теперь к описанию непосредственно планирования графиков движения, которое (как контроль и управление движением)

основывается на нечетких правилах типа «если ..., то ...», в которых выражение, стоящее после «если», является предпосылкой (условием), а выражение, стоящее после «то», – операцией, которую должна выполнить система.

Технологические процессы контроля движения, управления им и планирования графиков связаны в системе непрерывно во времени и определяют друг друга. Так, например, непрерывный контроль за потребностью в пассажирских перевозках по всем остановочным пунктам транспортной сети выявляет запрос на них, по результатам которого немедленно вырабатывается очередной график движения. Точно так же по результатам контроля за движением транспортных средств тут же вырабатываются управляющие воздействия, которые доводятся до сведения водителя транспортной единицы.

Были разработаны следующие правила составления (планирования) графиков движения транспортных единиц.

(С-1). Если оценка степени достижения цели управления по крайней мере у одного корреляционного графика множества маршрутов не достигает максимального уровня, то, дискретно, через градационный промежуток изменяя значение времени отправления в рейс, определить для каждого графика множества допустимый диапазон времени отправления в рейс, при котором не ухудшается изначально достигнутый оценочный уровень, и выбрать из семейства графиков, спланированных путем перебора градационных отметок, по одному на маршрут такие, которые обеспечивали бы наибольший суммарный прирост значений начальных оценочных уровней.

(С-2). Если оценка степени достижения цели управления по крайней мере у одного корреляционного графика множества маршрутов не достигает максимального уровня, то определить целесообразность переключения на маршрут, график движения по которому не достиг максимального оценочного уровня, транспортной единицы с прилегающего маршрута.

(С-3). Если оценка степени достижения цели управления по крайней мере у одного корреляционного графика множества маршрутов не достигает максимального уровня, то определить целесообразность переключения в укороченный рейс на маршрут, график движения по которому не достиг максимального уровня, транспортной единицы, движущейся по этому же маршруту в обратном направлении.

(С-4). Если оценка степени достижения цели управления по крайней мере у одного корреляционного графика множества маршрутов не достигает максимального уровня, то определить возможность и необходимость ввода на маршрут, график движения по которому не достиг максимального уровня, резервной транспортной единицы.

(С-5). Если в результате останова движения на участке дорожной сети произошло скопление транспортных единиц, то при возобновлении движения планировать графики движения для этих транспортных единиц с сокращением числа остановок на маршруте.

Остановимся теперь более подробно на рассмотрении этих правил.

Правило (С-1) дает возможность определить оптимальные моменты отправления транспортных единиц, которым предстоит следовать в рейс по корреляционным графикам. Поскольку для каждого графика существует некоторый диапазон изменения момента отправления, при котором не происходит существенного ухудшения качества предоставляемых услуг, то, проведя градацию диапазона и принимая получившиеся градационные отметки за возможные моменты отправления, составляют путем перебора этих моментов семейство различных вариантов графиков, а затем выбирают по одному на маршрут наиболее эффективные.

Это дает возможность производить более равномерную загрузку транспортных средств различных маршрутов, проходящих через остановочный пункт с большим количеством ожидающих пассажиров, так как далеко не безразлично, в какой последовательности проходят этот пункт указанные транспортные средства. Однако даже оптимальный график движения иногда может не обеспечить требуемое качество пассажирских перевозок, поэтому в этом случае необходимо пойти по пути повышения уровня эффективности перевоза за счет увеличения количества транспортных единиц на линии, пользуясь для этого последующими правилами.

Правило (С-2) определяет дальнейший порядок действий, если решение о закреплении графика, спланированного согласно правилу (С-1), не принято. Переключение транспортной единицы с одного маршрута на другой может быть оправдано при значительно большей потребности в ней на другом маршруте, при этом качество пассажир-

ских перевозок на первом маршруте не должно сильно пострадать. Вывод о целесообразности переключения следует делать в два этапа.

На первом этапе определяется уровень оценки степени достижения цели на первом и втором маршрутах до предполагаемого переключения транспортной единицы. Если оценочный уровень на первом маршруте значительно выше или ниже, чем на втором, то принимается решение соответственно о переключении транспортной единицы на второй маршрут или об отказе. В том случае, когда уровни мало различимы, для принятия решения приступают ко второму этапу.

На втором этапе выполняют условное переключение транспортной единицы на второй маршрут и прогнозируют оцениваемые величины путем составления очередных графиков движения: на первом маршруте – без условно переключенной единицы, а на втором – с учетом последней. Если в результате прогнозирования происходит существенное повышение степени достижения цели управления на втором маршруте и качество пассажирских перевозок при этом на первом маршруте сильно не страдает, то принимается решение о целесообразности переключения транспортной единицы с маршрута на маршрут. Если хотя бы одно из указанных условий не выполняется, то делается вывод о запрещении переключения. Независимо от принятого решения на первом и втором этапах прогнозируемый оценочный уровень может остаться недопустимо низким, поэтому следует перейти к следующей попытке, улучшающей качество пассажирских перевозок на линии.

Правило (С-3) намечает дальнейший ход по пути повышения качества перевоза. Целесообразность переключения в укороченный рейс транспортной единицы, движущейся по маршруту в обратном направлении, определяется аналогичным (по правилу С-2) образом, однако при этом еще следует учитывать предполагаемую наполненность салона намеченной к переключению в укороченный рейс транспортной единицы, поскольку выходящие не по своей воле на пункте ее предполагаемого разворота пассажиры будут вынуждены совершить пересадку, вызывающую у них определенные неудобства.

Правило (С-4) позволяет воспользоваться еще одним методом, нормализующим перевозочный процесс. Если возможность переключения на маршрут резервной транспортной единицы определяется ее наличием, то вывод о необходимости проведения такой операции

следует делать также в два этапа, которые от описанных выше, по существу, отличаются тем, что сравнение оценочного уровня на данном маршруте проводят со всеми оценочными уровнями тех маршрутов, на которых при необходимости может быть задействована резервная единица.

Правило (С-5) применяется для составления графиков при возобновлении движения по участку дорожной сети, на котором вследствие останова произошло скопление транспортных единиц. Сокращение времени в пути за счет снижения количества остановок на маршруте не только ускоряет нормализацию перевозочного процесса, но и позволяет быстрее рассредоточить транспортные средства, не допуская перегрузки подстанции, питающей контактную сеть силовой энергией.

Таким образом, нечеткие выводы о закреплении графика движения построены на основе качественных соотношений между предполагаемой оценкой степени достижения цели управления планируемого графика и оценочным уровнем хода перевозочного процесса в данный момент времени.

### **3.3. Правила контроля и управления движением**

В процессе управления ходом перевозочного процесса контролируются разнообразные параметры, большинство из которых получается посредством обработки внутренних массивов базы данных. Рассмотрим только основные, определяющие правила контроля и управления движением, которые применяются при обработке содержимого информационных посылок, приходящих на обслуживание в центральную часть системы, а также посылок, обслуженных и поступивших в периферийную часть системы для использования при управлении на низком уровне.

Обозначим сначала разработанные правила высокого уровня, применяемые при обработке заявок в центральной части системы.

(КУ-1). Если информационные посылки с остановочного пункта транспортной сети поступают своевременно и содержащиеся в полученной посылке параметры, присущие конкретной транспортной единице, не приближаются к своим предельным значениям, то передать на этот пункт данные, определяемые спланированным для указанной единицы графиком движения.

(КУ-2). Если информационные послылки с остановочного пункта поступают своевременно, но по крайней мере один из содержащихся в полученной послылке параметров имеет тенденцию приближения к своему предельному значению, то принять меры к снижению этой тенденции.

(КУ-3). Если информационные послылки с остановочного пункта поступают несвоевременно и по крайней мере один из содержащихся в полученной послылке параметров имеет тенденцию превышения своего предельного значения, то принять меры к нормализации значения этого параметра.

(КУ-4). Если информационные послылки длительное время не поступают с остановочного пункта, то организовать движение транспортных средств в объезд этого остановочного пункта путем изменения маршрутов и соответствующих графиков движения.

(КУ-5). Если возобновилось поступление информационных посылок с остановочного пункта, то восстановить движение транспортных единиц по прежним маршрутам по вновь составленным для этого графикам.

Для перечисленных правил характерна их двухэтапность.

На *первом этапе* контролируется ход перевозочного процесса в целом: не заблокировано ли движение транспортных единиц по дорожной сети; требуется ли немедленное изменение в существующем плане движения?

На *втором этапе* ведется контроль за стабильностью протекания перевозочного процесса: соответствует ли расчетному движению транспортных единиц; не возникает ли угроза перехода его в нештатное состояние?

Двухэтапный контроль позволяет оперативно вмешиваться при неожиданных сбоях в ходе перевозочного процесса и предотвращать возникновение нежелательных ситуаций, ухудшающих качество пассажирских перевозок.

Для представления в виде функции нечеткостей предпосылки, принадлежащих первому этапу контроля, будем полагать, что интервалы  $t_j$  прихода транспортных единиц на  $j$ -й остановочный пункт (рис. 3.3) распределены по нормальному закону

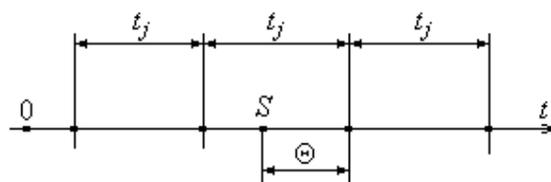


Рис. 3.3. К определению времени контроля движения на участках транспортной сети города

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{tj}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-m_{tj}}{\sigma_{tj}}\right)^2}, \quad (3.13)$$

где  $\sigma_{tj}$  – среднее квадратическое отклонение моментов прихода транспортных единиц на  $j$ -й остановочный пункт;  $m_{tj}$  – математическое ожидание интервала движения транспортных единиц через  $j$ -й остановочный пункт.

Математическое ожидание

$$m_{tj} = \frac{1}{\lambda_{\Sigma j}}, \quad (3.14)$$

где  $\lambda_{\Sigma j}$  – интенсивность суммарного потока транспортных единиц через  $j$ -й остановочный пункт, которая может быть выражена так:

$$\lambda_{\Sigma j} = \sum_{m=1}^{N_{mj}^{\#}} \lambda_{mj}, \quad (3.15)$$

где  $N_{mj}^{\#}$  – количество маршрутов, пролегающих через  $j$ -й остановочный пункт;  $\lambda_{mj}$  – интенсивность потока транспортных единиц на  $m$ -м маршруте, который проходит через  $j$ -й остановочный пункт.

Поскольку момент  $S$  времени начала контроля поступления посылок с  $j$ -го остановочного пункта никак не связан с моментами прихода транспортных единиц на этот остановочный пункт, то плотность распределения остатка времени  $\theta$  от момента начала контроля до момента прихода очередной транспортной единицы будет иметь вид

$$\Phi(\vartheta) = \frac{1-F(\vartheta)}{m_{tj}}, \quad (3.16)$$

где  $F(\vartheta) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$  – функция распределения остатка времени  $\theta$ , представляет собой функцию Лапласа.

Тогда согласно работе [32] математическое ожидание  $m_{\vartheta j}$  случайной величины  $\theta$  и дисперсию  $D_{\vartheta j}$  (для  $j$ -го остановочного пункта) определяют формулами

$$m_{\vartheta j} = \frac{1}{2} m_{tj} + \frac{\sigma_{tj}^2}{m_{tj}}, \quad (3.17)$$

$$D_{\vartheta j} = \frac{\sigma_{tj}^2}{2} - \frac{\sigma_{tj}^4}{4m_{tj}^2} + \frac{m_{tj}^2}{12}. \quad (3.18)$$

С учетом выражения (3.14) среднее квадратическое отклонение будет иметь вид

$$\sigma_{\vartheta j} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{3\lambda_{\Sigma j}^2} + 2\sigma_{tj}^2 - \lambda_{\Sigma j}^2 \sigma_{tj}^4}. \quad (3.19)$$

Если согласно правилу трех сигм за длительное время  $B$  непоступления информационных посылок с  $j$ -го остановочного пункта принять величину  $3\sigma_{\vartheta j}$ , а за своевременное поступление  $G$  – величину  $2\sigma_{\vartheta j}$ , то за несвоевременное поступление  $M$  следует принять величину  $2,5\sigma_{\vartheta j}$ .

На рис. 3.4 показана функция принадлежности предпосылки 1-го этапа контроля, позволяющая обрабатывать нечеткие градации интервала времени поступления информационных посылок на обслуживание.

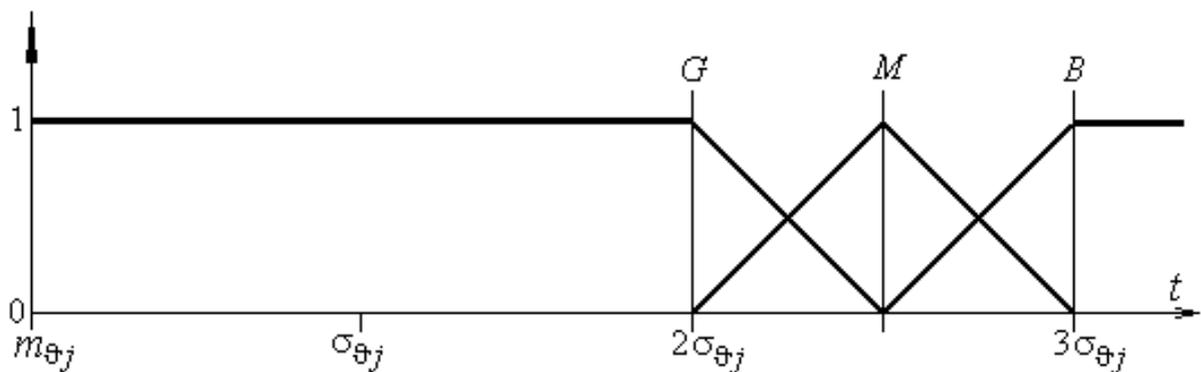


Рис. 3.4. Функция принадлежности предпосылки 1-го этапа контроля движения транспортных единиц на участках маршрута

Контролировать ситуацию на транспортной сети города следует по поступлению только тех посылок, которые обслуживаются первый раз. Если при увеличении очереди на обслуживание заявок будет установлен приоритет, то во избежание формирования ложных выводов остановочные пункты, поступление заявок с которых не обеспечивается приоритетом, должны быть исключены из контроля. Если снижение полноты контроля может существенно сказаться на качестве управления, то нужно составить алгоритм работы системы таким образом, чтобы при установлении приоритета обслуживание заявок происходило согласно ему, а факт поступления отмечался бы по всем заявкам без исключения.

Как видно по рис. 3.4, продолжительность контроля, выявляющая нечеткие градации интервала времени поступления посылок, должна быть не менее

$$H_j \geq m_{\vartheta j} + 2,75\sigma_{\vartheta j}, \quad (3.20)$$

где  $H_j$  – продолжительность контроля на  $j$ -м остановочном пункте.

Находя из выражений (3.17) и (3.19) значения  $m_{\vartheta j}$ ,  $\sigma_{\vartheta j}$  и подставляя их в формулу (3.20), получают продолжительность контроля для каждого остановочного пункта транспортной сети города. Определяя продолжительность времени от момента измерения до момента поступления каждой заявки на обслуживание и сравнивая получаемые величины с рассчитанными для каждого остановочного пункта значениями  $H_j$ , система делает вывод о целесообразности вмешательства в существующий план движения. Для повышения достоверности вывода необходимо выполнить несколько измерений по каждому остановочному пункту. При этом на остановочных пунктах с большой интенсивностью движения общая продолжительность нескольких попыток измерения сравнительно невелика, а следовательно, своевременная констатация, например, факта прекращения движения на некотором участке дорожной сети даст возможность оперативно изменить маршрут, благодаря чему минимизируются нежелательные последствия, вызванные остановом перевозочного процесса на этом участке. На остановочных пунктах с малым количеством маршрутов и большим интервалом движения транспортных средств через них получение аналогичного вывода может оказаться недопустимо долгим. Поэтому в этом случае имеет смысл для окончательного вывода заключение, сделанное по результату одной попытки измерения, сопоставить с одноразовыми заключениями, полученными по соседним остановочным пунктам маршрута. Так как останов движения сказывается, как правило, на продолжительном участке транспортной сети, то по крайней мере факт прекращения движения на участках с малой интенсивностью движения будет хорошо распознаваться системой.

Сделав вывод о длительном непоступлении или несвоевременном поступлении заявок с остановочного пункта, система может продолжить делать логические выводы для выяснения предположительной причины неблагополучно складывающейся ситуации на этом участке пути.

Если на данном участке пути пассажирские перевозки выполняются электрическим транспортом, то система (при наличии возможности) выясняет надежность снабжения контактной сети силовой энергией, отсутствие которой наиболее часто является причиной останова движения.

Если электропитание сети осуществляется бесперебойно, то необходимо выяснить наличие движения транспортных единиц через данный остановочный пункт в обратном направлении. Следование транспортных средств в обратном направлении позволяет сделать вывод о том, что помеха движению создана только на правой части проезжего пути, а следовательно, есть надежда на продолжение перевозок автобусами, которые более маневренны по сравнению с электро-транспортом. Отсутствие движения в обратном направлении говорит о блокировании всего этого участка транспортной магистрали.

Если с данного остановочного пункта посылки на обслуживание поступают несвоевременно, то связанная с этим временная задержка – следствие или помех, препятствующих развитию регламентируемой скорости на предыдущем участке пути, или больших потерь времени на перекрестке. Последняя причина может быть выявлена при сопоставлении продолжительности задержки с временем разезда очереди на перекрестке, которое определяют исходя из представлений теории массового обслуживания, используя формулу Поллачека – Хинчина [33].

Таким образом, введение дополнительных правил контроля сложившейся на транспортной сети ситуации позволяет конкретизировать причину сбоев в движении и применить соответствующие меры для ее устранения.

Второй этап контроля предполагает определение степени приближения параметров к своим предельным значениям. Допускаемое значение приближения должно назначаться на основе экспертных оценок, регламентирующих процесс контроля.

Остановимся теперь на втором этапе правил высокого уровня.

Реализация правила (КУ-1) предусматривает выдачу данных, которые потом будут использоваться для управления на низком уровне периферийной частью системы.

Правило (КУ-2) имеет набор управляющих воздействий, которые применяются в зависимости от конкретного параметра, приближающегося к своему предельному значению.

Так, увеличение времени отстоя транспортной единицы на остановочном пункте и приближение ее скорости движения к предельно допустимому значению на последующем участке пути сигнализирует о перегрузке подвижного состава на этом участке маршрута и возможном впоследствии массовом срыве графиков движения. Поэтому, корректируя количество пассажирских корреспонденций на остановочном пункте, что, в свою очередь, отражается на составлении очередного графика движения по этому участку маршрута, добиваются снижения возникшей нежелательной тенденции. При этом для корректировки можно воспользоваться данными работы [34], согласно которым средняя продолжительность посадки (высадки) одного пассажира составляет около 2 с.

Очевидно, что малое время отстоя на остановочном пункте и низкая скорость движения транспортной единицы на последующем участке пути свидетельствуют, как правило, о небольшом количестве пассажиров, желающих ехать по данному маршруту, а следовательно, необходима коррекция пассажирских корреспонденций на остановочном пункте, проводимая уже в сторону их увеличения.

Среднее значение времени отстоя и долгое время в пути до следующего остановочного пункта позволяют сделать логический вывод о возникновении препятствия на дороге, которое может спровоцировать скопление транспортных средств, перегрузку подстанции, питающей контактную сеть силовой энергией, и полную остановку пассажирских перевозок. Поэтому для предотвращения указанных нежелательных последствий еще до выяснения конкретной причины и принятия мер по ее устранению (о чем было сказано выше) следует снизить на предыдущих участках дорожной сети скорость движения транспортных средств, следующих по маршрутам, проходящим через аварийный участок. Для этого достаточно скорректировать соответствующие части графиков движения этих транспортных средств.

Управление по правилу (КУ-3) требует усиления мер, принятых в результате применения правила (КУ-2). Так, например, если движению транспортных единиц препятствует увеличившийся поток транспортных средств, следующий или по правой полосе, или по дороге,

являющейся главной, то в первом случае необходимо выделить правую полосу для движения только общественного транспорта, а если это невозможно, то ограничить поток автотранспорта по этому участку. Во втором случае следует включить светофор на пересечении указанных дорог или изменить режим его работы, увеличивая продолжительность сигнала, разрешающего движение по этому участку. За рубежом, например в Германии, транспортные средства снабжают приемопередающими устройствами, которые за 300 м до перекрестка производят включение зеленого сигнала светофора, что обеспечивает приоритетное движение транспортному средству. Применение указанного приема возможно и в предлагаемом правиле управления.

Правило (КУ-4) применяется при остановке движения и предполагает изменение маршрута и соответствующего графика для объезда транспортными средствами аварийного участка пути. При этом следует иметь в виду, что при большой протяженности аварийного участка на нем следует хотя бы частично, например автобусами, организовать движение для облегчения положения пассажиров, оказавшихся на этом участке.

После возобновления движения на аварийном участке пути применяется правило (КУ-5), с помощью которого восстанавливаются прежние маршруты следования общественного транспорта по вновь составленным графикам.

Рассмотрим теперь правила низкого уровня управления, которые применяются в работе периферийного процессора для локального (на остановочном пункте) управления транспортной единицей.

(ЛУ-1). Если поступил сигнал от датчика, регистрирующего момент прихода транспортной единицы на остановочный пункт, то декодировать принятый датчиком сигнал и начать измерение двух временных промежутков:

- от момента срабатывания датчика, регистрирующего приход транспортной единицы на остановочный пункт, до момента начала сеанса связи с центральной частью системы;

- от момента срабатывания датчика, регистрирующего приход транспортной единицы на остановочный пункт, до момента срабатывания датчика, регистрирующего уход транспортной единицы с остановочного пункта.

(ЛУ-2). Если поступил сигнал о начале сеанса связи с центральной частью системы, то закончить измерение первого временного промежутка, обменяться информацией с центральной частью системы и проверить наличие на остановочном пункте потребителя полученной информации.

(ЛУ-3). Если на остановочном пункте присутствует потребитель полученной из центральной части системы информации, то периодически рассчитывать для него управляющие параметры до тех пор, пока он не покинет остановочный пункт.

(ЛУ-4). Если поступил сигнал от датчика, регистрирующего момент ухода транспортной единицы с остановочного пункта, то декодировать принятый датчиком сигнал, закончить измерение второго временного промежутка, запомнив его значение, и расчет параметров для ушедшей транспортной единицы.

(ЛУ-5). Если на остановочном пункте находится несколько потребителей информации, то расчетные параметры представлять в порядке прихода транспортных единиц на остановочный пункт.

Правило (ЛУ-1) устанавливает порядок работы периферийного процессора с транспортной единицей, пришедшей на остановочный пункт. Декодирование сигнала датчика (как входного, так и выходного) выявляет информацию, поступающую от системы кодированных сообщений, которая может быть размещена на транспортной единице. Данная информация должна по крайней мере содержать сведения о номере транспортной единицы. Измерение временных промежутков позволяет получить необходимые параметры, используемые при управлении.

С помощью правила (ЛУ-2) происходит передача выявленной информации на обслуживание в центральную часть системы и получение от нее данных, необходимых для расчета управляющих параметров для транспортной единицы. Величина измеренного временного промежутка от момента срабатывания датчика, регистрирующего приход транспортной единицы на остановочный пункт, до момента начала сеанса связи с центральной частью системы позволяет определить время прихода этой единицы и сравнить его с временем прихода по графику, а также определить фактическое время отстоя транспортной единицы на остановочном пункте до начала расчета управляющих параметров для нее.

Правило (ЛУ-3) определяет действия периферийного процессора над полученными из центральной части системы данными.

Правило (ЛУ-4) устанавливает процедуру завершения работы периферийного процессора с транспортной единицей. Величина измеренного временного промежутка от момента срабатывания датчика, регистрирующего приход транспортной единицы на остановочный пункт, до момента срабатывания датчика, регистрирующего ее уход, дает возможность определить время отстоя этой единицы на остановочном пункте, значение которого используется впоследствии для проведения логических выводов.

Правило (ЛУ-5) устанавливает очередность ведения системой диалога с водителями транспортных единиц, находящихся на остановочном пункте.

Распределенный принцип управления повышает гибкость системы и сводит до минимума необходимый обмен информацией.

Помимо выполнения функций контроля и управления система обеспечивает снабжение оперативной информацией пассажиров, ожидающих на остановочном пункте транспортные средства. Оптимальным для пассажиров представляется состав информационных данных, содержащий значения времени, оставшегося до предполагаемого момента прихода на остановочный пункт транспортной единицы по каждому проходящему через этот пункт маршруту. Указанное значение времени определяется специально разработанным для этого способом, который будет изложен ниже.

Перерабатываемая периферийным процессором информация должна быть посредством диалога доведена до сведения водителей транспортных средств и пассажиров, находящихся на остановочном пункте. Эффективность этого диалога можно охарактеризовать правильностью и удобством как восприятия информации, так и дальнейшего ее использования, а также временем проведения диалога, которое по возможности должно быть минимальным для повышения быстродействия системы в целом.

### **3.4. Формирование информационного ядра**

Для выполнения своих функций система искусственного интеллекта (ИИ), входящая в состав автоматической системы диспетчерского управления городским пассажирским транспортом, должна

иметь такой состав первичных данных (информационное ядро), собираемых в ходе перевозочного процесса, который позволил бы посредством формализованных правил переработки этой информации получать параметры, необходимые для управления транспортными средствами с целью повышения качества удовлетворения потребности городского населения в поездках при эффективном использовании ресурса подвижного состава. Вид и порядок действий, выполняемых над информацией, как правило, определяются информационной моделью, которая выступает как параметрическое представление процесса циркуляции информации. Информационная модель совместно с математическими моделями – основа создания автоматической системы диспетчерского управления движением ГПТ, она отражает структуру этой системы.

Закодированная информация воспринимается техническими средствами автоматизации, которые можно разделить на три группы.

*Первую группу* составляют технические средства общения людей с автоматической системой диспетчерского управления.

*Вторая группа* состоит из вычислительных машин, которые осуществляют переработку информации, ее анализ и вырабатывают управляющие воздействия. Их производительность должна соответствовать требованиям процесса управления общественным транспортом.

Однако сами по себе вычислительные машины не способны получить информацию от объектов управления и вступить в эффективный диалог с ними, поэтому возникает потребность в разработке специализированной аппаратуры, устанавливаемой на остановочных пунктах, которая, являясь периферийной частью системы искусственного интеллекта, во-первых, выполняла бы указанные функции, а во-вторых, осуществляла бы локальный контроль и управление транспортными средствами. Исходя из этого, *третья группа* технических средств автоматизации включает в себя периферийную аппаратуру.

Структура аппаратного обеспечения остановочного пункта приведена на рис. 3.5. Она содержит датчики регистрации прихода и ухода транспортных средств, информационное табло и микропроцессорный комплект, состоящий из микропроцессора, постоянного запоминающего устройства, оперативного запоминающего устройства и устройства ввода/вывода данных.

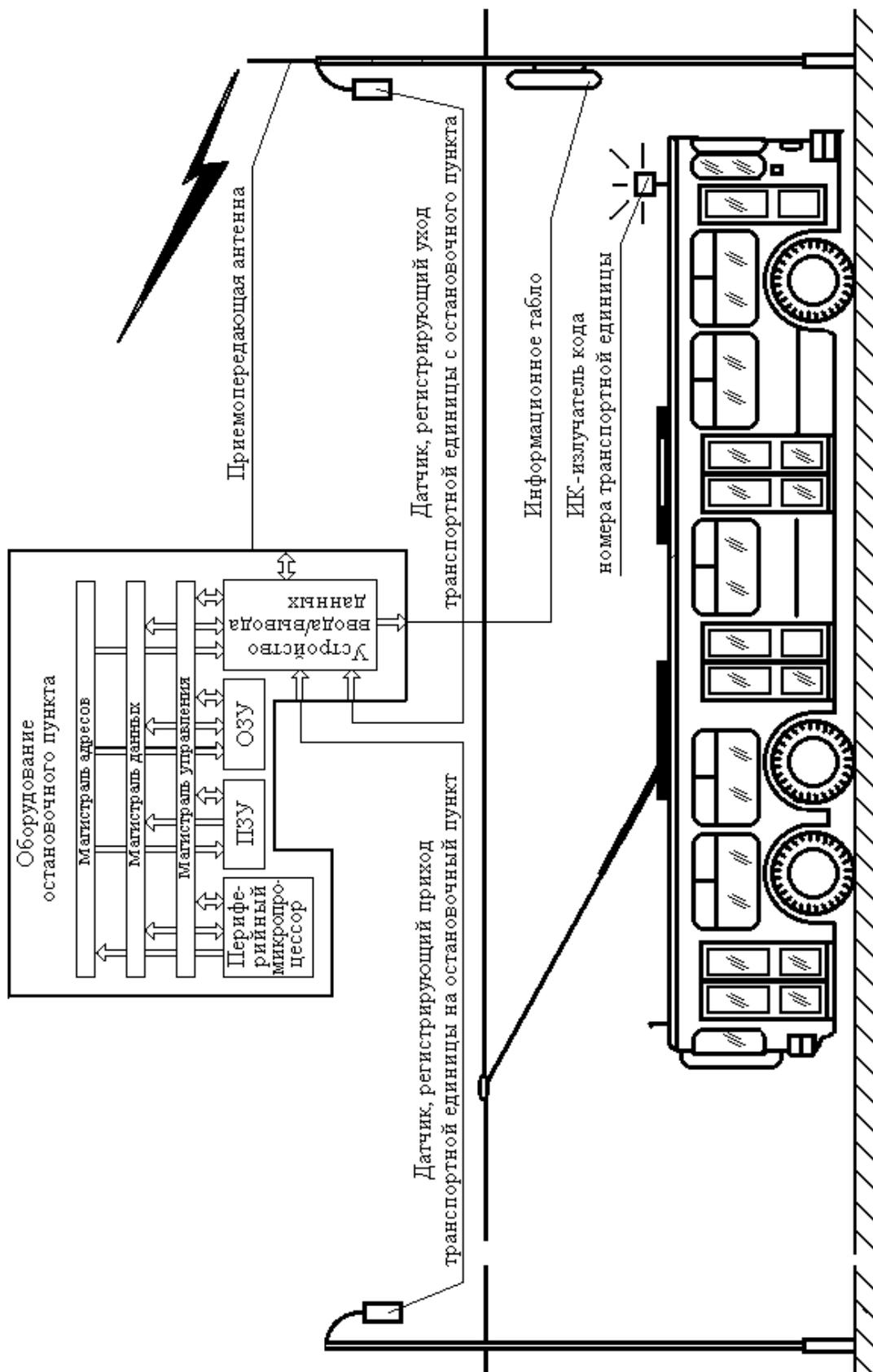


Рис. 3.5. Схема аппаратного обеспечения остановочного пункта

Датчик регистрации прихода транспортной единицы устанавливается в начале зоны остановочного пункта, а датчик регистрации ее ухода – в конце этой зоны. Прибытие транспортной единицы на остановочный пункт вызывает срабатывание датчика регистрации момента ее прихода, в результате чего информация о гаражном номере этой транспортной единицы поступает для обработки сначала в периферийную, а затем в центральную часть системы искусственного интеллекта.

Периферийный процессор, зафиксировав момент прихода, начинает вести отсчет времени отстоя транспортной единицы на данном остановочном пункте, индицирует на информационном табло принятый гаражный номер, сообщая тем самым водителю о постановке на обслуживание автоматической системой диспетчерского управления, а также готовит информационную посылку для отправки ее в центральную часть системы искусственного интеллекта (о составе посылки и ее обработке будет рассказано ниже). Получив с обслуживания посылку, обязательным содержанием которой является значение времени движения (по заранее спланированному графику) до следующего остановочного пункта, микропроцессор вычисляет скорость, которой должен придерживаться водитель в пути до следующего остановочного пункта. Значение рассчитанной скорости индицируется посредством табло.

Если транспортное средство не покидает остановочный пункт, а запас времени отстоя исчерпан, то из этого следует, что прибытие на следующий остановочный пункт произойдет с опозданием по намеченному графику. Поэтому для предотвращения возможных помех, создаваемых опаздывающим транспортным средством другим участникам перевозочного процесса, целесообразно заблаговременно откорректировать график движения. Для этого микропроцессор подготавливает повторную посылку на обслуживание указанного транспортного средства, после получения ответа на которую вновь рассчитывает рекомендуемую скорость движения согласно откорректированному графику. Момент ухода транспортной единицы с остановочного пункта фиксируется соответствующим датчиком, и микропроцессор, определив время отстоя, сообщает о нем в центральную часть системы искусственного интеллекта.

Поскольку управляющие воздействия, вырабатываемые системой искусственного интеллекта, доводятся до водителя через информационное табло, то для организации диалога достаточно одного канала связи, по которому информация идет только от объекта управления. Представляется целесообразным выполнять такой канал с использованием оптико-электронных устройств, установив предварительно на транспортном средстве источник инфракрасного излучения (ИК) малой мощности.

Применение в качестве датчиков, регистрирующих моменты прихода и ухода транспортных средств, оптико-электронных устройств имеет ряд преимуществ по сравнению с радиочастотными. Оптико-электронные устройства не создают каких-либо излучающих помех, работают в различных погодных и климатических условиях, а также способны распознавать образ транспортного средства, который характеризуется формой, размерами и специфическим распределением температур корпуса. Этот образ воспринимается оптико-электронным устройством и трансформируется в электрический сигнал, несущий информацию об образе. Если для распознавания объекта управления использовать одновременно данные о его гаражном номере и образе, то это позволит значительно повысить защищенность автоматической системы диспетчерского управления от преднамеренного вмешательства с целью сбоя ее работы.

Соединение периферийной и центральной частей системы искусственного интеллекта волоконно-оптической линией связи (ВОЛС) также имеет ряд преимуществ по сравнению с электрическим кабелем. Отличительные черты ВОЛС следующие:

- широкополосность (реализованные скорости передачи на одной длине волны составляют десятки гигабайт в секунду);
- передача на большие расстояния без усилителей и регенераторов (порядка 50 км на скоростях 5 – 10 Гбит/с);
- помехозащищенность в сложной электромагнитной обстановке;
- меньшие масса и габариты оптического кабеля;
- малые потери (менее 20 дБ/км).

В волоконно-оптических системах передачи информации (ВОСПИ) основные функции переноса информации заключаются в электронно-оптическом и оптоэлектронном преобразованиях сигналов и распределении последних по канализирующей диэлектрической

среде [35; 36]. Указанные функции реализуются световодами, полупроводниковыми излучателями и детекторами.

Современные световоды, изготавливаемые из особо чистых кварцевых стекол, имеют минимум оптических потерь вблизи длин волн  $\lambda = 0,85$  мкм,  $\lambda = 1,3$  мкм и  $\lambda = 1,55$  мкм.

Преобразование электрической энергии в световую происходит в излучателях, в качестве которых используются светодиоды и полупроводниковые лазеры. Приемлемой эффективностью сопряжения со световодами обладают полупроводниковые светодиоды (СД) и суперлюминесцентные диоды (СЛД). Эти источники некогерентного излучения имеют малые размеры, относительно низкую стоимость, достаточную яркость и отличаются простотой модуляции током инжекции с частотами до нескольких сотен мегагерц. Однако невысокие мощности излучения (менее 50 мВт) не позволяют использовать их в ВОЛС длиной более нескольких километров. Для длинных линий более эффективным становится использование полупроводниковых лазеров с мощностью излучения 0,5 Вт.

Функция детектора в ВОСПИ состоит в преобразовании оптического сигнала в электрический, который затем обрабатывается в электрических схемах. В качестве таких детекторов можно использовать полупроводниковые и лавинные фотодиоды. Они имеют малые размеры и хорошо стыкуются с волоконными световодами.

Предпочтительная топология линии связи – кольцо. При соединении аппаратуры, размещенной на остановочных пунктах, в кольцо проходящий по линии сигнал регенерируется в каждом устройстве, при этом необходим всего лишь один тип таких устройств в сети. Кроме того, нет необходимости протягивать кабели изо всех мест к центральному узлу, а каждый узел сети имеет только две точки присоединения, что дает экономию оптических компонентов.

Рассмотрим необходимый и достаточный состав первичных информационных данных. На рис. 3.6 представлен состав данных, формируемый на остановочных пунктах транспортной сети города.

При подходе транспортной единицы к  $i$ -му остановочному пункту микропроцессорная система (см. рис. 3.5) расшифровывает сигнал системы кодированных сообщений, который по крайней мере содержит данные о гаражном номере прибывшей транспортной единицы.

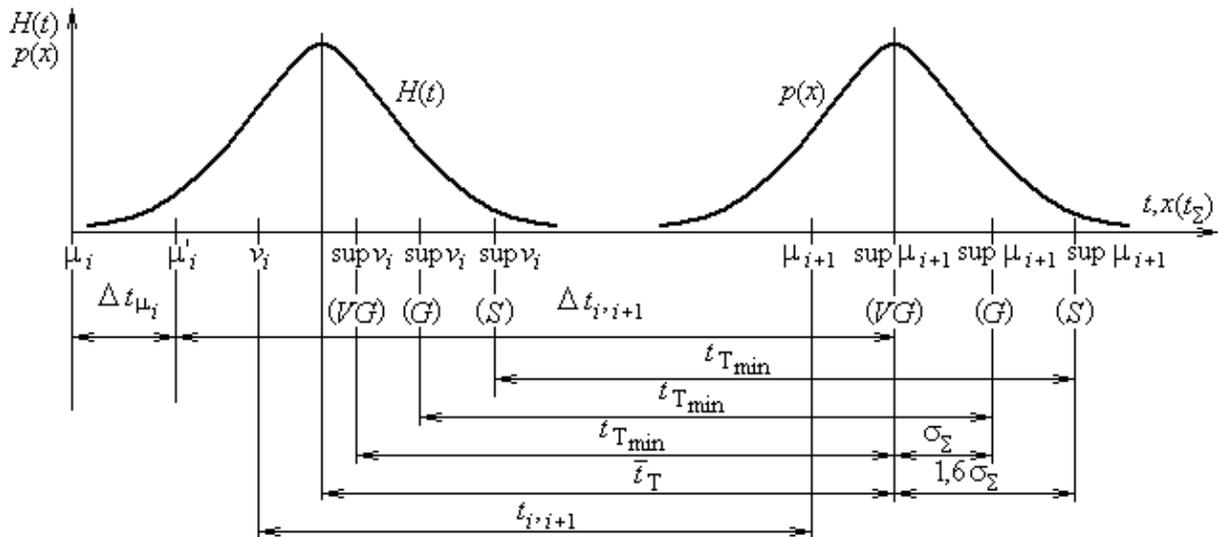


Рис. 3.6. К определению состава информационного ядра

Момент приема кодового сигнала отождествляется системой как момент  $\mu_i$  времени прихода транспортной единицы на  $i$ -й остановочный пункт, данные о номере которого хранятся в памяти микропроцессорной системы. С указанного момента начинается отсчет времени  $\tau_i$  нахождения (отстоя) транспортной единицы на  $i$ -м остановочном пункте для проведения посадки (высадки) пассажиров, а также времени  $\Delta\tau_{\mu_i}$  ожидания сеанса связи с центральной частью системы искусственного интеллекта, в процессе которого происходит обмен информацией.

Легко заметить, что время  $t_{i, i+1}$  движения до следующего остановочного пункта можно вычислить по формуле

$$t_{i,i+1} = \mu_{i+1} - v_i, \quad (3.21)$$

где  $\mu_{i+1}$  – момент времени прибытия транспортной единицы на  $i + 1$  остановочный пункт;  $v_i$  – момент времени отправления транспортной единицы с  $i$ -го остановочного пункта.

Время отстоя на остановочном пункте выразится так:

$$\tau_i = v_i - \mu_i. \quad (3.22)$$

Для того чтобы непосредственно зафиксировать время прихода транспортной единицы на остановочный пункт, необходимо было бы на каждом пункте иметь синхронизируемую шкалу времени, что, несомненно, усложнило бы аппаратуру микропроцессорной системы и увеличило бы длину информационного слова, передаваемого в пе-

риод проведения сеанса связи в центральную часть системы искусственного интеллекта. Поэтому целесообразнее рассчитать интервал времени  $\Delta\tau_{\mu_i}$  между моментом времени прибытия на остановочный пункт транспортной единицы и моментом начала сеанса связи с центральной частью системы искусственного интеллекта по формуле

$$\Delta\tau_{\mu_i} = \mu'_i - \mu_i, \quad (3.23)$$

где  $\mu'_i$  – момент начала связи с центральной частью системы искусственного интеллекта.

Система искусственного интеллекта, имеющая внутреннюю, синхронизируемую по сигналам точного времени шкалу, фиксирует значение времени  $\tau'_{\mu_i}$ , соответствующее моменту  $\mu'_i$ , и вычисляет время  $\tau_{\mu_i}$  прибытия транспортной единицы на остановочный пункт из выражения

$$\tau_{\mu_i} = \tau'_{\mu_i} - \Delta\tau_{\mu_i}. \quad (3.24)$$

Зная значение  $\tau_{\mu_i}$  и сравнивая его с плановым временем прибытия на данный остановочный пункт, вычисляют их разность, которая показывает значение фактического отклонения.

На рис. 3.6 изображена условная функция  $H(t)$  времени нахождения транспортной единицы на  $i$ -м остановочном пункте и условная функция  $p(x)$  отклонений времени движения этой транспортной единицы до следующего  $i+1$  остановочного пункта.

В процессе сеанса обмена информацией (в момент  $\mu'_i$ ) из центральной части системы искусственного интеллекта в ее периферийную часть поступают данные об интервале времени  $\Delta t_{i,i+1}$ , за который транспортной единице следует добраться до следующего остановочного пункта, чтобы прибыть туда в плановый момент времени (соответствующий математическому ожиданию), а также о величине  $\sigma_\Sigma$  среднего квадратического отклонения указанного момента.

Тогда если  $\Delta t_{i,i+1}$  больше (или равно) минимального времени  $t_{T_{\min}}$  движения транспортной единицы с предельно допустимой скоростью на участке транспортной сети между  $i$ -м и  $i+1$  остановочными пунктами, то время отправления  $\sup v_i(VG)$ , соответствующее верхней границе (границе) множества (обозначаемой  $\sup$  – супремум) значений времени отправления, отсчитываемых с момента прибытия, каж-

дое из которых дает возможность (согласно таблице на с. 30) прибыть на следующий остановочный пункт с отклонением, оцениваемым как очень хорошее, находим по формуле

$$\sup v_i(VG) = \Delta t_{i,i+1} + \Delta \tau_{\mu_i} - \frac{S_{i,i+1}}{U_{\max}}, \quad (3.25)$$

где  $S_{i,i+1}$  – расстояние между  $i$ -м и  $i+1$  остановочными пунктами;  $U_{\max}$  – значение предельно допустимой скорости движения на участке транспортной сети между  $i$ -м и  $i+1$  остановочными пунктами в данное время. При этом рекомендуемое значение скорости  $v_i(VG)$  движения в зависимости от времени отстоя на остановочном пункте вычислим по формуле

$$v_i(VG) = \frac{S_{i,i+1}}{\Delta t_{i,i+1} + \Delta \tau_{\mu_i} - \tau_i}. \quad (3.26)$$

Из уравнения (3.26) видно, что по мере роста  $\tau_i$  происходит увеличение значения рекомендуемой скорости, которая достигает своей предельной величины при  $\tau = \sup v_i(VG)$ . Очевидно, что если время нахождения транспортной единицы на остановочном пункте превышает значение  $\sup v_i(VG)$ , то отклонение времени прибытия на  $i+1$  пункт уже не может претендовать на очень хорошую оценку, поэтому после указанного превышения значение рекомендуемой скорости  $v_i(VG)$  должно вычисляться из расчета отклонения времени прибытия на хорошую оценку по формуле

$$v_i(G) = \frac{S_{i,i+1}}{\Delta t_{i,i+1} + \sigma_{\Sigma} + \Delta \tau_{\mu_i} - \tau_i}, \quad (3.27)$$

при этом величина  $\sup v_i(G)$ , соответствующая верхней грани множества значений времени отправления, каждое из которых дает возможность прибыть на  $i+1$  остановочный пункт с отклонением, оцениваемым как хорошее, выразится так:

$$\sup v_i(G) = \Delta t_{i,i+1} + \sigma_{\Sigma} + \Delta \tau_{\mu_i} - \frac{S_{i,i+1}}{U_{\max}}. \quad (3.28)$$

Аналогичным образом значения  $v_i(S)$  и  $\sup v_i(S)$  будут иметь вид

$$v_i(S) = \frac{S_{i,i+1}}{\Delta t_{i,i+1} + 1,6\sigma_{\Sigma} + \Delta \tau_{\mu_i} - \tau_i}, \quad (3.29)$$

$$\sup v_i(S) = \Delta t_{i,i+1} + 1,6\sigma_{\Sigma} + \Delta \tau_{\mu_i} - \frac{S_{i,i+1}}{U_{\max}}. \quad (3.30)$$

Если транспортная единица за время  $\tau = \sup v_i(S)$  не покинула остановочный пункт, то следует провести корректировку графика движения, поскольку в любом случае время прибытия на следующий остановочный пункт будет иметь отклонение больше допустимого. Точно так же корректировка проводится, если  $\mu_i \geq \sup v_i(S)$ .

Применяя квантильные оценки интервалов значений  $v_i$ , можно, во-первых, зная среднюю продолжительность посадки (высадки) одного пассажира, вычислить значение пассажирообмена на данном остановочном пункте и сравнить его со значением прогнозируемого системой искусственного интеллекта пассажирообмена. Во-вторых, подсчитывая частоту различных значений  $v_i$  в интерквантильных промежутках и сопоставляя ее с соответствующим значением функции  $H(t)$ , определяют наличие согласованности запланированного хода процесса пассажирообмена и фактического. Следя за перемещением моды распределения, контролируют ход пассажирообмена и при необходимости принимают нужные меры. Смещение моды в сторону больших значений будет обуславливать рост скорости движения транспортной единицы и в конечном счете приведет к массовому срыву графиков движения, поскольку по требованиям безопасности скорость не должна превышать предельно допустимого значения. И наоборот, смещение влево вызывается, как правило, снижением пассажирообмена на данном остановочном пункте, следствием которого становятся малая загруженность салона транспортной единицы и неоправданно низкое значение рекомендуемой скорости движения.

Если время нахождения транспортной единицы на  $i$ -м остановочном пункте соответствовало нормальному значению, а средняя скорость движения до  $i+1$  остановочного пункта была низкой, то можно сделать логический вывод о возникновении непредвиденного обстоятельства в пути следования, которое каким-то образом помешало движению этой транспортной единицы. В случае, когда подобная картина наблюдается для всех проходящих через этот участок дорожной сети транспортных единиц, можно предположить наличие аварийной ситуации, т. е. переход перевозочного процесса в нештатное состояние, которое может привести к скоплению транспортных средств на данном участке дорожной сети и последующей полной остановке пассажирских перевозок. Поэтому при падении скорости движения ниже критической отметки для предотвращения остано-

перевозочного процесса необходимо направить последующие транспортные единицы в обход аварийного участка. Контроль критических для хода перевозочного процесса значений скорости движения транспортных средств выявляет нежелательные ситуации и позволяет оперативно на них реагировать.

Таким образом, оперируя составом первичных информационных данных, включающим в себя гаражный номер транспортного средства, момент его прихода на остановочный пункт и момент ухода с последнего, можно отслеживать параметры фактического хода перевозочного процесса, а также, используя дополнительно статистические данные, прогнозировать этот процесс и оперативно управлять им автоматически.

После получения оценок движения ГПТ на данном участке пути оценивают организацию движения на этом же участке пути остальных транспортных средств, скорость которых должна быть в два раза выше, чем у ГПТ. Например, если на данном участке пути оценка для ГПТ соответствует значению  $G$ , то при скорости остальных транспортных средств в два раза выше ГПТ организация их движения также оценивается значением  $G$ . Если указанная скорость будет больше, чем в два раза, то оценка будет  $VG$ , а если ниже, то  $S$ . При этом следует иметь в виду, что поскольку значение  $\sigma_{\Sigma}$  рассчитывается со значением доверительной вероятности  $P = 0,9$ , то для получения конкретного значения оценки в ее интервал (см. таблицу на с. 30) должно попадать 90 % всех значений  $t_{i,i+1}$  за контролируемый промежуток времени, например за час. Поэтому в течение суток на данном участке пути будут выявляться разнообразные оценки, характеризующие качество организации движения на нем в течение суток.

### **3.5. Организация диалога между системой и объектом управления. Передача пассажирам оперативной информации**

По мере перемещения транспортного средства по участкам дорожной сети города с ним необходимо производить обмен информацией. В зарубежных автоматизированных системах управления для этой цели в транспортной единице устанавливается микропроцессорный модуль бортовой информационной системы, осуществляющий обмен информацией между транспортным средством и диспетчерским центром [37]. Такое решение представляется не совсем удачным

по нескольким причинам. Выведение информационных данных непосредственно на приборном щитке в кабине водителя не только повышает стоимость средств отображения информации, но и отвлекает водителя в процессе движения, что может создать аварийную ситуацию. Кроме того, снабжение пассажиров необходимыми данными о ходе перевозочного процесса требует размещения на остановочных пунктах дополнительного оборудования, что усложняет информационную систему.

Поэтому в качестве точек ведения диалога системы с водителем транспортной единицы были выбраны остановочные пункты, оборудованные информационными табло, с помощью которых и осуществляется передача сведений водителям транспортных единиц и пассажирам. Это дало возможность, во-первых, организовать, по существу, односторонний канал связи между транспортной единицей и микропроцессорным оборудованием, которое размещено на остановочном пункте, так как прием информации, предназначенной для водителя, происходит визуально. Точно так же считываются пассажирами сведения о ходе перевозочного процесса. Во-вторых, во время приема информации водитель не занимается управлением транспортным средством, а следовательно, исключаются все указанные выше нежелательные последствия, связанные с отвлечением его внимания при получении необходимых сведений. В-третьих, поскольку, как правило, количество транспортных единиц, участвующих в перевозочном процессе, больше числа остановочных пунктов на транспортной сети города, то значительно снижаются аппаратные затраты на информационное обеспечение, которые можно еще минимизировать, возложив на периферийный процессор локального управления функцию доведения информации до потребителя, которая должна реализовываться по следующим разработанным правилам.

(ПИ-1). Если поступил сигнал от датчика, регистрирующего момент прихода транспортной единицы на остановочный пункт, то поместить на табло начальную информацию, полученную в результате декодирования этого сигнала.

(ПИ-2). Если закончился сеанс связи с центральной частью системы, то помещать на табло взамен прежней информацию о рассчитываемых рекомендуемых параметрах, относящихся к изначально помещенной информации, а также при необходимости заменить дан-

ные, предназначенные для пассажиров, корректируя их через определенный временной промежуток в соответствии с текущим временем.

(ПИИ-3). Если поступил сигнал от датчика, регистрирующего момент ухода транспортной единицы с остановочного пункта, то убрать с табло начальную информацию, совпадающую с данными, полученными в результате декодирования этого сигнала, а также оставшуюся часть информации, относящуюся к начальной.

(ПИИ-4). Если на остановочном пункте находится несколько транспортных единиц, то информацию пассажирам о ходе перевозочного процесса предоставлять прежде всего по маршрутам, по которым следуют находящиеся на остановочном пункте транспортные единицы.

(ПИИ-5). Если поступила дополнительная информация о ходе перевозочного процесса, то поместить ее на табло соответственно взамен прежней.

Правило (ПИИ-1) определяет начало диалога и его участника, поскольку информация, полученная при декодировании сигнала и помещенная затем на табло, содержит данные о номере транспортной единицы, с водителем которой и будет проводиться диалог.

Правило (ПИИ-2) устанавливает процедуру ведения диалога и передачи оперативной информации пассажирам. Коррекция представляемых данных позволяет отслеживать динамику перевозочного процесса.

Правило (ПИИ-3) устанавливает порядок завершения диалога с водителем транспортной единицы, которая покинула остановочный пункт.

С помощью правила (ПИИ-4) устанавливается очередность подачи информации пассажирам в случае нахождения на остановочном пункте нескольких транспортных единиц. Поскольку через остановочный пункт может пролегать больше маршрутов, чем количество одновременно размещенных на табло сведений о них (информационная емкость табло), то информация по маршрутам представляется пассажирам (при отсутствии транспортных средств на остановочном пункте) последовательно, с определенным временным циклом. Однако при наличии на остановочном пункте транспортных средств должен устанавливаться приоритет в пользу информации о тех маршрутах, по которым следуют указанные транспортные средства.

Посредством правила (ПИ-5) на табло выдается дополнительная информация, которая может предназначаться как водителям транспортных единиц, так и пассажирам.

Разработанная схема оборудования остановочного пункта для проведения диалога с водителями транспортных средств и передачи оперативной информации о ходе перевозочного процесса пассажирам показана на рис. 3.7. Транспортная единица 1 (объект управления) содержит источник 2 инфракрасного излучения малой мощности, управляемый системой кодированных сообщений. Остановочный пункт снабжен входящими в микропроцессорный комплект оборудования датчиками 3, 4, регистрирующими соответственно приход и уход транспортной единицы, и информационным табло 5.

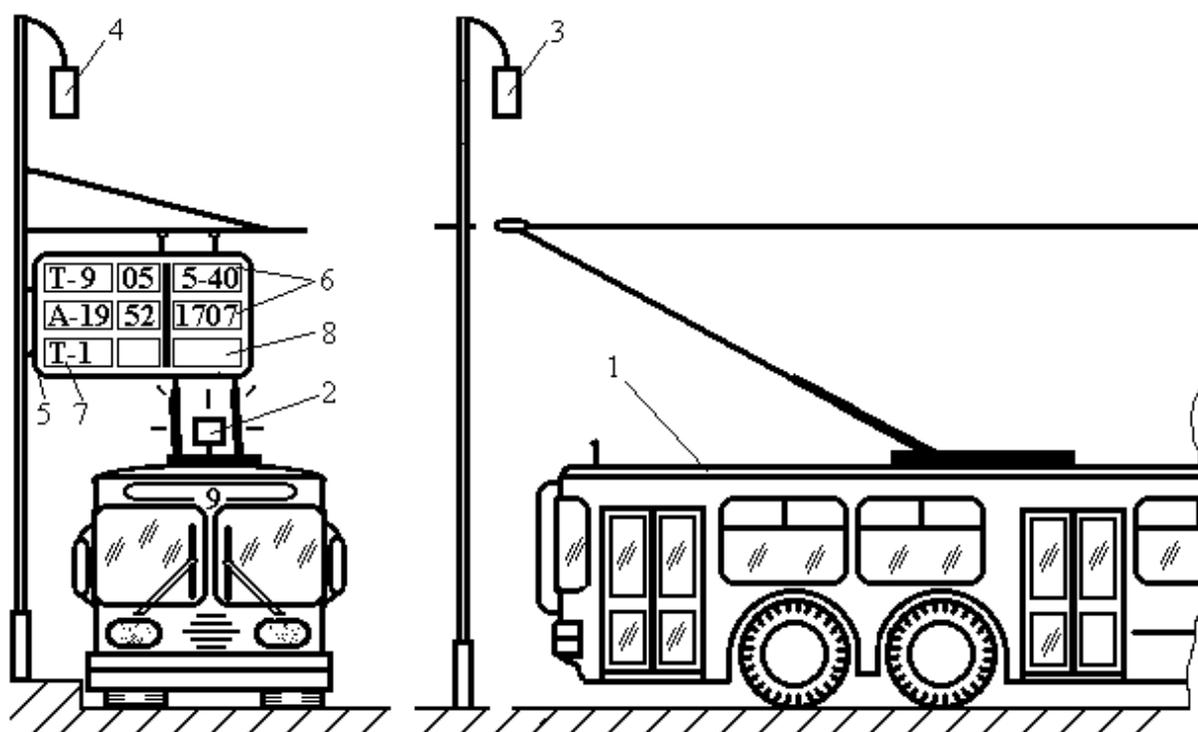


Рис. 3.7. Схема организации диалога автоматической системы с водителями транспортных средств и передачи оперативной информации пассажирам

Датчики и табло могут быть закреплены на опорах контактной сети. Информационное табло 5 разделено на зоны 6, 7 и 8, при этом две первые предназначены для передачи информации соответственно водителю транспортной единицы и пассажирам, а третья зона используется в качестве резервной для помещения дополнительных сведений о ходе перевозочного процесса.

При подходе транспортной единицы к зоне остановочного пункта излучаемый источником 2 световой поток воспринимается опτικο-электронным датчиком 3, который преобразует его в электрический сигнал, несущий информацию по крайней мере о номере этой единицы. Периферийный процессор декодирует полученный сигнал и помещает выявленные данные на табло. При этом в зоне б высвечивается номер указанной транспортной единицы, который визуальнo считывается водителем, убеждающимся в том, что система зарегистрировала момент прибытия этой единицы на остановочный пункт.

После этого периферийный процессор формирует в центральную часть системы информационную посылку на обслуживание. Полученные с обслуживания данные включают в себя значение  $t_{i,i+1}(S)$  времени, за которое транспортной единице согласно графику движения нужно добраться до следующего остановочного пункта, среднее квадратическое отклонение этого времени и номер маршрута следования. Поскольку согласно правилу (ЛУ-1) периферийный процессор измерял временной промежуток  $\Delta t_{\mu_i}$  от момента срабатывания датчика до момента начала сеанса связи, то, сложив значения  $\Delta t_{\mu_i}$ ,  $t_{i,i+1}(S)$  и вычитая из полученной суммы значение промежутка времени от момента срабатывания датчика до момента получения посылки, получают фактическое значение оставшегося времени, за которое транспортному средству нужно добраться до следующего остановочного пункта маршрута.

Извлекая затем из памяти расстояние до последующего пункта и деля его значение на фактическое значение времени движения, процессор вычисляет скорость, с которой транспортной единице необходимо ехать до следующего остановочного пункта, а также определяет оценку качества выполнения графика движения до следующего остановочного пункта, на которую претендует водитель, если отправится в данный момент. Полученные в результате расчета значения оценки и рекомендуемой скорости (на рис. 3.7 обозначены соответственно «5» и «40») индицируются на табло над номером транспортной единицы. Однако к данному моменту времени посадка пассажиров может быть не закончена и транспортное средство будет продолжать находиться на остановочном пункте. Увеличение времени отстоя будет сокращать фактическое время, за которое транспортной единице нужно было добраться до следующего остановочного пункта, поэтому

спустя небольшой временной промежуток процессор снова определит время фактического отстоя (которое согласно правилу (ЛУ-1) продолжает измеряться) и произойдет пересчет значения рекомендуемой скорости движения, которое будет больше предыдущего. Если до момента времени  $\sup v_i(VG)$  (см. рис. 3.6) транспортное средство не покинет остановочный пункт, то водитель уже не сможет претендовать на указанную оценку качества выполнения графика движения, двигаясь до следующего остановочного пункта даже с предельно допустимой скоростью. Поэтому процессор будет рассчитывать значения рекомендуемой скорости движения для другой, более низкой оценки качества выполнения графика движения, при этом на табло произойдет смена цифры 5 на цифру 4. Также изменится и рекомендуемое значение скорости, которое теперь будет уже меньше предыдущего, поскольку время движения до следующего остановочного пункта при такой оценке увеличивается на  $\sigma_{\Sigma}$ . Перерасчет рекомендуемой скорости (согласно правилу (ЛУ-3)) будет продолжаться до тех пор, пока транспортная единица не уйдет с остановочного пункта. В момент трогания с места водитель запоминает рекомендуемое значение скорости, индицируемое на табло, и старается выдерживать его в процессе движения до следующего остановочного пункта. Датчик 4 регистрирует при этом момент ухода этой транспортной единицы, и процессор заканчивает процедуру расчета значения рекомендуемой скорости движения, убирая согласно правилу (ПИ-3) с табло сведения об оценке, указанной скорости и номере ушедшей транспортной единицы.

Если из-за продолжительного отстоя на остановочном пункте оценка снижается до отрицательного значения, говорящего о том, что срыв графика неминуем, то процессор отправляет в центральную часть системы данные для повторного обслуживания, которое сопровождается записыванием на счет водителя штрафных баллов (за срыв графика) и корректировкой графика, после чего процедура обслуживания транспортной единицы на остановочном пункте продолжается.

Для получения состава данных, содержащего значения времени, оставшегося до предполагаемого момента прихода на остановочный пункт транспортной единицы по каждому маршруту, проходящему через этот пункт, был разработан способ [38], суть которого заключается в следующем.

Предположим, что транспортные средства 1 (рис. 3.8) следуют по дорожной сети 2, на которой расположены остановочные пункты 3.

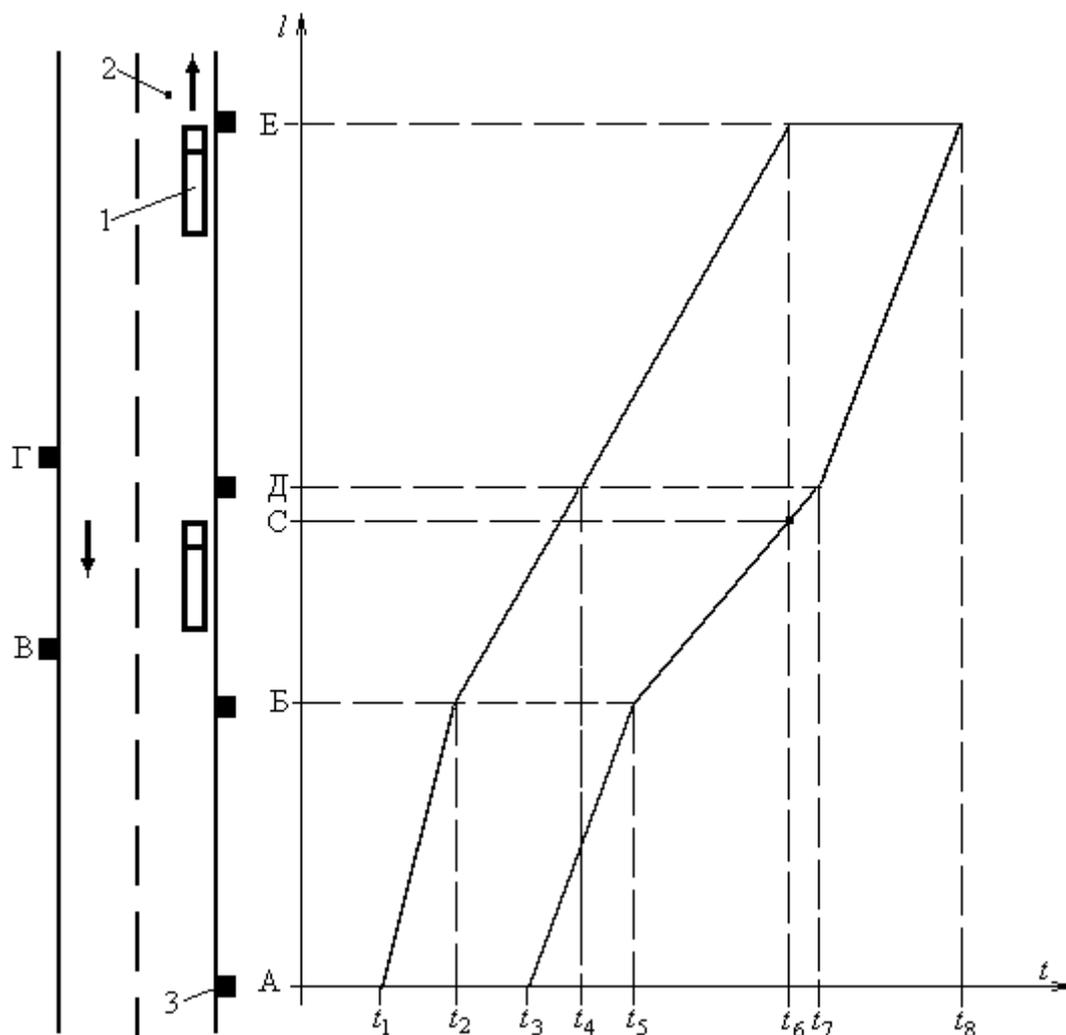


Рис. 3.8. Определение времени до предполагаемого момента прихода на остановочный пункт транспортного средства

Пусть предыдущее транспортное средство (верхнее на рис. 3.8), следуя по маршруту, прибыло на остановочный пункт А и было зарегистрировано там системой в момент времени  $t_1$ , на пункт Б – в момент времени  $t_2$ , на пункт Д – в момент времени  $t_5$ . Аналогичным образом последующее транспортное средство (нижнее на рис. 3.8) было зарегистрировано на пунктах А и Б соответственно в моменты времени  $t_3$  и  $t_4$ . По прибытии предыдущего транспортного средства на остановочный пункт Е система регистрирует этот факт во время  $t_6$ , на момент которого последующая транспортная единица находится на дорожной сети в точке С, при этом пункты Е и Б – пункты последней

регистрации фактов прибытия соответственно предыдущего и последующего транспортного средства. Если вычислить разность значений моментов времени  $t_6$  и  $t_4$ , то очевидно, что полученная величина будет представлять собой время, за которое последующее транспортное средство в соответствии с составленным для него графиком движения преодолело расстояние от остановочного пункта Б до точки С.

Вычитая полученное значение из значения планового времени ( $t_8 - t_4$ ) преодоления последующим транспортным средством расстояния от пункта Б до пункта Е, получают значение времени ( $t_8 - t_6$ ), через которое последующее транспортное средство должно прибыть на остановочный пункт Е. Для повышения точности к указанному значению времени необходимо добавить еще время отстоя этой транспортной единицы на остановочных пунктах.

Таким образом, информацию о промежутке времени, через который на остановочный пункт должно прибыть последующее транспортное средство одноименного маршрута, получают путем определения разности между плановым временем преодоления этим транспортным средством расстояния между остановочными пунктами последней регистрации данного и предыдущего транспортных средств и модулем разности времен последней регистрации этих транспортных средств.

Аналогичным образом получают сведения и по другим маршрутам, проходящим через этот остановочный пункт. Получаемая информация помещается периферийным процессором в зону 7 табло в порядке возрастания времени до прибытия транспортной единицы. При этом слева направо на табло указывается вид транспортного средства (автобус (А), троллейбус (Т)), номер маршрута его следования и оставшееся до прибытия время.

С целью сокращения числа разрядов индикатора, показывающего промежутки времени, через который на остановочный пункт должна прибыть последующая транспортная единица, и для удобства восприятия этой информации необходимо изменять масштаб воспроизводимых на табло данных в зависимости от величины указанного промежутка.

Например, если промежуток не меньше 10 минут, то индигирование времени должно выполняться в минутах. При этом периферий-

ный процессор будет изменять показания через минуту, т. е. выполнять минутный отсчет времени.

Если промежуток менее 10 минут (или уменьшится по истечении времени), то индицирование времени следует проводить в минутах и десятых долях минуты, отделяя последние точкой. При этом процессор должен выполнять отсчет времени в десятых долях минуты.

Если промежуток времени окажется меньше одной минуты, то индицирование можно выполнять в секундах, а смену показаний проводить через одну секунду. Можно остановить счет, т. е. индицировать одну минуту до прихода транспортной единицы, а потом убрать индикацию.

Это позволит с помощью двух разрядов индикатора передать практически весь возможный диапазон изменения промежутка времени, через который на остановочный пункт предполагается прибытие очередного транспортного средства, а также производить грубую оценку продолжительности указанного промежутка времени, ориентируясь на скорость изменения последней цифры на индикаторе, что может оказаться очень полезным для пассажира, приближающегося к остановочному пункту.

В зоне 8 табло размещается дополнительная информация, которая может содержать сведения об изменении маршрута следования, о количестве остановочных пунктов, которые транспортной единице необходимо проследовать без остановки, например при возобновлении хода перевозочного процесса, о развороте и отправлении в рейс по укороченному маршруту и т. д.

Подобным образом происходит диалог с водителями транспортных единиц, прибывающих на конечный остановочный пункт. В этом случае вместо оценки качества выполнения графика движения и рекомендуемого значения скорости выдается информация о времени отправления в очередной рейс, предполагаемом времени обеденного перерыва, окончания смены и т. д.

Снабжение оперативной информацией пассажиров о предполагаемых моментах прихода транспортных единиц на остановочный пункт улучшает качество обслуживания, позволяет им быстрее ориентироваться при выборе маршрута поездки. Ведение постоянного диалога с водителем на остановочных пунктах значительно облегчает последнему соблюдение спланированного графика движения.

## Контрольные вопросы

1. Какие обстоятельства учитываются при управлении ходом перевозочного процесса?
2. Как работает модель автоматического управления перевозочным процессом?
3. От каких факторов зависит комфортабельность поездки?
4. Как проводится контроль за ходом перевозочного процесса?
5. Как происходит моделирование посадки в транспортное средство?
6. Какие значения оцениваются при моделировании движения транспортной единицы?
7. Опишите метод составления графика движения транспортной единицы.
8. Опишите процесс управления ходом перевозочного процесса.
9. Что является основой создания автоматической системы диспетчерского управления?
10. Как формируется информационное ядро?
11. Как происходит передача оперативной информации участникам дорожного движения?

## Глава 4

# ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПРАВИЛА И ОРГАНИЗАЦИЮ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

### 4.1. Сигналы светофора

Пункт 6.2 Правил дорожного движения, в котором сказано, что *желтый мигающий сигнал* разрешает движение и информирует о наличии нерегулируемого перекрестка или пешеходного перехода, предупреждает об опасности, следует дополнить следующим образом:

– *сочетание желтого мигающего и красного сигналов* (или мигающего красного) разрешает движение через перекресток, если это не создаст помех пешеходам. Нанесенная на основной желтый сигнал светофора черная контурная стрелка указывает разрешенные направления движения через перекресток;

– *мигающий красный сигнал* с черной контурной стрелкой, указывающей направление разворота, разрешает водителям выполнять разворот через сплошную линию (линии), обозначаемую 1.1 (1.3), на протяжении 50 м от перекрестка, если иная длина зоны разворота не обозначена знаком 6.32.

Предположим, что на перекрестке магистралей 1 и 2 установлены светофоры 3, 4 соответственно для водителей транспортных средств 5 и пешеходов 6 (рис. 4.1). При этом на светофоре 4 включен разрешающий пешеходам переход через магистраль 1 зеленый сигнал, а на светофоре 3 – красный и мигающий желтый сигналы.

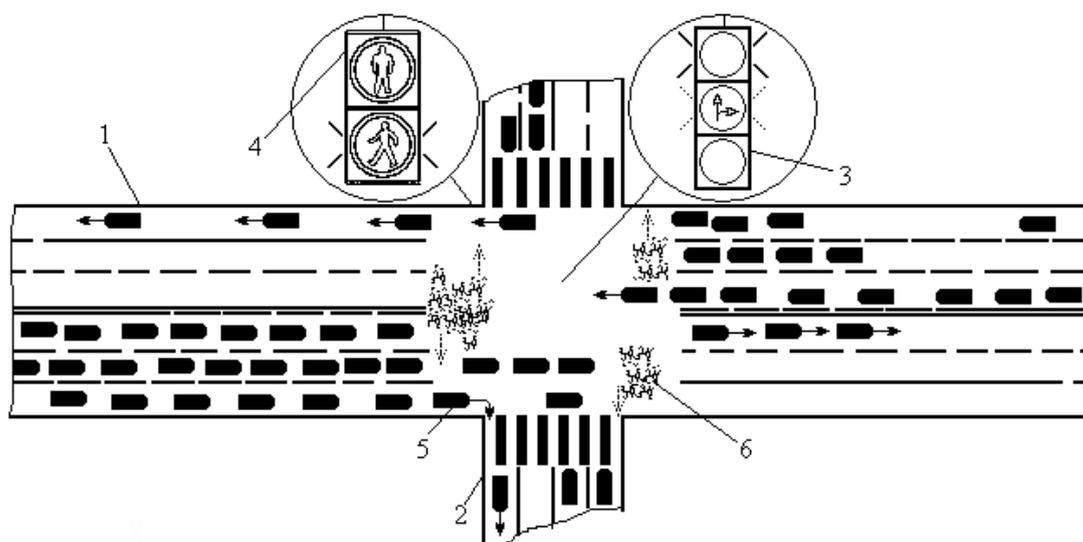


Рис. 4.1. Схема проезда перекрестка в сочетании  
желтого мигающего и красного сигналов

Непрерывный сигнал обозначен лучами из сплошных линий, а мигающий сигнал – пунктирными лучами, причем на желтый сигнал светофора нанесены стрелки, указывающие направление движения. Слева от светофора в момент начала пешеходного движения транспортным средствам, находящимся на левой полосе, пешеходы помехи движению не создавали, поэтому к моменту приближения пешеходов к середине дороги три транспортных средства успели проехать перекресток в разрешенном направлении на мигающий желтый сигнал.

Приближение пешеходов к середине дороги освободило от помехи крайние полосы, поэтому слева от перекрестка две машины повернули направо и три прямо по второй полосе выехали на перекресток, но пересечь его не смогли из-за помехи, созданной пешеходами, переходящими справа от перекрестка. Одновременно справа от перекрестка прямо по крайней правой полосе проехало четыре автомобиля. После того как пешеходы справа от перекрестка перешли середину дороги, начали движение транспортные средства по крайней левой полосе, а через некоторое время начнут двигаться автомобили по крайней левой полосе слева от перекрестка и продолжат свое движение три автомобиля, стоящие на перекрестке на второй полосе, и один автомобиль, находящийся на перекрестке на правой полосе. В результате уже на данный момент времени одновременно с пешеходами, переходящими дорогу, перекресток практически проехало четырнадцать транспортных средств, и, возможно, до конца действия разрешающего движения желтого мигающего сигнала перекресток минует еще несколько машин, что повысит пропускную способность перекрестка.

Вне перекрестка, на регулируемых пешеходных переходах нужно разрешить водителям двигаться на красный сигнал светофора, если это не мешает пешеходам переходить проезжую часть. Поэтому п. 14.3 ПДД следует изложить в следующей редакции: на регулируемых пешеходных переходах при включении разрешающего сигнала светофора водитель должен дать возможность пешеходам закончить переход проезжей части данного направления. При наличии запрещающего движения сигнала светофора водитель обязан уступить дорогу пешеходам, переходящим проезжую часть, т. е. руководствоваться правилом проезда нерегулируемого пешеходного перехода.

На рис. 4.2 представлены магистрали 1, 2, имеющие соответственно полосы 3, 4, 5 и 6, 7, предназначенные для проезда пере-

крестка соответственно налево, прямо, направо и прямо; прямо, направо и прямо, а также границы 8, 9, разделяющие транспортные потоки противоположных направлений, и границу 10, отделяющую в зоне перекрестка (за пересечением) крайнюю правую полосу 5 от средней полосы 4. На перекрестке установлен светофор 11 для регулирования движения транспортных средств.

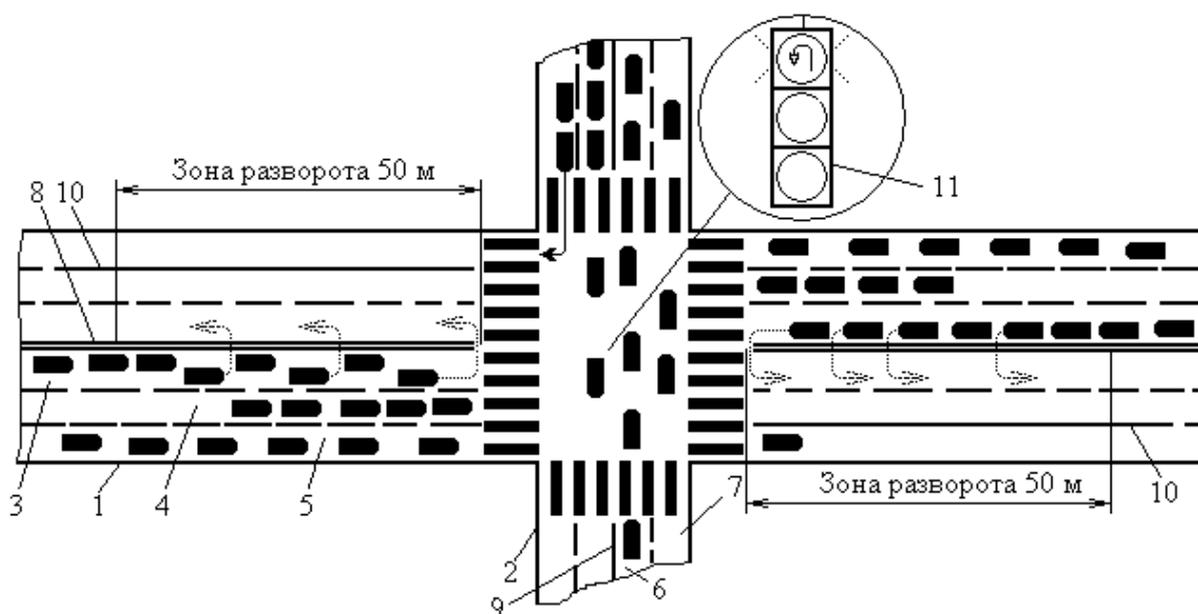


Рис. 4.2. Схема проезда перекрестка при мигающем красном сигнале с контурной стрелкой

Предположим, что для магистрали 2 включен зеленый сигнал, а для магистрали 1 – красный мигающий (с контурной стрелкой, указывающей разворот) сигнал светофора 11. Транспортные средства движутся из полос 6, 7 в прямом направлении и/или поворачивают из полосы 7 направо, не имея возможности из-за границы 10 (сплошной линии в зоне перекрестка) перестроиться на полосы 4, 3. Для транспортных средств, находящихся на полосе 3 магистрали 1 и желающих развернуться, отсутствует помеха для выполнения этого маневра, о чем свидетельствует мигающий красный сигнал с контурной стрелкой. Поэтому транспортные средства, имеющие намерение развернуться, начинают разворот, пересекая при этом сплошные линии в зоне протяженностью 50 м.

Для уменьшения при развороте захвата ширины полос(ы) встречного направления (выполнения разворота) указанные транс-

портные средства могут занять крайнее правое положение на полосе 3 (см. рис. 4.2, слева). Кроме того, крайнее правое положение транспортного средства с мигающим левым сигналом поворота информирует водителя следующего за ним транспортного средства о намерении выполнения маневра разворота (а не поворота налево), что повышает безопасность движения на перекрестке. После ухода разворачивающихся транспортных средств очередь на проезд перекрестка уменьшается. Если при мигающем красном сигнале с контурной стрелкой включен еще и мигающий желтый сигнал светофора, то водители транспортных средств, кроме разворота из левой полосы, могут еще двигаться в направлениях, указанных контурной стрелкой на желтом сигнале, не создавая при этом помех пешеходам, т. е. пользоваться при этом правилом проезда нерегулируемых пешеходных переходов. Все это повышает пропускную способность перекрестка.

Для формирования транспортных средств в группы, которые более организовано и быстро будут проезжать перекресток, п. 6.5 ПДД следует изложить следующим образом.

Для регулирования движения может использоваться также светофор с круглыми сигналами уменьшенного размера, дополненный прямоугольной табличкой белого цвета размером 200 × 200 мм с изображением черного цвета, уточняющим объект, на который распространяется действие сигналов.

Кроме того, раздел «Знаки дополнительной информации» ПДД дополнить табличкой 8.4.8.1 (рис. 4.3) и пунктом: Табличка 8.4.8.1 – на транспортные средства, водители которых намереваются совершить соответствующий маневр. В данном случае на рис. 4.3 изображена табличка, указывающая вид транспортного средства, водитель которого



Рис. 4.3. Табличка

намеревается выполнить левый поворот или разворот. Данная табличка может применяться совместно со светофором и при необходимости с табличкой «Полоса движения», указывающей полосу движения, на которую распространяется действие светофора.

Группы транспортных средств формируют следующим образом.

Перекресток содержит первую и вторую магистрали 1, 2, имеющие соответственно полосы 3, 4, 5 и 6, 7, предназначенные для проезда перекрестка соответственно налево, прямо, направо и прямо,

направо, а также границы 8, 9, разделяющие транспортные потоки противоположных направлений (рис. 4.4).

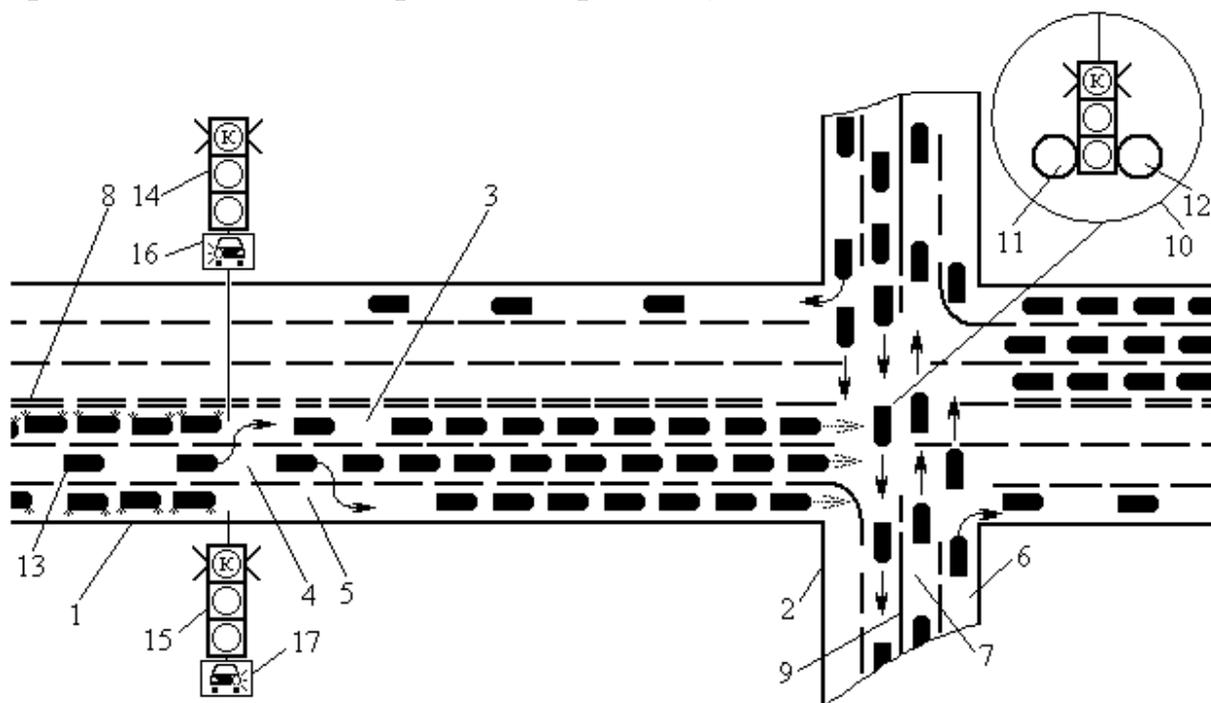


Рис. 4.4. Схема движения на перекрестке с предварительным формированием групп транспортных средств

На перекрестке установлен светофор 10 с дополнительными секциями в виде стрелки 11, разрешающей поворот налево, и стрелки 12, позволяющей транспортным средствам 13 ехать направо. До перекрестка на полосах 3, 5 размещены соответственно дополнительные (накопительные) светофоры 14, 15 с табличками 16, 17, указывающими направление движения через перекресток соответственно налево и направо.

Предположим, что на магистраль 1 распространяется красный К, а на магистраль 2 – зеленый З сигналы светофора 10, при этом стрелки 11, 12 выключены.

Обычно в этом случае транспортные средства 13 по полосе 7 движутся в прямом направлении, по полосе 6 – прямо и направо, а на полосах 3, 4, 5 накапливаются транспортные средства, готовые при включении разрешающего сигнала проехать перекресток соответственно налево, прямо и направо. При этом выстроившиеся на полосе 3 транспортные средства, как правило, проезжают перекресток после того, как будет прекращено движение прямо по встречному направ-

лению, а поэтому создают помеху попутным транспортным средствам, движущимся через перекресток прямо, практически в течение всего времени действия зеленого сигнала. Часто можно наблюдать такую картину: водители, чтобы не простаивать в длинной очереди автомобилей среднего ряда (полосы), из левого ряда, очередь в котором намного меньше, стараются «втереться» непосредственно перед перекрестком в средний ряд. Водители в среднем ряду их впускают, в результате чего весь средний ряд, имеющий преимущество в движении, стоит, при этом страдают дисциплинированные водители, находящиеся в среднем ряду, они теряют свое личное время, дожидаясь следующего включения разрешающего сигнала, могут опоздать на работу и т. д. В результате этого на средней полосе 4 будет накапливаться очередь, приводящая впоследствии к возникновению пробки на перекрестке.

Для устранения описанного явления и повышения пропускной способности перекрестка формируют группы автомобилей по направлению с помощью светофоров 14, 15, которые при тех же исходных сигналах светофора 10 вырабатывают красные сигналы, их действие распространяется согласно прикрепленной к ним табличке на автомобили, водители которых намереваются совершить поворот на перекрестке.

В результате этого у светофоров 14, 15 будут формироваться группы из транспортных средств, водители которых намереваются проехать перекресток соответственно налево и направо. При этом на участке магистрали 1, расположенном между дополнительными светофорами 14, 15 и светофором 10, полосы 3 и 5 окажутся свободными, благодаря чему на них, а также на полосе 4 формируется наибольшая по численности группа из транспортных средств, водители которых будут потом проезжать перекресток прямо. В данном случае длина очереди из автомобилей, водители которых собираются проезжать перекресток прямо, уменьшится в три раза. Поскольку зависимость времени разезда очереди от ее длины – величина нелинейная, то это время будет более чем в три раза меньше по сравнению со случаем, когда вся очередь находилась бы на одной полосе 4. При включении зеленого сигнала для магистрали 1 транспортные средства

беспрепятственно движутся в прямом направлении по всем трем полосам (рис. 4.5).

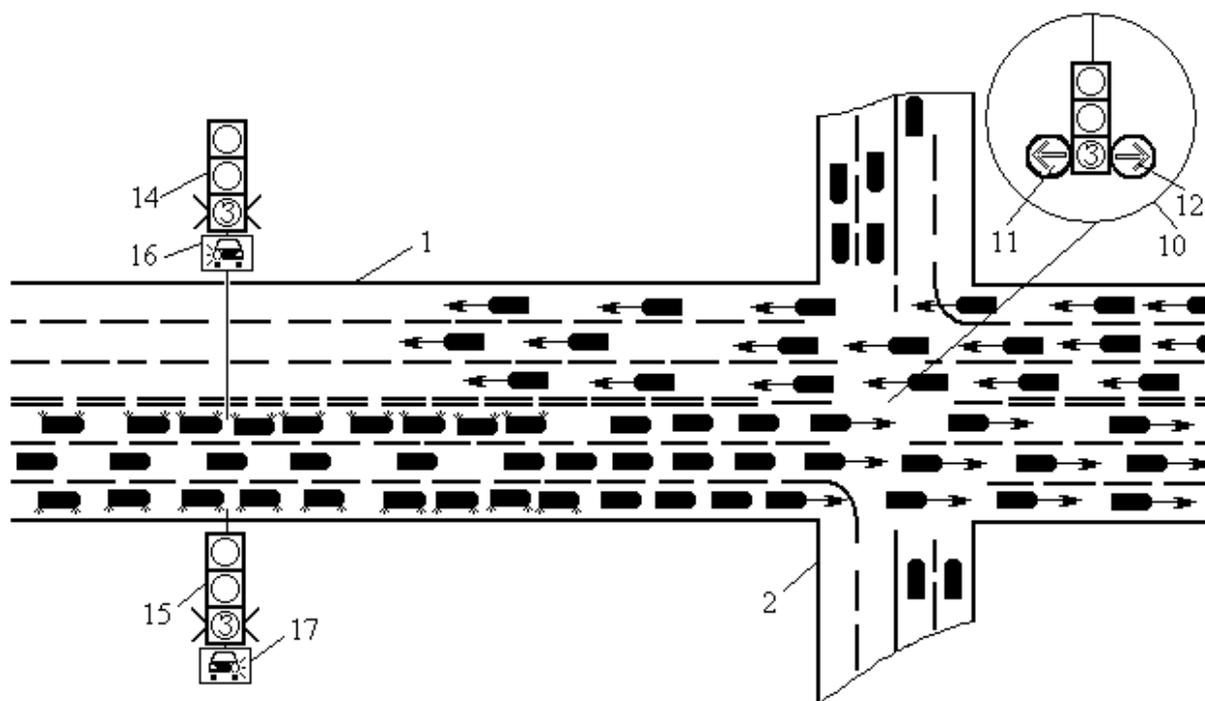


Рис. 4.5. Схема разъезда очереди из транспортных средств наибольшей группы

Одновременно зеленый сигнал включается и на светофорах *14, 15*, разрешая теперь движение транспортных средств, намеревавшихся совершить поворот на перекрестке, по полосам *3* и *5*.

Спустя некоторое время на светофорах *14, 15* вновь включают красные сигналы, в результате чего перед ними снова будут накапливаться группы автомобилей, намеревающихся совершить поворот на перекрестке, а автомобили, находящиеся между указанными светофорами и светофором *10*, будут двигаться через перекресток. После переключения в светофоре сигнала с зеленого на красный движение через перекресток по магистрали *1* прекращается, и описанный цикл повторяется. Может оказаться, что к моменту завершения движения через перекресток водитель какого-то транспортного средства не успеет выполнить поворот налево. Тогда, чтобы не мешать впоследствии движению с полосы *3* в прямом направлении, этот водитель обязан или задним ходом подъехать к светофору *14* и остановиться у него, или пересечь границу *8* и встать в очередь за автомобилями, накопи-

вающимися у светофора 14 (на рис. 4.6 эти маневры показаны пунктиром). Возможен вариант кратковременного включения стрелки, разрешающей поворот налево, перед началом движения по пересекающей магистрали 2 для водителей, не успевших выполнить поворот налево.

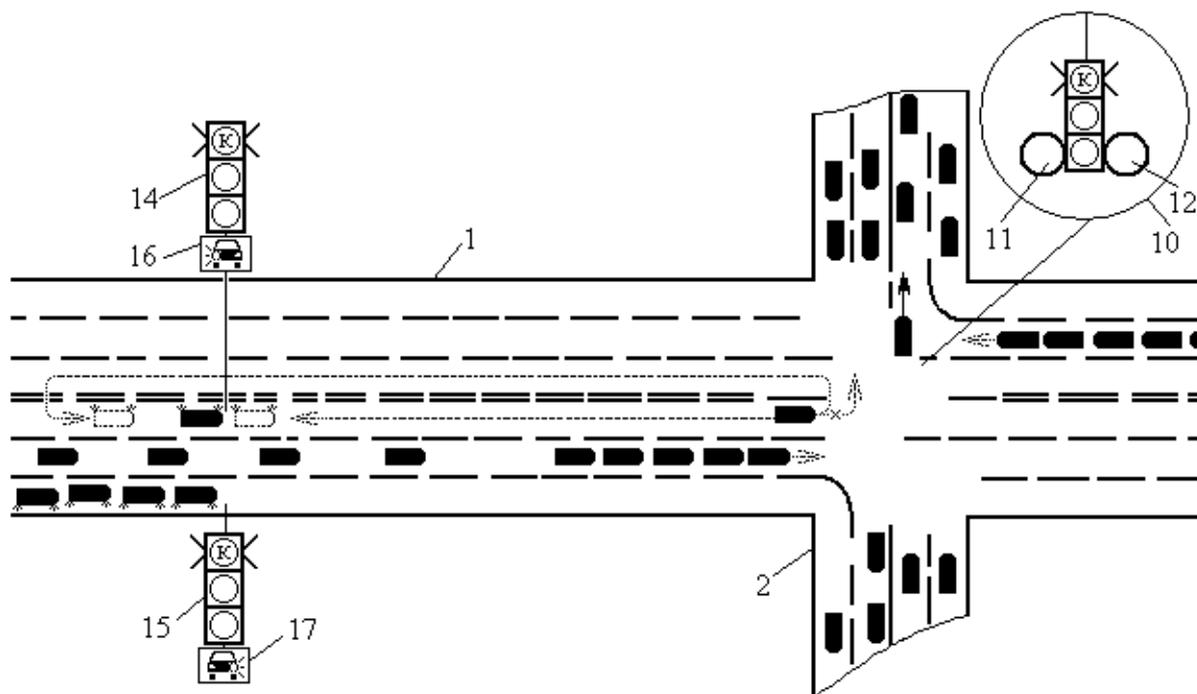


Рис. 4.6. Схема движения транспортного средства, не успевшего выполнить поворот

При интенсивном движении, чтобы не создавать помех попутному и встречному транспорту при пересечении границы, ее можно выполнить в виде имеющей меньший приоритет полосы, на которой осуществляют остановку транспортных средств.

При интенсивном движении по приоритетной магистрали, когда описанный выше режим работы светофоров не обеспечивает проезд перекрестка без образования пробок, нужно по крайней мере временно (в час пик) запретить движение транспортных средств налево, для чего исключить из работы дополнительную левую секцию светофора. Информировать водителей о временном отключении левой секции и запрете тем самым левого поворота можно путем включения на этой секции красного X-образного сигнала, при этом в ПДД нужно сделать следующее дополнение. В конце п. 6.3 добавить:

Наличие в дополнительной или основной секции светофора сигнала красного X-образного цвета свидетельствует о запрещении движения в направлении, регулируемом этой секцией (рис. 4.7). В этом случае водители транспортных средств, намеревавшиеся сделать поворот в направлении, регулируемом указанной дополнительной секцией, должны внести коррективы в план своего движения и найти другой путь (маршрут) для достижения места назначения своей поездки.

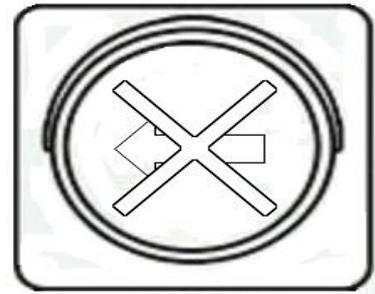


Рис. 4.7. X-образный сигнал на дополнительной секции

Схема перекрестка с приоритетной полосой движения показана на рис. 4.8.

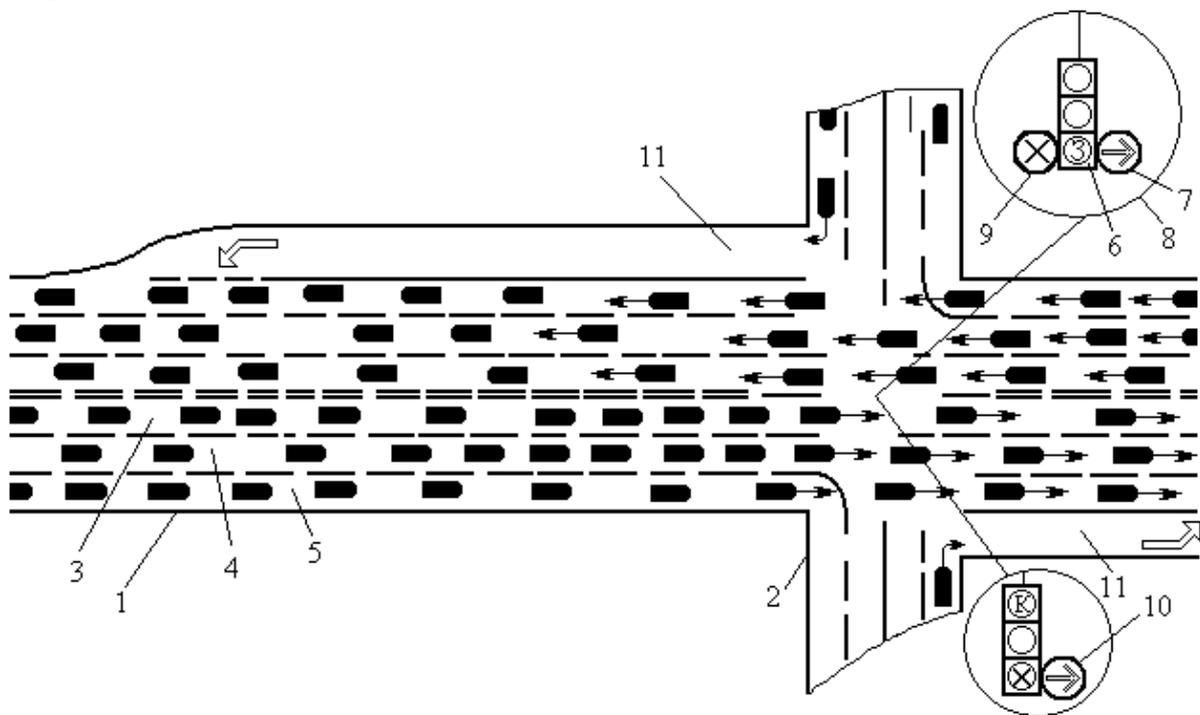


Рис. 4.8. Схема движения транспортных средств при предоставлении приоритета

Для предоставления приоритета магистрали 1 относительно дороги 2 и обеспечения непрерывного движения по полосам 3, 4, 5 приоритетной магистрали включают для нее зеленый сигнал на основной 6 и дополнительной правой 7 секциях светофора 8, а на его левой дополнительной секции 9 включают красный сигнал X-образного вида.

Одновременно на магистраль 2 со светофора 8 поступает разрешающий поворот направо сигнал в виде стрелы 10, включенной вме-

сте с красным сигналом светофора. Такие сигналы на светофоре удерживают до тех пор, пока интенсивность движения не уменьшится. При этом желательно, чтобы за перекрестком магистраль 1 имела дополнительную полосу 11, облегчающую транспортным средствам с дороги 2 выполнять поворот направо и встраиваться впоследствии в движение по магистрали 1.

В этих условиях левый поворот на магистраль 2 с магистрали 1 выполняют после перекрестка посредством пересечения границы, разделяющей встречные потоки транспортных средств, и последующего перестроения в правый ряд. При этом для облегчения указанного маневра в середине проезжей части может быть выделена специальная полоса, о которой говорилось ранее. В качестве такой полосы может быть использована часть разделительной полосы, которая иногда используется автомобилями со спецсигналом. Эта полоса большую часть времени не эксплуатируется, поэтому в некоторых местах на ней можно установить знаки «Зона разворота» и разрешить въезд на разделительную полосу для разворота транспортных средств. При этом в случае появления на разделительной полосе автомобиля со спецсигналом движущиеся в обоих направлениях транспортные средства должны снизить скорость или остановиться, чтобы дать возможность находящимся на разделительной полосе (с целью разворота) транспортным средствам покинуть ее или автомобилю со спецсигналом объехать указанные транспортные средства по прилегающей к разделительной полосе движению (рис. 4.9).

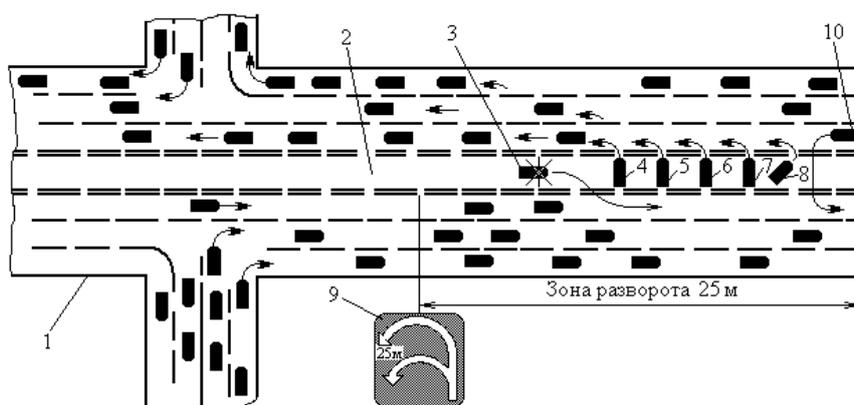


Рис. 4.9. Схема движения транспортных средств с остановкой на разделительной полосе

Магистраль 1 имеет разделительную полосу 2, используемую для движения автомобилей 3 со спецсигналом. В случае надобности

на полосе 2 осуществляют остановку транспортные средства 4 – 8 для разворота в зоне, обозначенной знаком 9 «Зона разворота». При этом автомобили на полосе 2 лучше размещать под острым углом к полосам проезжей части (как это показано с автомобилем 8), чтобы сделать более удобным и быстрым заезд их на полосу 2, а также для уменьшения ширины последней.

При отсутствии помехи справа стоящие на полосе 2 транспортные средства покидают ее и, перестроившись, могут сделать затем правый поворот или продолжить движение прямо. Аналогичным образом через разделительную полосу может развернуться транспортное средство 10, не доезжая до перекрестка.

Сейчас широко внедряют в практику светофоры с обратным отсчетом, которые оснащены табло, отображающим секунды до переключения того или иного сигнала. Причем появились уже табло, отображающие трехразрядные числа. Такая информация для водителей ненужная и избыточная, поскольку ему все равно, ждать переключения сигнала 120 или 78 с. У него нет альтернативного пути, которым он мог бы воспользоваться и поехать, например, туда, где разрешающий сигнал включится через 78 с, а не через 120 с. Поэтому многоразрядные табло, кроме удорожания конструкции светофора, в целом ничего не дают. Достаточно иметь одnorазрядное табло, отсчитывающее время от 9 с. Этого времени вполне хватает, чтобы водитель мог приготовиться к возобновлению движения, если он ожидает разрешающего сигнала, или определиться с ситуацией о возможности проезда перекрестка на заканчивающийся разрешающий сигнал.

Одинаковый отсчет времени на всех перекрестках, во-первых, станет привычным для водителей и позволит им правильно и точно оценивать свои действия (принимать правильные решения) при проезде перекрестков. Во-вторых, это позволит унифицировать блоки обратного отсчета времени и в конечном счете упростить и удешевить конструкцию светофора. В-третьих, индикатор такого одnorазрядного табло можно изготавливать заодно с цветовой матрицей, индицирующей тот или иной цвет сигнала, поскольку одна цифра займет мало места на матрице, а поэтому сам сигнал будет хорошо просматриваться с большого расстояния, практически с такого же, если бы в его матрицу не было вмонтировано табло отсчета времени. В-четвертых,

упростится настройка режима работы светофора, так как все табло отсчета у них будут одинаковыми.

Считается, что указанные информационные табло позволяют участникам дорожного движения ощутить «течение времени», что приводит к снижению аварийных ситуаций. Кроме того, цифры на табло повышают внимание и концентрацию водителей. Все указанные положительные моменты с концентрацией внимания и ощущениями «течения времени» не только хорошо проявятся за указанные 9 с, но и со временем позволят оценивать расстояние до перекрестка, которое позволяет транспортному средству миновать перекресток под разрешающий сигнал светофора. Зная очередность проезда перекрестка с разных направлений, водитель без всякого отсчета времени может определить промежуток, через который включится разрешающий сигнал. Например, действие разрешающего сигнала светофора на одно направление составляет 30 с, водитель видит, что перед включением для него разрешающего сигнала должны проехать автомобили с трех направлений, поэтому  $30 \cdot 3 = 90$  с, еще 25 с нужно добавить на разрешающий сигнал для пешеходов и несколько секунд – на действие желтого сигнала при переключении светофора. Итого у этого водителя получится продолжительность ожидания разрешающего сигнала порядка 120 с.

Таким образом, целесообразно для отсчета времени применять только одноразрядные табло.

## **4.2. Остановка и стоянка**

Остановка или стоянка на правой стороне проезжей части, как правило, мешает движению в первую очередь маршрутных транспортных средств, движущихся по правой крайней полосе. Из-за создавшейся помехи (в виде припаркованного автомобиля) движущееся по крайней правой полосе транспортное средство выезжает на соседнюю левую полосу, мешая беспрепятственному движению по ней.

Поэтому в местах с интенсивным движением целесообразнее остановку и стоянку делать на середине дороги, оборудуя ее пешеходным переходом для обеспечения возможности водителям оставленных на стоянке транспортных средств добраться до тротуара (рис. 4.10).

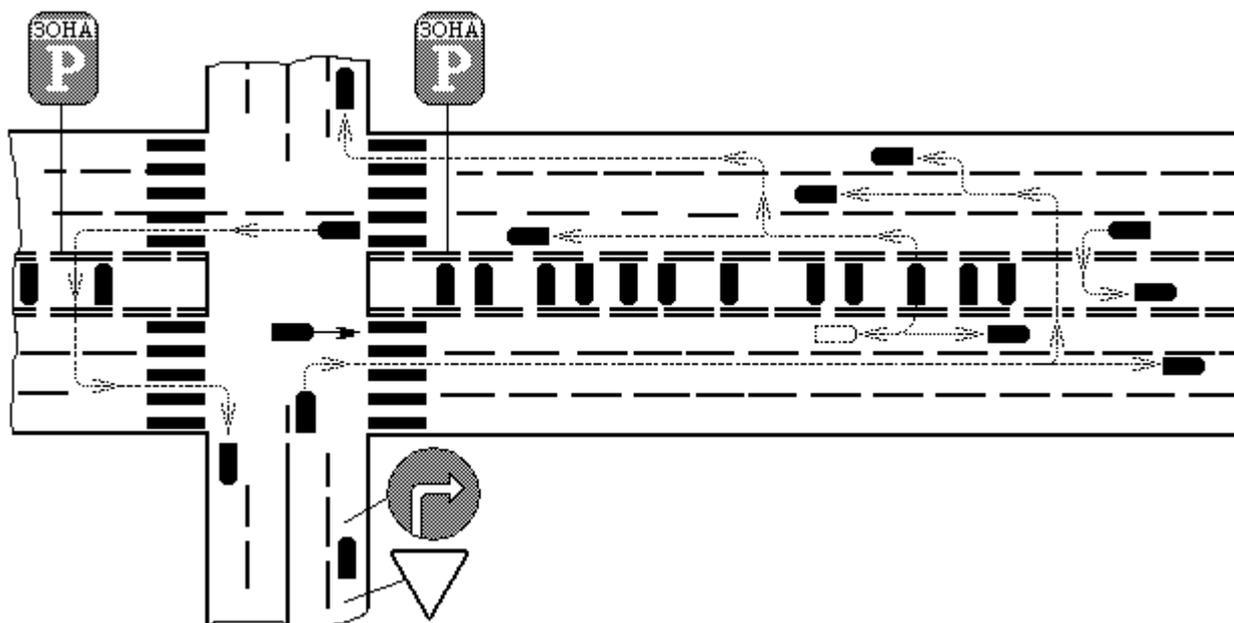


Рис. 4.10. Схема остановки и стоянки транспортных средств на середине дороги

Остановка и стоянка на середине дороги удобна еще и тем, что после стоянки водитель транспортного средства может возобновить движение в любом направлении: продолжить движение в прежнем направлении, выехав с указанной стоянки задом, или поехать в обратном направлении, уехав передом.

Как видно по рис. 4.10, соблюдая знаки приоритета, можно с любой проезжей части проехать нерегулируемый перекресток в любом направлении, не мешая при этом друг другу. Все возможные направления движения показаны на рис. 4.10 пунктирными линиями.

Правила дорожного движения разрешают остановку транспортного средства на остановках общественного транспорта, если это не мешает маршрутным транспортным средствам. Однако часто бывает, что пассажир не успел еще выйти из автомобиля, а подъехавший в это время автобус начинает сигналить водителю, чтобы тот убрал свой автомобиль. Чтобы не возникало подобных конфликтов и пассажир автомобиля мог без спешки и чувства вины перед водителем автобуса выйти из автомобиля, нужно рядом с остановочным пунктом городского пассажирского транспорта разрешить остановку других транспортных средств, обозначив зону ее протяженности, например после зоны остановки общественного транспорта, или желтой штриховой (рис. 4.11, а) линией (дорожная разметка 1.10), или желтой из-

вилистой (рис. 4. 11, б) линией (дорожная разметка 1.17.1) только меньшего размера, чем в зоне остановки общественного транспорта.

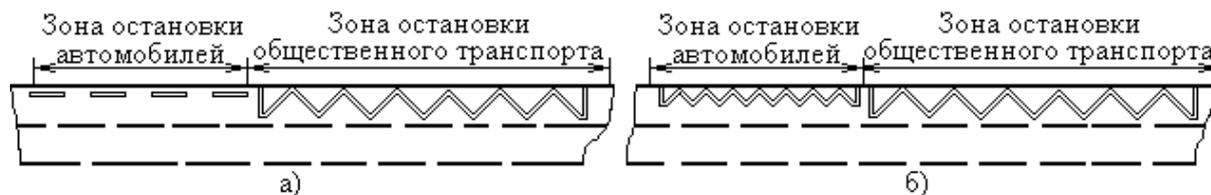


Рис. 4.11. Обозначение остановки автомобиля линиями:  
а – штриховой; б – извилистой

Также следует разрешить остановку немаршрутизированных транспортных средств для посадки и высадки пассажира на пустующих в данный момент остановках и стоянках для инвалидов, обозначенных табличкой «Инвалид». Даже если в момент начала высадки (посадки) пассажира на стоянке, предназначенной для инвалидов, к ней подъедет транспортное средство, обозначенное табличкой «Инвалид», то водитель этого транспортного средства подождет 1 – 2 минуты, а потом встанет на свое законное место.

Желательно сделать указанные зоны остановки (пусть даже небольшой протяженности – на 1 – 2 автомобиля) у социально значимых объектов – больниц, поликлиник, отделений Пенсионного фонда и т. п.

Часто по обеим сторонам улицы расположены знаки 3.29 «Стоянка запрещена по нечетным числам месяца» и 3.30 «Стоянка запрещена по четным числам месяца». Коммунальные службы далеко не каждый день чистят улицы даже летом, не говоря уже о зимних месяцах. Для увеличения места для стоянки на таких улицах следует вводить в действие один из указанных знаков только в конце дня, предшествующего плановой уборке улицы, управляя этими знаками или дистанционно, или путем надевания и съема чехла с них.

### 4.3. Скорость движения в городах и на магистралях

В пункте 10.1 ПДД сказано, что водитель должен вести транспортное средство со скоростью, не превышающей установленные ограничения, учитывая при этом интенсивность движения, особенности и состояние транспортного средства и груза, дорожные и метеорологические условия, в частности видимость в направлении движе-

ния. Скорость должна обеспечивать водителю возможность постоянного контроля за движением транспортного средства для выполнения требований правил. Согласно этому правилу вся ответственность за безопасность движения лежит на водителе, поэтому даже если он не превышал установленной скорости, но не учел, скажем, метеоусловия и совершил ДТП, то все равно он понесет наказание за ДТП. Тогда нужны ли ограничения скорости и знаки, ограничивающие скорость, которые не учитывают многих факторов?! Придерживаться строгого скоростного режима должны начинающие водители и те, кто в силу особенностей своего организма не может безопасно ездить и часто из-за этого становится виновником ДТП. Таким людям нужно принудительно устанавливать на их транспортное средство знак, ограничивающий скорость, причем, возможно, даже больше, чем это сейчас принято. Отдельно следует рассматривать водителей с нездоровой психикой или алкогольной (наркотической) зависимостью, которых должны лишать прав или пожизненно, или на длительный период, чтобы не создавать на дорогах угрозы людям. Изобилующие на улицах знаки, ограничивающие скорость до 30, 50, 40 км/ч и так далее, только отвлекают водителя, который должен внимательно наблюдать за дорожной обстановкой. При этом такие ограничения ничем не обоснованы. С тех пор как было принято ограничение скорости в городах, равное 60 км/ч, прошло очень много лет. За это время автомобили претерпели существенные изменения, в том числе касающиеся безопасности, тормозной путь у них значительно сократился, надежность тормозной системы на порядок возросла, а ограничения скорости остались прежними! Опытному водителю никакие знаки не нужны, он безопасно проведет свое транспортное средство без всяких ограничивающих скорость знаков! Можно привести такой пример. Ранее подача звукового сигнала была разрешена и постоянно можно было слышать неумолкающую какофонию автомобильных клаксонов. Потом подавать сигналы запретили (оставили только в виде исключения), и все водители сейчас без проблем обходятся без сигналов. Или представим себе еще такую ситуацию: водитель едет на автомобиле с разрешенной скоростью по широкому свободному проспекту, на котором появился уклон. Естественно, если не применить торможение, то автомобиль разгонится за счет уклона, например до 85 – 90 км/ч. Даже если автомобиль снабжен опцией «круиз-контроль», то никакое-

го автоматического торможения для сохранения прежнего значения скорости не произойдет. Поэтому, чтобы уложиться в ограничение скорости, нужно затормаживать автомобиль, продуцируя при этом очень вредную пыль от истирающихся тормозных колодок и шин. Зачем? Можно миновать этот уклон со скоростью 85 – 90 км/ч, не создавая никому никакой опасности и сберегая при этом окружающую среду от вредных загрязнителей.

Аналогичную картину можно наблюдать и на автомагистрали, когда в пути встречается населенный пункт, в котором действуют требования ПДД. Водитель двигающегося со скоростью 90 – 100 км/ч автомобиля вынужден тормозить, чтобы соблюсти скоростной режим в населенном пункте, за ним начинают тормозить и последующие водители, двигающиеся в потоке. При этом водитель не может точно дискретно снизить скорость, например, на 18 км/ч, поэтому, как правило, скорость сбрасывается на значительно большее значение, чему еще способствует и инерционность спидометра. Потом начинаются разгон, «перегазовки» и тому подобное, причем все это проделывают тысячи проезжающих автомобилей! А есть ли в этом необходимость? Сейчас дороги во многих населенных пунктах отгорожены щитами, что исключает внезапное появление на проезжей части людей или животных. Или, например, жилые дома находятся далеко от дороги, и последняя с обеих сторон хорошо просматривается. Конечно, в этом случае никакого ограничения скорости не нужно, весь поток благополучно миновал бы этот населенный пункт с прежней скоростью движения (90 – 100 км/ч), не нанося урона окружающей среде.

Также на автомагистралях давно уже безопасно можно двигаться со скоростью 130 – 150 км/ч, а не ехать согласно принятым ограничениям 90 км/ч, увеличивая тем самым число обгоняемых транспортных средств, что представляется более опасным, чем повышенная скорость. Для безопасности перестроения из одной полосы в другую водитель автомобиля, перестраивающийся на полосу с более скоростным движением, предварительно должен развить достаточно большую скорость сначала на своей полосе, чтобы правильно оценить дистанцию и скорость другого автомобиля, двигающегося с более высокой скоростью. Такую обязанность перед указанным перестроением следовало бы внести в ПДД для повышения безопасности движения на магистралях. Действительно, если водитель первого автомобиля

перестраивается на полосу движения, по которой движется другой автомобиль со скоростью 150 км/ч, и увеличивает перед перестроением скорость своего автомобиля до 100 км/ч, то скорость их относительно друг друга будет равна 50 км/ч и к перестраивающемуся автомобилю другой автомобиль будет приближаться со скоростью примерно 14 м/с. Поэтому если на момент начала перестроения между автомобилями было расстояние 100 м, то второй автомобиль сможет приблизиться к первому только примерно через 7 с, что вполне достаточно первому автомобилю для перестроения и набора более высокой скорости. При этом легче избежать столкновения в случае каких-то непредвиденных обстоятельств. Однако если первый автомобиль начинает перестраиваться с «нулевой» скоростью, то второй автомобиль окажется рядом уже через 2 – 3 с, что явно недостаточно для выполнения такого маневра.

По Правилам дорожного движения проезд по обочине запрещен, о чем говорится в п. 9.9 ПДД. Ни один водитель не поедет по обочине, если для движения свободны полосы проезжей части. Основная причина такой «обочечной» езды заключается в желании объехать затор, образовавшийся на полосах проезжей части. В чем в первую очередь проявляется негатив от такой езды по обочине? Это создание неудобств водителям, автомобили которых движутся в правом ряду. Проехав часть пути, «обочечники» начинают встраиваться в правый ряд, мешая водителям и останавливая движение в нем. В результате движение в правом ряду сильно замедляется. Положительные моменты от езды по обочине заключаются в том, что последняя не зарастает (или медленнее зарастает) травой и появляется дополнительная полоса для движения. Поэтому, чтобы устранить негативную составляющую от такой езды, нужно на обочине установить знак, разрешающий проезд по ней, и при необходимости указать разрешенную ширину или вид транспортного средства. При этом обочину следует сформировать таким образом, чтобы движение по ней было возможно до какого-то места, на котором водитель, ехавший по обочине, мог или вписаться в общий поток движения, или совершить поворот (например, иметь возможность двигаться по обочине до перекрестка дорог), не создавая при этом никакой помехи движущимся в правом ряду автомобилям (рис. 4.12).

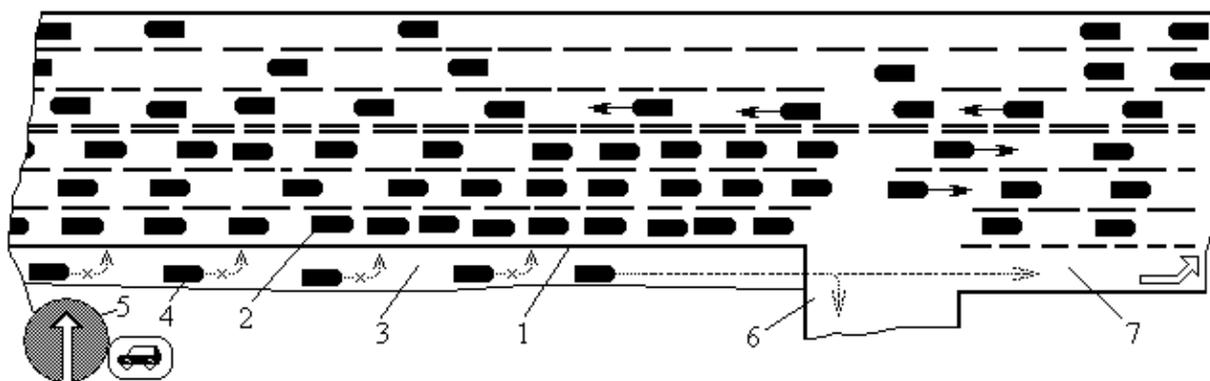


Рис. 4.12. Схема магистрали с обочиной, по которой разрешено движение легковых автомобилей

Магистраль *1* имеет по три полосы в каждом направлении для движения транспортных средств *2* и обочину *3* с перемещающимися по ней легковыми автомобилями *4*, которые согласно знаку *5* «Движение прямо» могут двигаться по обочине только в прямом направлении до пересечения дорогой *6* магистрали *1*. Далее эти автомобили вправе повернуть направо на дорогу *6* или продолжить движение через перекресток на полосу *7* разгона, по которой они должны двигаться и перестраиваться на соседнюю полосу, уступая дорогу транспортным средствам, движущимся по этой дороге. В этом случае легковые автомобили, движущиеся по обочине, не будут мешать движению транспортных средств, находящихся в правом ряду. Для наблюдения за выполнением водителями требований предписывающего знака 4.1.1 «Движение прямо» можно вдоль обочины установить камеры, контролирующие правильную в этом случае езду по обочине.

Часто можно видеть знак, ограничивающий скорость до 20 км/ч у искусственной неровности («лежачего полицейского») на дороге. Поскольку данная неровность делается не инструментально по точным размерам, а «на глазок», то на некоторых таких неровностях даже при такой скорости машину ощутимо подбрасывает вверх. Такие искусственные неровности в определенных условиях могут быть даже опасны. Например, если водитель не успел по какой-то причине сбросить скорость, то подбрасывание его машины может сделать его колеса неуправляемыми. При этом в любом случае разгрузка передней подвески автомобиля в результате его подбрасывания приводит к снижению эффективности работы тормозов. Поэтому «лежачие полицейские» не нужны, для безопасности главное обеспечить хорошую

видимость водителю транспортного средства. При этом при переходе проезжей части по пешеходному переходу нельзя снимать ответственность и с пешехода, который предварительно должен убедиться в том, что водители подъезжающих транспортных средств видят его, снижают скорость или останавливаются. Только убедившись в безопасности перехода, пешеходы могут спокойно переходить дорогу.

Таким образом, нужно повышать культуру вождения и мастерство водителей транспортных средств, возлагать на них ответственность за безопасное управление транспортным средством (как это сделано, например, с прохождением технического осмотра по желанию автовладельца, который сам обязан следить за исправностью своего транспортного средства), не отвлекать их внимание от дороги на бесконечную череду ограничивающих скорость знаков и положение стрелки спидометра, не заставлять без надобности постоянно изменять скорость автомобиля во время движения. Это улучшит экологическую обстановку и в городах, и на магистралях, значительно снизит усталость водителей во время работы, что, в свою очередь, повысит безопасность движения в целом. Знаки, ограничивающие скорость, должны ставиться только в редких, исключительных случаях (когда водитель не имеет возможности предвидеть, например, какое-то препятствие или опасность), а не быть путеводителем при проезде улицы.

#### **4.4. Камеры на дорогах и штрафы**

В настоящее время дороги изобилуют камерами слежения, которые предназначены не для управления дорожным движением, а для фиксации малейших нарушений и последующего сбора штрафов за них. Это, безусловно, не улучшает дорожную обстановку и не повышает безопасность дорожного движения. Количество указанных камер растет, а аварийность не снижается, экологическая обстановка ухудшается. Кроме того, оборудование и содержание камер требуют больших затрат, которые повышают стоимость дорожной инфраструктуры и всего транспортного процесса. Камеры должны устанавливаться там, где это действительно будет способствовать безопасности, например на железнодорожном переезде. В случае непредвиденной остановки транспортного средства на железнодорожных путях, которая отслеживается камерой, происходит автоматическое включение

ние красного сигнала железнодорожного светофора, в результате чего машинист движущегося поезда производит его торможение.

Камеры нужны и там, где часто происходит скопление транспортных средств, в результате чего образуются пробки, снижающие скорость движения или блокирующие его полностью. В этом случае такая ситуация отслеживается и принимаются меры для ее ликвидации, например освобождается для этого направления реверсивная полоса или блокируется движение по пересекающей ее дороге с меньшим приоритетом и т. п. Если такие пробки формируются систематически в определенное время, то камеры, по существу, будут не нужны, достаточно автоматически, по программе включать на реверсивной полосе светофоры с соответствующими сигналами.

Сложнее обстоит дело, когда встречные потоки разделены механическим барьером, который транспортным средствам можно миновать только при по крайней мере частичном убирании данной преграды. Представляется, что лучший вариант – сочетание таких барьеров с откатными воротами, которые устанавливаются в узловых точках, определяющих в данном случае необходимую длину реверсивной полосы. При этом дополнительная секция светофора, разрешающая проезд через ворота на реверсивную полосу, должна быть снабжена табличками 8.4.1 – 8.4.8 «Вид транспортного средства», на которое распространяется сигнал дополнительной секции, т. е. на легковые автомобили, а также грузовые автомобили с разрешенной максимальной массой до 3,5 т. Это обстоятельство вызвано тем, что для большегрузных автомобилей нужен большой радиус поворота, им не хватит для въезда в ворота и последующего поворота на реверсивную полосу ее ширины, а «захват» других полос приведет к созданию помехи встречным транспортным средствам или прекращению проезда последующих транспортных средств, так как водитель большегрузного автомобиля должен будет пропускать транспортные средства встречного направления до тех пор, пока он не перестанет создавать им помехи при своем повороте на реверсивную полосу после выезда из ворот (рис. 4.13).

Магистраль 1 на середине имеет разделяющий встречные потоки транспортных средств механический барьер 2 с откатными воротами 3. Прилегающие к барьеру полосы 4 и 5 реверсивные. Движение по части полос может быть заблокировано, например в случае столк-

новения автомобилей 6, 7, в результате чего транспортные средства 8, на пути которых оказались участники ДТП, вынуждены перестраиваться в свободный для движения правый крайний ряд. В связи с этим возникают три конфликтных потока, старающиеся проехать по правому ряду, и движение по полосам замедляется или вовсе блокируется.

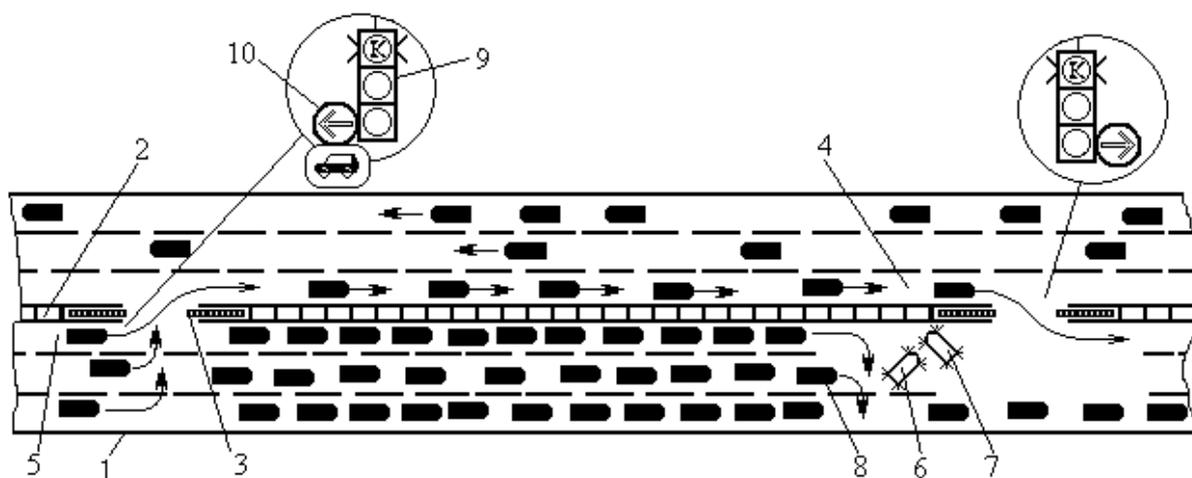


Рис. 4.13. Схема проезда транспортных средств по реверсивной полосе при блокировании движения

При выявлении такой ситуации, например с помощью камер, закрывают движение транспортных средств по полосе 4 в направлении справа налево и открывают откатные ворота 3, в результате чего в механическом барьере образуется проем для проезда легковых автомобилей. Одновременно с этим на светофоре 9 включают красный сигнал, запрещающий движение прямо по полосе 5, и зеленый сигнал в виде стрелки на дополнительной секции 10, который информирует водителей легковых автомобилей о возможности переезда через открывшийся проем с полосы 5 на полосу 4 для продолжения движения в прямом направлении. Проехав проблемный для движения участок магистрали 1, водители автомобилей, движущихся по полосе 4, получают информацию с одного из светофоров, расположенных вдоль механического барьера. Красный сигнал этого светофора запрещает проезд по полосе 4 прямо, а зеленый сигнал стрелки на дополнительной секции направляет поток легковых автомобилей через проем с полосы 4 на полосу 5, т. е. автомобили возвращаются на свою прежнюю полосу 5 после объезда по полосе 4 возникшего препятствия из-за столкновения автомобилей 6 и 7. После того как участвующие в

ДТП автомобили будут убраны с проезжей части и скопившиеся за ними транспортные средства начнут нормальное движение по всем трем полосам, движение по магистрали *1* приводят к исходному виду. Для этого выключают зеленый сигнал на дополнительной секции светофора *9*, а вместо красного сигнала включают зеленый сигнал основной секции. Такое сочетание сигналов запрещает автомобилям с полосы *5* переезжать на полосу *4*, ворота *3* закрывают, и целостность механического барьера в этом месте восстанавливается.

Если все же возникает необходимость в пропуске большегрузных автомобилей через реверсивную полосу без создания при этом помехи встречным транспортным средствам, то можно организовать в этом месте движение следующим образом (рис. 4.14).

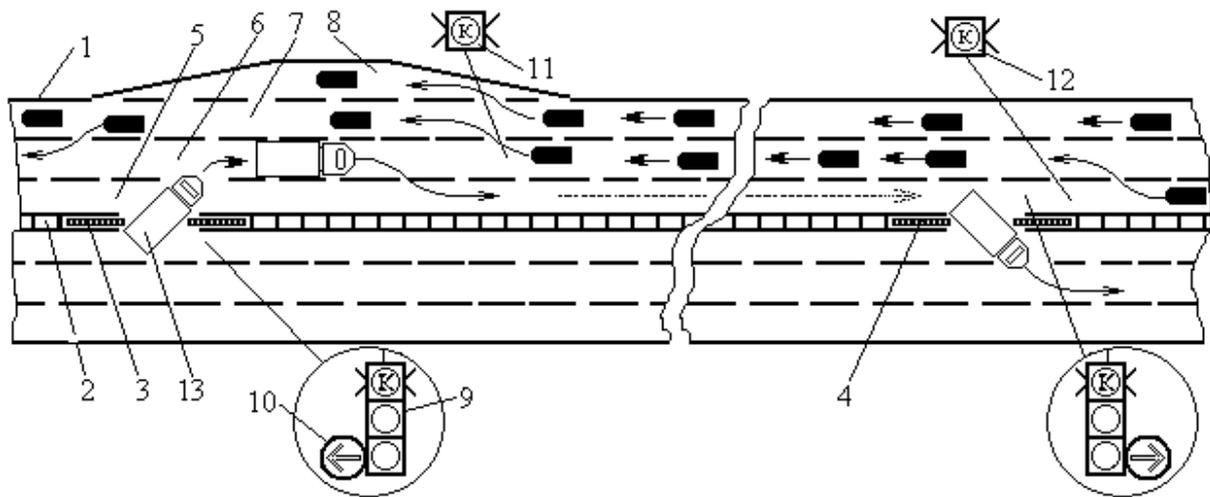


Рис. 4.14. Схема проезда грузовых транспортных средств по реверсивной полосе

Магистраль *1* на середине имеет разделяющий встречные потоки транспортных средств механический барьер *2* с откатными воротами *3*, *4* и прилегающие к барьеру полосы *5*, *6*, *7*, *8*, из которых полоса *5* – реверсивная, а полоса *8* – дополнительная, расположенная напротив ворот *3*. На прилегающие к механическому барьеру полосы в зоне ворот *3*, *4* установлены светофоры *9* с дополнительной секцией *10* с зеленым сигналом в виде стрелки. Кроме того, в зоне ворот на реверсивной полосе установлены светофоры *11*, *12* с красным X-образным сигналом.

В случае блокирования движения слева направо закрывают движение транспортных средств по полосам *5*, *6* в направлении справа налево, для чего включают красный сигнал соответственно на све-

тофорах 12, 11. В результате этого транспортные средства, движущиеся справа налево, занимают для своего движения полосы 6, 7, начиная от откатных ворот 4, и полосы 7, 8, не доезжая до светофора 11. После окончания дополнительной полосы указанные транспортные средства снова могут двигаться по полосам 6, 7.

Затем открывают откатные ворота 3, в результате чего в механическом барьере 2 образуется проем для проезда транспортных средств, движущихся слева направо, в том числе и грузовых автомобилей 13. Одновременно с этим на светофоре 9 включают сигналы: красный, запрещающий движение прямо, и зеленый на дополнительной секции 10 в виде стрелки, которая информирует водителей о возможности проезда через открывшийся проем на полосы 5, 6 для продолжения движения в прямом направлении, при этом полоса 6 используется для проезда в указанном направлении кратковременно, до светофора 11 для поворота большегрузных автомобилей с последующим перестроением их на полосу 5. После проезда неблагоприятного для движения участка магистрали 1 водители автомобилей, движущихся по полосе 5, получают информацию со светофора, расположенного около откатных ворот 4, красный сигнал которого запрещает дальнейший проезд по полосе 5 прямо, а зеленый сигнал стрелки на дополнительной секции направляет транспортный поток с этой полосы через проем откатных ворот 4 снова на прежние полосы после вынужденного объезда.

Таким образом, в основном камеры должны предназначаться для управления дорожным движением, облегчения выявления нарушителя на перекрестках в случае возникновения ДТП, обнаружения водителей с опасной ездой, а также там, где это будет способствовать безопасности движения.

Штрафы нужно отменить, так как они ни в коей мере не влияют на правильное поведение водителя на дороге. Более действенная мера – введение талона предупреждения (как это было ранее), в котором отмеченные три одинаковых нарушения в течение года влекут за собой передачу на водительские права. Денежные штрафы должны предусматриваться только в виде компенсации по факту причинения вреда (ущерба).

## **Контрольные вопросы**

1. С помощью чего оценивается сложность пересечения дорог? Какие виды конфликтных точек выделяют и что является характерной особенностью каждой конфликтной точки?
2. При каких значениях показателя сложности транспортный узел считается простым? Как определяется показатель сложности транспортного узла?
3. При каких значениях показателя сложности транспортный узел считается средней сложности, сложным, очень сложным?
4. С помощью каких мер достигают уменьшения сложности пересечения?
5. Какие требования по обеспечению безопасности дорожного движения предъявляют к дорожным условиям?
6. Какие виды тактов регулирования выделяют и что называют фазой регулирования?
7. Какое значение для практических расчетов имеет среднее замедление транспортного средства при включении запрещающего сигнала?
8. Какова максимальная длительность переходного интервала для транспортных потоков?
9. С какой целью применяют светофоры с обратным отсчетом?
10. С какой целью устанавливают камеры на перекрестках?

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время, несмотря на бесчисленное количество камер видеонаблюдения, фиксирующих нарушения ПДД в автоматическом режиме, и знаков, установленных на дороге, проблема обеспечения безопасности дорожного движения остается весьма актуальной: за последнее время количество правонарушений в области дорожного движения увеличилось и кардинального снижения показателей аварийности не происходит [39].

Повышение уровня автомобилизации населения – одна из причин возрастания интенсивности движения на дорогах, которое должно сопровождаться адекватным повышением уровня организации дорожного движения на автомагистралях и в городах, максимально способствующей улучшению условий протекания транспортного процесса. Отсутствие комфортного передвижения по дорогам непременно приводит к повышению аварийности [40].

Так, с целью повышения безопасности дорожного движения предложены инновационные способы регулирования движения на перекрестках и автомагистралях, в том числе с использованием накопительных светофоров, датчиков, определяющих скорость и интенсивность движения транспортных средств, интеллектуальных систем управления для переключения сигналов светофоров во избежание возникновения конфликтных потоков. Рассмотрена возможность устройства откатных ворот в механических барьерах на автомагистралях для организации реверсивных полос при возникновении пробок. Все это значительно увеличивает пропускную способность дорог и автомагистралей и снижает аварийность.

Для уменьшения времени проезда железнодорожных переездов разработан способ автоматического управления движением, позволяющий определить скорость поезда и своевременно закрыть переезд, а также разработан новый способ ограждения железнодорожного пере-

езда, позволяющий быстро открыть или закрыть шлагбаум при малых затратах энергии.

Предложен способ улучшения состояния дорожного покрытия при очищении дорожного полотна от снега и ледяной корки, а также способ возведения дорожной одежды с основанием из глины и камней, что повышает прочность основания и его теплопроводность, следовательно, дорожное покрытие выдерживает большие нагрузки при движении транспортных средств.

Создана модель автоматического управления перевозочным процессом ГПТ.

Все перечисленное улучшает организацию дорожного движения, способствует безопасному и комфортному движению транспортных средств.

Уровень организации дорожного движения напрямую сказывается на ходе общественного производства и его эффективности. Поэтому для решения транспортных проблем городов необходимо прежде всего повысить качество управления транспортными потоками за счет применения более современных методов и средств, а также снизить вредные выбросы в атмосферу путем улучшения эксплуатационных показателей транспортных средств.

В настоящее время транспортными потоками управляют автоматизированные системы управления, которые независимо от принципов построения и видов решаемых ими задач имеют один общий существенный недостаток – выполнение самых сложных и ответственных операций по анализу поступающей информации и выработке управленческого воздействия ложится на человека.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК\*

1. *Оленев, Е. А.* Анализ современных методов и средств контроля и управления движением городского пассажирского транспорта / Е. А. Оленев // Конверсия, приборостроение, рынок : материалы международного науч.-техн. конф. – Владимир, 1997. – Ч. 1. – С. 170.

2. *Печерский, М. П.* Проблемы информатизации в управлении движением городского пассажирского транспорта г. Москвы / М. П. Печерский // Вестник городского электрического транспорта России. – 1995. – № 2. – С. 20 – 23.

3. *Бир, Ст.* Кибернетика и управление производством / Ст. Бир. – М. : Наука, 1965. – 391 с.

4. *Оленев, Е. А.* Современные методы и средства контроля и диспетчерского управления движением городского пассажирского транспорта : монография / Е. А. Оленев ; Ковров. гос. технол. акад. им. В. А. Дегтярева. – Ковров : КГТА, 1998. – 76 с. – ISBN 5-86151-061-X.

5. *Оленев, Е. А.* Исследование операций – инструмент эффективного диспетчерского управления движением городского пассажирского транспорта / Е. А. Оленев ; Владим. гос. ун-т. – Владимир, 2000. – 160 с. – ISBN 5-89368-180-0.

6. *Павленко, Г. П.* Автоматизированные системы диспетчерского управления движением пассажирского городского транспорта / Г. П. Павленко, В. С. Половников, А. П. Лопатин. – М. : Транспорт, 1979. – 207 с.

7. *Рудакова, Т. В.* Классификация автобусных маршрутов города с использованием комплексного анализа / Т. В. Рудакова, Т. Ю. Новгородцева ; Иркут. гос. экон. акад. – Иркутск, 1997. – С. 126 – 135. – Деп. в ВИНТИ 11.02.97, № 417-B97.

8. *Chlastaez, V.* Le palmares 95 des villes. Vie rail. – 1995. – № 2521. – P. 8 – 10.

9. *Сигал, И. Я.* Защита воздушного бассейна при сжигании топлива / И. Я. Сигал. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Недра, 1988. – 312 с. – ISBN 5-247-00078-1.

---

\* Приводится в авторской редакции.

10. *Oded, N.* Survey methodology for measuring parking occupancy : Impacts of an on-street parking pricing scheme in an urban center? / N. Oded, Cats Chen, Zhang Albania // *Transp. Polisy.* – 2016. – P. 55 – 63.

11. *Неймарк, Ю. И.* О работе автомата, регулирующего уличное движение на перекрестке / Ю. И. Неймарк, М. А. Федоткин // *Автоматика и телемеханика.* – 1966. – № 3. – С. 78 – 87.

12. *Якушев, Ю. Ф.* Об оптимальном обслуживании конфликтных потоков / Ю. Ф. Якушев // *Теория вероятностей и ее применения.* – 1990. – № 1. – С. 161 – 167.

13. *Жданов, В. С.* Условия существования установившихся режимов в циклических системах массового обслуживания / В. С. Жданов, Е. А. Саксонов // *Автоматика и телемеханика.* – 1979. – № 2. – С. 29 – 38.

14. *Литвак, Н. В.* Математическая модель адаптивного управления транспортом с учетом правил дорожного движения и психологии водителей / Н. В. Литвак, М. А. Федоткин. – 1998. – С. 1 – 58. – Деп. в ВИНТИ № 13-В98.

15. *Литвак, Н. В.* Предельные свойства системы адаптивного управления транспортом с учетом правил дорожного движения и психологии водителей / Н. В. Литвак, М. А. Федоткин. – 1998. – С. 1 – 51. – Деп. в ВИНТИ № 1636-В98.

16. *Campbel, G. M.* Cyclical queueing systems / G. M. Campbel // *Eur. J. Oper. Res.* – 1991. – V. 51. – P. 155 – 167.

17. Способ регулирования движения на перекрестке : пат. 2442219 Рос. Федерация : МПК G 08 G 1/08 / Оленев Е. А., Оленев С. Е. ; патентообладатели Оленев Е. А., Оленев С. Е. – № 2010144496/11 ; заявл. 29.10.10 ; опубл. 10.02.12, Бюл. № 4.

18. Способ регулирования движения транспортных средств на перекрестке транспортных магистралей : пат. 2608123 Рос. Федерация : МПК G 08 G 1/08 / Оленев Е. А. ; патентообладатель Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых (ВлГУ). – № 2015124211 ; заявл. 22.06.15 ; опубл. 13.01.17, Бюл. № 2.

19. Способ регулирования движения на перекрестке : пат. 2419163 Рос. Федерация : МПК G 08 G 1/01 / Оленев Е. А., Оленев С. Е. ; патентообладатели Оленев Е. А., Оленев С. Е. – № 2009139234/11 ; заявл. 23.10.09 ; опубл. 20.05.11, Бюл. № 14.

20. Способ измерения количества транспортных средств : пат. 2276809 Рос. Федерация : МПК G 08 G 1/01 / Оленев Е. А., Тарасов А. В. ; патентообладатель Оленев Е. А. – № 2003134850/11 ; заявл. 01.12.03 ; опубл. 20.05.06, Бюл. № 14.

21. Способ управления движением транспортных средств на перекрестке двух магистралей с различным приоритетом движения : RU 2008144047 : МПК G 08 G 1/00 / Оленев Е. А., Оленев С. Е. ; заявл. 05.11.08 ; опубл. 10.05.10, Бюл. № 13.

22. *Новиков, О. А.* Прикладные вопросы теории массового обслуживания / О. А. Новиков, С. И. Петухов. – М. : Сов. радио, 1969. – 400 с.

23. Способ управления движением на железнодорожном переезде : пат. 2587760 Рос. Федерация : МПК В 61 L 21/00 / Оленев Е. А. ; патентообладатель Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых (ВлГУ). – № 2015115873 ; заявл. 27.04.15 ; опубл. 20.06.16, Бюл. № 17.

24. Способ ограждения железнодорожного переезда : пат. 2503568 Рос. Федерация : МПК В 61 L 29/02 / Оленев Е. А. ; патентообладатель Оленев Е. А. – № 2012108658/11 ; заявл. 06.03.12 ; опубл. 10.01.14, Бюл. № 1.

25. Привод шлагбаума : пат. 2557127 Рос. Федерация : МПК В 61 L 29/08 / Оленев Е. А. ; патентообладатель Оленев Е. А. – № 2014121020/11 ; заявл. 23.05.14 ; опубл. 20.07.15, Бюл. № 20.

26. Способ уборки снега с проезжей части : пат. 2480554 Рос. Федерация : МПК Е 01 Н 5/00 / Оленев Е. А., Малафеев С. И. ; патентообладатель Оленев Е. А. – № 2012103814/13 ; заявл. 03.02.12 ; опубл. 27.04.13, Бюл. № 12.

27. Способ возведения дорожной одежды : пат. 2186897 Рос. Федерация : МПК Е 01 С 3/04 / Оленев Е. А., Джишкариани Г. Д., Ермошин А. В. ; патентообладатели Оленев Е. А., Джишкариани Г. Д., Ермошин А. В. – № 2000122484/03 ; заявл. 28.08.00 ; опубл. 10.08.02, Бюл. № 22.

28. *Оленев, Е. А.* Пути улучшения состояния дорожного покрытия для безопасной эксплуатации транспортных средств / Е. А. Оленев // *Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. / Владим. гос. ун-т. – Владимир, 2005.*

29. *Оленев, Е. А.* Нечеткое управление с прогнозированием в автоматической системе диспетчерского управления движением городского пассажирского транспорта / Е. А. Оленев // Конверсия, приборостроение, рынок : материалы междунар. науч.-техн. конф. – Владимир, 1997. – Ч. 2. – С. 11 – 12.

30. Преобразователь амплитуда – код нестационарных механических колебаний : а. с. 1481888 СССР : МПК Н 03 М 1/60 / Е. А. Оленев, Л. Н. Шарыгин, И. Ю. Громов ; заявитель Владим. политехн. ин-т. – № 4201252 ; заявл. 02.03.87 ; опубл. 23.05.89.

31. *Башарин, Г. П.* Анализ очередей в вычислительных сетях / Г. П. Башарин, П. П. Бочаров, Я. А. Коган. – М. : Наука, 1989. – 334 с.

32. *Овчаров, Л. А.* Прикладные задачи теории массового обслуживания / Л. А. Овчаров. – М. : Машиностроение, 1969. – 324 с.

33. *Гаврилов, А. А.* Моделирование дорожного движения / А. А. Гаврилов. – М. : Транспорт, 1980. – 189 с.

34. *Хрущев, М.* Все ли остановки нужны на маршруте? / М. Хрущев, О. Евдошенко // Автомобильный транспорт. – 1966. – № 9 – 10. – С. 50 – 51.

35. Волоконно-оптические системы передачи / М. М. Батусов [и др.] ; под ред. В. Н. Гомзина. – М. : Радио и связь, 1992. – 416 с.

36. Волоконно-оптические системы передачи и кабели : справочник / И. И. Гроднев [и др.]. – М. : Радио и связь, 1993. – 264 с.

37. *Felz, H.* BON-Betriebsieitsystem fur den offentlichen Nahverkehr / H. Felz // DDR-Verberhr. – 1989. – № 8. – P. 235 – 237.

38. Способ индикации и контроля движения транспортных средств : заявка № 94041934 от 22.11.94 / Оленев Е. А., Гудков Б. А. и др.

39. *Климович, Е. В.* Правовое регулирование применения специальных технических средств фиксации нарушений правил дорожного движения: проблемы и перспективы / Е. В. Климович, А. В. Кузнецов // Юридическая наука и правоохранительная практика. – 2015. – № 4 (34). – С. 132 – 139.

40. *Казачонок, В. В.* Повышение уровня культуры водителей как фактор безопасности дорожного движения / В. В. Казачонок // Юридическая наука и правоохранительная практика. – 2016. – № 2 (36). – С. 34.

41. Способ автоматической обработки дорожного покрытия противогололедным веществом и устройство для его осуществления : пат. 2576123 Рос. Федерация : МПК Е 01 Н 10/00 / Оленев Е. А. ; патентообладатель Оленев Е. А. – № 2014142526/13 ; заявл. 21.10.14 ; опубл. 27.02.16, Бюл. № 6.

*Учебное издание*

ОЛЕНЕВ Евгений Александрович  
ОЛЕНЕВ Сергей Евгеньевич  
АМИРСЕЙИДОВ Шихсеид Амирсейидович

ОРГАНИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ НА АВТОМАГИСТРАЛЯХ И В ГОРОДАХ  
ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ

Учебник

Редактор Т. В. Евстюничева  
Технический редактор Ш. Ш. Амирсейидов  
Компьютерная верстка Л. В. Макаровой, А. Н. Герасина  
Корректор О. В. Балашова  
Выпускающий редактор А. А. Амирсейидова

Подписано в печать 30.05.24.  
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 10,7. Тираж 300 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.  
600000, Владимир, ул. Горького, 87.