

3123



Министерство образования
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Организация автомобильных перевозок
и дорожного движения»

Ю.А. Врубель

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Учебно-методическое пособие

Минск 2007

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Организация автомобильных перевозок
и дорожного движения»

Ю.А. Врубель

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Учебно-методическое пособие
для студентов специальности 1-44 01 02
«Организация дорожного движения»

М и н с к 2 0 0 7

УДК 656.13.05

~~ББК 39.808~~

В 83

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор Э.М. Воробьёв;
доктор технических наук, профессор И.И. Леонович

Врубель, Ю.А.

В 83 Характеристики дорожного движения: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-44 01 02 «Организация дорожного движения» / Ю.А. Врубель. – Минск.: БНТУ, 2007. – 268 с.

ISBN 978-985-479-478-5.

В учебно-методическом пособии рассматриваются проблемы автомобилизации, характеристики транспортных и пешеходных потоков, стоянки транспорта, а также издержки процесса движения и их денежное выражение – потери в дорожном движении.

УДК 656.13.05
ББК 39.808

ISBN 978-985-479-478-5

© Врубель, Ю.А., 2007
© БНТУ, 2007

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Проблемы автомобилизации

Транспорт – важнейшая и неотъемлемая область человеческой деятельности. В дорожном транспорте, где доминирующее положение занимает автомобиль, осуществляется около 3/4 всего объема транспортного обслуживания. Без автомобиля, отличающегося редкой универсальностью и доступностью, невозможно обойтись практически ни в одной сфере деятельности. Все это привело к неслыханному росту автомобильного парка: сегодня в мире насчитывается около 500 млн. автомобилей и около 50 млн. мотоциклов. Только в США и Канаде на 300 млн. жителей приходится около 200 млн. автомобилей, а в Западной Европе на 380 млн. жителей – около 180 млн. автомобилей. В Республике Беларусь на 10 млн. жителей приходится около 1,9 млн. автомобилей, т.е. примерно 1 автомобиль на 5 человек. И хотя этот уровень несколько выше среднемирового, по европейским меркам он весьма невысок. В табл. 1.1 приведены данные по уровню автомобилизации в некоторых европейских странах.

Таблица 1.1

Уровень автомобилизации в некоторых европейских странах
в 1996 г. [8]

Страна	Площадь, тыс. км ²	Населе- ние, млн. чел.	Автомо- били, млн. шт.	Мото- циклы, тыс. шт.	Авт./чел.	Мот./чел.
Австрия	83,9	8,07	3,993	194	0,50	0,02
Бельгия	30,5	10,2	4,791	212	0,47	0,02
Чехия	78,9	10,3	3,401	139	0,33	0,01
Швеция	450	8,84	3,977	76	0,45	0,01
Испания	505	39,3	17,604	1308	0,45	0,03
Франция	551	58,5	29,136	874	0,50	0,01
Англия	244	58,8	25,500	671	0,44	0,01
Германия	357	81,9	43,346	2470	0,53	0,03
Литва	65,3	3,71	882	171	0,24	0,05
Польша	312	38,6	9,510	876	0,25	0,02
Беларусь (2000 г.)	207	10,0	1,887	551	0,19	0,05
Россия	17754	148	18,345	8,565	0,12	0,06

Огромная масса автомобильной техники, безусловно, помогает человеку, однако создает множество проблем, из которых можно выделить следующие:

1. Отвлечение огромных материальных и людских ресурсов. Чтобы произвести такое количество автомобилей (срок службы которых – около 10 лет), необходимы сталь, резина, лаки, свинец, стекло, а также энергия, земля, здания, сооружения, транспорт, люди и т.д. Для эксплуатации этих автомобилей опять же нужны материальные и людские ресурсы. По некоторым оценкам, в развитых странах каждый десятый трудоспособный житель работает либо на автомобиль, либо на автомобиле.

2. Использование невозполнимого нефтяного топлива. Доля автомобиля в сжигании топлива близка к половине. Эта проблема имеет две стороны: во-первых, нефть является настолько богатым благородным сырьем, что сжигать его просто расточительно; во-вторых, запасы нефти на Земле заметно истощаются, и нефть становится главным стратегическим и все более дефицитным сырьем со всеми вытекающими отсюда последствиями.

3. Увеличение потребности в качественных дорогах, что опять же требует затрат материальных и людских ресурсов. Дороги очень дорогие: 1 км хорошей дороги стоит примерно столько же, сколько стоят автомобили, размещенные цепочкой на этом километре и плотно поставленные друг за другом. Кроме того, дороги – это еще и потерянная земля, которая могла бы давать людям хлеб и другие продукты.

4. Ухудшение экологии, т.к. автомобиль является одним из самых главных загрязнителей окружающей среды. Вредные выбросы автомобилей – около 30 различных компонентов – составляют в развитых странах почти половину всех выбросов. Кроме того, происходят загрязнение воды и почвы, шум и вибрация, тепловое и электромагнитное излучение, а также гибель на дорогах живых организмов, разрушение экологических систем и т.д. Мы только начинаем понимать масштабы экологической опасности, которая может привести к непредсказуемым последствиям.

5. Аварийность – одна из самых серьезных и важных проблем, связанных с автомобилизацией. Ежегодно в мире погибает около 500 тыс. человек, около 8 млн. получают ранения, а общий социально-экономический ущерб оценивается цифрой порядка 400 млрд.

долларов. По некоторым оценкам, приведенные здесь цифры считаются заниженными. Средний возраст пострадавших в авариях – около 33 лет, при этом до 80 % пострадавших – мужчины. Таким образом, кроме приносимого материального и морального ущерба, аварийность отнимает самую сильную и здоровую часть нации.

6. Экономические потери в дорожном транспорте огромны. Они включают потери в инфраструктуре – нерациональное использование и низкое качество транспортных средств, улично-дорожной сети, недостатки в обслуживании и ремонте и т.д.; потери в процессе движения – бесконечные остановки, задержки и перепробег транспорта, перерасход топлива, задержки пешеходов и пассажиров и т.д. Экономические потери, по оценкам, превышают экологические в 3...5 раз, а аварийные – на порядок.

7. Социальные потери. В дорожном движении и около него происходит бесконечное число нарушений законности, актов несправедливости, насилия, лицемерия, лжи. Все это крайне негативно отражается на психике и мировоззрении целых поколений, подрывает общественные устои.

Имеются и другие проблемы, в частности, – исчезновение заповедных мест, сопротивление развитию «полезных» видов транспорта (например, велосипеда) и т.д. Исходя из сказанного, можно сделать вывод, что человечество вступило в стадию автомобильной эйфории и живет явно не по средствам и не по потребностям. Действительно, чтобы переместить на небольшое расстояние одного человека весом в 75 кг, используется автомобиль, весом в 10...20 раз больший, сжигается дорогое и экологически вредное топливо, занимает большая площадь на проезжей части и т.д. Все эти затраты, в принципе, можно уменьшить в разы или даже в десятки раз. Во многих странах уже предпринимаются определенные шаги по уменьшению негативных последствий по автомобилизации.

В частности, существенно уменьшается один из самых важных показателей – вес автомобиля. Например, за последние 25...30 лет вес легковых автомобилей уменьшился чуть ли не вдвое при одновременном улучшении других показателей. Специализация на грузовом транспорте позволила значительно повысить его производительность. Расход топлива за упомянутый период также снизился почти вдвое. Постепенно идет замена бензинового топлива на другие, более экологичные виды, в том числе и на возобновляемые, на-

пример, спирт. Очень много обещает использование водорода – нескончаемого и экологически чистого топлива, но пока это дорого и крайне взрывоопасно.

Хуже обстоит дело с дорогами: потребность в них все время растет, а они все дорожают. Тем не менее они становятся все более качественными, экологически чистыми, надежными и безопасными.

Более заметны успехи в экологической области: меньшая масса машин, лучшие топливо и смазка, более совершенные процессы сгорания и т.п. приводят к меньшему загрязнению. Многие проблемы решит водород, результатом сгорания которого является чистая вода. Все большее распространение получают дожигатели и нейтрализаторы в системе выпуска, электронное управление подачей топлива и т.д. Значительную роль, особенно в городах, могут сыграть электромобили, поскольку при получении электроэнергии в стационарных условиях могут быть выполнены самые жесткие требования по экологической безопасности.

Аварийность в развитых странах также имеет тенденцию к стабилизации или даже снижению, что является результатом повышения общей культуры движения, оптимальности управляющих воздействий, безопасности транспортных средств и дорог, улучшения информации, нормативов и т.д. Иными словами, это результат внедрения общенациональных комплексных программ, очень обширных и дорогостоящих, но, безусловно, окупающих себя.

На величину экономических потерь сильно влияют уровень организации движения, формы собственности, оценочные критерии качества и т.д. Снижение этих потерь требует разработки и внедрения еще более обширных, дорогостоящих и согласованных программ. В частности, можно упомянуть использование автоматизированных систем управления движением и навигации, развитие маршрутного пассажирского и других видов транспорта в городах, оптимизацию перевозок и т.д.

Очень сложной и «тонкой» является проблема социальных потерь в дорожном движении. Социальные аспекты управления дорожным транспортом, и особенно дорожным движением, должны занять надлежащее место. Здесь в максимально возможной мере должны быть учтены психофизиологические и социальные особенности человека. Поэтому многие подходы к управлению, носящие

сегодня только технический характер, должны быть кардинально пересмотрены с учетом социальной составляющей.

1.2. Дорожный транспорт и дорожное движение

Термин «дорожное движение», применяющийся в русскоязычной технической литературе, является довольно неопределенным. Он включает по меньшей мере два отличающихся понятия – процесс движения и область деятельности. Это обстоятельство нередко является причиной терминологической неразберихи, что приводит к ненужным затруднениям. Чтобы устранить этот недостаток, предложено использовать два термина – «дорожное движение» и «дорожный транспорт».

Термин *Дорожное движение* будет применяться для определения процесса движения – процесс дорожного движения, процесс движения по дорогам. Термин *Дорожный транспорт* будет применяться для определения области деятельности, вида транспорта. Очевидно, что понятие «дорожный транспорт» значительно шире понятия «дорожного движения» и включает последнее как неотъемлемую составную часть.

Таблица 1.2

Виды транспорта

Транспорт	Дорожный
	Железнодорожный
	Водный
	Морской
	Воздушный
	Трубопроводный
	Канатный и др.

Известно, что транспорт как отрасль подразделяется на несколько видов. Не вызывают терминологических затруднений такие виды транспорта, как железнодорожный, морской, воздушный и т.д. (см. табл. 1.2). Свои видовые названия они получили от названия пути, по которому производится передвижение: железная (рельсовая) до-

рога, море, воздух. Дальнейшее внутривидовое деление может производиться по разным признакам – типу подвижного состава, характеристике пути, способу погружения и т.д., например, самолетный, узкоколейный, подводный.

В нашем случае признаком вида является наземная дорога, поэтому логичным будет название «дорожный транспорт». Дальнейшее внутривидовое деление производится также по нескольким признакам, что следует из уже существующих названий подвигов: автомобильный, велосипедный, гужевой, пеший (тип подвижного состава); одноколейный, двухколейный (тип колеи); маршрутный пассажирский, санитарный, грузовой (назначение); городской электрический (назначение и привод) и т.д.

Известно, что автомобильный транспорт занимает доминирующее положение в дорожном транспорте, а автомобильное движение – в дорожном движении. Поэтому часто эти понятия – автомобильный и дорожный – совмещают, что не совсем правильно.

В определении «дорожный транспорт» есть довольно слабое место – «дорога». Что же такое дорога? В словаре русского языка находим: «дорога – полоса земли, служащая для езды или ходьбы». В современных Правилах дорожного движения находим: «дорога – обустроенная или приспособленная и используемая для движения полоса земли либо поверхность искусственного сооружения...». Имеются и другие определения, к сожалению, не совсем точные. Например, в определении из словаря явно не хватает поверхности (полосы) искусственного сооружения, – сегодня высококласные дороги немислимы без твердого покрытия, путепроводов, мостов и т.д. В определении из Правил не определено, какое движение имеется в виду – автомобильное, пешеходное, велосипедное и т.д. В результате непонятно, куда следует отнести, например, лесную тропинку или пешеходную улицу.

Дело в том, что дорога как наземный путь передвижения имеет много разновидностей: железная дорога, полевая дорога, лесная дорога (дорожка), санная дорога, ледовая дорога (проложенная по льду реки или озера), велосипедная дорожка, пешеходная дорожка, пешеходная улица и т.д. Все они не имеют прямого отношения к дорожному движению, поскольку не могут обслуживать транспортные потоки, состоящие в основном из автомобилей.

Такие функции может выполнять только одна разновидность дороги – автомобильная. Однако, поскольку по автомобильной дороге движутся не только автомобили, но и другие виды ТС, а также пешеходы, она постепенно утратила свое чисто автомобильное назначение и приобрела статус дороги, которой пользуются все, без всякого дополнительного определения. Именно такая дорога рассматривается в Правилах.

Не вдаваясь в юридические тонкости, условимся:

– под термином *«дорога»* будем понимать инженерное сооружение, предназначенное и обустроенное для движения неспециальных автомобилей и, возможно, других ТС и пешеходов. Все остальные наземные пути передвижения, не подходящие под это определение, должны иметь в своем названии прилагательное, указывающее их специфические особенности или назначение, например, полевая дорога, велосипедная дорожка, пешеходная улица. Представляется, что для них должны быть разработаны свои нормативы, включая правила движения;

– под термином *«дорожное движение»* будем понимать процесс движения по дороге;

– под термином *«дорожный транспорт»* будем понимать вид транспорта, в котором передвижение осуществляется по дороге.

Некоторые авторы используют термин «сфера дорожного движения», понимая под ним что-то вроде дорожного транспорта, что, на наш взгляд, не совсем верно. Дорожное движение – сложный, многогранный процесс, и «сфера дорожного движения» действительно охватывает самые различные его стороны, но именно дорожного движения, а не дорожного транспорта. Скажем, производство, закупка или ремонт транспортных средств относится к дорожному транспорту, и вряд ли его целесообразно относить к сфере дорожного движения.

Дорожный транспорт можно представить как сложную социально-производственную систему, предназначенную для перемещения машин, людей и грузов по улично-дорожной сети. Система является производственной, потому что в ней производится транспортная услуга – физическое перемещение машин, людей и грузов. Само перемещение является конечным продуктом, целевой функцией дорожного транспорта; ему предшествует множество промежуточных или вспомогательных процессов, каждый из которых требует своей

инфраструктуры – производственных площадей, оборудования, специалистов, рабочих и т.д. Поэтому система дорожного транспорта является весьма сложной.

С другой стороны, в дорожном транспорте участвует огромное количество людей – практически все население страны. Это участие проявляется в самых разнообразных формах – от различных видов деятельности в инфраструктуре (производство, продажа, ремонт и обслуживание автомобилей; строительство, содержание и ремонт дорог; подготовка водителей и специалистов; организация и работа в системе придорожного сервиса и т.д.) до почти поголовного участия в процессе дорожного движения в качестве водителей, пассажиров и пешеходов. Ясно, что такая система, в которой участвует все население страны, является в первую очередь социальной, и любые подходы к ее управлению и развитию, в которых недооценивается или, тем более, игнорируется социальный фактор, заведомо обречены на неудачу. Обе стороны – социальная и производственная – должны рассматриваться в тесном взаимодействии, что является неперенным условием нормального управления и развития.

Система дорожного транспорта очень многогранна. Можно выделить несколько сторон (граней) этой системы. *Техническая сторона* представляет собой физическую основу системы – дороги и обустройство, транспортные средства, системы управления движением, сооружения придорожного сервиса и т.д.

Экономическая сторона определяет КПД системы, оперирующей громадными ресурсами и огромными издержками.

Социально-правовая сторона определяет взаимодействие участников в системе, которыми, как мы знаем, является все население страны.

Психофизиологическая сторона связана в основном с дорожным движением, которое часто происходит на пределе человеческих возможностей, и задача состоит в максимальном приспособлении человека к движению и движения к человеку.

Можно еще выделить *медицинскую, экологическую, аварийную, сервисную* и другие грани системы.

Остановимся несколько подробнее на *структурной грани* системы дорожного транспорта. Уже говорилось, что сама система дорожного транспорта на правах подсистемы входит в еще более обширную систему «Транспорт». В то же время в самую систему до-

рожного транспорта на правах подсистем входят несколько относительно самостоятельных и сложных систем, таких как дороги, транспортные средства, а также на правах подсистем или звеньев – отдельные подсистемы других весьма обширных систем, – например, автомобильные перевозки (из системы «Перевозки»), специализированная медицинская помощь (из системы «Здравоохранение»), придорожный сервис, правоохрана и т.д. Если систему дорожного транспорта условно развернуть на плоскость, она будет напоминать цветок (рис. 1.1). Кроме указанных на рисунке, имеются и другие области деятельности, без которых система дорожного транспорта не может нормально функционировать. Однако они входят в систему дорожного транспорта, большей частью опосредованно через другие подсистемы или звенья, поэтому на рисунке не показаны и не рассматриваются.

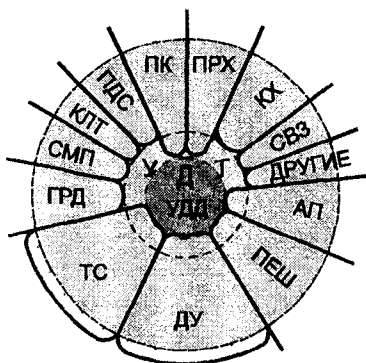


Рис. 1.1. Система дорожного транспорта [7]: ТС – транспортные средства; ДУ – дорожные условия, ПЕШ – пешеходы (и другие незащищенные участники движения); АГТ – автомобильные перевозки; ГРД – градостроительство; СМП – специализированная медицинская помощь; КЛТ – культура и туризм; ПДС – придорожный сервис; ПК – подготовка кадров; ПРХ – правоохрана; КХ – коммунальное хозяйство; СВЗ – энергетика и связь; УДТ – управление дорожным транспортом; УДД – управление дорожным движением

Таким образом, система дорожного транспорта представляется в виде двух основных концентрических кругов. В первом круге находится подсистема управления дорожным движением, целиком входящая в систему и являющаяся главной, результирующей. Во втором круге, который, в принципе, разомкнут, находятся остальные подсистемы и звенья, входящие в систему с различной глубиной. Например, если подсистемы «Дороги» или «Автомобили» входят в систему глубоко и являются базовыми, то другие подсистемы (звенья) входят не так глубоко и занимают более скромное место.

Возникает вопрос: что является главной, определяющей подсистемой в системе дорожного транспорта? Нетрудно догадаться, что

дорожники, например, таковой уверенно считают свои дороги, а автомобилисты – автомобили. Дороги действительно являются фундаментом, на котором построена система дорожного транспорта, а автомобили (транспортные средства) – своего рода руки и ноги системы, с помощью которых и производится транспортная услуга. Но все же представляется, что центральное место должно занимать дорожное движение, которое объединяет все подсистемы, является целевой функцией системы дорожного транспорта, без которого все мертво и не имеет никакого смысла.

Разумеется, в самом центре системы должны быть расположены структуры управления дорожным транспортом и дорожным движением – что-то вроде мозга системы дорожного транспорта.

Что же такое управление дорожным транспортом и управление дорожным движением?

Условимся, что под *управлением дорожным транспортом* будем понимать деятельность довольно широкого масштаба по управлению всей системой дорожного транспорта, основными целями которой являются удовлетворение транспортных потребностей и минимизация общественной стоимости транспортных услуг. Основные задачи управления ДТ – организация взаимодействия всех подсистем и звеньев системы и создание оптимальных условий для движения. Из более конкретных задач можно назвать сбор информации о состоянии системы и ее анализ, согласование решений, нормативы, контроль, материально-финансовое обеспечение, кадры, взаимодействие с другими видами транспорта и т.д. Структура управления дорожным транспортом здесь не рассматривается, поскольку эта тема совершенно самостоятельная и не является предметом нашего исследования. Укажем лишь, что она тесно связана со структурами управления некоторых подсистем, и в ряде случаев ей могут быть переданы некоторые функции управления тех звеньев, которые не имеют собственных управленческих структур в рамках системы дорожного транспорта.

Прежде чем ответить на вопрос, что такое *управление дорожным движением*, следует определить некоторые термины, что позволит внести большую смысловую ясность в применяемой терминологии. Сразу же оговоримся, что приведенные определения не претендуют на нормативность и действуют лишь в пределах данной работы.

Исследование – деятельность, направленная на получение необходимой и достоверной информации о характеристиках заданных объектов.

Регулирование – деятельность, направленная на непосредственное воздействие на участников движения с целью формирования заданных характеристик дорожного движения.

Обслуживание – вспомогательная деятельность по созданию необходимых предпосылок для реализации исследования и регулирования.

Управление дорожным движением – деятельность по формированию заданных характеристик дорожного движения, включающий исследование, регулирование и обслуживание.

Организация дорожного движения – деятельность по формированию заданных характеристик ДД, включающая управление дорожным движением и непосредственное воздействие на условия движения.

Управление дорожным транспортом – комплекс деятельности в системе дорожного транспорта, направленный на удовлетворение транспортной потребности и минимизацию стоимости транспортных услуг.

Условия движения – факторы из системы дорожного транспорта, оказывающие непосредственное влияние на характеристики дорожного движения, – дорожные и метеорологические условия, транспортно-пешеходная нагрузка, регулирование, состояние транспортных средств, подготовка участников движения и т.д.

Дорожные условия – факторы из подсистемы «Дороги», оказывающие непосредственное влияние на характеристики дорожного движения, – характеристики проезжей части и полотна дороги, обустройство, видимость и т.д.

Как представляется, основной задачей управления дорожным движением (рис. 1.2) является регулирование транспортных и пешеходных потоков с целью уменьшения потерь до возможного минимума. Регулирование, в свою очередь, – это основные принципы, методы и приемы воздействия на участников движения, а также инструменты реализации – нормативы, технические средства регулирования и автоматизированные системы управления. Однако регулирование невозможно без детального знания предмета и полной информации о данной конкретной ситуации, поэтому необходимо

постоянное исследование характеристик дорожного движения. Объектами исследования являются транспортные и пешеходные потоки, условия движения, взаимодействие потоков и отдельных участников, а также издержки в процессе дорожного движения – экономические, экологические, аварийные и социальные. В свою очередь, проведение этих исследований невозможно без надлежащих методов и инструментов (аппаратуры).

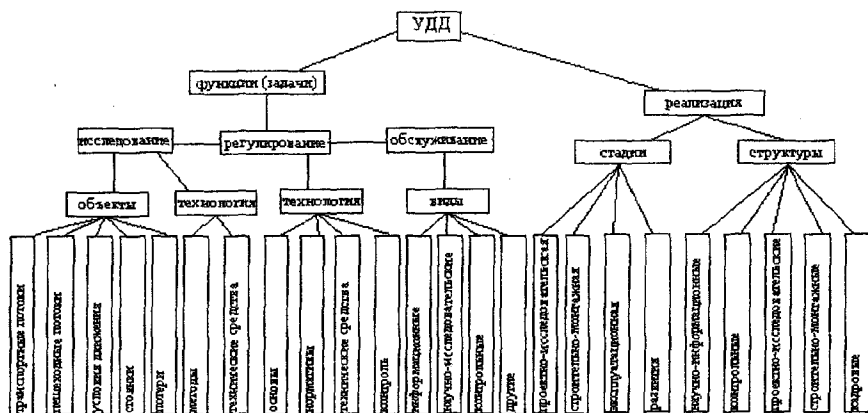


Рис. 1.2. Фрагменты структуры управления дорожным движением [7]

С другой стороны, регулирование и исследование невозможны без ряда вспомогательных или обслуживающих видов деятельности. В первую очередь это – информация (получение, обработка, анализ, хранение) обо всех сторонах не только дорожного движения, но и дорожного транспорта. Это – подготовка участников движения, поскольку их число просто колоссально, и все должны соблюдать выработанные правила игры; наука, без которой невозможно нормальное функционирование любой современной системы, тем более такой сложной и динамичной, как дорожный транспорт; контроль за соблюдением принятых стандартов и нормативов на всех стадиях и во всех подсистемах и звеньях системы, без которого она не сможет функционировать. И, наконец, это – социальная защита или охрана правопорядка, поскольку в дело втянуты огромные материальные и людские ресурсы, к тому же в действии находится громадная масса средств повышенной опасности.

Таким образом, исследование и регулирование не могут существовать без своего рода сервиса – системы, которая обслуживает не только управление дорожным движением, но в значительной мере и управление дорожным транспортом, особенно в части науки, информации, контроля.

Деятельность по реализации исследования, регулирования и обслуживания имеет несколько временных стадий. Начальной стадией работ по управлению дорожным движением можно считать *исследование*, хотя в действующих системах цикл замкнут и понятие «начало» весьма условно. Исследования включают получение информации о текущем состоянии, а также разработку идей и предложений по улучшению положения, оптимизацию решений, проверку научных гипотез и т.д. Затем наступает стадия *проектирования*, в которой принятые идеи и предложения воплощаются в рабочие проекты. При этом исследования не прекращаются: идут так называемые предпроектные исследования, направленные непосредственно на разработку данного проекта, а также оценочные (рецензионные) исследования, направленные на оптимизацию принятых проектных решений, причем это может касаться не только локальных объектов управления на ограниченном участке улично-дорожной сети, но и мощных городских систем или общегосударственных нормативов.

Следующей стадией является *реализация проектов, или строительно-монтажные работы*, в стоимость которых должны обязательно включаться возможные дополнительные потери в процессе движения за время этих работ, – например, потери от сужения проезжей части, перекрытия улиц и дорог, длительных (сверхнормативных) сроков выполнения работ и т.д. Наконец, последней стадией является *постоянная эксплуатация* средств и систем управления, которая имеет целью поддержание заданных характеристик путем ухода, обслуживания, ремонта, замены, а также постоянное отслеживание неизбежных изменений как в компонентах дорожного движения, так и во всей системе дорожного транспорта.

Таким образом, исследования в дорожном транспорте должны быть постоянными и многофункциональными, предназначенными для решения по меньшей мере трех задач. Во-первых, – они должны давать информацию о состоянии дорожного движения и других подсистем дорожного транспорта, без чего невозможно любое управление; во-вторых, – они должны давать возможность на любой ста-

дии оценить качество разработок и решений с целью их оптимизации; в-третьих, — они должны выполняться для научных целей, при этом потребность в таких исследованиях постоянно возрастает.

Для выполнения перечисленных функций управления должны быть предусмотрены соответствующие структуры, в частности:

- информационные;
- научно-исследовательские;
- проектные;
- строительно-монтажные;
- эксплуатационные;
- контрольные;
- подготовки участников;
- правоохранительные.

Система не может нормально управляться и без властно-распорядительной структуры, которая бы согласовывала взаимные интересы, финансы, имущество и т.д., а также представляла интересы дорожного движения и дорожного транспорта в высших структурах. Возможны различные варианты объединения перечисленных структур, например, строительно-монтажные и эксплуатационные, контрольные и властно-распорядительные. Многие структуры, например, информационные, не могут замыкаться только в рамках дорожного движения, — круг их интересов гораздо шире, по меньшей мере в пределах всей системы дорожного транспорта.

Следует отметить, что управление дорожным транспортом и дорожным движением в Республике Беларусь нуждается в совершенствовании. Необходимо создать общегосударственный орган управления, дав ему соответствующие полномочия и возложив на него соответствующую ответственность. Необходимо также создать общенациональный научно-информационный центр, который бы занимался оптимизацией управления. Сегодня проблема упирается в просвещение и законодательство — общество и законодатель должны наконец увидеть и понять, какими ресурсами оперирует дорожный транспорт и какие потери несет страна от неоптимального управления.

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ «ВОДИТЕЛЬ – АВТОМОБИЛЬ – ДОРОГА – СРЕДА (ВАДС)»

В дорожном движении непосредственно участвуют человек, транспортное средство, дорога, технические средства регулирования и стихия. В процессе взаимодействия они образуют систему, которая может иметь различные названия, например, ВАДС (водитель, автомобиль, дорога, среда), ЧАДОС (человек, автомобиль, дорога, окружающая среда) и т.п. Успешное функционирование этой системы зависит от работы всех ее элементов и подсистем и в первую очередь от человека.

2.1. Водитель

В системе ВАДС наиболее ответственным участником дорожного движения является водитель.

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

Водитель в системе ВАДС. На рис 2.1 представлена одна из упрощенных схем системы ВАДС, где рассматривается временной срез процесса управления автомобилем. В данный конкретный момент дорога и стихия оказывают определенное физическое воздействие на управляемый автомобиль, что показано на схеме слева жирными стрелками. Одновременно на органы чувств водителя поступает огромное множество информационных сигналов (тонкие линии слева на схеме) от управляемого автомобиля, дороги и окружающей среды, в которую условно входят другие участники движения, технические средства регулирования и стихия или погоднo-климатические условия. Этот поток информации, достигнув человека, проходит через его информационные фильтры, в которых значительная часть информации отсеивается. Например, за одну секунду к органам чувств поступает около 10^{11} бит информации, ими передается уже около 10^6 бит, а осознается всего лишь около 16 бит.

Часть информации от органов чувств поступает в мозг, где на уровне подсознания вырабатываются простейшие команды в виде условных рефлексов или автоматизмов. Только малая часть инфор-

мации осознается и перерабатывается в сознательные команды. При этом в процессе выработки этих команд кроме памяти, накопленного опыта и т.д. участвует и чисто индивидуальный фактор – мотивация. Выработанные команды передаются в мышечную систему, где преобразуются в управляющие воздействия – изменение или неизменение положения рулевого колеса, рычагов, педалей и других органов управления. Эти управляющие воздействия направлены на то, чтобы автомобиль приобрел или сохранил требуемые, по мнению водителя, положение и скорость. В последующий момент времени ситуация повторяется, и так продолжается непрерывно.

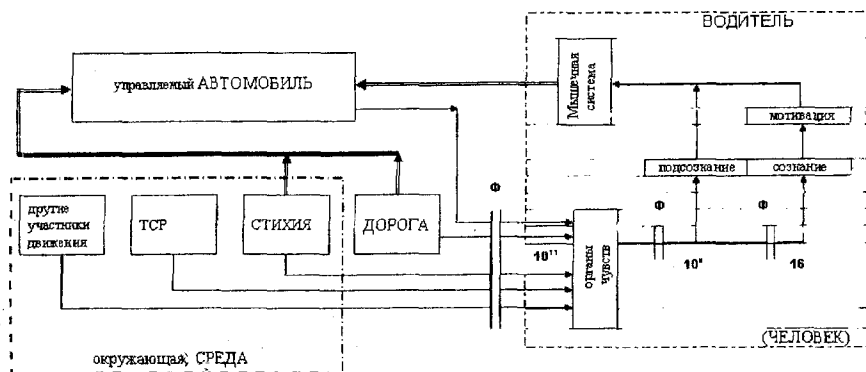


Рис. 2.1. Схема системы ВАДС [13]:

Φ – информационные фильтры; цифры (10^{11} , 10^6 и 16) – число бит передаваемой информации за 1 с (1 бит соответствует абсолютной величине информации, достаточной для ответа на альтернативный вопрос: ДА или НЕТ при условии выбора между двумя равновероятными возможностями)

Нетрудно заметить, что в управлении автомобилем возможны многочисленные сбои и ошибки, вызванные, например, тем, что среди множества информации, поступившей в органы чувств, по разным причинам отсутствует именно та, которая в данный момент является определяющей, или органы чувств, например, из-за болезни или физического недостатка, не передали очень важную информацию, или в подсознании выработалась не совсем та команда, или уже в сознании обстановка была оценена ошибочно, или из-за недостатка опыта выработана ошибочная команда, или неправильная мотивация, например, игнорирование ограничений скорости, привела к ошибочной команде. Наконец, правильная команда уже в

мышечной системе была реализована неверно, – например, рулевое колесо было повернуто на большой угол, и т.д.

Однако самым большим недостатком в системе выработки и реализации команд является неудовлетворительное быстродействие. Оказалось, что цикл восприятия и переработки информации, выработки команд и преобразования их в управляющие воздействия требует слишком много времени, и когда информация о данной ситуации вернется на автомобиль в виде управляющего воздействия, ситуация может настолько измениться, что потребуются уже совсем другое воздействие. Иными словами, управляющие воздействия всегда приходят с некоторым запаздыванием ($\tau \approx 1$ с), величина которого может оказаться неприемлемо большой, особенно при больших относительных скоростях, когда ситуации меняются быстрее, чем поступают управляющие воздействия, реагирующие на предыдущие ситуации.

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

Среди источников информации важнейшую роль для водителя играет зрительная, на которую приходится свыше 90 % всего объема. Слуховая информация дает представление о работе двигателя, скорости движения, шероховатости покрытия и т.д. Кинетическая (инерционная) информация позволяет ощущать ускорения, замедления, повороты автомобиля. Тактильная (посредством кожи) информация совместно с вестибулярной и кинетической и независимо от них позволяет ощущать скользкость дороги, подъемы, спуски, заносы, аквапланирование.

Зрение водителя. В фиксированном положении глаза площадь наиболее острого зрения заключена в конусе с углом 3° . Однако зрение вполне чувствительно внутри конуса $5-6^\circ$ и вполне удовлетворительно в пределах конуса 20° . Так как поле зрения водителя ограничено, при движении ему необходимо переводить свой взгляд, чтобы различать

важные для него зоны. Чтобы добиться ясной видимости при движении, глазу необходимо делать до шести различных видов перемещений, каждое из которых требует определенного времени [20]. Во-первых, необходимо зафиксировать нужный объект, на что уходит 0,1...0,3 с, в среднем 0,17 с. Во-вторых, глаза перемещаются с одной точки фиксации на другую, что требует 0,15...0,33 с. В-третьих, глаз должен следовать за движущимся объектом. В-четвертых, оба глаза необходимо свести для бинокулярного зрения, что требует 0,3...0,5 с. В-пятых, глаз должен двигаться таким образом, чтобы компенсировать движение головы. В-шестых, глаз может непроизвольно перемещаться в ответ на звук, свет или другие раздражители.

Водителю приходится затрачивать значительное время, чтобы постоянно следить за меняющейся обстановкой. Например, чтобы перевести на мгновение взгляд с правой стороны дороги на левую и тут же вернуться назад или глянуть в зеркало заднего вида либо на щиток приборов и т.д., требуется около 1 с. На различные движения глаз в среднем затрачивается:

сдвиг влево –	0,15...0,33 с ;
фиксация слева –	0,10...0,30 с ;
сдвиг вправо –	0,15...0,33 с ;
фиксация справа –	0,10...0,30 с ;
итого:	0,50...1,26 с .

Заметим, что эти величины включают только время обозрения, не включая времени реакции. При движении в условиях искусственного освещения время обозрения увеличивается. Установлено, что с ростом скорости на 40 км/ч время обозрения увеличивается примерно в 2 раза.

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

При изменении силы и яркости света глаз приспособляется (адаптируется) к новой обстановке путем изменения размеров зрачка и

перестройки работы сетчатки. Оказалось, что приспособление к яркому свету (световая адаптация) происходит за время от 3 с до 1 мин, а темновая адаптация – от 9 с до 10 мин. В это время водитель в первые секунды либо вообще ничего не видит, либо в последующие секунды или даже минуты видит мало и неотчетливо. Такая ситуация чрезвычайно опасна и в нормальном дорожном движении недопустима, – всякий переход от яркого освещения к темноте или наоборот должен производиться постепенно, в течение времени, соизмеримого со временем адаптации.

Необходимо напомнить, что глаза водителя легкового автомобиля находятся на небольшой высоте, примерно 120 см, и с этой высоты дорожно-транспортная ситуация просматривается довольно плохо. Следует также напомнить, что не все цвета воспринимаются одинаково: наиболее далеко и четко воспринимается желтый цвет, затем – зеленый, затем – красный и голубой. Хуже всех воспринимается темно-красный и фиолетовый цвет. Многие люди в разной степени страдают дальтонизмом – болезнью, при которой цвета либо плохо различаются, либо, что очень редко, не различаются совсем. В подобных случаях оценка ситуации производится по яркости источника света или его расположению.

Реакция водителя – это его ответные действия на какой-либо раздражитель или стимул. Реакция состоит из восприятия информации, ее осознания, выработки команды (принятия решения), преобразования команды в двигательное воздействие и выполнения этого воздействия. Как видно, реакция включает три компонента – чувственный, мыслительный и моторный, которые определяют качество и время реакции. Ясно, что постоянное или временное расстройство здоровья водителя, касающееся этих компонентов (болезнь, лекарства, алкоголь, утомление, возбуждение, апатия), однозначно ухудшает реакцию.

Различают реакции простые и сложные. Простой реакцией называется ответное действие заранее известным способом на заранее известный раздражитель, например, нажатие на педаль тормоза при включении лампочки. При сложной реакции требуется выбор одного из нескольких ответов на заранее неизвестный раздражитель (или раздражители). Очевидно, в простых реакциях мыслительная деятельность незначительна, поэтому время реакции существенно меньше, а ошибки маловероятны.

Время реакции является важной характеристикой водителя. Минимальное время простой реакции невелико – от 0,15 до 0,3 с. При этом реакция на световой раздражитель несколько медленнее, чем на звуковой: соответственно 0,20 и 0,15 с. Время сложной реакции находится в пределах от 0,5 до 3 с, при этом чем слабее и неожиданнее раздражитель и сложнее ответ, тем больше время реакции. В табл. 2.1 приведены расчетные значения времени реакции водителя в некоторых типовых ситуациях.

Таблица 2.1

Расчетные значения времени реакции водителя [10]

Тип ДТС	Типовой пример	t_p , с
Очень опасная	Выход пешехода из-за укрытия непосредственно вслед за другим пешеходом. Начало движения ребенка, находившегося в поле зрения водителя. Выезд ТС, имеющего приоритет	0,6
Опасная	Выход пешехода на проезжую часть в разрешенном месте. Движение пешехода к общественному транспорту. Возникновение препятствия, о котором водитель был предупрежден, например, дорожным знаком. Выезд ТС из занимаемой полосы из-за видимых обстоятельств. Изменение траектории движения обгоняемого ТС	0,8
Мало-опасная	Выход пешехода на проезжую часть из группы находившихся на ней людей, или из остановившегося ТС. Выезд ТС, не имевшего приоритета. Поворот ТС без подачи сигнала	1,0
Потенциально опасная	Выход пешехода на проезжую часть там, где переход не разрешен. Выход пешехода на проезжую часть при запрещающем сигнале. Выезд ТС при запрещающем сигнале. Изменение направления движения ТС при отсутствии признаков маневрирования. Резкое торможение впереди идущего ТС без включения стоп-сигналов	1,2
Нормальная	Появление пешехода или ТС вне населенного пункта из-за укрытия. Умеренное торможение впереди идущего ТС без включения стоп-сигналов. Объекты на проезжей части (люди, животные, грузы) в непредусмотренных местах	1,4
Неопасная	Внезапный отказ фар, переключение сигнала с желтого на красный	0,6
	Внезапное открытие капота, ослепление светом фар встречного ТС	0,8
	Внезапный отказ или неэффективность органов управления (тормозов, рулевого механизма и т.д.)	1,2

Примечание. Если объект малозаметен (свет фар встречных ТС, неконтрастная окраска, недостаточное освещение и т.д.), время реакции водителя следует увеличить на 0,6 с.

Приведем еще некоторые цифры, связанные с реакцией участников движения. Например, время переноса ноги водителя с педали газа на педаль тормоза равно приблизительно 0,25 с. Время переноса ноги пешехода с бортового камня на проезжую часть при переходе улицы равно приблизительно 0,5 с. Полное время, необходимое пешеходу для остановки после движения спокойным шагом ($V \approx 1,3$ м/с) с момента обнаружения опасности, составляет около 1,4 с. Время реакции водителя на включение стоп-сигнала впереди идущим транспортным средством равно приблизительно 0,6 с.

Мотивация – это процесс побуждения человека к совершению тех или иных действий и поступков, часто требующих анализа и оценки альтернатив, выбора и принятия решений. Принимая то или иное решение, водитель учитывает, кроме прочего, свои требования к производительности (скорость, время движения), экономике (расход топлива, износ резины), физическому и психологическому комфорту и, конечно, к безопасности. На принятие решения оказывают влияние характер водителя, его склонности, привычки, состояние, самооценка, отношение к окружающим и многое другое.

Мотив безопасности, как представляется, однозначно должен быть главным в поведении водителя и пешехода. Столь же однозначным должно быть их убеждение в том, что никто не обеспечит им безопасность, если этого не сделают они сами. В то же время действующая сегодня система управления и пропаганды приводит к прямо противоположным результатам. Во-первых, не надо самому так сильно заботиться о своей безопасности, потому что она уже якобы обеспечена установкой повсеместных запретов, ограничений и т.д. Во-вторых, зная перестраховочный и нередко провокационный характер многих ограничений, водитель воспринимает их не как помощь, а как насилие. В-третьих, в силу ряда объективных и субъективных причин водители часто склонны недооценивать опасность, особенно при движении на средних, привычных скоростях. Водитель настолько привыкает к скорости, что изменившиеся в худшую сторону условия движения не сразу вызывают потребность в снижении скорости. Даже незначительное снижение привычной скорости, тем более без убедительной причины, кажется водителю непропорционально большим, и он испытывает дискомфорт, внутреннее сопротивление.

Самооценка водителей характерна тем, что подавляющее большинство из них – около 99 % – считают, что у других водительские способности ниже среднего уровня, и только 1 % допускает это в отношении себя. Признаки «превосходства» чаще проявляются среди водителей до 35 лет и обладателей дорогих и спортивных машин. Ясно, что, переоценивая свои возможности, водители часто допускают ошибки в принятии решений, что нередко заканчивается аварией. К сожалению, сегодня никто не может объективно и доверительно сказать водителю, где и в чем у него сильные стороны, а где и в чем – слабые; как и в каких ситуациях следовало бы себя вести и т.д. Думается, что если бы была разработана и реализована простая и объективная система оценки возможностей водителя и его машины с последующими тактичными рекомендациями, она нашла бы очень много сторонников и принесла бы значительную пользу. Особенно для водителей личных автомобилей, которые составляют явное большинство и полностью предоставлены сами себе.

Характер водителя, как правило, проявляется одинаково в дорожном движении и вне его. Однако в процессе дорожного движения, особенно в условиях высоких скоростей, повышенного риска и т.п., у водителя могут проявиться такие черты характера, которые в обычной жизни, казалось бы, ему не присущи. Например, внешне спокойный и осторожный человек вдруг становится агрессивным и рискованным или наоборот. Иногда внешне несобранный человек, оказавшись за рулем, проявляет великолепную память, прекрасное предвидение и хорошую моторику. Однако такие ситуации – скорее исключение из правил, чем правило. Заметим, что в дорожном движении большое значение имеет конформность поведения водителя, т.е. усвоение определенных групповых норм и ценностей, без чего успешное функционирование любой социальной системы просто невозможно.

Для *пешеходов*, особенно пожилых, характерны затруднения в ориентации, сужение внимания, недостаток информации, неуверенность и нерешительность, трудности в двигательной области и во взаимопонимании с другими участниками движения. Дети вследствие малого роста, импульсивности и спонтанности, почти полного отсутствия опыта и способности предвидения могут совершать самые неожиданные и резкие действия. Детское внимание направлено преимущественно на единичные объекты или выделяющиеся второстепенные детали, поэтому оценки движущихся объектов могут

быть ошибочными, а готовность к риску, особенно у мальчиков, очень высокая (кстати, они почти в два раза чаще попадают в аварии). Детские знания о дорожном движении (только ли детские?) очень поверхностны и однобоки, а подверженность внешнему влиянию очень высока. Все это говорит о том, что подготовка детей к самостоятельному участию в дорожном движении является делом не только весьма актуальным, но и весьма непростым.

Качество водителя. Водителем может стать каждый человек средних способностей с практически удовлетворительным здоровьем. Среди этих людей только 2...3 % являются непригодными к управлению автомобилем и почти столько же обладают повышенными способностями. Очевидно, что качество водителя, от которого зависит очень многое, также колеблется в широких пределах.

Под качеством водителя понимают его способность безошибочно управлять транспортным средством. Оно определяется пригодностью, подготовленностью и надежностью.

Пригодность определяется в основном состоянием здоровья и такими психофизиологическими свойствами, как объем внимания, способность к его распределению и переключению, эмоциональная устойчивость, скорость и качество реакций, пропускная способность зрительного анализатора, способность к прогнозированию, координация движений, склонность к риску и т.д.

Подготовленность определяется такими свойствами, как обучение и самообучение, профессиональный опыт, выработка автоматизмов, умение прогнозировать ситуацию, приспособленность к воздействию внешних факторов, отношение к участникам дорожного движения и их безопасности.

Надежность водителя определяется безотказностью, восстанавливаемостью, сохраняемостью и долговечностью.

Безотказность – это свойство сохранять работоспособность в пределах установленного времени (до 10 часов).

Восстанавливаемость – свойство восстанавливать работоспособность после кратких перерывов деятельности, например, кратковременного отдыха или сна.

Сохраняемость – свойство сохранять работоспособность после длительных перерывов, например, болезни или зимнего времени у многих индивидуальных владельцев.

Профессиональная долговечность – свойство сохранять работоспособность до наступления предельного состояния, например, по возрасту, состоянию здоровья или иным причинам.

Мы рассмотрели лишь малую часть характеристик водителя как человека и особенностей его поведения на дороге. Однако и из рассмотренного понятно, что человек – главная фигура в дорожном движении. Поэтому всё – дороги, транспортные средства, системы управления, нормативы, подготовка кадров и т.д. – должно делаться для человека, с учетом его возможностей и особенностей.

2.2. Транспортные средства

В дорожном движении участвуют различные виды транспортных средств – автомобили, тракторы, мотоциклы, велосипеды, гужевые повозки, самоходные сельскохозяйственные машины, разнообразные прицепы. Примерное соотношение транспортных средств на дорогах Беларуси приведено в табл. 2.2. Заметим, что такие транспортные средства, как тракторы, сельскохозяйственные машины, велосипеды и гужевые повозки движутся в основном по местным дорогам.

Таблица 2.2

Примерное соотношение различных видов транспортных средств на дорогах Республики Беларусь (в %)

№ п/п	Вид ТС	Доля
1	Автомобили	90
	в т.ч. с прицепами и полуприцепами	5
2	Мотоциклы	3
3	Тракторы и сельскохозяйственные машины	3
4	Велосипеды	3
5	Гужевые повозки	1

Доминирующее положение в дорожном движении занимает *автомобильная техника или автомобильный подвижной состав*. Он подразделяется на пассажирский, грузовой и специальный. К *пассажирскому* относятся легковые автомобили, автобусы, пассажирские прицепы и полуприцепы, а также грузопассажирские автомобили, выпускаемые на базе легковых. К *грузовому* относятся грузовые автомобили, автомобили-тягачи, прицепы и полуприце-

пы. Автомобиль-тягач с прицепом или полуприцепом образует автопоезд. К специальному подвижному составу относятся автомобили, прицепы и полуприцепы, предназначенные для выполнения специальных работ, как правило, вне дорог.

Грузовые автомобили подразделяются по грузоподъемности (в тоннах) на следующие классы: до 1.2; 1.2...2; 2...8; 8...14; 14...20; 20...40; св. 40. В табл. 2.3 приведены основные технические характеристики грузовых автомобилей и автомобилей-тягачей.

Таблица 2.3

Основные технические характеристики грузовых автомобилей и тягачей [16]

Марка, модель	Колесная формула	Двигатель		Максимальная скорость V_m , км/ч	Расход топлива F_e , л/100 км	Масса, кг		Габариты, мм		
		рабочий объем V_e , л	мощность N_e , л.с.			собственная G_s	полная G_n	длина L	ширина B	высота H
Грузовые автомобили										
УАЗ-451 ДМ	4x2	2,45	75	100	12	1510	2660	4460	2044	2070
ГАЗ-52.05	4x2	3,48	75	70	21	2710	5360	5615	2216	2675
ЗИЛ-433.100	4x2	8,74	185	95	18,4	5500	11500	7555	2500	2650
КаМАЗ-53212	6x4	10,85	210	80	25	8000	18225	8530	2500	3150
МАЗ-6303	6x4	14,86	330	100	24,3	11800	24500	10230	2500	4000
КрАЗ-257Б1	6x4	14,86	240	68	38	10270	22500	9640	2650	2670
Седельные тягачи										
ГАЗ-52.06	4x2	4.25	75	50	28	2435	5455*	4950	2165	2150
ЗИЛ-441.610	4x2	6,0	150	80	35.5	3940	10485*	5280	2420	2400
КаМАЗ-53212	6x4	10,85	210	80	25	8000	18225*	8530	2500	2630
МАЗ-5422	4x2	14,86	300	100	32.3	7050	16000*	5280	2500	3650
КрАЗ-258Б1	6x4	14,86	240	68	50	9200	21430*	7375	2630	2670

* При полной нагрузке на седло.

Прицепы и полуприцепы также подразделяются по грузоподъемности (в тоннах) на следующие классы: до 4; 4...10; 10...16; 16...24; св. 24. В табл. 2.4 приведены основные технические характеристики прицепов и полуприцепов.

Таблица 2.4

Основные технические характеристики полуприцепов и прицепов [16]

Марка, модель	Число колес	Площадь платформы, м ²	Объем кузова, м ³	Масса, кг			Габариты, мм		
				G _с	G _п	G _{сед} (седло)	L	B	H
Полуприцепы									
ОдАЗ-9925	2	15,7	28,7	5250	9250	3650	8100	2480	3550
ОдАЗ-885	2	13,5	8,0	2850	10350	4350	6385	2455	2030
МАЗ-93801	4	20,2	14,2	4100	17600	7600	8745	2500	2155
МАЗ-9397	8	26,6	19,0 61,8	6800	26800	8800	11650	2500	2145
ЧМЗАП-9991 (контейнеровоз)	8	—	—	4700	31700	13700	12500	2500	1465
Прицепы									
МАЗ-81144	2	2,4	0,84	155	500	—	2410	1520	1310
ГКБ-817	4	10,9	6,2	2540	8040	—	4943	2500	1945
МАЗ-8926	4	13,0	8,9	3810	12000	—	5650	2500	2125
ЧМЗАП-5523А	8	—	—	6750	31750	—	6765	3150	~1400

Легковые автомобили подразделяются по рабочему объему двигателя (в литрах) на следующие основные классы:

- особо малый — до 1,2;
- малый — 1,2...1,8;
- средний — 1,8...3,5;
- большой — св. 3,5.

Наибольшее распространение получили автомобили малого класса. В табл. 2.5 приведены основные технические характеристики легковых автомобилей.

**Основные технические характеристики
легковых автомобилей**

Марка, модель	Двигатель		Макси- мальная скорость V_m , км/ч	Расход топлива F_e , л/100 км	Масса, кг		Габариты, мм		
	рабо- чий объем V_e , л	мощ- ность N_e , л.с.			собст- вен- ная, G_S	пол- ная G_{II}	дли- на L	ши- рина B	высо- та H
КамАЗ-1111, Ока	0,65	29	120	5,3	635	975	3200	1420	1400
Fiat Panda-1000	1,00	45	140	6,2	715	1115	3408	1494	1420
ЗАЗ-968М	1,20	41	118	6,6	840	1160	3765	1490	1400
ВАЗ Лада-1300	1,29	65	152	7,1	970	1395	4205	1620	1380
Москвич- 2141-01	1,57	76	158	7,9	1055	1455	4350	1690	1400
Wolkswagen Golf CL-1.8	1,78	90	164	8,8	1075	1580	4020	1695	1425
Toyota Carina 2.0	2,00	133	205	7,7	1160	1700	4530	1695	1410
Волга-3102	2,45	102	152	12,4	1450	1850	4960	1820	1475
Mercedes-E320	3,20	220	235	11	1570	2050	4740	1740	1431
BMW-540i	3,98	286	250	11,5	1630	2180	4720	1751	1417
Mercedes-E500	4,97	320	250	13	1800	2180	4750	1796	1408
ГАЗ-14 Чайка	5,53	220	175	20	2605	3165	6114	2020	1580

Автомобусы подразделяются по габаритной длине (в метрах), определяющей вместимость, на следующие основные классы:

- особо малый – до 5,0 ;
- малый – 6,0...7,5 ;
- средний – 8,0...9,5 ;
- большой – 10,5...12,0 ;
- особо большой (сочлененный) – 16,5 и более .

В табл. 2.6 приведены основные технические характеристики автотобусов.

Таблица 2.6

Основные технические характеристики автобусов,
троллейбусов и трамваев [16]

Марка, модель	Двигатель		V_m , км/ч	F_e , л/100 км	Вместимость		Масса, кг		Габариты, мм		
	V_e , л	N_e , л.с.			сид.	всего	G_S	G_n	L	B	H
Автобусы											
УАЗ-2206.01	2,45	80	100,0	10,8	10	10	1870	2740	4440	1940	2101
РАФ-2203	2,45	75	120,0	10,8	11	11	1750	2710	4940	2210	1970
КАВЗ-685	4,25	115	80,0	19,6	21	28	4080	6545	6600	2378	2930
ПАЗ-672	4,25	115	80,0	24,0	23	45	4535	7825	7150	2440	2952
ЛАЗ-695Н	6,00	150	80,0	35,0	34	67	6850	11610	9190	2500	2950
Икарус-260	10,35	192	66,5	18,8	22	107	9110	14360	11000	2500	3040
Икарус-256	10,35	192	100,0	~15	45	+1	10400	14860	10970	2500	2990
МАЗ-103	6,18	230	85,0	25,0	21	123	8780	18000	11985	2500	2949
Икарус-280	10,69	220	66,5	24,1	37	162	12540	20590	16500	2500	3160
МАЗ-105С	6,18	230	65,0	33,0	35	190	12250	26500	17870	2600	3029
Троллейбусы											
682.В	110 кВт	68	—	—	30	114	10110	17938	11942	2512	3350
683.В	170 кВт	60	—	—	49	164	14660	25982	17236	2512	3310
Трамвай											
71-605	65 кВт	75	—	—	35	123	18650	27875	15094	2568	3150

Мотоциклетная техника делится на мотоциклы, мотороллеры, мопеды (мокики) и мотовелосипеды. Мотоциклы подразделяются на мотоциклы-одиночки и мотоциклы с коляской. Мотороллеры отличаются от мотоцикла способом посадки водителя, меньшим диаметром колес, расположением двигателя и большей защитой колес и силового агрегата. Мопед отличается малой кубатурой двигателя (до 50 см³), ограниченной скоростью движения (как правило, до 50 км/ч) и наличием педального привода. Мокик отличается от мопеда отсутствием педального привода, — для запуска двигателя служит кик-стартер (ножной стартер). Мотовелосипед представляет

собой велосипед с усиленной или специальной рамой и с подвешенным двигателем (до 50 см³) без коробки передач.

В зависимости от рабочего объема двигателя (в см³) мотоциклы подразделяются на следующие классы:

сверхлегкие –	50...100;
легкие –	125...250;
средние –	350...500;
тяжелые –	св. 500.

В табл. 2.7 приведены основные технические характеристики мотоциклетной техники.

Таблица 2.7

Основные технические характеристики дорожной мототехники

Марка, модель	Двигатель		$V_{ш}$, км/ч	$F_{с}$, л/100 км	Масса, кг		Габариты, мм		
	$V_{с}$, см ³	$N_{с}$, л.с.			$G_{с}$	$G_{п}$	L	B	H
Мотоциклы									
Honda SA-75	74	5,7	75	~3	72	232	1730	~570	740
Минск-3.113.1	124	10	85	3,2	110	270	2100	570	810
Ява-250/593	246	27	140	4,5	126	286	2080	780	835
ИНС-ЮЗК (с коляской)	347	25	90	5,8	253	503	2200	1660	~1000
Suzuki Goose-350	348	33	155	4,5	145	305	1995	~780	770
Honda RVF-400R	399	53	220	~4,5	165	325	1985	~780	765
Kawasaki GPZ-500S	498	60	195	6,2	179	340	2095	~780	775
Днепр-11 (с коляской)	649	32	100	7,5	325	625	2430	1650	~1000
Harley Davidson FXS-TSB	1338	60	160	5,6	279	440	2350	~780	654
Мотороллеры									
Веспа РК-125	121	8,2	85	3	90	250	1695	~710	800
Тула-200	199	10	80	3,5	160	320	1930	710	1010
Мопеды и мокики									
Рига-2.136	49,8	2	40	2,1	54	155	1550	~570	~740
Гарелли, Katia	49	1,5	45	2	48	150	1659	~570	840
Мотовелосипеды									
Hercules Prima-5	48	1,6	25	~1,6	55	155	1700	~580	~950
Велосипеды									
Минск-111.351	-	-	30	-	16	120	1800	580	950

Качество автомобиля как сложного специфического изделия определяется совокупностью обобщающих технических и социально-экономических свойств, таких как эксплуатационная рациональность, конструктивная безопасность, престижность, экологичность и др.

Эксплуатационная рациональность – совокупность свойств, характеризующих разумность деятельности по использованию автомобиля. Она включает пригодность, надежность, экономичность.

Пригодность – свойство автомобиля, характеризующее соответствие его компоновочно-габаритных параметров и конструктивных особенностей типу и уровню решаемых задач.

Надежность – свойство автомобиля уверенно выполнять заданные функции. Она включает:

1) безотказность – свойство непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение заданного времени или наработки (продолжительности работы);

2) долговечность – свойство автомобиля сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонта;

3) ремонтпригодность – свойство автомобиля, характеризующее степень его приспособленности к обнаружению и предупреждению причин отказов, ремонту и техническому обслуживанию;

4) сохраняемость – свойство автомобиля сохранять показатели качества в течение срока хранения, транспортировки и после них.

Экономичность – обобщающее свойство автомобиля, характеризующее величину затрат на его приобретение и эксплуатацию, а также величину экономических потерь в процессе дорожного движения.

Конструктивная безопасность – обобщающее свойство автомобиля, характеризующее его способность (возможность) предотвращать возникновение аварии и уменьшать тяжесть последствий в случае ее совершения. Она включает:

активную безопасность – свойство автомобиля предотвращать возникновение аварии, зависящее от тормозной и разгонной динамики: курсовой, поперечной и продольной устойчивости; управляемости и плавности хода; внутренней и внешней информативности; рабочего места водителя и надежности автомобиля;

пассивную безопасность – свойство автомобиля уменьшать тяжесть последствий в случае коллизий или аварий. Внутренняя пассивная безопасность предназначена для предохранения водителя и

пассажиров от повреждений и реализуется комплексом конструктивных решений, включающих уменьшение инерционных нагрузок за счет менее жестких передней и задней частей автомобиля; ограничение перемещения людей за счет ремней безопасности и надувных подушек; сохранение «жизненного пространства» за счет жесткого салона; устранение травмоопасных деталей и т.д. Внешняя пассивная безопасность предназначена для уменьшения повреждений самого автомобиля и других участников движения и реализуется за счет применения демпфирующих бамперов, наклонной формы передней части автомобиля, отсутствия выступающих деталей и острых углов и т.д.;

послеаварийную безопасность – свойство автомобиля, позволяющее предотвращать возникновение новых опасных последствий уже после аварии, к которым можно отнести: трудность или невозможность своевременной эвакуации людей из машины; возгорание машины и быстрое распространение пламени и удушливых газов; взрыв топливного бака и т.д.;

престижность – обобщающее свойство автомобиля, условно характеризующее значимость (социальное положение) его владельца. Относится в основном к легковым автомобилям и включает комфортабельность, новизну и модность конструктивных решений, всепогодность и проходимость, рыночную стоимость и ликвидность и т.д.;

экологичность – обобщающее свойство автомобиля, характеризующее уровень экологического ущерба при его эксплуатации. Включает такие составляющие, как качество процесса сгорания в двигателе и качество управления этим процессом, качество применяемых горючесмазочных материалов, наличие дожигателей или нейтрализаторов, уровень шума и вибрации и т.д.

Необходимо отметить, что в силу целого ряда причин автомобильный подвижной состав Республики Беларусь отличается невысоким качеством. Во-первых, в нем довольно много автомобилей советского и российского производства, которые в целом уступают западным и японским автомобилям. Во-вторых, около 15 % автомобилей находятся в неисправном состоянии. В-третьих, подвижной состав довольно старый: средний возраст автомобилей, как представляется, превышает 10 лет. Примерно такое же (если не хуже) положение наблюдается и в мотоциклетной технике. Все это, к со-

жалению, не может не сказываться на качестве дорожного движения и величине потерь в нем.

2.3. Дорога

Дорога – это основа, фундамент дорожного движения. Понятие «дорога» очень широкое: сегодня оно официально включает и загородную магистраль высокого класса, и городскую улицу, и полевую или лесную дорогу, и даже тропинку, по которой проезжают мопеды или велосипеды (см. [21], термины «дорога», «транспортное средство», «проезжая часть»). Такое расширенное толкование термина «дорога» приносит не только путаницу, но и значительный вред, особенно в социальной сфере, во взаимоотношениях между властью и участниками движения. Чтобы устранить ряд недостатков, будем вкладывать в термин «дорога» более узкий смысл.

Дорога – это инженерное сооружение, предназначенное и обустроенное для движения неспециальных автомобилей и, возможно, других транспортных средств и пешеходов.

Дороги проложены на специально отведенной территории, называемой *полосой отвода*. Границы этой территории за городом проходят, как правило, на расстоянии 1 м от границ *земляного полотна*, под которым понимают ту часть полосы отвода, которая затронута земляными работами. Границами городских улиц и дорог являются так называемые «красные линии», проходящие, как правило, по линиям застройки, границам парков или частных владений.

Дорогу рассматривают в трех измерениях: в плане, в продольном и поперечном профиле. Положение геометрической оси дороги на местности называется ее *трассой*, а графическое изображение трассы на плане местности – *планом трассы*. Удлинение дороги, вызванное ее поворотами, характеризуется коэффициентом удлинения, равным отношению фактической длины к прямой, соединяющей начальные и конечные пункты (так называемой «воздушной линии»). При поворотах трассы ее закругляют, при этом переход от прямых участков к радиусам закруглений для удобства и безопасности движения производится посредством сложных спиралевидных кривых – *клотоид* и *сплайнов*.

План трассы определяет ряд важнейших характеристик дороги. Дорога, по возможности, должна быть проложена по кратчайшему

пути, что минимизирует потери в дорожном движении. При этом необходимо учитывать стоимость строительства и эксплуатации самой дороги, что также немаловажно. Дорога, по возможности, не должна разрушать или ухудшать сложившиеся хозяйственные, социальные и экологические системы, а, наоборот, должна логически вписываться в эти системы и способствовать их развитию. Наконец, дорога должна быть не только полезной и красивой, но и безопасной, что накладывает ряд важнейших ограничений на план трассы в части видимости, восприятия окружающей среды, утомляемости, защиты от неблагоприятного погодного-климатического воздействия (наводнений, оползней, туманов, гололеда, ветра, снега, направления на солнце и т.д.). Как видим, выбор плана трассы дороги является весьма ответственной и непростой задачей.

Продольным профилем называется развернутая в плоскости чертежа проекция оси дороги на вертикальную плоскость. Он характеризует крутизну отдельных участков дороги, измеряемую продольным уклоном, и расположение проезжей части относительно поверхности земли. Естественные уклоны местности часто превышают допустимые для дорожного движения величины. В таких случаях уклон дороги делают более пологим, чем уклон поверхности земли, срезая часть грунта на подъемах и подсыпая его на понижениях. Места, где дорога проложена ниже поверхности земли, называются *выемками*, а где выше, — *насыпями*. При высоте насыпей менее 1 м считают, что дорога проходит в *нулевых отметках*. Переломы продольного профиля, образующиеся при изменении уклона, скругляют с помощью кривых очень большого радиуса. Продольные уклоны являются одной из важнейших характеристик транспортных качеств дороги и в значительной мере определяют ее стоимость. Кроме того, при выборе параметров продольного профиля необходимо учитывать топографические, грунтовые, гидрологические и другие требования.

Поперечным профилем называется сечение дороги вертикальной плоскостью, перпендикулярной оси дороги. На рис. 2.2 – 2.4 показаны поперечные профили дорог (улиц) и их типовые элементы.

Добавим, что кроме указанных на рис. 2.3 элементами городской улицы могут быть велосипедные и пешеходные дорожки, трамвайные пути, центральная разделительная полоса, откосы насыпей и выемок, подпорные стенки, бортовой (бордюрный) камень, технические

полосы, заездные карманы, автостоянки, расположенные в границах красных линий, а на незастроенной территории – обочины и кюветы открытой системы водостоков. Как видно, поперечный профиль в значительной степени характеризует категорию и качество дороги.

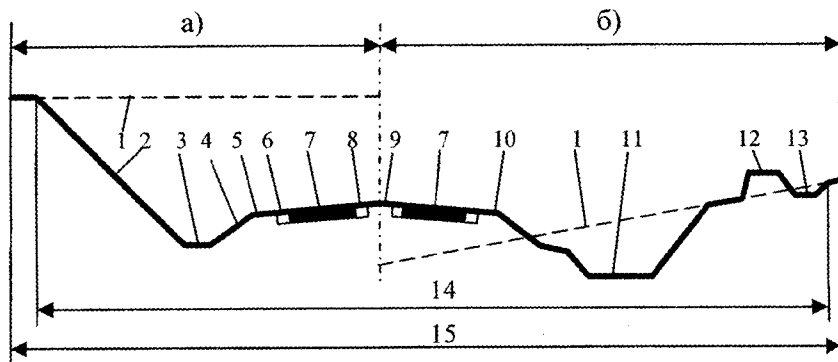


Рис. 2.2. Элементы поперечного профиля дороги [24]:

а – в выемке; б – в насыпи на косогоре; 1 – линия поверхности земли; 2 – внешний откос боковой канавы; 3 – боковая канава (кювет); 4 – внутренний откос боковой канавы; 5 – обочина; 6 – внешняя краевая полоса; 7 – проезжая часть; 8 – внутренняя краевая полоса; 9 – центральная разделительная полоса; 10 – кромка насыпи; 11 – резерв (неглубокая выработка для взятия грунта при строительстве); 12 – банкет (земляной вал для защиты дороги от поверхностным вод); 13 – нагорная канава; 14 – земляное полотно; 15 – полоса отвода

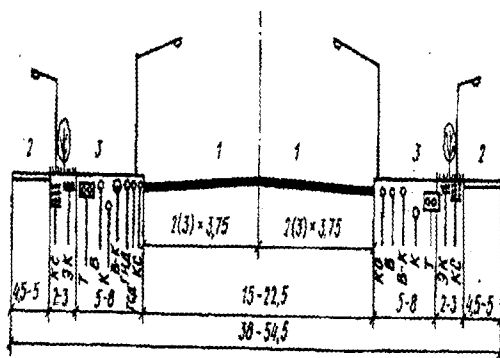


Рис. 2.3. Типовой поперечный профиль магистрали районного значения [24]:

1 – основная проезжая часть; 2 – тротуары; 3 – полосы озеленения; Г – телефонные кабели; КС – кабели связи; ЭК – электрокабели; В – водопровод; К – канализация; В-К – водопровод и канализация; КО – кабели освещения; ГНД – газопровод низкого давления; ГСД – газопровод среднего давления

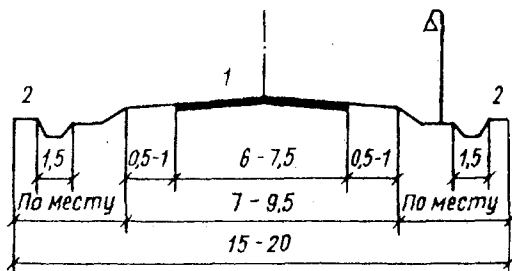


Рис. 2.4. Типовой поперечный профиль поселковой дороги [24]:
1 – проезжая часть; 2 – озеленение

В зависимости от назначения и некоторых технических характеристик загородные дороги делятся на пять категорий (табл. 2.8). Кроме указанных в таблице есть еще внутрихозяйственные дороги I_с, II_с и III_с с очень слабой нагрузкой (например, III_с – полевые дороги). Классификация городских улиц и дорог приведена в табл. 2.9.

Таблица 2.8

Классификация загородных дорог (примерная) [24]

Категория	Характеристика, значение	Интенсивность		Скорость, км/ч		Полоса отвода, м		
		Q'' , ед./сут	Q , авт./сут	основная	на пересеченной местности	число полос	с.-х. земли	не с.-х. земли
I _а	Международная общегосударственная	>14000	>7000	150	120	8	63	74
						6	55	64
I _б	Общегосударственная	>14000	>7000	120	100	4	47	55
II	Общегосударственная	>6000	>3000	120	100	2	31	39
III	Областные	>2000	>1000	100	80	2	26	36
IV	Областные и местные	>200	>100	80	60	2	24	35
V	Сугубо местные	<200	<100	60	40	2	21	33

Классификация городских улиц и дорог (примерная) [24]

Категория	Характеристика движения	Число полос	$V_{\text{расч}}$, км/ч	$Q_{\Sigma} \cdot 10^{-3}$, авт/сут
СД – скоростная дорога	Непрерывное. Все виды ТС, кроме троллейбусов, мопедов и велосипедов. Пересечения – в разных уровнях	6...8	120	6...10
МНД – магистрали непрерывного движения	Непрерывное. Все виды ТС, кроме мопедов и велосипедов. Возможно устройство местных проездов	6...8	80...100	5...9
МРД – магистрали регулируемого движения	Регулируемое. Все виды ТС, кроме мопедов и велосипедов. Пересечения – в одном уровне. Возможны местные проезды	4...6	80	3...6
РМ – магистрали районного значения	Регулируемое. Все виды ТС, кроме велосипедов. Пересечения – в одном уровне	4...6	80	2...4
ГД – магистральные дороги грузового движения	Регулируемое, преимущественно грузовое. МПТ, как правило, отсутствует	4	80	1...3.6
Дороги промышленных и коммунально-складских районов	Как правило, регулируемое. Преимущественно, грузовой транспорт. МПТ имеется	2...4	60	1,6...3
Жилые улицы	Преимущественно транспорт, обслуживающий район. МПТ имеется	2	60	0,6...1.8
Поселковые улицы	Все виды транспорта. Допускается открытая система водоотвода.	2	60	1,0...1,6
Поселковые дороги	Все виды транспорта. Открытая система водоотвода.	2	60	0,6...1,2
Проезды магистральных улиц	Регулируемое. Все виды транспорта	2	40...60	0,3...0,8
Главные проезды	Транспорт, обслуживающий микрорайон. МПТ отсутствует	2	40	–
Основные проезды	Транспорт, обслуживающий микрорайон. МПТ отсутствует	2	30	–
Подъезды к домам. Служебные проезды	Обслуживающий транспорт с кратковременной стоянкой	1	15	–

Следует отметить, что классификация улиц и дорог при относительной стабильности в целом довольно часто меняется в деталях, в том числе и в названиях. Классификация городских площадей приведена в табл. 2.10.

Классификация городских площадей (примерная) [24]

Название	Назначение
Главные	Для подходов к общественным зданиям, проведения демонстраций, парадов и народных празднеств
Торгово-общественные	Для подъезда и подхода к зданиям и сооружениям общественного назначения, для размещения стоянок автомобилей
Транспортные и предмостовые	Для распределения ТП по примыкающим улицам и дорогам
Вокзальные	Для подъезда к сооружениям внешнего транспорта, для размещения ОП МПТ и стоянок транспорта
Многофункциональные транспортных узлов	Для размещения общественных сооружений пригородного и городского транспорта, для подъездов к ним, для устройства пересадки пассажиров
Предзаводские	Для подхода к проходным предприятиям, для организации ОП МПТ и стоянок транспорта
Рыночные	Для организации движения, размещения ОП МПТ и стоянок транспорта, для организации торговли с машин

Одной из важнейших характеристик дороги является *покрытие проезжей части*. В табл. 2.11 приведены основные типы покрытий и некоторые их характеристики.

Таблица 2.11

Характеристики покрытий проезжей части [3]

Покрытие	Коэффициент сопротивления качению	Техническая скорость	Расход топлива	Износ шин	Межремонтный пробег	Суммарные эксплуатационные расходы
Асфальтобетонные	0,015	1	1	1	1	1
Цементобетонные	0,015	1	1,02	1,35	1	1
Щебеночные, обработанные органическими вяжущими	0,025	0,95	1,05	1,25	0,9	1,30
Щебеночные	0,035	0,75	1,11	1,30	0,8	1,45
Гравийные	0,035	0,80	1,12	1,40	0,9	1,60
Бульжные	0,05	0,60	1,20	—	0,75	1,80
Грунтовые профилированные, сухие	0,055	0,65	1,03	0,70	0,60	2,00
Грунтовые проселочные	0,07	0,40	1,61	1,60	0,50	—

Качество дорог. Дороги, улицы и площади предназначены не только для дорожного движения, – в ряде случаев они выполняют социальные, торговые, коммуникационные, коммунальные и иные функции. Однако главное назначение улиц и дорог – транспортное, и именно с этих позиций будем рассматривать их качество. Качество дороги определяется совокупностью технических и социально-экономических свойств, таких как эксплуатационная рациональность, конструктивная безопасность, экологичность, комфортабельность и др.

Эксплуатационная рациональность – обобщающее свойство, характеризующее разумность деятельности по эксплуатации дороги. Она включает такие свойства, как пригодность, надежность и экономичность.

Пригодность – свойство дороги, характеризующее соответствие ее технических характеристик уровню решаемых задач (т.е. свойство «вполне отвечать своему назначению»).

Надежность – свойство дороги уверенно выполнять заданные функции. Она включает:

- безотказность – свойство непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение заданного времени;

- долговечность – свойство дороги сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для обслуживания и ремонта;

- ремонтпригодность – свойство дороги, характеризующее ее приспособленность к проведению технического обслуживания и ремонта.

Экономичность – обобщающее свойство дороги, характеризующее величину затрат на ее строительство и эксплуатацию, а также величину экономических потерь в процессе дорожного движения.

Конструктивная безопасность – обобщающее свойство дороги, характеризующее ее способность предотвращать возникновение аварии и уменьшать тяжесть последствий в случае ее совершения. Она включает:

- активную безопасность – свойство дороги предотвращать возникновение аварии; зависит от видимости и информативности, состояния проезжей части и обочин, характеристик плана и профиля и т.д.;

- пассивную безопасность – свойство дороги уменьшать тяжесть последствий в случае коллизий или аварий; реализуется посредством широких и твердых разделительных полос и обочин, пологих

откосов и кюветов, удаления от проезжей части жестких препятствий, например, толстых деревьев или массивных опор, установки в опасных местах эффективных удерживающих ограждений и т.д. К элементам послеаварийной безопасности можно отнести, например, наличие телефонной связи, позволяющей быстрее оказать квалифицированную помощь.

Экологичность – обобщающее свойство дороги, характеризующее уровень экологического ущерба при ее строительстве и эксплуатации. Включает такие составляющие, как неразделение экологических систем, проложение через незаселенные или малозаселенные территории, равномерное движение на умеренно высоких скоростях и т.д.

Комфортабельность – свойство дороги, характеризующее уровень обслуживания дорожного движения в широком понимании этого термина. Оно включает в себя уровень обслуживания самого процесса движения – высокую и равномерную скорость движения транспортного потока, отсутствие вынужденного маневрирования, прогнозируемость дорожно-транспортных ситуаций и т.д., а также уровень обслуживания участников движения – благоприятное ландшафтное воздействие, доступное и качественное сервисное обслуживание, культурно-познавательное обслуживание и т.д.

Следует отметить, что в Республике Беларусь дорог в целом достаточно, хотя их качество оставляет желать лучшего. Вместе с тем нельзя не отметить, что в последние годы качество дорог заметно улучшилось.

2.4. Технические средства регулирования

Сторонники глобального применения (микро)системы ВАДС в дорожном транспорте относят технические средства регулирования наряду с пешеходами, другими транспортными средствами, обустройством дороги и погодно-климатическими условиями к элементу «окружающая среда». Другие исследователи считают технические средства регулирования элементом подсистемы «Управление дорожным движением», входящим в (макро)систему «Дорожный транспорт». В любом случае технические средства регулирования оказывают непосредственное воздействие на процесс дорожного движения и, следовательно, должны быть объектом изучения.

Регулирование дорожного движения осуществляется посредством нормативов, распоряжений регулировщиков и технических средств регулирования. К последним относятся дорожные знаки, дорожная разметка, светофоры и направляющие устройства. Технические средства регулирования входят в одну из двух подгрупп технических средств управления. Вторую подгруппу составляют технические средства, обеспечивающие работу технических средств регулирования и не контактирующие с участниками движения, – дорожные контроллеры, обеспечивающие работу светофоров и дорожных знаков с переменной информацией, детекторы транспорта, средства обработки и передачи информации, оборудование управляющих пунктов АСУД и т.д.

Дорожные знаки. Характеристики дорожных знаков в общем виде регламентируются международными нормативами, в частности, «Конвенцией о дорожных знаках и сигналах» 1968 г. и «Дополнительным соглашением» 1971 г. На их основе разрабатываются детальные требования к дорожным знакам в данном государстве. В Республике Беларусь до сих пор практически действуют стандарты бывшего СССР, которые, к сожалению, имеют ряд недостатков.

Согласно Конвенции 1968 года, дорожные знаки подразделяются на 3 группы:

- предупреждающие;
- обязательного предписания;
- указательные.

Советские нормативы неуклонно увеличивали число этих групп и довели их до 7: предупреждающие, приоритета, запрещающие, предписывающие, информационно-указательные, сервиса и дополнительной информации (таблички). Однако такое разделение никак нельзя признать удачным, поскольку оно нефункционально, усложняет пользование, затрудняет изучение и т.д.

Для своевременного восприятия водителем передаваемой информации при различной скорости движения знаки делятся на 4 типоразмера (табл. 2.12).

В Республике Беларусь, как и в большинстве европейских стран, принята *символьная система* передачи информации на дорожных знаках. Вместе с тем некоторые информационно-указательные и другие знаки содержат текстовую информацию. В связи с наличием двух государственных языков – белорусского и русского, а также со

значительным количеством иностранных участников дорожного движения имеются определенные трудности в передаче текстовой информации на трех языках – белорусском, русском и английском.

По способу освещения дорожные знаки подразделяют на 3 вида: с *внешним освещением*, с *внутренним освещением* и с *световозвращением*. Наибольшее распространение получили дорожные знаки со световозвращением; два других вида применяются в основном в городе.

Дорожные знаки могут быть *неуправляемыми* и *управляемыми* (многопозиционными). В первом случае знак имеет один постоянный символ или надпись, во втором случае – несколько символов, из которых демонстрируется только один. Переключение символов производится по соответствующей команде дорожного контроллера или другим способом.

Таблица 2.12

Типоразмеры дорожных знаков

Типоразмер	Условия применения знаков		Сторона треугольника, мм	Сторона квадрата, мм	Сторона прямоугольника, мм
	вне населенных пунктов	в населенных пунктах			
I	Дороги с одной полосой движения	Улицы местного значения	700	600	600×900
II	Дороги с двумя и тремя полосами движения	Магистральные улицы	900	700	700×1050
III	Дороги с четырьмя и более полосами движения	Скоростные дороги	1200	900	900×1350
IV	Участки автомагистралей, где производятся ремонтные работы; опасные участки на других дорогах	–	1500	1200	–

При установке дорожного знака необходимо учитывать характер передаваемой информации, интенсивность и скорость движения, особенности зрительного восприятия водителей. Дорожные знаки, как правило, устанавливаются справа по ходу движения или над проезжей частью, а слева по ходу размещают в основном дублирующие знаки. Крепят дорожные знаки на стойках, на консолях, закрепленных на опорах линий электропередач, на стенах зданий, тумбах, растяжках, поперечных фермах-ригелях (рис. 2.5).

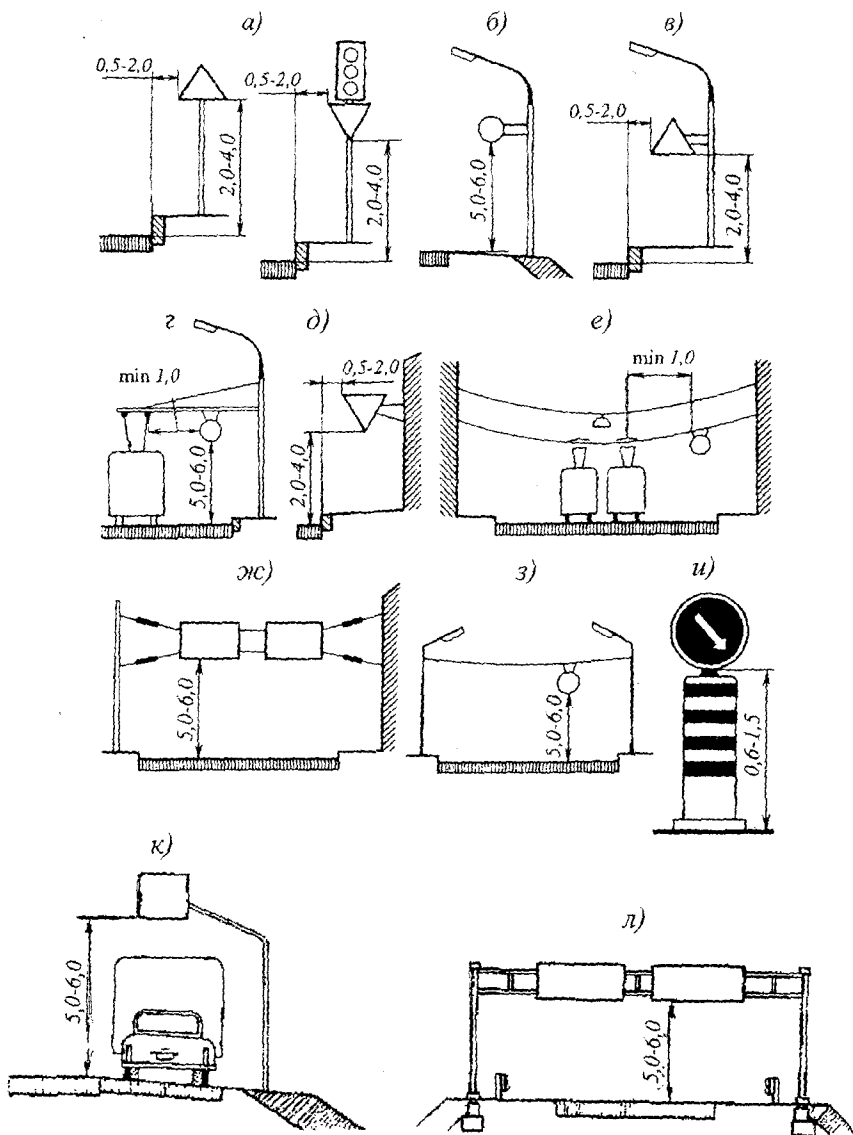


Рис. 2.5. Способы установки дорожных знаков в городе [17]:

а, б – на специальных стойках; в, г – на мачтах освещения; д – на стене здания; е-з – на тросах-растяжках; и – на круглой тумбе; к – над обочиной; л – над проезжей частью на ригеле

Расстояние видимости дорожных знаков или расстояние до места, о котором дается информация, должно быть достаточным для оценки информации, принятия и исполнения решения. Например, предупреждающие знаки устанавливаются за 150...300 м (в городе – за 50...100 м) до начала опасного участка, а запрещающие и знаки приоритета в основном непосредственно перед искомым участком.

Зона действия предупреждающих знаков определяется либо самим водителем, либо с помощью дополнительных табличек. Зона действия знаков обязательного предписания, как правило, простирается до ближайшего обозначенного перекрестка, до конца населенного пункта либо до соответствующего знака «Конец ограничений». В некоторых случаях с учетом значения передаваемой информации или особенностей участка дороги дорожные знаки могут дублироваться или повторяться.

В качестве конструктивного материала для изготовления знаков применяют листовую сталь толщиной до 1,5 мм или листовую алюминий несколько большей толщины. Жесткость знака обеспечивается наличием ребер по периметру, а для очень больших знаков (свыше 1 м²) применяют специальные рамы.

Знаки с внутренним освещением выполняют из полимерных материалов. На выполненную из оргстекла переднюю панель изнутри наносят символ знака соответствующего цвета. Знаки со световозвращением, как правило, состоят из металлической основы и световозвращающей пленки, из которой вырезают и наклеивают элементы знака – поле (фон), символ и окаймление. Знаки с переменной информацией выполняются с применением электромеханических устройств (щитковых, кассетных, дисковых, ленточных) либо с использованием световых или матричных табло.

Дорожная разметка – это линии, надписи, символы и другие обозначения на проезжей части и элементах дорожного обустройства, дающие определенную информацию участникам движения.

Разметка делится на горизонтальную и вертикальную. К *горизонтальной* относится продольная и поперечная разметка, а также островки, надписи, символы и стрелы, наносимые на дорожное покрытие; к *вертикальной* – линии, наносимые на элементах дороги и обустройства, как правило, черного и белого цвета. Форма, размеры и цвет дорожной разметки, применяемой в Республике Беларусь,

соответствуют требованиям «Конвенции о дорожных знаках и сигналах» 1968 г.

Дорожная разметка применяется для разделения транспортных потоков, упорядочения движения на сложных и опасных участках, для улучшения видимости и ориентирования водителей, предписания траекторий движения при маневрировании транспорта или движении пешеходов через проезжую часть, а также для предупреждения водителей об опасности. Чем выше интенсивность движения, опаснее участок и хуже условия движения, тем большая потребность в дорожной разметке. Правила применения дорожной разметки стандартизированы.

Для нанесения разметки используются нитрокраски, термопластические материалы, металлические и другие кнопки, местные материалы (например, разновидности известняка). Наиболее дешевыми являются нитрокраски, однако срок их службы крайне мал – около полугода. Наиболее долговечными являются термопластики, особенно залитые в специально выфрезированные канавки. В последние годы все чаще используются световозвращающие разметочные материалы, заметно улучшающие условия движения в темное время суток, однако в Республике Беларусь они пока не применяются. Следует отметить, что наличие и качество дорожной разметки в значительной мере определяют качество дорожного движения.

Дорожные ограждения и направляющие устройства.

Дорожные ограждения подразделяют на 2 группы:

1. Ограждения барьерного (из гнутого металлопрофиля), парпетного (из сплошного железобетона) и тросового типа, предназначенные для предотвращения вынужденных съездов транспортных средств с земляного полотна дороги при высоте насыпи свыше 2 м, в особо опасных местах, а также с проезжей части мостов, эстакад и путепроводов; для предотвращения столкновения со встречными транспортными средствами на высоконагруженных или скоростных магистралях; для предотвращения наезда на массивные опоры или иные предметы, расположенные в пределах дороги. Высота ограждений 1-й группы – 0,75...0,8 м, расстояние от кромки проезжей части – не менее 1 м.

2. Сетки, конструкции перильного, парпетного (сплошного листового) и иного типа, предназначенные для упорядочения пешеходного движения или предотвращения выхода на проезжую часть скота

и диких животных. Высота ограждений 2-й группы – от 0,8 до 1,5 м, длина – не менее 30...50 м.

К *направляющим устройствам* относятся направляющие столбики, сигнальные тумбы с искусственным освещением, конструктивно выделенные (приподнятые) направляющие островки для транспорта и островки безопасности для пешеходов.

1. *Направляющие столбики* предназначены для обеспечения видимости внешнего края обочин в темное время суток или при неблагоприятных метеорологических условиях, имеют высоту 0,75...0,8 м, устанавливаются на кривых в плане и в профиле, а также в других относительно опасных местах на расстоянии 0,35 м от края земляного полотна, но не ближе 0,75 м от края проезжей части; могут иметь вертикальную разметку и катафоты из световозвращающих материалов: с правой стороны по ходу движения – красного цвета (попутные), с левой стороны – белого (встречные).

2. *Сигнальные тумбы* высотой 0,75...0,8 м предназначены для обозначения опасных препятствий (обычно приподнятых над проезжей частью посадочных площадок и островков) в темное время суток или при неблагоприятных метеорологических условиях и, как правило, устанавливаются совместно со знаком «Объезд препятствия справа» или «... справа и слева».

3. *Направляющие островки* высотой 0,15...0,2 м предназначены для разделения мощных поворотных потоков.

Островки безопасности высотой 0,05...0,2 м предназначены для защиты остановившихся пешеходов.

Светофоры предназначены для поочередного пропуска конфликтующих участников через конфликтную зону, обозначения опасных участков и разрешения выезда на специфические, весьма опасные объекты, например, на железнодорожные переезды, реверсивные полосы и т.д.

Светофорный объект – это участок УДС, где движение регулируется посредством светофорных сигналов.

В общем случае применение светофоров целесообразно, если интенсивность конфликтующих транспортных потоков превышает установленные пределы (примерно от 700×100 до 400×200 авт./ч); если интенсивность конфликтующих транспортных и пешеходных потоков превышает установленные пределы (примерно 600 авт./ч \times

× 150 чел/ч); если оба предыдущих условия выполняются примерно на 80 % и больше; если на участке ежегодно происходит 3 аварии и больше; если на опасном участке ограничена видимость; если на участке дорогу постоянно переходят дети; если этого требует координация и т.д.

Различают три основные группы светофоров: транспортные, пешеходные и транспортно-пешеходные.

Транспортные светофоры предназначены для регулирования транспортного потока и делятся на две подгруппы – общего и специального назначения. Транспортные светофоры *общего назначения* – это базовые трехсекционные светофоры и их модификации, предназначенные для поочередного пропуска конфликтующих транспортных потоков. Транспортные светофоры *специального назначения* предназначены для регулирования движения на специфических участках или объектах, например, на железнодорожных переездах, реверсивных полосах; для использования в качестве повторителей основных светофоров; для регулирования отдельных видов транспорта, например, маршрутного пассажирского; для регулирования на закрытых ведомственных территориях и т.д.

Пешеходные светофоры предназначены для регулирования только пешеходных потоков. Их отличительной особенностью является наличие на световом фоне силуэта пешехода (либо надписи «Стойте», «Идите») и отсутствие желтого сигнала. Заметим, что «Конвенция о дорожных знаках и сигналах» разрешает применение и трехсекционных пешеходных светофоров с желтым сигналом.

Транспортно-пешеходные светофоры предназначены одновременно и для транспортного, и для пешеходного потока и имеют своей целью информировать участников движения о наличии опасного (в данный момент или постоянно) объекта. Главной их особенностью является наличие только желтых мигающих сигналов.

Следует отметить, что нормативная классификация светофоров несколько отличается от приведенной. В ней, например, транспортно-пешеходные светофоры отнесены к группе транспортных. Поскольку эта классификация в Республике Беларусь окончательно не установилась и часто меняется, она будет изучаться в специальных дисциплинах по действующим на момент изучения нормативам.

Сигналы светофора имеют следующие базовые значения:

1) красный сигнал (КС) – запрещает движение;

- 2) зеленый сигнал (ЗС) – разрешает движение;
- 3) желтый сигнал (ЖС) – запрещает въезд тем участникам, которые имеют техническую возможность остановиться без применения экстренного торможения;
- 4) бело-лунный сигнал – самостоятельного значения не имеет, – важна комбинация из 3 сигналов.

Имеется значительное количество (до 30) разновидностей сигналов светофоров, значение которых зависит от формы линзы и нанесенных на ней символов или надписей, мигания сигналов, комбинации сигналов, комбинации сигналов и дорожных знаков, расположения светофоров и т.д. Появление этих разновидностей имеет исторические корни, отличается несистемностью, затрудняет пользование и приводит к большим потерям. Явно назрела необходимость привести сигналы светофора в четкую и логичную систему.

Светофоры состоят из отдельных секций, из которых можно собирать необходимые комбинации (рис. 2.6). Источником света служат лампы накаливания, газосветные трубки или современные светодиоды. Для предотвращения ослепления участников предусмотрены светофильтры. Для предотвращения так называемого «фантом-эффекта», когда при низком расположении солнца может возникнуть одновременное свечение всех сигналов светофора, предусмотрены различные антифантомные устройства, простейшим из которых является козырек.

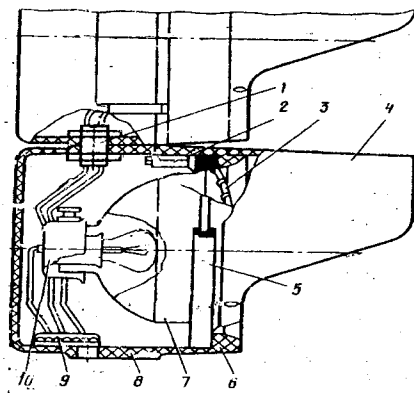


Рис. 2.6. Устройство светофора [17]:
 1 – пустотелая соединительная втулка; 2 – лапка крепления оптического устройства; 3 – цветная рассеивающая линза; 4 – противосолнечный козырек; 5 – уплотнительное кольцо; 6 – крышка; 7 – отражатель; 8 – корпус; 9 – распределительная колодка; 10 – подвижной стакан с электролампой

Светофор управляется дорожным контроллером, состоящим из логического устройства, задающего программы переключения сигналов, силовой части и корпуса. Для реализации координированно-

го управления контроллеры связаны между собой (и с управляющим центром) с помощью проводной или радиосвязи.

Светофоры устанавливаются на специальных стойках, опорах консолях, растяжках и ригелях. При размещении светофоров на объекте необходимо выполнить ряд требований, касающихся видимости с заданного расстояния (для транспорта – не менее 100 м) и с любой полосы (для чего практически повсеместно используются дублиеры), удобства (высота установки), безопасности, возможности подведения силовых кабелей, обслуживания и т.д. Следует отметить, что светофорная сигнализация занимает важное место в управлении дорожным движением, и ее изучению уделяется должное внимание.

Таким образом, мы кратко рассмотрели 3 основных элемента системы ВАДС – водитель, автомобиль, дорога, а также технические средства регулирования. Что касается *окружающей среды*, то здесь существуют разные взгляды и подходы. Одни авторы относят к ней все, кроме данной конкретной подсистемы ВАДС, то есть другие транспортные средства, пешеходов, системы регулирования, обустройство, стихию. Другие авторы относят к ней в основном стихию – туман, гололед, ветер, дождь, снег и т.д. Оставляя этот вопрос открытым, кратко остановимся на значимости самой системы ВАДС в дорожном движении.

Как представляется, дорожное движение определяется в основном взаимодействием систем «транспорт – транспорт» (Т-Т), «транспорт – пешеход» (Т-П) и «транспорт – дорога» (Т-Д). При этом чем больше интенсивность движения, тем большую роль играет взаимодействие между участниками конфликтов Т-Т и Т-П. В то же время система ВАДС практически не рассматривает это взаимодействие, скромно относя его к элементу «окружающая среда». Попытки представить дорожное движение как некую совокупность систем ВАДС, т.е. как систему высшего порядка, олицетворяющую транспортный поток, оказались непродуктивными, поскольку в процессе движения транспортные потоки также взаимодействуют, и не только между собой, но и с другими системами, например, с пешеходами, с системами регулирования и т.д. Поэтому система ВАДС, являющаяся, по сути, *микромоделью*, больше применима к движению одиночных автомобилей, которые не взаимодействуют друг с другом и с пешеходами. Именно поэтому система ВАДС

пользуется большой популярностью у представителей дорожных специальностей, при обучении водителей и т.п.

В то же время в управлении дорожным движением с успехом используются *макромодели*, которые рассматривают транспортные и пешеходные потоки как нечто целое, неделимое, имеющее свои параметры. Разумеется, это не исключает и применения микромоделей, особенно при исследовании маневрирования или прогнозировании аварийности.

3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

Транспортный поток (ТП) как физический процесс, имеет определенные характеристики и подчиняется определенным закономерностям. В этом плане его можно сравнить с другими физическими процессами, – например, с потоком жидкости. Однако ТП имеет специфические особенности, обусловленные тем, что каждая его элементарная частица управляется человеком. Поэтому взаимодействие элементарных частиц ТП определяется не только физическими законами, но и элементами психофизиологии, психологии, этнографии и т.д. Все это чрезвычайно усложняет изучение и управление транспортным потоком.

Транспортный поток – случайный процесс, а его характеристики являются случайными величинами. Исследование таких процессов требует большого статистического материала, солидной математической подготовки и технического обеспечения, а всего этого, к сожалению, явно не хватает. Поэтому случайные величины – характеристики ТП – будем рассматривать как детерминированные, вернее, как точечные оценки случайных величин, помня, однако, что все они случайные. Такой подход требует множества допущений, имеет большие погрешности, но он очень доступен методологически и дает достаточное представление о характеристиках ТП и их взаимозависимостях. Этого представления достаточно для того, чтобы можно было удовлетворительно управлять дорожным движением. Разумеется, удовлетворительное управление далеко от оптимального, и здесь имеются огромные резервы.

3.1. Расположение транспортных средств

Транспортные потоки в зависимости от количества рядов и направления движения ТП подразделяются на несколько типов, приведенных в табл. 3.1.

Движение в таких потоках (или по таким дорогам) отличается по возможностям маневрирования, интенсивности, скорости, аварийности и т.д.

Таблица 3.1

Типы транспортных потоков в зависимости от количества рядов и направления движения ТП

Однорядный (однополосный)	односторонний
Двухрядный	односторонний
	двухсторонний
Трехрядный	односторонний
	двухсторонний
Четырехрядный	односторонний
	двухсторонний
Шести- и более рядный	двухсторонний

Поперечное расположение транспортных средств. При одностороннем потоке с одним рядом движения водители управляют транспортным средством так, что образуется некое среднее расположение транспортного потока относительно оси дороги. Как правило, это наиболее скользкая полоса, потому что на проезжей части остаются следы от износа покрытия и попадания частиц масла, и самая неровная, т.к. из-за взаимодействия колес с дорогой возникают неровности, а при недостаточной прочности покрытия – заметная колея.

При двух и более рядах движения образование колеи существенно замедляется, поскольку транспортные средства более полно используют всю ширину проезжей части. Однако при неудовлетворительном качестве покрытия колея иногда образуется на правых полосах от движения транспортных средств с большой осевой нагрузкой, например, автобусов или троллейбусов.

При двух и более рядах начинается маневрирование – смена полосы движения и обгон, при которых транспортное средство меняет свое поперечное положение. Установлено, что поперечное положение транспортного средства существенно зависит от фактической ширины полосы.

При одинаковой скорости движения более широкая полоса, ширина которой изменяется в пределах от 2,75 до 5,4 м, позволяет транспортным средствам двигаться плотнее и поэтому обладает большей производительностью. Это связано с тем, что последующее транспортное средство располагается не точно вслед за предыдущим, а с некоторым смещением, что позволяет водителю заднего автомобиля улучшить видимость и дает ему возможность лучше прогнозировать ситуацию. Кроме того, в случае крайней необходимости задний автомобиль имеет определенную возможность избежать наезда на передний, «втиснувшись» в пространство между передним и встречным (или попутным) автомобилями. Чем шире полоса, тем плотнее движутся транспортные средства, тем больше ее производительность.

Широкую известность приобрела зависимость максимальной интенсивности движения на дороге с односторонним движением от ширины проезжей части:

$$Q_m = 525 \cdot B, \text{ авт/ч,}$$

где B – ширина проезжей части, м, $5,4 \leq B \leq 18$ м.

Если ширина проезжей части меньше 5,4 м т.е. (речь идет уже о ширине полосы), зависимость интенсивности движения от ширины полосы будет несколько иной (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Q_m	1850	1875	1950	2075	2475
B	3,0	3,3	3,6	4,2	4,8

Продольное расположение транспортных средств дает водителю представление о свободе и безопасности движения на полосе и определяется так называемым динамическим габаритом.

Под *динамическим габаритом* понимают минимальное безопасное расстояние между двумя движущимися автомобилями, заме-

ренное по одноименным задним габаритным точкам. Динамический габарит определяется для заднего автомобиля и представляет собой отрезок полосы дороги, который он фактически занимает при движении в транспортном потоке.

Динамический габарит L_d (рис. 3.1) определяется по формуле

$$L_d = l_a + S_6,$$

где l_a – длина транспортного средства, м;

S_6 – дистанция безопасности,

$$S_6 = S_p + S_0 + (S_{T2} - S_{T1}),$$

S_p – путь, пройденный автомобилем за время реакции водителя и срабатывания тормозного привода, м;

S_0 – запасной отрезок пути между остановившимися транспортными средствами, $S_0 = 1,5 \dots 3$ м (для расчетов принято $S_0 = 2$ м).

Для общих расчетов принято

$$S_p = t_p \cdot v,$$

где t_p – время реакции водителя и срабатывания тормозного привода, с;

v – скорость движения автомобиля в момент начала торможения, м/с.

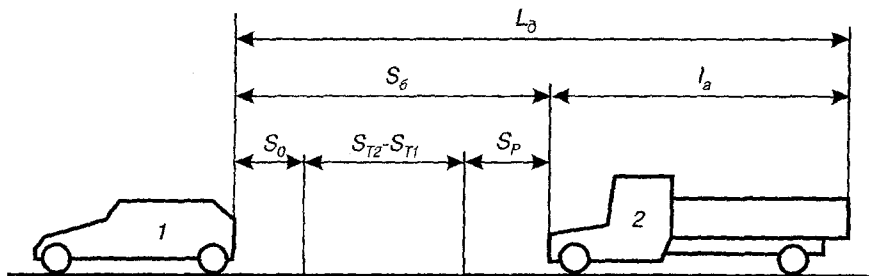


Рис. 3.1. Динамический габарит:

L_d – динамический габарит автомобиля; l_a – длина автомобиля; S_6 – дистанция безопасности; S_0 – запасной отрезок безопасности; $S_{T2} - S_{T1}$ – разность тормозных путей заднего и переднего автомобилей; S_p – путь, проходимый автомобилем 2 за время реакции водителя и срабатывания тормозного привода

Время реакции водителя находится в пределах от 0,3 до 1,5 с и зависит от типа реакции (простой или сложной), психофизиологических данных водителя и его подготовки. Время срабатывания тормозного привода находится в пределах от 0,2 с для гидравлических систем до 0,6 с – для пневматических. Почти повсеместно принято $t_p = 1$ с.

Заметим, что для специальных расчетов используются более сложные формулы, учитывающие тип реакции водителя, время срабатывания тормозного привода и время нарастания тормозных усилий.

Величина

$$S_{T2} - S_{T1} \approx 0,015 \frac{v^2}{\varphi},$$

где $S_{T2} - S_{T1}$ – разность тормозных путей заднего (2) и переднего (1) автомобилей, зависит от типа и технического состояния транспортных средств, соотношения их в транспортном потоке, скорости движения и коэффициента сцепления φ .

Среднее значение динамического габарита в обобщенном транспортном потоке определяется по формуле

$$L_d = l_a + |v| + S_{..} + 0,015 \frac{v^2}{\varphi}.$$

Принимая среднюю длину легкового автомобиля 4 м, грузового – 7 м и учитывая соотношение этих машин в потоке, получим среднюю расчетную длину автомобиля:

$$l_a = 0,7 \cdot 4 + 0,3 \cdot 7 \approx 5 \text{ м.}$$

Окончательно получим

$$L_d = 7 + |v| + 0,015 \frac{v^2}{\varphi},$$

где $|v|$ – численное значение скорости движения в м/с;

φ – коэффициент сцепления колеса с дорогой.

Таким образом, динамический габарит есть функция скорости и квадрата скорости движения, коэффициента сцепления, длины автомобиля и его тормозных качеств. Заметим, что широко распространенная рекомендация для водителей о том, что дистанция безопасности в метрах должна быть примерно равна половине скорости движения в км/ч, соответствует коэффициенту сцепления порядка $\varphi = 0,3 \dots 0,5$ и является в целом надежной. Однако при снижении коэффициента φ дистанцию следует увеличивать, особенно при скорости выше 40 км/ч.

Заметим, что формула для определения L_d , приведенная в работе [14]:

$$L_d = l_a + 2 + v + 0,03v^2$$

не учитывает изменения коэффициента сцепления и соответствует значению $\varphi = 0,5$, т.е. сухому покрытию.

Аналогичная формула, приведенная в работе [25]:

$$L_d = l_a + 2 + v + 0,13v^2$$

соответствует постоянному значению коэффициента φ порядка 0,15, т.е. почти гололедице.

3.2. Интенсивность движения

Интенсивность движения (ИД) – это количество транспортных средств, проходящих через сечение дороги в единицу времени.

Часто интенсивность рассматривают как объем или количество движения (отсюда и обозначение Q : Quantity – количество). Интенсивность движения, – пожалуй, самый главный параметр в дорожном движении: без него невозможно обойтись ни на одной стадии работ.

Интенсивность движения определяется по формуле

$$Q = \frac{N}{t},$$

где N – число ТС, прошедших сечение дороги, авт;

t – время измерения.

Обычно за единицу времени принимают 1 секунду (с), 1 час (ч), 1 сутки (сут), 1 год (г). Соответственно интенсивность обозначается q , авт/с; Q , авт/ч; $Q_{сут}$, авт/сут; $Q_{г}$, авт/год.

Если известен средний интервал между движущимися автомобилями T , с, то интенсивность движения можно определить по формуле

$$q = \frac{1}{T}, \text{ авт/с}; \quad Q = \frac{3600}{T}, \text{ авт/ч.}$$

Интенсивность движения – случайная величина, зависящая от многих факторов и изменяющаяся в пространстве и во времени.

Пространственная неравномерность – это распределение интенсивности движения по полосам проезжей части и по участкам улично-дорожной сети района, города, области, региона. Пространственная неравномерность на крупных территориях изображается с помощью картограммы: на карте местности ширина дороги обозначается линией, толщина которой в некотором масштабе соответствует интенсивности движения. Как правило, на картограммах изображается суммарная интенсивность движения в обоих направлениях.

На более мелких участках улично-дорожной сети, например, на перекрестках и перегонах, интенсивность движения изображается в виде планограммы, где линии соответствующей толщины наносятся на план улично-дорожной сети. При этом, как правило, указываются все направления движения, включая и поворотные (рис. 3.2). В отдельных случаях, при детальном исследовании может быть указана интенсивность движения по каждой полосе. В некоторых случаях применяются так называемые цифрограммы, где направление движения указывается простой линией, а интенсивность движения (и некоторые другие параметры) – цифрами (рис. 3.3). Такое изображение чаще всего используется в справочных целях, когда имеет значение не столько наглядность, сколько численные значения параметров. Возможны различные комбинации приведенных форм изображения пространственной неравномерности интенсивности движения.

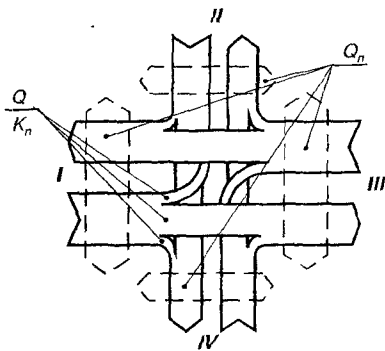


Рис. 3.2. Картограмма (планограмма) интенсивности движения:

I-IV – номера входов в перекресток;
 Q/K_n – ИД и состав ТП для каждого направления; Q_n – ИД пешеходов

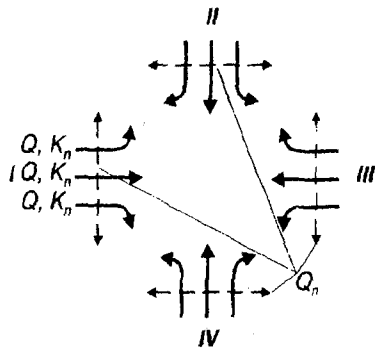


Рис. 3.3. Цифрограмма интенсивности движения:

I-IV – номера входов в перекресток; Q, K_n – интенсивность движения и состав транспортного потока для каждого направления; Q_n – интенсивность движения пешеходов

Известно, что в городах в целом интенсивность движения значительно выше, чем за городом. Например, в США протяженность городской улично-дорожной сети составляет всего лишь около 13 % от общей, но доля интенсивности движения на ней превышает 50 %. В то же время в самом городе имеется ограниченное число магистралей, на которые приходится значительная доля всей интенсивности движения. Например, в городе Минске, на 15 – 20 главных магистралей, протяженность которых составляет около 10 % всей улично-дорожной сети, приходится около 70 % интенсивности движения в городе.

Распределение интенсивности движения по направлениям, как правило, симметричное. Однако на некоторых участках имеются заметно выраженные отклонения, связанные с запрещением левых поворотов, введением одностороннего движения на отдельных улицах и другими особенностями планировки улично-дорожной сети.

Распределение интенсивности движения по полосам представляет значительный интерес, поскольку фактически определяет уровень загрузки улично-дорожной сети и многие другие характеристики дорожного движения. На рис. 3.4 показано распределение интенсивности движения на загородной четырехполосной дороге с двухсторонним движением. Видно, что при малой интенсивности

движения транспорт преимущественно движется по правой полосе, поскольку здесь ему никто особенно не мешает. С ростом интенсивности движения быстроходные автомобили перемещаются на левую, более скоростную полосу, и равенство загрузки полос достигается примерно в районе суммарной интенсивности движения около 1800 авт/ч. Затем нагрузка на левую полосу увеличивается, а на правой остаются относительно тихоходные автомобили. Представляется, что соотношение интенсивности движения на полосах зависит в конечном счете не только от процентного соотношения быстроходных и тихоходных автомобилей в потоке, но и от состояния проезжей части, наличия стоящих на обочине транспортных средств, дисциплинированности водителей и т.д.

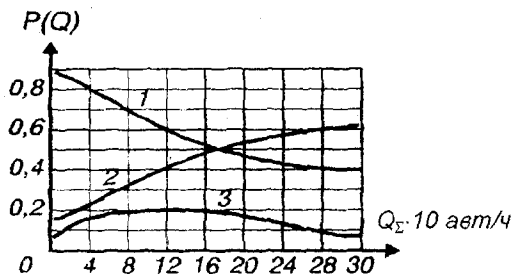


Рис. 3.4. Распределение интенсивности движения одного направления на четырехполосной дороге [20]:

1 – правая полоса; 2 – левая полоса; 3 – транспортные средства, меняющие полосу на участке длиной 0,2 мили (0,32 км)

Интересно распределение интенсивности движения на трехполосной загородной дороге с двухсторонним движением (рис. 3.5). Видно, что средняя полоса загружена меньше других и используется только для обгона, но поскольку она используется для этих целей противоположными потоками, то именно здесь зарождается большинство возникающих конфликтов.

Распределение интенсивности движения по полосам на городских улицах является сложной функцией количества стоящих на правой полосе транспортных средств, интенсивности поворотного движения, условий поворота, степени загрузки полос прямого движения и т.д. Приводимые в различных источниках соотношения интенсивности

движения для двух-, трех- и четырехполосных входов являются весьма приближительными и не могут быть однозначно рекомендованы для практических расчетов. Представляется, что водители транспортных средств прямого направления выбирают для движения ту полосу, на которой, по их мнению, в данный момент будут иметь место наименьшие задержка и число остановок.

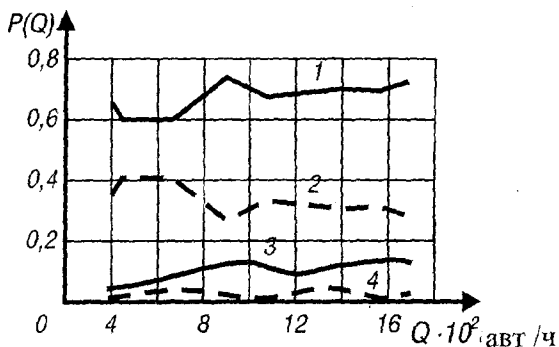


Рис. 3.5. Распределение ИД на трехполосной дороге [20]:

- — — — — направление большего потока;
- 1 – крайняя полоса; 3 – средняя полоса;
- - - - - направление меньшего потока;
- 2 – крайняя полоса; 4 – средняя полоса

Временная неравномерность характеризует циклические изменения интенсивности движения по месяцам года, дням недели, часам суток, а также изменения за более короткие промежутки времени, например, пятиминутные интервалы, светофорные циклы и пятисекундные интервалы. Возможно также изучение неравномерности интенсивности движения, связанной с какими-либо характерными периодами, например, утром и вечером, в светлое и темное время суток, конец недели, начало отпусков и т.д.

Формой представления временной неравномерности, как правило, является график $t - Q$, где по оси абсцисс отложено время, а по оси ординат – абсолютные или относительные значения интенсивности движения.

Временная неравномерность интенсивности движения обусловлена циклическим характером большинства поездок, что связано

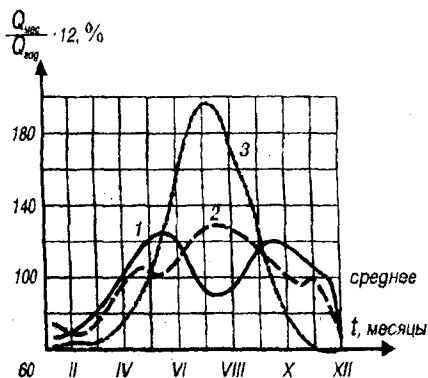


Рис. 3.6. Распределение интенсивности движения по месяцам года [1, 20]:
1 — город; 2 — загород;
3 — дорога к местам отдыха

На рис. 3.7 показано изменение интенсивности движения по дням недели. Видно, что в городе наиболее нагруженный день — пятница, что объясняется окончанием рабочей недели и массовым выездом за город. В выходные дни интенсивность движения в городе наименьшая, а за городом — наибольшая.

На рис. 3.8 показано типичное изменение интенсивности движения по часам суток. Видно, что в городе довольно четко просматривается два пика — утренний и вечерний. На загородных дорогах пиковые нагрузки не так заметны и наибольшая интенсивность движения, как правило, приходится на вечерний пик.

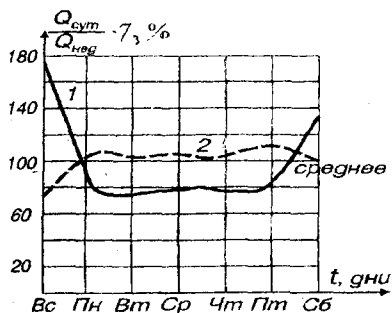


Рис. 3.7. Распределение интенсивности движения по дням недели [1]:
1 — загород; 2 — город

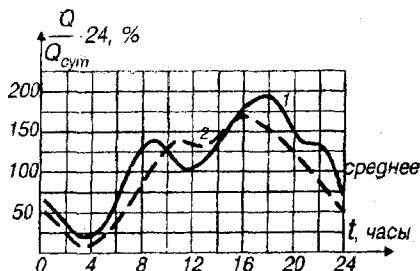


Рис. 3.8. Распределение интенсивности движения по часам суток [1, 20]:
1 — город; 2 — загород

с образом жизни людей. На рис. 3.6 показаны типичные изменения интенсивности движения по месяцам года. Видно, что в зимние месяцы она снижается, а в летние — повышается. При этом в середине лета в городе наблюдается некоторый спад интенсивности движения, а за городом — наоборот, заметный рост, что объясняется выездом части городского населения на период отпусков в сельскую местность.

Заметим, что для каждой улицы или даже для отдельного перекрестка кривая суточной неравномерности интенсивности движения имеет индивидуальный характер. При этом утренний пик может быть мощнее вечернего; возможно наличие всего одного пика в период, например, в 12 – 16 часов, что характерно для малых городов, и т.д.

На рис. 3.9 показано изменение интенсивности движения по светофорным циклам.

Представляет интерес количественная оценка неравномерности интенсивности движения. Известны несколько способов такой оценки с помощью различных коэффициентов (которым присвоены порядковые номера 1–5 только в настоящей работе).

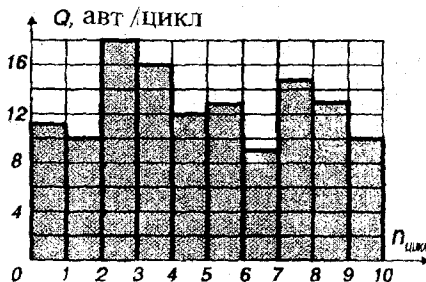


Рис. 3.9. Распределение интенсивности движения по светофорным циклам ($C = 60$ с)

Коэффициент неравномерности K_1 :

$$K_1 = \frac{Q_t \cdot n}{\sum Q_t},$$

где Q_t – интенсивность движения за данный отрезок времени t ;

n – число исследуемых отрезков (разрядов) времени;

$\sum Q_t$ – суммарная интенсивность движения.

Коэффициент K_1 применяется только для оценки годовой, недельной или суточной неравномерности, когда каждый интервал имеет свое название или имя.

Коэффициент неравномерности K_2 :

$$K_2 = \frac{\sum Q_t}{Q_m \cdot n},$$

где Q_m – максимальное значение интенсивности движения за исследуемый отрезок времени.

Коэффициент неравномерности K_3 :

$$K_3 = \frac{Q_m}{Q_{\text{ср}}},$$

где $Q_{\text{ср}}$ – среднее значение интенсивности движения за исследуемый период.

Коэффициент неравномерности K_4 :

$$K_4 = \frac{Q_m}{Q_{\text{min}}},$$

где Q_{min} – минимальное значение интенсивности движения за исследуемый отрезок времени.

Коэффициент вариации распределения интенсивности движения K_5 , или I_Q :

$$K_5 = I_Q = \frac{\sigma_Q}{Q},$$

где σ_Q – среднее квадратическое отклонение распределения интенсивности движения;

\bar{Q} – математическое ожидание распределения (среднее значение) интенсивности движения за исследуемый период.

Представляет интерес распределение годовой интенсивности движения по часовым периодам. Всего в году, как известно, 8760 часов, из них примерно в 2000 часов интенсивность движения превышает среднегодовую. Распределение интенсивности движения первых, наиболее нагруженных 500 часов показано на рис. 3.10. Видно, что эти значения заметно превышают среднегодовые, особенно для дорог с периодической нагрузкой, ведущих, например, в места массового отдыха. Установлено, что дорога экономически выгодна тогда, когда относительная перегрузка имеет место не более 30 – 50 часов в году, а в остальные 8730 – 8710 часов дорога недогружена. Если перегрузка более длительная, считается, что дорога спроектирована неудовлетворительно, поскольку она слишком часто перегружена и

средства на нее затрачены неоптимально; если менее длительная, считается, что дорога не нагружена и средства затрачены также неоптимально. В качестве расчетной нагрузки принята интенсивность движения так называемого сорокового (30–50 ч) пикового часа, разумеется, с учетом типа дороги и перспективного роста интенсивности движения. Исходя из такого подхода построены почти все нормативы по выбору параметров дороги в зависимости от интенсивности движения.

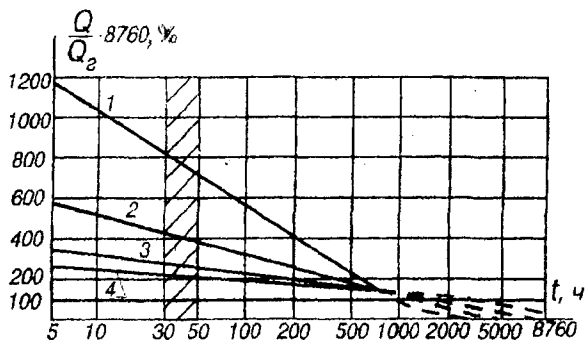


Рис. 3.10. Распределение часовой интенсивности движения в течение года (8760 ч) [1, 20]:

1 – дорога к зоне отдыха; 2 – дорога, идущая в сельскую местность; 3 – пригородная дорога; 4 – городская магистраль; заштрихованная зона – область расчетных значений интенсивности движения (30...50 – час пик; пунктиром показаны предполагаемые значения интенсивности движения)

3.3. Состав транспортного потока

В предыдущем подразделе рассматривалась физическая интенсивность движения, т.е. число физических транспортных средств, проходящих через сечение дороги в единицу времени. Однако ТС весьма неодинаковы – трудно, например, сравнить маленький мотоцикл и огромный автопоезд. Различия между ТС касаются габаритных размеров, нагрузки на дорожное полотно, разгонной и тормозной динамики, маневренности и обзорности, перевозимого груза и числа пассажиров, стоимости эксплуатации и уровня загрязнения окружающей среды.

Почти повсеместно принято приводить все эти многообразные транспортные средства к общему знаменателю – легковому автомобилю – с помощью *коэффициента приведения* K_p .

Приведение производится по разным критериям. В США, например, считают процентное соотношение в потоке одновременно автобусов, грузовых автомобилей и автопоездов, т.е. весь поток делят на две категории – легковые и грузовые. В Австралии различают грузовой автомобиль транзитный (равноценный 1,85 легковым автомобилям), делающий бесконфликтный поворот (2,4) и конфликтный поворот (3,9). В Великобритании автомобили индивидуального пользования, т.е. не легковые, делят на автомобили малой грузоподъемности (равноценен одному легковому), средней и большой грузоподъемности (1,75), автобус (2,25) и трамвай (2,5).

В бывшем СССР нормативы подразделяли транспортный поток на 16 групп:

- 1) мотоцикл – 0,5;
- 2) мотоцикл с коляской – 0,75;
- 3) легковой автомобиль – 1,0;
- 4) грузовой автомобиль 2 т – 1,5;
- 5) грузовой 5 т – 2,0;
- 6) грузовой 8 т – 2,5;
- 7) грузовой 14 т – 3,0;
- 8) грузовой св. 14 т – 3,5;
- 9) автопоезд 12 т – 3,5;
- 10) автопоезд 20 т – 4,0;
- 11) автопоезд 30 т – 5,0;
- 12) автопоезд св. 30 т – 6,0;
- 13) автобус средний – 2,5;
- 14) автобус большой – 3,0;
- 15) троллейбус – 3,0;
- 16) сочлененные автобусы и троллейбусы – 4,0.

При этом заметим, что разные авторы этот перечень произвольно изменяли, увеличивая или уменьшая число групп и значения коэффициентов приведения. Более того, сам стандарт (СНиП 2.05.02.85) требует увеличивать коэффициенты приведения для грузовых автомобилей и автопоездов в 1,2 раза для пересеченной и горной местности. Практически неразрешимым оказался вопрос установления критерия классификации. Некоторые из авторов [14] утверждают, что

принятые значения коэффициента приведения есть частное от деления динамического габарита данного типа ТС на динамический габарит легкового автомобиля при скорости движения порядка 60 км/ч:

$$K_{\text{пi}} = \frac{L_{\text{ди}}}{L_{\text{д.легк}}},$$

где $K_{\text{пi}}$ – частный коэффициент приведения данной группы транспортных средств;

$L_{\text{ди}}$ – динамический габарит транспортного средства для данной группы при $V = 60$ км/ч.

Однако элементарные расчеты не подтверждают это предположение. Поэтому представляется, что приведенные значения $K_{\text{п}}$ имеют в значительной мере произвольный характер и отражают субъективные суждения составителей нормативов или авторов работ. Применение их в светофорном регулировании при определении загрузки конфликтных участков улично-дорожной сети или при выполнении экономических расчетов приводит к необъективным, часто к неприемлемым результатам.

Поэтому представляется, что попытки отобразить множество отличий транспортных средств каким-то одним числом не могут быть успешными. Были выполнены исследования по оценке количественных отличий транспортных средств по двум основным функциональным признакам – динамике и экономике. Необходимость приведения транспортных средств по динамическим показателям, и в первую очередь по разгонной динамике, обусловлена требованиями расчетов светофорного цикла и производительности нерегулируемых конфликтных участков, например, на примыканиях, на кольцевых перекрестках, на нерегулируемых перекрестках и при внутрифазных конфликтах на регулируемых перекрестках, а также при прогнозировании аварийности. Необходимость приведения транспортных средств по экономическим показателям обусловлена требованиями определения величины экономических потерь при оценке качества тех или иных решений.

Предложен *динамический коэффициент приведения*, характеризующий отношение времени освобождения стоп-линии с момента

разрешения движения данным типам автомобилей по отношению к легковому автомобилю:

$$K_{\text{пн}} = \frac{T_{\text{нi}}}{T_{\text{нл}}},$$

где $K_{\text{пн}}$ – динамический коэффициент приведения (по потоку насыщения);

$T_{\text{нi}}$ – средний интервал между данными транспортными средствами при свободном рассасывании достаточно длинной очереди перед стоп-линией, с;

$T_{\text{нл}}$ – то же для легковых автомобилей, с.

Предложен также *экономический коэффициент приведения*, характеризующий отношение суммарных экономических потерь от задержек, остановок и перепробега при движении транспортного средства данной группы по отношению к аналогичным экономическим потерям легкового автомобиля:

$$K_{\text{пэ}} = \frac{n_{\text{эi}}}{n_{\text{эл}}},$$

где $K_{\text{пэ}}$ – экономический коэффициент приведения;

$n_{\text{эi}}$ – экономические потери ТС данной группы, руб.;

$n_{\text{эл}}$ – то же для легкового автомобиля, руб.

Оказалось, что для подавляющего большинства неспециальных (стандартных) расчетов достаточной является классификация ТС, состоящая из 6 групп: мотоциклы, легковые, грузовые автомобили, автопоезда, общественный транспорт (автобусы и троллейбусы) и сочлененный общественный транспорт. Для оценочных расчетов достаточной является классификация из трех групп: легковые, грузовые автомобили, общественный транспорт.

Поскольку действующие нормативы повсеместно используют свою классификацию (условно по так называемому динамическому габариту), и отказ от нее не представляется сегодня возможным, сохранены и эти коэффициенты приведения, которым присвоено название *габаритных*: $K_{\text{пг}}$ – габаритный коэффициент приведения (условно

но по динамическому габариту). Однако число групп транспортных средств уменьшено с 16 до 6, что является достаточным для выполнения расчетов. В табл. 3.3 приведены значения частных коэффициентов приведения $K_{пг}$, $K_{пн}$, $K_{пз}$, используемых в данной работе.

Таблица 3.3

Коэффициенты приведения транспортного средства

№ п/п	Тип ТС	Группа	Индекс	$K_{пг}$	$K_{пн}$	$K_{пз}$
1	Мотоциклы, мопеды, мотороллеры, мокики	мотоциклы	М	0,5	0,7	0,5
2	Легковые, грузопассажирские машины, микроавтобусы	легковые	Л	1,0	1,0	1,0
3	Грузовые, тракторы, самоходные сельскохозяйственные машины	грузовые	Г	2,0	1,4	1,7
4	Автопоезда, тракторные поезда	поезда	П	3,5	2,3	3,0
5	Автобусы, троллейбусы	общественный	О	3,0	2,0	8,0
6	Сочлененные автобусы, троллейбусы	сочлененные	С	4,0	2,6	14,0

Следует отметить, что в этой области проведены только начальные исследования и работа требует продолжения.

Коэффициент приведения транспортного потока $K_{п}$ определяется по формуле

$$K_{п} = \frac{\sum(K_{пi} \cdot Q_i)}{\sum Q_i},$$

где $K_{п}$ – коэффициент приведения ТП;

$K_{пi}$ – коэффициент приведения транспортных средств данной группы;

Q_i – интенсивность движения транспортных средств данной группы.

Приведение интенсивности движения производится по формуле

$$Q'' = Q \cdot K_{п}.$$

Очевидно, можно определить коэффициенты приведения транспортного потока: $K_{пт}$, $K_{пн}$ и $K_{пз}$. Можно также определить три вида приведенной интенсивности движения: $Q_{г}^*$, $Q_{н}^*$ и $Q_{з}^*$.

Заметим, что на практике в зависимости от целей расчета не всегда есть потребность определять все три вида приведенной интенсивности движения. Поэтому, как правило, достаточным является определение физической интенсивности движения и трех коэффициентов приведения: $K_{пт}$, $K_{пн}$ и $K_{пз}$.

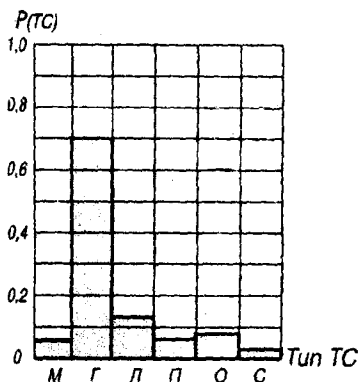


Рис. 3.11. Диаграмма состава ТП

являются величинами случайными, которые изменяются и в пространстве, и во времени. В литературе не приводятся подробные данные о распределении состава потока подобно интенсивности движения, однако известно, что на загородных дорогах поток в целом «тяжелее», чем в городе. В самом городе, ближе к центру, поток становится более «легким».

На правых полосах поток, как правило, «тяжелее», особенно ближе к центру, поскольку ими пользуется преимущественно маршрутный пассажирский транспорт. Именно большей долей маршрутного пассажирского транспорта в утренние часы объясняется более «тяжелый» состав потока, чем в дневные часы. В то же время по окончании рабочего дня, когда грузовой транспорт уходит из города или возвращается на свои базы, поток заметно «легчает».

В связи с этим для оптимального регулирования дорожного движения на заданном участке необходимо располагать информацией

В некоторых случаях коэффициенты $K_{пн}$ не определяются, а информация представляется в виде физической интенсивности движения и процентного соотношения групп транспортных средств в потоке. Графическое изображение этого соотношения называется *диаграммой состава транспортного потока* и показано на рис. 3.11.

Необходимо отметить, что состав транспортного потока и, следовательно, коэффициенты приве-

не только об изменениях интенсивности движения, но и об изменениях состава потока.

Существует классификация, согласно которой транспортный поток делится на три типа [14]:

грузовой – свыше 60 % грузовых автомобилей;

легковой – свыше 60 % легковых автомобилей;

смешанный – от 40 до 60 % грузовых автомобилей.

Представляется, что эта классификация не отражает объективного характера транспортного потока. В самом деле, о каком легковом потоке может идти речь, если почти половина транспортных средств – грузовые автомобили, автопоезда, автобусы, и именно эти транспортные средства определяют характер движения – скорость, маневрирование, безопасность. Очевидно, легковым можно назвать транспортный поток, в составе которого находится не более 5 % (максимум 10 %) грузовых автомобилей, но уж никак не 40 %.

Следует отметить, что в развитых европейских странах в составе потока около 80 – 85 % транспортных средств составляют легковые автомобили. На дорогах США, по некоторым данным, эти автомобили составляют около 88 % всего потока. На загородных дорогах в Республике Беларусь, по некоторым оценкам, они составляют около 75 % всех транспортных средств.

3.4. Скорость движения

Скорость движения (СД) – важнейший параметр транспортного потока. Она определяет производительность дорожного движения и является одной из двух его основных целевых функций (первой является безопасность). Как известно, СД измеряется в км/ч или м/с. Скорость движения, замеренная на данном отрезке пути, называется *пространственной*, а замеренная в данный промежуток времени – *временной*. Пространственная скорость, как правило, несколько (около 1 %) ниже, чем временная, что связано со способом измерения и обработки результатов.

Различают несколько разновидностей СД (рис. 3.12).

Мгновенная скорость V – это скорость, зафиксированная на коротком участке дороги (20–50 м) или в короткий промежуток времени (2–4 с). Именно мгновенная скорость в решающей степени влияет на безопасность движения: она определяет кинетическую энергию авто-

мобиля и, следовательно, его тормозной путь; определяет путь, пройденный за время реакции водителя и срабатывания тормозного привода; определяет время, предоставляемое водителю для осознания и оценки ДТС и принятия соответствующих решений; наконец, если авария произошла, она определяет характер и тяжесть последствий.

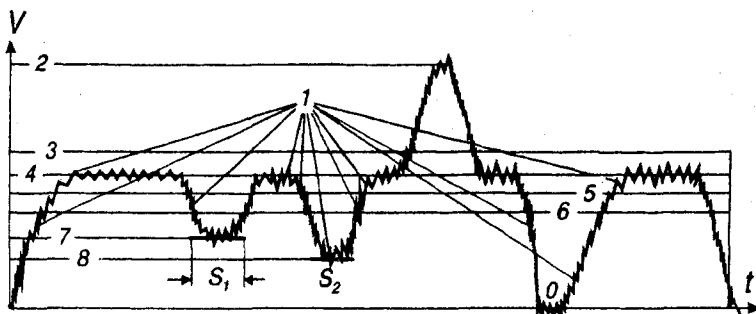


Рис. 3.12. Некоторые разновидности СД:

1 – мгновенная; 2 – максимальная; 3 – разрешенная (общее ограничение); 4 – крайсерская; 5 – средняя техническая; 6 – средняя эксплуатационная (сообщения); 7 – рекомендуемая (на участке S_1); 8 – ограничения (местное ограничение на участке S_2); O – остановка

Средняя техническая скорость $V_{\text{тех}}$ – это отношение пройденного пути ко времени движения без учета остановок и стоянок. Эта скорость в значительной мере имеет характер тактического планирования – именно с такой скоростью водителю предписывается (или он сам себе предписывает) двигаться в нормальных условиях. Например, в городе эта скорость – около 60 км/ч; на загородных дорогах для легковых автомобилей – около 90 км/ч. Режимы движения на этой скорости в значительной мере определяют планируемые (ожидаемые) показатели производительности, расхода топлива, износа машины и т. д.

Скорость сообщения V_c (или средняя эксплуатационная скорость) – это отношение пройденного пути ко времени движения с учетом всех остановок и стоянок. Именно эта скорость определяет производительность и фактически является целевой функцией дорожного движения. Поскольку она определяется одновременно величиной $V_{\text{тех}}$ и продолжительностью стоянок-остановок, постольку и то и другое в явной мере является заботой и водителя, и организа-

тора дорожного движения. Необходимо при этом отметить, что повышение $V_{\text{тех}}$ достигается при неизмеримо больших затратах и сопровождается неизмеримо большей опасностью, чем уменьшение продолжительности остановок и стоянок.

Максимальная скорость V_m – это наибольшая мгновенная скорость, достигаемая транспортным средством при нормальных условиях. В дорожном движении эта скорость для большинства автомобилей не имеет практического значения, если, конечно, она не ниже установленных общих ограничений (например, 90 км/ч). Но она имеет значение для тихоходных транспортных средств – тракторов, сельскохозяйственных машин и т.д., которые резко ухудшают условия движения транспортного потока и поэтому очень нежелательны на нагруженных дорогах.

Крейсерская скорость $V_{\text{кр}}$ – это скорость, с которой водители стремятся ехать в данных условиях, при которой они чувствуют себя комфортно. Если водителя в данных условиях заставляют двигаться медленнее или (что бывает редко) быстрее, чем он считает нужным, то он испытывает дискомфорт, раздражается, устает, становится агрессивным и все время стремится выйти из этого состояния, нарушив установившийся режим, либо впадает в апатию и теряет интерес к движению и контроль за дорожно-транспортной ситуацией. В любом случае движение в таких ситуациях опасно из-за многократного возрастания вероятности совершения ошибки водителем или его неготовности предпринять своевременные действия в случае возникновения опасности. Величина $V_{\text{кр}}$ в значительной мере зависит от условий движения – дороги, транспортных средств, транспортно-пешеходной нагрузки, регулирования, мотивации водителя и т.д.

Разрешенная скорость $V_{\text{раз}}$ – скорость движения, разрешенная нормативами или техническими средствами регулирования на данном участке УДС.

Рекомендуемая скорость $V_{\text{рек}}$ – это скорость, с которой организаторы движения рекомендуют двигаться водителю на данном участке в данных условиях. Сегодня эта рекомендация ни к чему не обязывает ни водителя, ни организатора и поэтому часто является пустой формальностью. Однако если ввести строгую ответственность водителей за неисполнение рекомендаций в случае аварии или иных коллизий и не менее строгую ответственность организаторов за обоснованность и

полезность рекомендаций, то такому способу регулирования скоростного режима, как представляется, принадлежит будущее.

Экономичная скорость $V_{\text{экон}}$ – это скорость движения, при которой наблюдается минимум экономических потерь, – как правило, расхода топлива, износа шин и т.д.

Безопасная скорость $V_{\text{бд}}$ – это скорость движения, при которой водитель в состоянии предпринять необходимые действия для избежания аварии или иной коллизии. Очевидно, безопасная скорость – понятие очень условное, поскольку гарантировать безопасность в дорожном движении невозможно даже при самой минимальной скорости. Представляется, что в понятие «безопасность» вкладывается смысл очень малой вероятности попадания в аварию, однако, насколько малой, сказать трудно.

Оптимальная скорость $V_{\text{опт}}$ (должно быть обязательное указание, по какому или по каким критериям) – скорость, при которой некоторая цель достигается с наименьшими затратами. Она является довольно неопределенной и в значительной мере зависит от постановки вопроса и подходов авторов. Если автором является инженер дорожного движения и его подходы опираются на общественные потери и возможности, то понятие оптимальной скорости относится к системе дорожного транспорта и почти не включает отдельно взятого водителя и его интересов. Если же автором является отдельный водитель, то для него понятие оптимальной скорости приближается к понятию крейсерской и в большей мере опирается на его персональную безопасность и производительность.

В литературе приводятся и другие разновидности скорости движения, например, *допустимая скорость* – наибольшая скорость движения одиночного автомобиля, определенная по условию безопасности движения исходя из видимости, ровности, скользкости и ширины проезжей части. Довольно часто встречается так называемая *расчетная скорость* движения – «максимальная безопасная скорость для расчета основных параметров автомобильной дороги, влияющих на работу транспортных средств» [1, с. 313]. Значения $V_{\text{рас}}$ в США, как правило, – около 145 км/ч, в Европе – около 140 км/ч. В работе [6] дается такое определение $V_{\text{рас}}$: «Под расчетной скоростью понимается допустимая максимальная скорость движения одиночного легкового автомобиля по условиям безопасности движения».

Таким образом, из перечисленного ряда скоростей движения три скорости – мгновенная, средняя техническая и сообщения – имеют четко определенные границы и физический смысл. Три скорости – максимальная, разрешенная и рекомендуемая – хотя формально четко ограничены, но фактически имеют известное расширительное толкование. Например, разрешенная скорость 40 км/ч, установленная на каком-либо участке, скорее отражает установившийся подход властей, чем реальную потребность. Или, например, максимальная скорость грузовых автомобилей находится в очень широких пределах как в конструктивном, так и в фактическом исполнении. Остальные виды скоростей – крейсерская, безопасная, экономичная, оптимальная – четко не определены и могут иметь самое широкое толкование. Например, водитель, совершивший аварию или участвующий в ней, согласно сегодняшним толкованиям Правил, превысил «безопасную» скорость, в противном случае он бы не совершил этой аварии или смог бы избежать участия в ней. Это положение до недавнего времени очень широко использовалось властями, когда причиной подавляющего большинства аварий считалось «превышение скорости». Сегодня такая практика волевым решением приостановлена, однако нет гарантии, что она в том или ином виде не вернется снова.

Скорость движения – величина случайная. Распределение скоростей, особенно мгновенных, в ТП подчиняется нормальному закону (рис. 3.13).

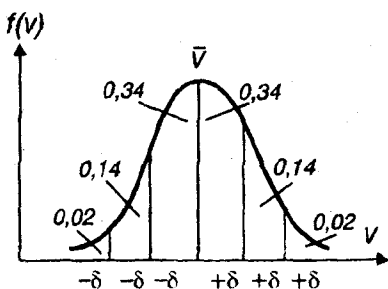


Рис. 3.13. Нормальное распределение скоростей движения (дифференциальная кривая) (цифрами указана вероятность попадания случайной величины в отрезок длиной 1σ)

где v_i – значение случайной величины;

Нормальное (гауссовское) распределение встречается наиболее часто и характеризует распределение массовых событий:

$$f(v) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(v-\bar{v})^2}{2\sigma^2}},$$

где v – текущая величина;

\bar{v} – математическое ожидание,

$$\bar{v} = \frac{\sum v_i \cdot n_i}{\sum n_i},$$

n_i – частота появления величины v_i ;

σ – среднее квадратическое отклонение,

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (v_i - \bar{v})^2 \cdot n_i}{\sum n_i}}.$$

Если распределение нормировать, т.е. разделить на σ ($\sigma = 1$) и построить вокруг нулевой абсциссы ($\bar{v} = 0$), формула будет иметь вид

$$f(v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{v^2}{2}}.$$

Интегральная (кумулятивная) кривая распределения показана на рис. 3.14 и описывается уравнением

$$F(v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^v e^{-\frac{v^2}{2}} dv.$$

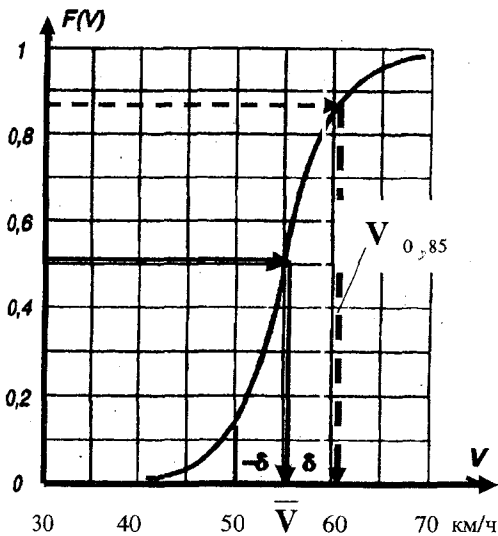


Рис. 3.14. Нормальное распределение (интегральная или кумулятивная кривая; стрелками показано нахождение случайной величины по заданной вероятности)

Как известно, нормальное распределение достаточно полно характеризуется двумя параметрами: математическим ожиданием \bar{v} и коэффициентом вариации I_V :

$$I_V = \frac{\sigma_V}{\bar{v}},$$

где σ_V – среднее квадратическое отклонение.

С введением ограниченной скорости, особенно в населенных пунктах, распределение несколько видоизменяет свою форму и становится нормальным усеченным (справа).

На скорость движения влияют многие факторы, которые условно можно разделить на пять групп:

- водитель;
- автомобиль;
- дорога;
- окружающая среда;
- транспортный поток.

Первые четыре группы кратко рассмотрим ниже, а пятую – при исследовании взаимозависимостей между параметрами ТП.

Водитель имеет довольно широкий выбор скоростей, который зависит от его индивидуальных особенностей. В целом, однако, установлены некоторые общие закономерности:

- чем больше расстояние поездки, тем выше скорость;
- чем больше пассажиров в экипаже, тем меньше скорость;
- одинокие и разведенные едут быстрее, чем семейные;
- женщины едут медленнее, чем мужчины, хотя и ненамного;
- имеющие новый автомобиль едут быстрее, чем имеющие неновый.

Автомобиль. Для автомобилей установлены следующие закономерности:

- легковые автомобили движутся быстрее, чем грузовые;
- автомобили высокого класса движутся быстрее, чем низкого;
- грузовые автомобили движутся быстрее автопоездов;
- новые автомобили движутся быстрее неновых;
- наибольший разброс скоростей наблюдается у легковых автомобилей.

Дорожные условия в наибольшей мере влияют на скорость движения. На загородных дорогах высокого класса и на скоростных городских дорогах (которых у нас нет) на СД влияют лишь геометрические параметры дороги. На городских улицах в большей мере оказывают влияние перекрестки, пешеходные переходы, стоящие на проезжей части ТС и т.д. Очевидно, что влияние на скорость оказывают качество покрытия, ширина полос, радиусы поворота, расстояние видимости, ширина и состояние обочин, высота бортового камня и многое другое. На рис. 3.15 – 3.17 показаны зависимости скорости движения от типа дорог, расстояния видимости, состава ТП.

В работе [1] приведена зависимость средней скорости от некоторых факторов для загородных двухполосных дорог:

$$\bar{V} = 62,9 - 0,0427x_1 - 0,2233x_2 - 1,3000x_3 - 0,1802x_4 + 0,0037x_5 + 3,4368x_6 - 1,3954x_7 - 0,0131x_8, \text{ км/ч,}$$

где \bar{V} – средняя скорость движения, км/ч;

x_1 – доля неисправных автомобилей, % (автомобили, стоящие на обочине);

x_2 – доля автопоездов в потоке, %;

x_3 – степень кривизны дороги, град,

$$x_3 = \frac{1720}{R},$$

где R – радиус кривизны дороги, м;

x_4 – величина уклона, %;

x_5 – минимальное расстояние видимости, м;

x_6 – ширина полосы движения, м;

x_7 – количество придорожных сооружений вдоль дороги по обеим сторонам, ед./км;

x_8 – интенсивность движения, авт/ч (суммарная интенсивность в обоих направлениях).

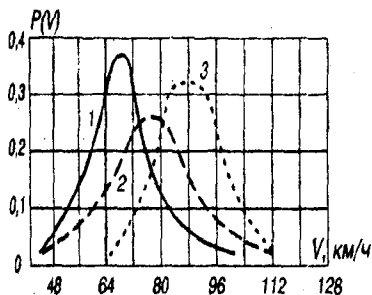


Рис. 3.15. Зависимость СД от типа дорог [20]:
1 – обычная двухполосная дорога (прямой участок); 2 – скоростная двухполосная дорога; 3 – скоростная четырехполосная дорога с разделительной полосой

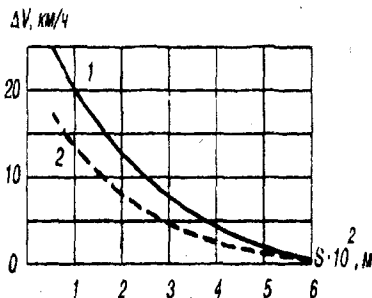


Рис. 3.16. Зависимость СД от расстояния видимости [26]:
 ΔV – снижение СД; 1 – легковые ТС; 2 – грузовые ТС

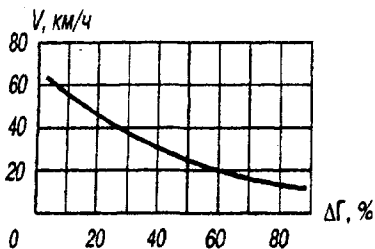


Рис. 3.17. Зависимость СД от состава транспортного потока. [22]:

$\Delta Г$ — доля грузовых ТС в потоке

Для четырехполосной загородной дороги (с двухсторонним движением) уравнение имеет следующий вид:

$$\bar{V} = 32,81 - 0,1835x_1 + 0,0027x_5 - 1,0424x_7 + 0,4333x_9, \text{ км/ч,}$$

где x_9 — установленный предел скорости, км/ч.

К сожалению, не имеется достоверных сведений, подходят ли приведенные формулы к условиям движения на наших дорогах, хотя оценочные расчеты указывают на приемлемость подобных подходов.

В советской литературе также приводятся зависимости скорости движения от некоторых факторов. Например, в работе [6] приводится следующая зависимость для четырехполосной дороги:

$$\bar{V} = 59 - (0,011 - 0,00012 \Delta_{л}) \cdot 0,1 Q_{\text{сут}} + 0,21 \Delta_{л}, \text{ км/ч,}$$

где $\Delta_{л}$ — доля легковых автомобилей в ТП, %.

В работе [14] приводится зависимость скорости движения от ширины полосы:

$$V = 67 \cdot (B - b - 0,3), \text{ км/ч,}$$

где B — ширина полосы, м;

b — ширина автомобиля, м.

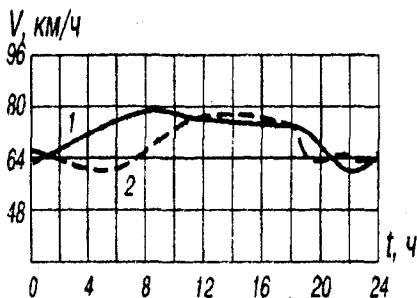


Рис. 3.18. Изменение средней мгновенной СД в течение суток на 2-полосной дороге [18]:

1 — в июне; 2 — в феврале — марте

Окружающая среда. Погодные условия сильно влияют на скорость движения, ухудшая видимость, состояние проезжей части или и то и другое одновременно.

В светлое время суток СД выше, чем в темное, на 2–3 км/ч в городе и на 5–13 км/ч — на загородных дорогах (рис. 3.18).

На рис. 3.19 и 3.20 показаны некоторые зависимости СД от погодных условий.

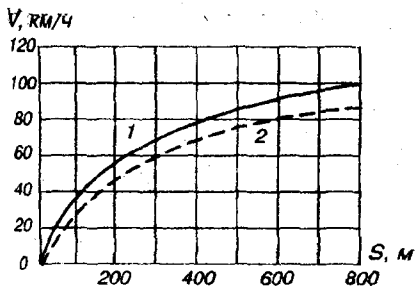


Рис. 3.19. Зависимость СД от метеорологической дальности видимости [6]:
1 — видимость поверхности дороги;
2 — видимость встречного автомобиля

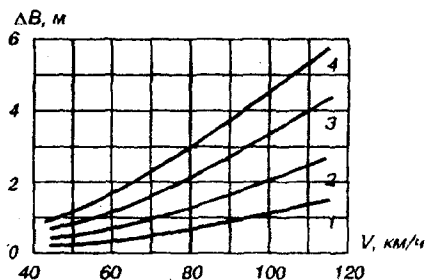


Рис. 3.20. Зависимость возможного бокового перемещения автомобиля (ΔB) от СД при скорости бокового ветра [6]:
1 — 5 м/с; 2 — 10 м/с; 3 — 15 м/с;
4 — 20 м/с (по данным О.Воля)

3.5. Плотность транспортного потока

Концентрация транспортных средств на дороге оценивается **плотностью транспортного потока**, которая численно равна количеству ТС, приходящихся в данный момент на единицу протяженности полосы дороги (как правило, на 1 км):

$$\rho = \frac{n}{S}, \text{ авт/км,}$$

где ρ — плотность ТП, авт/км;

n — число ТС, находящихся на участке полосы, авт ;

S — протяженность участка, км.

Если известен средний пространственный интервал движения на полосе между ТС, плотность можно определить по формуле

$$\rho = \frac{1000}{L}, \text{ авт/км,}$$

где L — длина интервала, м.

Если рассматривать не физическое количество ТС на полосе дороги, а его приведенное значение, можно записать

$$\rho'' = \frac{n''}{L}, \text{ ед./км,}$$

где ρ'' – приведенная плотность, ед./км;

n'' – приведенное число ТС, находящихся на участке полосы, прив. ед.,

$$n'' = n \cdot K_{\Pi},$$

где K_{Π} – коэффициент приведения ТП (в качестве расчетного можно принимать динамический коэффициент приведения $K_{\Pi\text{н}}$).

Плотность ТП характеризует условия движения в потоке. Естественно, чем выше плотность, тем стесненнее условия, ниже скорость, больше маневрирования, выше вероятность конфликтов. Некоторые авторы в зависимости от плотности классифицируют условия движения ТП. Имеется несколько различающихся классификаций, однако наибольшее распространение в мире получила оценка условий движения по так называемым *уровням обслуживания* [9], которые определяются по комплексу факторов, в т.ч. и по плотности транспортного потока (рис. 3.21). Всего различают 6 уровней обслуживания – А, В, С, D, E, F, имеющих относительно четкие границы и различия. Потоки классифицируются как свободные, устойчивые, неустойчивые и напряженные (см. подраздел 3.8).

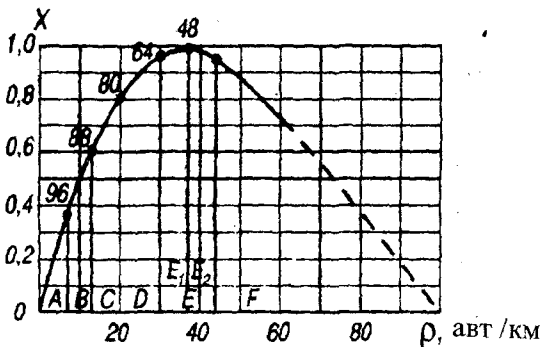


Рис. 3.21. Зависимость между уровнями обслуживания, плотностью потока и коэффициентом загрузки полосы [1] (цифры на кривой показывают приблизительную СД потока в эталонных дорожных условиях; пунктиром показана зона неустойчивых зависимостей)

3.6. Зависимости между параметрами транспортного потока

Между параметрами транспортного потока существуют определенные зависимости, исследование которых производится с использованием двух основных подходов.

Согласно первому подходу, транспортный поток рассматривается как целостный процесс, характеризуемый внешними параметрами, такими, как плотность, скорость, интенсивность, энергия. События, происходящие внутри потока, считаются малозначимыми и, как правило, не рассматриваются. Такой подход называется *макроскопическим*, а построенные на его основе модели движения – *макромоделями*.

При втором подходе рассматриваются события внутри потока, – чаще всего, изменение взаимного положения двух следующих друг за другом автомобилей в транспортном потоке. Этот подход называется *микроскопическим* (или «*теорией следования за лидером*»), а построенные на его основе модели – *микромоделями*. Он получил распространение при исследовании процессов в плотных линейных потоках и при маневрировании на маневровых участках.

В обоих случаях исследуемые параметры можно рассматривать как детерминированные величины и оперировать с их средними значениями. Такие подходы или модели называются *детерминированными* и получили наибольшее распространение из-за своей методической простоты. В более сложных расчетах используются вероятностные характеристики исследуемых величин. Такие подходы и модели называются *вероятностными* или *стохастическими*.

Макромодели транспортного потока.

Между средними значениями интенсивности, скорости и плотности существует зависимость

$$Q = V \cdot \rho,$$

где Q – интенсивность движения, авт /ч;

V – скорость движения, км/ч;

ρ – плотность потока, авт /км.

Считается, что интенсивность и скорость движения, которые легко можно измерить, являются независимыми переменными, а плотность – зависимой. Если известны любые две переменные, третья определяется однозначно.

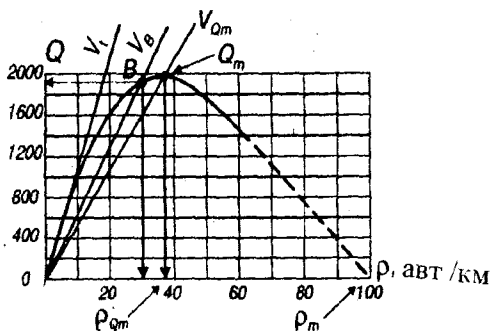


Рис. 3.22. Основная диаграмма ТП [1]:

V_f – скорость свободного движения; B – точка, соответствующая реальной пропускной способности полосы; V_B – скорость в точке B ; Q_m – наибольшая ИД; V_{Q_m} – скорость в точке Q_m ; ρ_{Q_m} – плотность в точке Q_m ; ρ_m – максимальная плотность или плотность затора (пунктиром показана зона неустойчивых зависимостей)

Это соотношение хорошо иллюстрируется графиком, получившим название «основной диаграммы транспортного потока» (рис. 3.22), на котором по оси абсцисс откладывается плотность, а по оси ординат – интенсивность движения. Тангенс угла наклона радиус-вектора, проведенного из начала координат к любой точке на кривой, определяет скорость движения в этой точке (с учетом масштабов μ_Q и μ_ρ).

Кроме текущих значений Q , ρ и V на основной диаграмме представляет интерес еще несколько величин:

Q_m – максимальная интенсивность движения;

ρ_{Q_m} – плотность, соответствующая Q_m ;

V_{Q_m} – скорость движения, соответствующая Q_m ;

V_f – скорость свободного движения (определяется радиус-вектором, проведенным из начала координат касательно к основной диаграмме);

ρ_m – максимальная плотность, или плотность затора, при которой движение практически невозможно и $V = 0$ (разные авторы указывают разные значения плотности ρ_m – от 93 до 125 авт/км; большинство склоняются к цифре 100; примем $\rho_m \approx 100$ авт/км).

Считается, что при плотностях потока, меньших ρ_{Q_m} , существуют нормальные условия движения, а при плотностях больше ρ_{Q_m} наблюдается возникновение заторов. Необходимо отметить, что

показанная на рис. 3.22 основная диаграмма соответствует определенным внешним условиям – ширине полосы, коэффициенту Φ , ровности покрытия и т. д. Очевидно, при изменении этих условий численные значения и, возможно, форма кривой несколько изменятся (рис. 3.23).

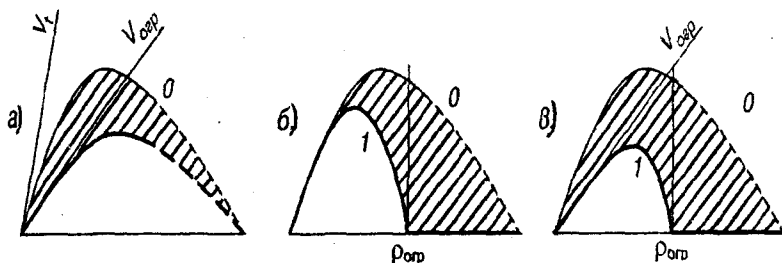


Рис. 3.23. Деформация основной диаграммы ТП из-за ограничений [7]:
 а – по скорости; б – по плотности (интенсивности);
 в – по обоим факторам одновременно

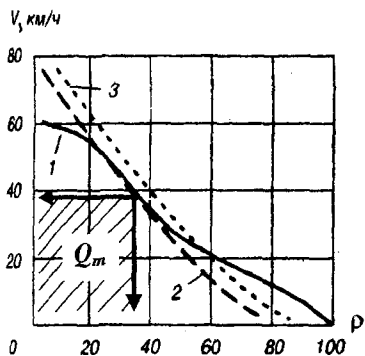


Рис. 3.24. Зависимость СД от плотности для различных дорог [26]:

1 – двухполосная дорога; 2 – четырехполосная дорога, правая полоса; 3 – четырехполосная дорога, левая полоса

квадрату, разумеется, с учетом масштабов μ_V и μ_ρ .

На рис. 3.25 показана зависимость «Скорость – интенсивность». Видно, что с ростом интенсивности движения скорость падает, причем тем круче, чем выше значение начальной скорости. Нижняя, пунк-

На рис. 3.24 показана зависимость «скорость-плотность». Видно, что с увеличением плотности скорость снижается. Поскольку $Q = V \cdot \rho$, площадь любого прямоугольника, одна из вершин которого находится в начале координат, а другая – в заданной точке на кривой, определяет величину интенсивности движения в данных условиях. Ясно, что наибольшая площадь, а следовательно, и максимальная интенсивность Q_m принадлежит только

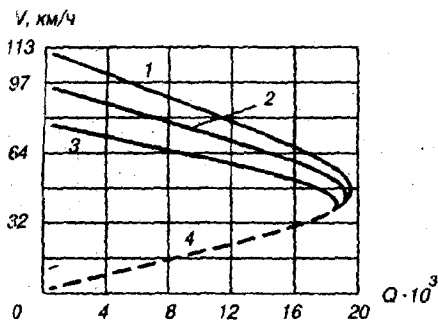


Рис. 3.25. Зависимость скорости движения от интенсивности [1]:

1 — СД на магистрали 113 км/ч; 2 — СД на магистрали 97 км/ч; 3 — СД на магистрали 81 км/ч; 4 — уровень обслуживания F

тирная часть графика показывает, что транспортный поток находится в неустойчивом состоянии, и зависимость носит условный характер. Заметим, что кривые $V_{1..3}$ соответствуют различным начальным условиям, при которых скорость определяется не интенсивностью движения, а другими факторами, — например, расстоянием видимости, качеством покрытия и т. д.

Американский ученый Д. Дрю [9] предложил *энергетическую модель транспортного потока*. Рассматривая энергию ТП (по аналогии с потоком газов), он утверждает, что полная энергия состоит из двух разновидностей (или форм) — кинетической E_k и внутренней E_b .

Кинетическая энергия используется для перемещения автомобилей с равномерной скоростью и определяется по формуле

$$E_k = \alpha \cdot \rho \cdot V^2,$$

где α — безразмерная константа, служащая для приведения обоих видов энергии к общему знаменателю.

Внутренняя энергия (потери энергии внутри потока или шум ускорения σ_a) расходуется на непроизводительные перемещения в поперечном направлении и разгон-торможение, имеет размерность среднего квадратического отклонения ускорения и определяется по формуле

$$E_b = \sigma_a = \left[\frac{1}{t} \int_0^t a^2 dt \right]^{1/2}.$$

Полная энергия транспортного потока определяется по формуле

$$E = E_k + E_b = \alpha \rho V^2 + \sigma_a.$$

Очевидно, что при равномерном безостановочном и безманевровом движении внутренняя (вредная) энергия минимальна и обусловлена только особенностями дороги, а не самим потоком. В то же время, когда имеют место постоянные рывки, торможения, остановки и разгоны, кинетическая энергия невелика, а внутренняя, наоборот, составляет большую часть суммарной энергии. Используя этот подход, Д. Дрю построил энергетическую модель, показанную на рис. 3.26.

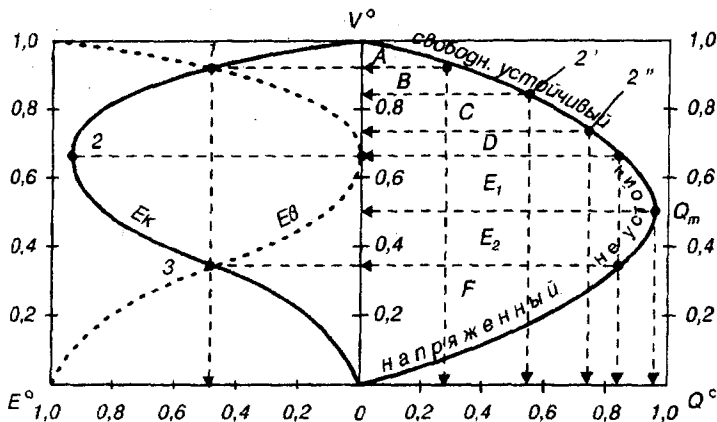


Рис. 3.26. Энергетическая модель ТП (по Д. Дрю) [9]

На графике по оси ординат отложена нормированная скорость

$$V^o = \frac{V}{V_f}$$

По оси абсцисс в правой части графика отложена нормированная интенсивность

$$Q^o = \frac{Q}{Q_m}$$

а в левой части – нормированная энергия

$$E_k^o = \frac{E_k}{E}; \quad E_b^o = \frac{E_b}{E}$$

По существу, в правой части графика изображена зависимость «нормированная интенсивность – нормированная скорость», а в левой части – зависимость «нормированная энергия – нормированная скорость». Решением уравнения нормированных энергий, интенсивности и оптимальной скорости (основанной на максимизации полезной энергии E_k и минимизации вредной энергии E_v) были получены характерные точки, позволяющие довольно четко классифицировать состояние потока на отдельные уровни обслуживания.

В табл. 3.4 приведены некоторые численные значения параметров V° и Q° , соответствующие принятым уровням обслуживания, а также значения V , Q и ρ при условии, что $V_f = 110$ км/ч; $Q_m = 2000$ авт/ч и $\rho_m = 100$ авт/км.

Таблица 3.4

Уровни обслуживания и параметры ТП [9]

Тип потока	Уровень обслуживания	ρ , авт/км	V°	Q°	V , км/ч	Q , авт/ч
Свободный	A	0-6	1,00-0,91	0-0,35	110-100	0-700
Устойчивый	B	6-12	0,83	0,55	91	1100
	C	12-20	0,75	0,75	82	1500
	D	20-30	0,67	0,89	74	1780
Неустойчивый	E_1	30-37	0,50	1,00	55	2000
	E_2	37-45	0,33	0,89	36	1780
Напряженный	F	45-100	0,33-0	0,89-0	36-0	1780-0

Из таблицы видно, что с точки зрения минимизации энергетических потерь наиболее выгодным является уровень обслуживания D ($V_m \approx 75$ км/ч, $Q_m \approx 1750$ авт/ч и $\rho_m \approx 20-30$ авт/км). Однако по ряду причин, в первую очередь из-за утомляемости, водители неохотно соглашались на этот уровень обслуживания, предпочитая ему уровни C или B. Более подробно об этом будет сказано в подразделе 3.8.

Микромоделли ТП. Теория следования за лидером применима в основном в плотном потоке без обгонов и рассматривает взаимодействие двух соседних автомобилей, один из которых (первый) является лидером, а второй – ведомым. Установлено, что взаимодействие между ведомым и лидером начинается приблизительно с

интервала $T = 9$ с за городом и $T = 6$ с – в городе. Водитель ведомого автомобиля отслеживает свое положение по отношению к лидеру и реагирует на основные возмущения – изменение характера движения лидера. Основная реакция на возмущение – изменение ускорения ведомого автомобиля. Поскольку эта реакция происходит не мгновенно, а с некоторым сдвигом (запаздыванием), то ускорения или замедления ведомого автомобиля могут быть существенно выше, чем у лидера. А поскольку каждый ведомый, за исключением последнего в пачке или колонне*, является одновременно лидером для последующего ведомого, то возмущения распространяются вдоль потока и могут либо затухать, либо усиливаться, создавая «рваный» режим движения, заторы и конфликтные ситуации.

Теория следования за лидером достаточно подробно изложена в литературе, например, в работах [9, 26]. Здесь же будет приведена упрощенная линейная модель следования за лидером, которая позволит получить самое общее представление о микроскопическом подходе к исследованию ТП.

Принято считать, что основным стимулом для изменения параметров движения ведомого автомобиля является изменение скорости движения лидера. Реакция (чаще всего – изменение ускорения ведомого автомобиля) прямо пропорциональна разности скоростей лидера и ведомого и обратно пропорциональна расстоянию между ними:

$$a_2(t + \tau) = \frac{K_1}{S_{12t}}(v_{1t} - v_{2t}), \text{ м/с}^2,$$

где a_2 – ускорение ведомого автомобиля в момент времени $t + \tau$, м/с^2 ;

S_{12t} – расстояние между автомобилями в момент времени t , м;

V_{1t} – скорость лидера в момент времени t , м/с ;

V_{2t} – скорость ведомого в момент времени t , м/с ;

t – текущее время, с;

τ – время реакции водителя ведомого автомобиля; чаще всего принимают $\tau = 1$ с, но возможно и до 2,2 с [1];

K_1 – коэффициент пропорциональности, имеющий размерность скорости.

* Представляется, что колонна – это большая пространственная группа, чем пачка, более организованная, стабильная, долговременная.

В работе [18] приводятся следующие значения коэффициента K :
легковые – 7,7 м/с;
грузовые – 6,4 м/с;
автобусы – 5,9 м/с;
автопоезда – 4,4 м/с.

Поскольку эти значения численно равны максимальному замедлению указанных типов автомобилей, то, очевидно, они характеризуют наибольшее возможное изменение скорости лидера за время $\tau = 1$ с.

3.7. Интервалы движения

Интервалы движения играют важную роль в управлении дорожным движением. Они используются для расчетов и моделирования при исследовании маневров, конфликтов и светофорного регулирования, а также при определении численных значений задержек и остановок транспорта, пропускной способности и т. д. Различают интервалы временные и пространственные.

Пространственный интервал – это расстояние между одноименными (задними) габаритными точками движущихся друг за другом ТС. Он представляет собой величину, обратную плотности:

$$L = \frac{1000}{\rho}, \text{ м,}$$

где L – пространственный интервал, м;

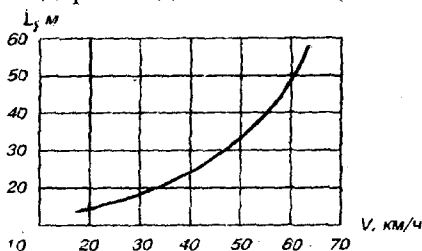
ρ – плотность, авт /км.

Пространственный интервал дает водителю движущегося автомобиля представление о своей безопасности при возможном взаимодействии с идущим впереди ТС. Для второстепенных конфликтующих участников (водителей и пешеходов) он совместно со СД главного конфликтующего участника дает представление об имеющихся возможностях для совершения конфликтного маневра, например, пересечения или перехода проезжей части.

Таким образом, пространственный интервал позволяет участникам движения оценивать свое положение и безопасность как при обычном, бесконфликтном движении, так и при намерении совершить конфликтный маневр. Однако в практике расчетов он не играет заметной роли, поскольку сильно зависит от скорости движения (рис. 3.27).

Несравненно большую роль играет *временной интервал* – время прохождения через данное сечение дороги одноименных (задних) габаритных точек движущихся друг за другом ТС. Он представляет собой величину, обратную интенсивности:

$$T = \frac{1}{q}, \text{ с}; \quad T = \frac{3600}{Q}, \text{ с},$$



где T – интервал времени, с;
 q – ИД, авт /с ;
 Q – ИД, авт /ч.

Рис. 3.27. Зависимость пространственного интервала между автомобилями от СД [26]

Величина T включает в себя одновременно и пространственный интервал L , и скорость движения V , поэтому она относительно стабильна и очень удобна для расчетов. В принципе, когда водитель или пешеход оценивает свои возможности при совершении маневра, он, определяя расстояние до главного конфликтующего участника и его скорость, решает все-таки временную задачу, отвечая на вопрос: успею или не успею. Поэтому можно утверждать, что оценка участниками движения своей безопасности в конечном счете производится по временным интервалам.

Поскольку в дальнейшем будут рассматриваться в основном временные интервалы, слово «временной» будет опускаться. Поэтому в понятие «интервал» будет вкладываться смысл «интервал времени». Если же речь будет идти о пространственном интервале, то это будет специально оговариваться.

Распределение интервалов. На распределение интервалов в ТП оказывает влияние то обстоятельство, что водитель заднего автомобиля (ведомый) сближается с передним (лидером) только до такого расстояния, которое он считает безопасным. Если скорость лидера его устраивает, установившийся интервал может существовать довольно долго; если нет, «ведомый» водитель при первой же возможности совершит маневр обгона или смены полосы. Поэтому большинство интервалов группируется около некоторого среднего «безопасного» интервала, при этом интервалы, большие, чем «средний безопасный», встречаются значительно чаще, чем меньшие. Известно несколько законов статистических распределений, близких по харак-

теру к реальному распределению интервалов, однако наибольшее признание из них получило экспоненциальное распределение.

Заметим, что при очень малых ИД, когда взаимодействие между автомобилями в потоке незначительно (оно начинается приблизительно с интервалов порядка 9 с), распределение интервалов практически не подчиняется никакому закону и носит случайный характер. При очень больших ИД, когда все водители вынуждены поддерживать минимальную дистанцию, распределение интервалов близко к равномерному. Кроме того, на характер распределения интервалов в ТП влияет ряд внешних факторов, таких как ограничения скорости и обгона, близко расположенные регулируемые перекрестки или въезды-выезды с магистрали.

Поэтому утверждение, что распределение интервалов строго подчиняется какому-то одному закону, является, во-первых, весьма условным, и, во-вторых, имеет довольно ограниченную область применения – в пределах, как представляется, от 150 до 1000 авт/ч на одной полосе движения. Заметим, что распределение интервалов движения на многополосной дороге, в принципе, подчиняется тем же закономерностям, только с несколько иными пределами.

Принято допущение, что распределение интервалов в ТП, не подверженное сильному деформированию от воздействия внешних факторов, подчиняется экспоненциальному закону. Экспоненциальное распределение, в свою очередь, является частным случаем более общего, пуассоновского распределения, которое описывается формулой

$$P(n/qT) = \frac{(qT)^n}{n!} \cdot e^{-qT},$$

где $P(n/qT)$ – вероятность появления n событий (автомобилей) в потоке q за время T ;

q – ИД, авт /с;

T – интервал времени;

e – основание натурального логарифма.

Если принять $n = 0$, т.е. исследовать вероятность не появления автомобиля за время T или, иначе, вероятность появления интервала, не меньшего T , то формула примет следующий вид:

$$P(0/qT) = \frac{(qT)^0}{0!} \cdot e^{-qT} = e^{-qT} \quad \text{или} \quad P(T) = e^{-qT}.$$

Экспоненциальное распределение интервалов, возможно, и уступает по точности другим распределениям, например, Пирсона или Эрланга [12], однако очень удобно и поэтому весьма популярно.

На рис. 3.28 показано Пуассоновское распределение вероятности появления двух автомобилей ($n = 2$) и экспоненциальное распределение вероятности появления интервалов ($n = 0$) в потоке $q = 0,2$ авт/с.

На рис. 3.29,а показано распределение интервалов в загордном потоке $Q = 400$ авт/ч, а на рис. 3.29,б более подробно показана левая часть этого распределения в пределах $0 \leq T \leq 9$ с. Напомним, что модальное значение, или мода, — это абсцисса наиболее часто встречающегося значения; медиана — это абсцисса, делящая площадь под кривой распределения пополам, а математическое ожидание, или средневзвешенное значение, делит пополам моменты инерции площади под кривой.

Согласно данным [20], модальное значение интервала в рассматриваемом транспорт-

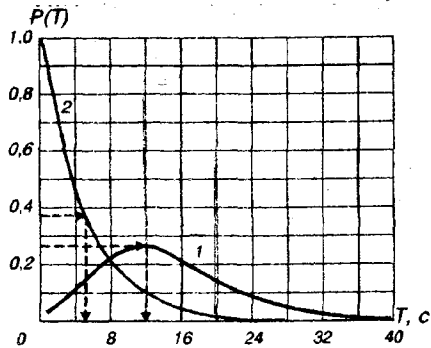


Рис. 3.28. Распределение Пуассона для потока $q = 0,2$ авт/с:

1 — распределение вероятности появления двух ($n = 2$) автомобилей в данных интервалах T ; 2 — распределение вероятности интервалов T (непоявления автомобиля $n = 0$), т.е. экспоненциальное распределение (стрелками показаны средние значения — математические ожидания распределений)

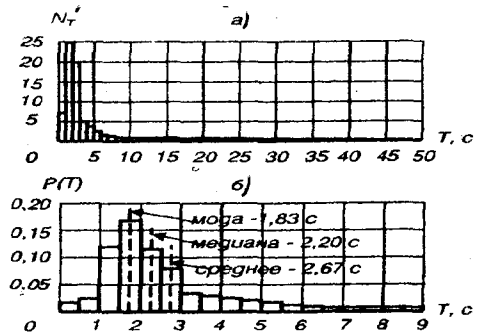


Рис. 3.29. Распределение интервалов в потоке 400 авт./ч на двухполосной дороге [20]: а — общий вид распределения; б — левая часть распределения; N_T — число интервалов; $P(T)$ — вероятность появления интервала

ном потоке близко к $T = 1,8$ с, медиана $T = 2,2$ с; математическое ожидание (до $T \leq 9$ с) $T = 2,7$ с.

Приняв допущение, что распределение интервалов в транспортном потоке подчиняется Пуассоновскому (или любому другому) закону, можно рассчитать вероятность появления любого интервала в потоке любой интенсивности, что позволяет производить детальные расчеты задержек и конфликтного маневрирования.

На рис. 3.30 показано распределение интервалов для одной полосы движения в двухполосном (двухстороннем) потоке. Как видно из рисунка, вероятность появления, например, интервала $T = 2 - 3$ с при $Q = 500$ авт/ч определяется как разность между вероятностью появления интервалов до 3 с (0,55) и вероятностью появления интервалов до 2 с (0,35).

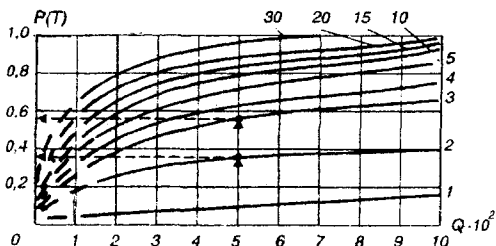


Рис. 3.30. Распределение интервалов на полосе двухполосной дороги [1] (цифры на кривых указывают величину интервала; стрелками показано определение вероятности появления интервала от 2 до 3 с в потоке 500 авт/ч; пунктирными линиями показаны теоретические кривые в области малых значений ИД)

3.8. Состояние транспортного потока

Внешних параметров транспортного потока – интенсивности движения, состава и плотности потока, скорости движения – явно недостаточно для полной его характеристики, поскольку не раскрывается внутреннее состояние этого потока. Например, два приблизительно одинаковых по интенсивности потока движутся по двум разным трехполосным (в одном направлении) улицам: один – по магистрали непрерывного движения с ограниченной скоростью, а другой – по магистрали регулируемого движения. Или оба движутся по магистрали регулируемого движения, но один из них идеально скоординирован при небольшой средней скорости, а другой при высокой разрешенной скорости вынужден останавливаться чуть ли не на каждом втором перекрестке. Или один без помех использует все три полосы для прямого движения, а другой все время имеет дело с запаркованными или поворотными автомобилями, и т.д. Ясно, что эти, в общем-

то одинаковые потоки по-разному будут соотноситься, например, с расходом топлива или экологическим загрязнением, с утомляемостью водителей и аварийностью, с экономическими потерями или коэффициентом использования имеющейся УДС. Поэтому очевидна потребность в оценке и классификации качества транспортного потока, заданного только внешними параметрами.

Имеется несколько подходов к состоянию или качеству ТП. Например, государство в лице управленческих структур заинтересовано в первую очередь в том, чтобы экономические потери были минимальными, а использование УДС – максимальным. С точки зрения водителя, наибольший интерес представляет удобство движения и средняя скорость. С точки зрения экологии представляет интерес режим движения и расход топлива, с точки зрения безопасности – минимальное количество конфликтных ситуаций и способность избежать аварий при опасности их возникновения. Очевидно, имеются и другие стороны, предъявляющие к транспортному потоку свои специфические требования.

На сегодняшний день не удалось выработать единого, универсального оценочного критерия состояния или качества ТП, поэтому используются различные, часто не связанные между собой или малосвязанные характеристики, например, загрузка полосы движением, скорость сообщения, энергетические характеристики, уровень обслуживания.

Загрузка движением. Различают два довольно близких понятия: «транспортная нагрузка» и «загрузка движением». В первом случае речь идет об абсолютной нагрузке, абсолютной величине ИД, приходящейся на полосу или иной объект. Во втором случае речь идет об относительной нагрузке, т.е. нормированной ИД (по отношению к максимальной).

Загрузка движением оценивается двумя показателями – нормированной ИД и коэффициентом загрузки полосы движением:

$$Q^o = \frac{Q}{Q_m}; \quad X = \frac{Q}{\lambda \cdot Q_H},$$

где Q^o – нормированная ИД;

Q – текущая ИД;

Q_m – максимальная ИД;

X – коэффициент загрузки полосы движением;

λ – доля ЗС в цикле;

Q_n – поток насыщения.

Строго говоря, с помощью нормированной ИД должна оцениваться загрузка полосы в нерегулируемых условиях, а с помощью коэффициента загрузки полосы – в регулируемых. Однако по ряду причин термин «коэффициент загрузки полосы движением» получил более широкое распространение, приобрел более универсальный характер и стал применяться как для регулируемых, так и для нерегулируемых условий. В последнем случае можно записать

$$X_{\text{нер}} = Q^o = \frac{Q}{Q_m}.$$

Численные значения максимальной ИД сильно зависят от дорожных условий и некоторых параметров транспортного потока и для каждого конкретного случая определяются отдельно. Для эталонных условий (см. рис. 3.22) принято $Q_m = 2000$ авт/ч.

Необходимо отметить, что довольно часто в литературе встречается нормирование не по максимальной ИД, а по пропускной способности, что иногда приводит к путанице и ошибкам. Между понятиями максимальной ИД и пропускной способностью имеются существенные различия даже для отдельной полосы движения, не говоря уже о сложных объектах. Понятие «*максимальная ИД*» относится к транспортному потоку и характеризует его предельное состояние, при котором интенсивность движения достигает максимального значения и при этом еще сохраняется линейная безопасность, исключая попутные столкновения. Именно с этим предельным состоянием и сопоставляется состояние исследуемого потока, который, как правило, имеет меньшую интенсивность движения.

Понятие «*пропускная способность*» относится к объекту или элементарному участку УДС и характеризует наибольшую интенсивность движения, допустимую по некоторой совокупности условий. Чаще всего допустимость определяется по комплексному критерию – уровню обслуживания, однако иногда, например, на скоростных дорогах, – по допустимой скорости или, например, на двухполосных дорогах, – по возможности реализации нагрузки и т.д.

Пропускная способность – более долговременная характеристика, которая в сопоставимых случаях почти всегда меньше максимальной интенсивности движения. Нормирование по пропускной способности характеризует не столько состояние транспортного потока, сколько степень использования пропускной способности участка или объекта УДС. Поэтому оценка состояния потока при нормировании по пропускной способности, равно как и оценка степени использования пропускной способности при нормировании по максимальной ИД, может привести к ошибкам и искажениям. Укажем, что для отдельной полосы движения на эталонном участке дороги в качестве расчетной в данной работе принята пропускная способность, равная $Q_c = 1800$ авт/ч.

Загрузка движением – довольно емкий и разносторонний показатель. Во-первых, она характеризует уровень обслуживания на данном участке, который связан со многими параметрами и в первую очередь с удобством работы водителей. Считается, что при загрузке $X \geq 0,6$ в случае отсутствия действенной координации наступает резкое ухудшение условий движения и водители крайне неохотно принимают такие условия.

Во-вторых, загрузка довольно четко определяет величину удельных потерь от издержек. Установлено, что при загрузке $X \geq 0,6$ в случае отсутствия координации резко увеличиваются все виды потерь, включая аварийные и экологические.

В-третьих, загрузка характеризует степень использования УДС, ее возможные резервы и узкие места, ее способность или неспособность воспринимать дополнительные нагрузки. В этом плане предельной считается загрузка в пределах $X = 0,8 \dots 0,85$, и в случаях превышения этого уровня необходимо искать возможные решения перераспределения потоков по сети или реконструкции УДС.

Итак, загрузка движением является важным оценочным критерием состояния ТП и широко применяется в управлении дорожным движением. По согласованному мнению, оптимальные значения коэффициента загрузки для некоординированных потоков находятся ниже величины 0,6, а допустимые не превышают 0,85.

Скорость сообщения V_c или обратная ей величина – продолжительность поездки t_c – укрупненный показатель качества движения. Очевидно, чем выше эта скорость, тем больше производительность,

выше удобства и ниже аварийность. В принципе, в больших системах так оно и есть. Например, на загородных дорогах высокого класса, где скорость сообщения в несколько раз выше, чем, например, на городской магистрали регулируемого движения (МРД), лучше и производительность, и удобства, и безопасность. То же самое можно сказать и при сравнении двух соизмеримых по величине систем, – например, тех же МРД в городе. Ясно, что качество движения в целом лучше там, где выше скорость сообщения.

Однако у этого показателя есть существенный недостаток: он слабо реагирует на малочисленные, но резкие ухудшения условий на отдельных участках УДС. На рис. 3.31 видно, что при одинаковых скоростях сообщения условия движения далеко не одинаковы. Более того, возможны случаи, когда повышение V_c на несколько километров в час приносит экономии в народнохозяйственном

плане, но водители этого не замечают или даже остаются недовольными, потому что им, например, приходится делать большее число остановок, тогда как раньше остановок было меньше, хотя они и были более продолжительными.

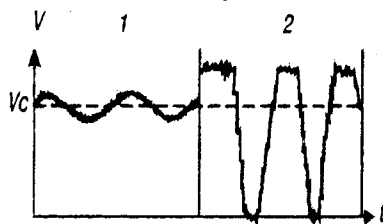


Рис. 3.31. Различие в условиях движения при одинаковой скорости сообщения на участках 1 и 2

Скорость сообщения также не очень хорошо оценивает качество движения на коротких отрезках УДС. Для этих целей более подходит нормированная скорость V^o :

$$V^o = \frac{V}{V_f},$$

где V – текущая средняя скорость;

V_f – скорость свободного движения.

Принято считать, что нормированная скорость $V^o \geq 0,75$ является приемлемой как для городских, так и для загородных условий. При этом, однако, если в городских условиях водитель еще допускает скорость $V^o \geq 0,67$, то на загородных дорогах он предпочитает скорость не ниже $V^o \geq 0,83$.

Таким образом, скорость сообщения V_c является признанным критерием оценки качества транспортного потока для относительно крупных участков УДС или транспортных систем, однако она слабо подходит для оценки качества транспортного потока на коротких участках. Для этих целей больше подходит нормированная скорость движения V^o .

Энергетические критерии. Известно, что водители оценивают качество движения в основном по скорости и равномерности. Особенно они не любят остановок: многие предпочитают более медленное, но безостановочное движение. Это вполне объяснимо, если учитывать ту физическую и психическую работу, которую выполняет водитель при каждой остановке: торможение, остановка, трогание с места, разгон; работа тормозами, сцеплением, рычагом переключения, педалью газа; отслеживание положения переднего автомобиля, оборотов двигателя, работы газа и одновременно сцепления для плавного трогания, темпа разгона и т. д. Поэтому многими исследователями предлагались различные формулы качества транспортного потока, в которые последовательно вводились средняя скорость, величина и количество ее отклонений, частота сброса газа, частота переключения передач и торможения и т. д. Ясно, что был нужен какой-то один комплексный критерий, который бы объединял все названные и некоторые другие показатели.

Такой критерий был найден при энергетическом подходе к транспортному потоку, где качество потока оценивается по величине внутренней энергии, затрачиваемой на бесполезную работу (в основном на торможения и разгоны): чем меньше внутренняя энергия, тем выше качество транспортного потока. В качестве непосредственного оценочного параметра было принято среднее квадратическое отклонение ускорения σ_a , или *шум ускорения* (по аналогии с шумами радио- или видеосигналов, вызывающими помехи):

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{(\Delta v)^2}{t} \sum_0^T \frac{n^2}{\Delta t} - \left(\frac{v_t - v_0}{t} \right)^2}$$

где Δv — изменение скорости на некоторую заданную величину, например, 1 м/с;

Δt – отрезок времени, в течение которого происходило данное изменение скорости ΔV , с;

t – продолжительность измерения, с;

n – число зафиксированных изменений скорости;

v_0 – скорость на входе в исследуемый участок, м/с;

v_1 – скорость на выходе из участка, м/с.

Величина σ_a хорошо рассчитывается по непрерывной записи скорости и легко поддается автоматизированному измерению и обработке.

Поскольку практически все маневры сопровождаются изменением скорости, шум ускорения чутко реагирует на любое маневрирование.

На рис. 3.32 показаны распределения ускорений при равномерном и неравномерном движении, – видно, что при неравномерном движении шум ускорения (о чем можно зрительно судить по ширине распределения) намного больше.

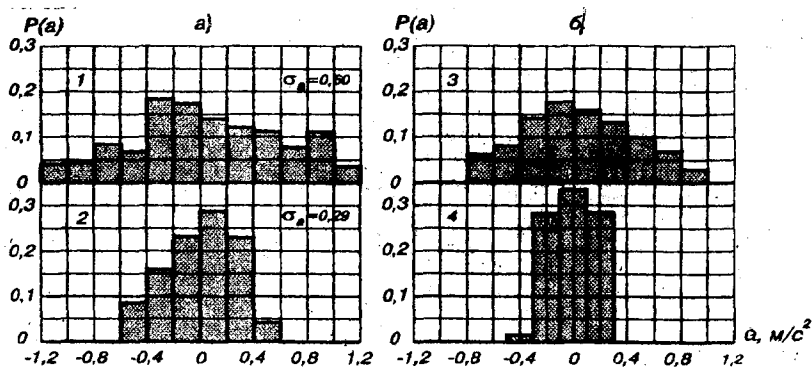


Рис. 3.32. Распределение ускорений:

- а – в различных дорожных условиях [19]; 1 – нестабильный режим; 2 – стабильный режим. б – у различных водителей [27]; 3 – неопытный водитель; 4 – опытный водитель

Кроме объективных, внешних условий шум ускорения хорошо характеризует и стиль вождения в одних и тех же условиях. У спокойного, рассудительного и хорошо читающего дорогу водителя величина σ_a будет существенно меньше, чем у импульсивного или плохо читающего дорогу. Величина σ_a также характеризует и саму дорогу, поскольку даже при полном отсутствии взаимодействия ТС при движении по ней все равно будет какой-то шум ускорения –

подъемы, спуски, повороты, торможение из-за плохой видимости и покрытия и т.д. Такой шум ускорения называют естественным – по нему можно хорошо оценивать дорогу в сравнении с другими или, например, после реконструкции.

Шум ускорения реагирует на нагрузку дороги – чем она выше, тем больше σ_a . На рис. 3.33 показана зависимость $\sigma_a = F(Q)$, по которой можно приблизительно оценить и естественный шум ускорения дороги.

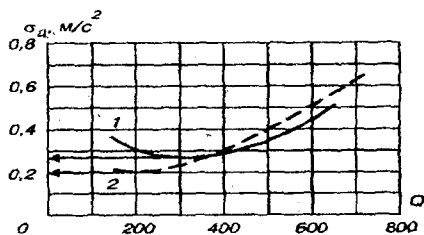


Рис. 3.33. Зависимость шума ускорения (σ_a) от ИД:

1 – по данным [20]; 2 – по данным [15]. (стрелками показаны значения шума ускорения собственно дороги (естественного шума ускорения) для обеих кривых)

В отношении численных значений σ_a и соответствующей классификации условий движения имеются известные сложности, связанные с относительной нераспространенностью этого метода и отсутствием достаточных статистических данных.

В работе [15] приводится следующая классификация условий движения:

$\sigma_a < 0,2 \text{ м/с}^2$ – благоприятные;

$\sigma_a = 0,2 - 0,45 \text{ м/с}^2$ – удовлетворительные;

$\sigma_a > 0,45 \text{ м/с}^2$ – сложные.

В работе [9] показано, что при одиночном движении по идеальной дороге (на испытательном полигоне фирмы «Дженерал Моторс») шум ускорения составлял около $0,1 \text{ м/с}^2$. Аналогичные исследования на других дорогах дали значения $\sigma_a = 0,22 \text{ м/с}^2$ и даже больше. Поэтому приведенной классификацией следует пользоваться с осторожностью.

Шум ускорения, однако, не учитывает продолжительности задержек ТП у светофора или в заторовых ситуациях, поскольку здесь изменение скорости равно нулю. В результате может оказаться, что чем больше задержка, тем лучше условия движения. Поэтому шум ускорения применим в основном для загородных дорог или городских магистралей непрерывного движения.

Для городских магистралей регулируемого движения качество движения предложено оценивать по *градиенту скорости*:

$$G_v = \frac{\sigma_a}{v_c}, \text{ 1/с.}$$

Оказалось, что градиент скорости в дополнение к шуму ускорения довольно хорошо реагирует на задержку движения и вполне удовлетворительно оценивает качество движения как на загородных дорогах, так и на городских улицах. Разработана классификация, согласно которой по величине G_v условия движения делятся на 3 категории:

$G_v < 0,05 \text{ 1/с}$ – благоприятные;

$G_v = 0,05 - 0,1 \text{ 1/с}$ – удовлетворительные;

$G_v > 0,1 \text{ 1/с}$ – сложные.

Однако и градиент скорости обладает рядом недостатков, важнейшим из которых является то, что он не различает, при какой абсолютной скорости происходят ее изменения, что очень сильно сказывается

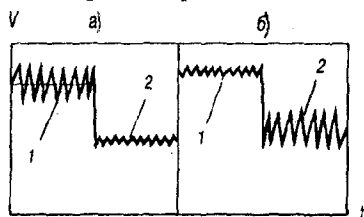


Рис. 3.34. Оценка условий движения на двух участках с одинаковыми значениями скорости сообщения, шума ускорения и градиента скорости:

1 – высокоскоростной отрезок; 2 – малоскоростной отрезок; а – сложные условия на высокоскоростном отрезке; б – сложные условия на малоскоростном отрезке

Ясно, что условия движения на втором участке намного хуже и опаснее, хотя градиент скорости на это не реагирует.

Чтобы устранить этот недостаток, предложен еще один оценочный критерий – *градиент энергии*:

$$G_E = \frac{\sigma_E}{v_c}, \text{ м/с}^2,$$

где σ_E – шум энергии,

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{1}{n} \sum [a \cdot v - (\overline{av})]^2}, \text{ м}^2/\text{с}^3,$$

где a и v – текущее значение ускорения и скорости в данной точке;

\overline{av} – среднее значение произведения ускорения и скорости на участке в выборке;

n – число замеров в выборке.

Градиент энергии хорошо реагирует на многие факторы, определяющие качество ТП, в том числе на загрузку и на задержки (рис. 3.35).

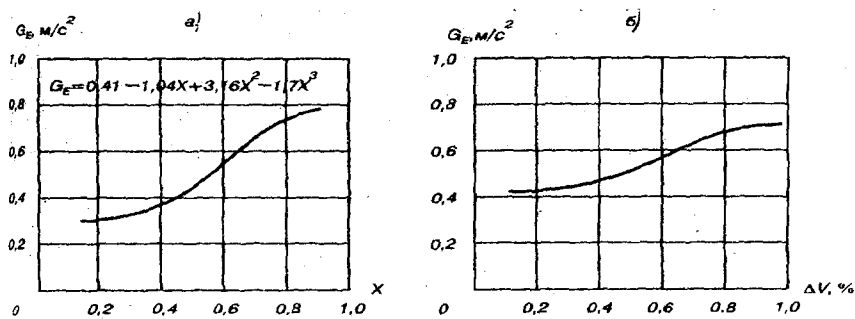


Рис. 3.35. Зависимость градиента энергии от коэффициента загрузки полосы (а) и продолжительности задержек (б):

Δv – относительное снижение СД (по данным МАДИ)

Предложена классификация условий движения по величине градиента энергии:

$G_E < 0,3 \text{ м/с}^2$ – благоприятные;

$G_E < 0,3 - 0,55 \text{ м/с}^2$ – удовлетворительные;

$G_E > 0,55 \text{ м/с}^2$ – сложные.

При экспериментальном определении значений G_E авторы [19] рекомендуют принимать шаг квантования $\Delta t = 1 \dots 3$ с, отдавая предпочтение шагу $\Delta t = 2$ с.

Таким образом, энергетические критерии – шум ускорения, градиент скорости и градиент энергии – позволяют оценить неравномерность движения. Они учитывают такие показатели, как количе-

ство и темп изменения скорости, абсолютную величину скорости, на которой происходит ее изменение, продолжительность задержек и т. д., а также позволяют не только оценивать качество движения в целом, но и выделить из него составляющие, определяемые характеристикой дороги или характеристиками данного водителя. Однако энергетические критерии не получили пока широкого распространения в практике организации дорожного движения, что объясняется, по-видимому, недостаточной проработкой классификации и относительной трудностью получения исходных данных.

Уровень обслуживания, предложенный Д. Дрю [9], на сегодняшний день является самым универсальным показателем качества движения. Под уровнем обслуживания понимают качественное состояние транспортного потока, при котором устанавливаются характерные условия движения. С ним связаны такие факторы, как скорость движения и продолжительность поездки, прерывание потока, свобода маневра, безопасность движения, комфорт и удобство вождения, затраты на поездку и т. д.

Как видно из приведенного перечня, уровень обслуживания является комплексным показателем, а удобство движения (вождения) – лишь одним из многих факторов. Поэтому попытки переименовать уровень обслуживания в уровень удобства [26] являются неправомерными и неудачными.

Как уже указывалось, предложена классификация качества движения, состоящая из шести уровней обслуживания: А, В, С, D, E, F.

При определении каждого уровня обслуживания следовало бы учитывать все перечисленные факторы, однако на сегодняшний день для этого нет достаточных данных. Поэтому уровни обслуживания определяются только по трем основным показателям: плотности потока ρ , нормированной скорости v^0 и нормированной интенсивности Q^0 . Происхождение границ между уровнями обслуживания и численные значения показателей рассмотрены ранее. Хотелось бы отметить, что приведенные границы не являются категоричными, весьма условны, и вблизи них состояние потока может в равной мере принадлежать и одному и другому уровню (см. рис. 3.21).

Приведем краткую характеристику уровней обслуживания.

Уровень обслуживания А характеризует движение свободного потока автомобилей, где практически отсутствуют взаимные поме-

хи и обгоны и нет движения плотных пачек автомобилей. Скорость движения практически не ограничена ($v^0 \geq 0,91$) и выбирается по желанию водителя, разумеется, в пределах общепринятых ограничений. Такой уровень обслуживания характерен для загородных дорог при отсутствии сколько-нибудь значительной нагрузки, например, ранним утром. Заметим, что поскольку плотность потока очень мала (не превышает 6 – 7 авт/км), то, несмотря на высокую скорость, величина транспортной работы также невелика ($Q^0 \leq 0,35$) и суммарные народнохозяйственные затраты на поддержание этого уровня оказываются высокими. Кроме того, из-за очень высокой скорости возможны аварии с тяжелыми последствиями.

Уровень обслуживания В характеризует движение стабильного транспортного потока, где, однако, наблюдается значительное количество обгонов и скорость иногда приходится ограничивать ($0,91 \geq v^0 \geq 0,83$). Плотность движения увеличивается до 12 авт/км, появляются отдельные пачки автомобилей, возникают первые, пока еще незначительные ограничения при маневрировании. Такой уровень обслуживания можно считать типичным для загородных дорог высокого класса, а затраты на его поддержание остаются довольно высокими ($0,55 \geq Q^0 \geq 0,35$).

Уровень обслуживания С все еще характеризуется стабильным потоком, но интенсивность движения и плотность таковы, что практически все вынуждены ограничивать скорость ($0,83 \geq v^0 \geq 0,75$). Плотность увеличивается до 20 авт/км, возникают многочисленные пачки автомобилей, заметно ограничивается свобода маневрирования. Этот уровень признается удовлетворительным для проектирования загородных дорог, поскольку более высокие уровни, особенно в часы высокой нагрузки, могут оказываться экономически нецелесообразными ($0,75 \geq Q^0 \geq 0,55$). Для городских магистралей этот уровень признается удовлетворительным большинством водителей, хотя аварийность довольно высокая.

Уровень обслуживания D характеризуется потоком автомобилей, который приближается к нестабильному. Скорость движения характеризуется на приемлемом уровне ($0,75 \geq v^0 \geq 0,67$), но иногда внезапно и резко меняется. Свобода маневрирования и возможность нормальной езды находятся на низком уровне, поскольку движение

происходит в довольно плотных и протяженных пачках, где плотность достигает 30 авт/км. Хотя чисто экономически этот уровень обслуживания является наиболее выгодным ($0,89 \geq Q^0 \geq 0,75$), аварийность при этом очень высока и почти все водители признают его неудовлетворительным, хотя и приемлемым для городских условий.

Уровень обслуживания E делится на два подуровня – *E1* и *E2*.

Верхний подуровень *E1* – это пропускная способность дороги ($0,89 \leq Q^0 \leq 1,00$). Движение нестабильно, скорость постоянно меняется. Небольшое увеличение нагрузки сопровождается значительным снижением скорости ($0,67 \geq v^0 \geq 0,5$), что приводит к образованию очень плотных пачек и практически полностью ограничивает возможности маневра. Плотность потока достигает 37 авт/км, внутри пачек возникают частые конфликты, и аварийность также достигает максимальных значений. Все водители испытывают значительные трудности в управлении автомобилем.

Нижний подуровень *E2* – это переход от неустойчивого потока к напряженному. Плотность движения возрастает до 45 авт/км, появляются заторы, скорость движения еще более уменьшается ($0,33 \leq v^0 \leq 0,5$), снижается производительность. Такое плотное движение долго не может продолжаться и переходит либо в подуровень *E1*, либо к заторовым ситуациям (уровень *F*).

Уровень обслуживания F характеризует функционирование магистрали при напряженном транспортном потоке, в котором плотность превышает 45 авт/км, скорость и интенсивность часто падают до нуля ($0,33 \geq v^0 \geq 0$) – заторовые ситуации. Движение периодически возобновляется и через некоторое время снова прекращается. Такой уровень обслуживания характерен при перегрузке магистрали и наблюдается в часы пик на подходах к перегруженным светофорным объектам или на въездах на магистрали. Часто его можно наблюдать на въездах в город при переходе загородной дороги в городскую улицу или перед первым светофорным объектом.

Необходимо отметить, что имеются и другие классификации качества ТП, например, по уровню удобства движения [26], которые, однако, не вносят ничего принципиально нового и в ряде случаев содержат неточности и ошибки [7]. Поэтому в дальнейшем будем пользоваться приведенной выше терминологией и классификацией.

4. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕШЕХОДНЫХ ПОТОКОВ

Пешеходные потоки формируются объектами тяготения пешеходов, которыми являются здания и сооружения, транспортно-пешеходные узлы, остановочные пункты МПТ, пешеходные переходы, торговые точки, зоны отдыха и т.д. Формирование людских потоков у объектов тяготения пешеходов подчиняется определенным закономерностям, которые изучаются в градостроительных дисциплинах. В качестве иллюстрации на рис. 4.1 приведены распределения по времени людских потоков у рынка, магазина и учреждения.

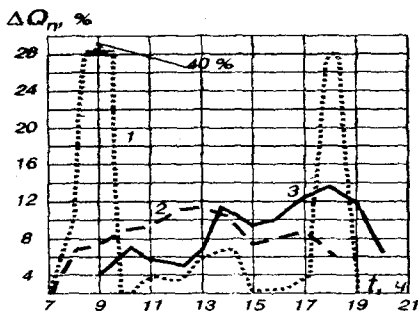


Рис. 4.1. Распределение людских потоков у объектов пешеходного тяготения [4]:
1 - учреждение; 2 - рынок; 3 - продовольственный магазин

Между транспортными и пешеходными потоками имеются значительные различия, обусловленные различными скоростями движения, массой и габаритами автомобилей, уровнем подготовки к движению, последствиями столкновений и т.д. Вместе с тем между ними существует и принципиальное сходство, обусловленное кроме общих физических закономерностей еще и тем, что элементарными частями обоих потоков управляют люди. Поэтому многие процессы, связанные с мотивацией и психофизиологическими возможностями человека, практически аналогичны, что предопределяет аналогичные подходы при изучении обоих потоков.

Ниже будут рассмотрены основные параметры пешеходного потока – интенсивность, скорость, плотность, а также зависимости между ними и состоянием потока.

Интенсивность движения определяется как количество пешеходов, прошедших через поперечное сечение пешеходного пути в единицу времени:

$$Q_n = N_n / t, \text{ чел/ч}; \quad q_n = N_n / t, \text{ чел/с},$$

где Q_n, q_n – интенсивность пешеходного движения;

N_n – количество пешеходов, чел;

t – время измерения, ч, с.

По аналогии с ТП рассматривается интенсивность движения на полосе, при этом ширина полосы принимается равной от 0,75 до 1 м.

Интенсивность движения пешеходов – случайная величина, которая изменяется в пространстве и во времени. Неравномерность в пространстве определяется мощностью и расположением объектов тяготения пешеходов, наличием и характеристикой пешеходных путей и изображается с помощью картограммы или цифрограммы интенсивности.

В зависимости от интенсивности движения пешеходов имеются различные классификации улиц, одна из которых приведена в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Классификация улиц по пешеходному движению [22]

Категория улицы	Максимальная интенсивность движения пешеходов (тыс.чел./ч)		
	городского значения	районного значения	местного значения
Главная	20–25	6–8	–
Торговая	10–11	6–8	–
Деловая	5–6	2–3	–
С общественным транспортом	5–6	2–3	
Прогулочная	7–8	2–3	0,5–1
Жилая	–	–	0,5–1
Промышленная	–	–	0,5–2
Пересадочные узлы	15–20	4–5	–

Временная неравномерность зависит от многих факторов, в первую очередь от количества, мощности и специфики объектов тяготения пешеходов, времени года, периода суток и т.д.

На рис. 4.2 показано типичное распределение ИД по часам суток.

Плотность потока. Под плотностью пешеходного потока понимается количество пешеходов, приходящееся на единицу площади пешеходного пути:

$$\rho_{\Pi} = N_{\Pi} / F_{\Pi}, \text{ чел/м}^2,$$

где F_{Π} – площадь пешеходного пути, м^2 .

Часто используется обратная величина:

$$F_{\Pi} = 1 / \rho_{\Pi} = F_{\Pi} / N_{\Pi}, \text{ м}^2/\text{чел.}$$

Если учитывать, что ширина полосы пешеходного пути приблизительно равна 1 м ($0,75 \leq B_{\Pi} \leq 1$), плотность можно выразить отношением числа людей, приходящихся на 1 погонный метр пешеходного пути:

$$\rho_{\Pi} = N_{\Pi} / L_{\Pi}, \text{ чел/м}; \quad f_{\Pi} = L_{\Pi} / N_{\Pi}, \text{ м/чел.}$$

где L_{Π} – длина полосы, на которой измерено N_{Π} , м.

Плотность имеет широкий диапазон распределения, при этом установлено, что это распределение подчиняется нормальному закону (рис. 4.3). Верхним пределом считается плотность: $\rho_{\Pi \max} \leq 3,4 \text{ чел/м}^2$. Нормальная плотность находится в пределах: $\rho_{\Pi} = 0,5 \text{ чел/м}^2$ или $f_{\Pi} = 2 \text{ м}^2/\text{чел}$. Если принять, что ширина полосы пешеходного пути равна 1 м, то можно записать: $\rho_{\Pi} = 0,5 \text{ чел/м}$ или $f_{\Pi} = 2 \text{ м/чел}$. Отсюда следует, что при нормальном движении интервал между пешеходами примерно равен (несколько больше) 2 м. Изменение плотности во времени аналогично изменению интенсивности.

Состав потока. В пешеходном движении состав потока играет определенную роль, хотя и не имеет такого значения, как в транспортном потоке. Состав пешеходного потока различается по двум характеристикам – размерам занимаемой площади и возрасту. Первый из факторов оказывает влияние на характеристики плотности, – в частности, на ширину полосы пешеходного пути. Ясно, что взрос-

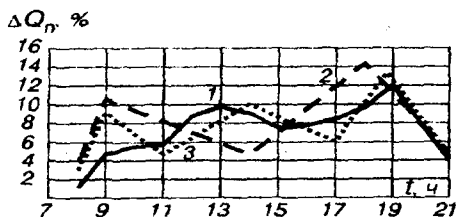


Рис. 4.2. Распределение пешеходных потоков по времени суток [4, 22]:
1 – по данным 50 улиц (по А.Романову); 2 – для периферийных районов г. Москвы; 3 – для центральной части г. Москвы (по данным П. Буга и Ю. Шелкова)

лгий, тепло одетый человек с двумя чемоданами занимает намного большую площадь, чем, например, подросток. Этот фактор необходимо учитывать при организации пешеходного движения в районе вокзалов, рынков, хозяйственных магазинов и т.д.

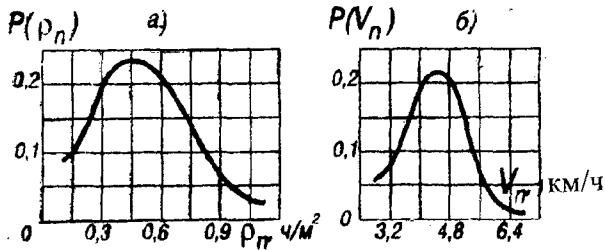


Рис. 4.3. Распределение плотности (а) и скорости (б) пешеходных потоков [22]

Второй фактор оказывает влияние на возможные средние скорости движения пешеходов. Ясно, что пожилые люди, инвалиды и дети имеют меньшую скорость движения, чем, например, молодые мужчины и женщины, и их возможности, особенно при переходе улицы, существенно различны. Этот фактор необходимо учитывать при организации пешеходных переходов, в том числе и при определении продолжительности горения зеленого сигнала для пешеходов.

В табл. 4.2 даны средние размеры пешеходов в плане.

Таблица 4.2

Расчетные средние размеры пешехода [4]

Возраст, одежда, багаж	Ширина, м	Толщина, м	Площадь проекции, $\text{м}^2/\text{чел.}$
Взрослый:			
в летней одежде	0,46	0,28	0,100
в демисезонной одежде	0,48	0,30	0,113
в зимней одежде	0,50	0,32	0,125
с ребенком в руках	0,75	0,48	0,285
с ручным багажом	0,9-1,1	0,75	0,35-0,83
с рюкзаком	0,50	0,80	0,315
с легким свертком	0,75	0,40	0,235
Подросток	0,43-0,38	0,27-0,22	0,09-0,07
Ребенок	0,34-0,30	0,21-0,17	0,06-0,04

Примечание. В табл. 4.2 формой горизонтальной проекции принят эллипс с диаметрами «толщина» и «ширина».

На рис. 4.4 и 4.5 показана зависимость скорости движения от возраста пешеходов и от пути движения.

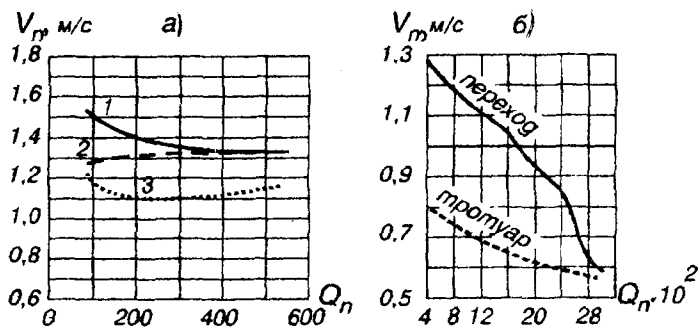


Рис. 4.4. Зависимость СД пешеходов от ИД [12]:
 а - возраст пешеходов: 1-16...25; 2-25...45; 3-старше 45; б - пути движения

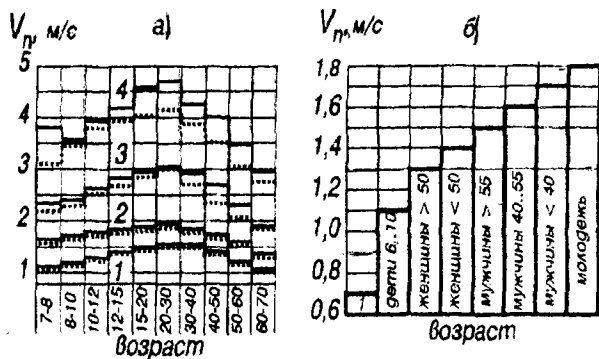


Рис. 4.5. Зависимость СД пешеходов от возраста [4, 12]:
 а - способы движения: 1 - спокойный шаг; 2 - быстрый шаг; 3 - спокойный бег; 4 - быстрый бег; — -мужчины; ... -женщины [12]; б - по данным К. Раймера:
 1 - женщины с маленькими детьми [4]

Необходимо отметить, что учет состава пешеходного потока производится только в специальных задачах на основе процентного содержания тех или иных групп. Какие-либо коэффициенты приведения состава потока не применяются.

Скорость движения (СД). Скорость потока определяется скоростью составляющих его пешеходов. На скорость потока сильное влияние оказывает интенсивность движения и, главное, плотность. Распределение скоростей подчиняется нормальному закону и показано на рис. 4.3.

Минимальные значения скорости наблюдаются у женщин с детьми, инвалидов и пожилых людей – до 1 км/ч, максимальные – у молодых мужчин – до 10 км/ч. При неблагоприятной погоде скорость увеличивается. Утром скорость на 25–30 % выше, а вечером – на 15–20 % ниже среднего значения.

Скорость падает на подъемах, но на спусках почти не увеличивается. При скользком покрытии она падает до 2–3 км/ч. На пешеходном переходе скорость выше, чем на тротуаре (см. рис. 4.4), что, по-видимому, объясняется ощущением повышенной опасности. В общем случае при свободном движении в качестве расчетной принята скорость $v_n = 1,2$ м/с (около 4,4 км/ч) для тротуаров и скорость $v_n = 1,3–1,4$ м/с (около 5 км/ч) – для пешеходных переходов. На рис. 4.6 показано влияние величины встречного потока на СД данного потока. Видно, что чем мощнее встречный поток, тем ниже СД, что объясняется возрастающими затруднениями с обгоном медленно идущих пешеходов.

Зависимости между параметрами пешеходного потока. Между основными параметрами пешеходного потока существуют зависимости, принципиально подобные аналогичным зависимостям транспортного потока. На рис. 4.7 показана зависимость «интенсивность – плотность» (основная диаграмма пешеходного потока). Видно, что максимальная интенсивность может достигать величины $Q_n = 3500$ чел/ч при плотности 1,3 чел/м². Используя формулу, можно определить, что скорость потока в этом случае составит 2,7 км/ч, или 0,75 м/с, что в нормальных условиях неприемлемо. Поэтому в расчетах принимают:

$$Q_n \text{ max} \approx 2000 \text{ чел/ч};$$

$$\rho_n \text{ Qm} \approx 0,5 \text{ чел/м};$$

$$V_n \text{ Qm} \approx 4 \text{ км/ч}.$$

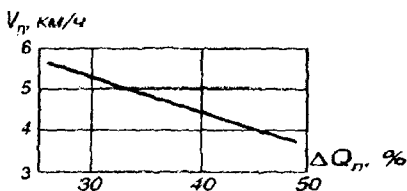


Рис. 4.6. Влияние на СД пешеходов величины встречного потока [22]:
 ΔQ_n – доля встречного потока в общем потоке пешеходов

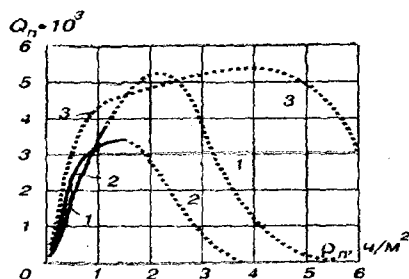


Рис. 4.7. Зависимость интенсивность-плотность для пешеходных потоков: 1 – А. Романов [22]; 2 – TRRL (англ. [12]; 3 – МИСИ (Москва) для аварийных условий [4] (сплошными линиями показаны результаты, достигнутые в нормальных условиях; пунктирными – в особых условиях или расчетные значения)

На рис. 4.8, 4.9 показаны зависимости «скорость-плотность» и «скорость-интенсивность».

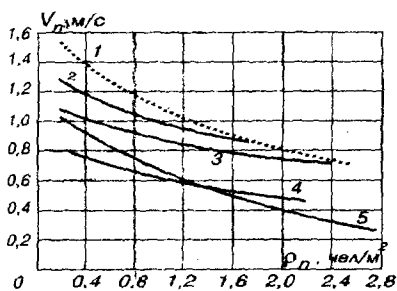


Рис. 4.8. Зависимость СД пешеходов от плотности:

1 – зона промышленного предприятия, утром [4]; 2 – деловая улица; 3 – главная улица; 4 – торговая улица [5]; 5 – по данным TRRL (англ. [12])

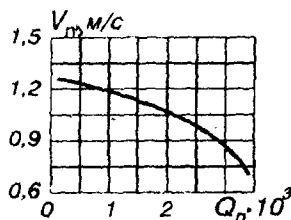


Рис. 4.9. Зависимость СД пешеходов от интенсивности [12]

На рис. 4.10 показана зависимость СД от температуры воздуха и времени суток, а на рис. 4.11 – зависимость СД на переходе от интенсивности движения транспорта и ширины пешеходной части. Видно, что с ростом ИД транспорта и ширины пешеходной части скорость движения пешеходов заметно увеличивается.

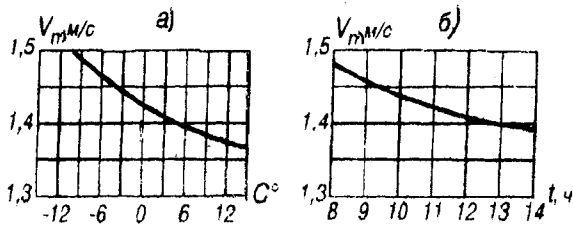


Рис. 4.10. Зависимость СД пешеходов от температуры воздуха (а) и времени суток (б) [5]

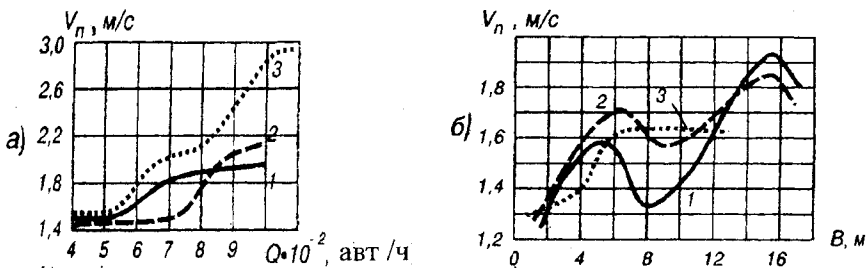


Рис. 4.11. Зависимость СД пешеходов на переходе [5, 12]:

а – от ИД транспорта: 1 – двухстороннее движение, $B = 9$ м; 2 – одностороннее движение, $B = 9$ м; 3 – двухстороннее движение, $B = 14$ м, имеется островок безопасности [12]; б – от ширины ПЧ: 1 – двухстороннее движение независимо от сигналов светофора; 2 – двухстороннее движение на разрешающий сигнал светофора; 3 – одностороннее движение [5]

Состояние пешеходного потока. В зависимости от плотности, скорости и других параметров предложены различные классификации пешеходного потока. В работе [4] в зависимости от плотности (в чел/м²) предложено 5 категорий пешеходного потока (по Г. Шуберту): свободная – до 0,3; терпимая – 0,6; плотная – 1,0; очень плотная – 1,5; давка – свыше 1,5.

В работе [1] предложены уровни обслуживания для пешеходов в зависимости от плотности (в чел/м²): А – до 0,3; В – до 0,4; С – до 0,7; D – до 1,0; Е – до 2,0; F – свыше 2,0.

В работе [22] дана классификация, приведенная в табл. 4.3.

Условия пешеходного движения [22]

$\rho_{п}$ чел./км	$V_{п}$ км/ч	Характер движения
$\leq 0,3$	$\geq 4,5$	Свободный поток пешеходов, при котором возможность выбора скорости не ограничена; обгон осуществляется без затруднений; пешеходы движутся в пределах тротуаров
0,3-0,6	4,4-4,5	Неустойчивый поток; возможность выбора скорости ограничена, обгон осуществляется с затруднениями; движение в пределах тротуара с несчастными (до 3 %) случаями выхода на проезжую часть; ощущаются некоторые неудобства в движении
0,6-1,0	4,1-4,4	Устойчивый поток пешеходов, выбор скорости и обгон затруднительны; ощущаются значительные неудобства в движении; 10-12 % пешеходов движутся по проезжей части вдоль тротуара
1,0	4,0	Плотный поток; скорость движения пешеходов практически одинаковая, обгон невозможен; плотность движения раздражает пешеходов; до 15 % пешеходов движется по проезжей части вдоль тротуара

Как видно из таблицы, все авторы считают приемлемой плотность порядка 0,5 чел./м, что соответствует уровню обслуживания В-С.

Особое значение с точки зрения безопасности имеют характеристики движения пешеходов через проезжую часть. Одной из особенностей является так называемый *предел терпеливого ожидания*, при котором после некоторого ожидания возможности нормального перехода проезжей части пешеход проявляет нетерпение и начинает больше рисковать: он принимает меньший интервал в транспортном потоке и вынужден совершать переход с большей скоростью, избегая наезда автомобиля. Чем больше время ожидания, тем больший риск принимает пешеход, выполняя переход проезжей части уже на пределе своих скоростных возможностей (рис. 4.12). В этом случае малейшая ошибка может привести к тяжелым последствиям, потому что резервы скорости пешехода исчерпаны и избежать коллизии может только водитель, предприняв экстренное торможение.

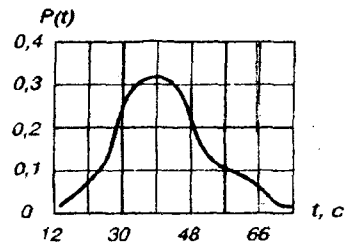


Рис. 4.12. Распределение времени терпеливого ожидания [5]

жение или объезд. Время терпеливого ожидания очень индивидуально и сильно зависит от условий движения, однако, по некоторым данным, этот предел наступает где-то после 1,5-минутного ожидания.

На рис. 4.13 показано формирование группы пешеходов, ожидающих зеленый сигнал на регулируемом переходе (или перекрестке). Видно, что пешеходы «растекаются» вдоль кромки проезжей части, выстраиваясь таким образом, что в очереди на одном пешеходном пути стоят, как правило, не более 3-4 человек.

На рис. 4.14 показано распределение интервалов между пешеходами в потоках разной интенсивности. Видно, что с ростом интенсивности модальное значение интервала T смещается от $T = 2$ с при 200 чел/ч до $T = 1,4$ с при 1000 чел/ч. Видно также, что распределение интервалов весьма близко к Пуассоновскому.

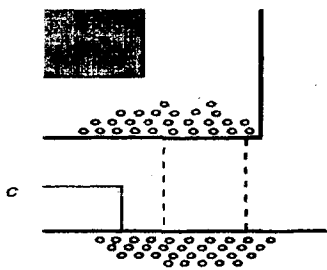


Рис. 4.13. Расположение на тротуаре пешеходов, ожидающих ЗС светофора

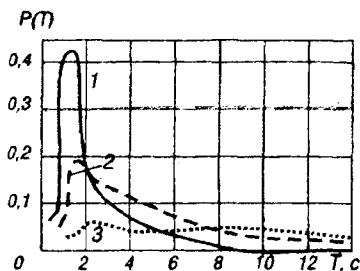


Рис. 4.14. Распределение интервалов между пешеходами [12]:

1 - $Q_n = 1067$; 2 - $Q_n = 610$; 3 - $Q_n = 211$

5. МАНЕВРИРОВАНИЕ

Маневрирование – это существенное изменение скорости и (или) направления движения ТС. Оно может производиться либо в конфликте с другими участниками движения, либо без конфликта. Все маневры, выполняемые в транспортном потоке, являются конфликтными и поэтому всегда опасными. Кроме того, они почти всегда вызывают изменение режима движения ТП, поэтому обязательно сопровождаются экономическими, экологическими и аварийными потерями. Вследствие этого места маневрирования являются основными очагами потерь в дорожном движении.

Чтобы уменьшить потери, маневрирование должно быть сведено к возможному минимуму, а все маневры должны производиться в ожи-

даемых местах, быть заранее подготовленными и выполняться четко и уверенно. При этом другие участники движения должны быть однозначно и заблаговременно – минимум за 3 с – предупреждены о готовящемся маневре. Показывать указателями поворота, кратковременным нажатием на педаль тормоза или иным способом нужно не сам маневр, что почти бесполезно, а намерение совершить маневр, чтобы другие участники имели возможность к нему подготовиться.

Маневры условно можно разделить на простые и сложные. Простые маневры выполняются при изменении одного из параметров движения – скорости или направления, – причем, как правило, однократно. К ним относятся торможение, разгон, опережение, поворот на малой скорости и т.д. К сложным следует отнести маневры, связанные с изменением обоих параметров, иногда многократным, – например, слияние, пересечение, смена полосы движения, обгон, сложная парковка и т.д. На рис 5.1 показаны условные обозначения маневров и конфликтов.

торможение		
остановка		
трогание с места		
разгон		
опережение		
объезд		
поворот		
парковка		
отклонение		
слияние		
пересечение		
переплетение		
смена полосы		
обгон		
конфликты, коллизии	T - T	
	T - П	
	T - Д	

Рис. 5.1. Условные обозначения маневров и конфликтов [7]

Удобным инструментом исследования маневров является условное графическое изображение траектории движения участников на плане дороги, а также изображение траектории участников движения на $t-S$ или $t-v$ диаграммах.

На рис. 5.2 изображены $t-S$ диаграммы маневров разгона, торможения, остановки, опережения; на рис. 5.3 – $t-v$ диаграммы маневров.

Необходимо отметить, что изображение маневров на плане не нормировано, поэтому принятые здесь изображения маневров не являются общепринятыми.

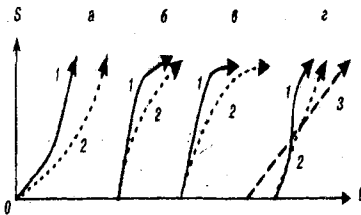


Рис. 5.2. $t-S$ диаграммы простых маневров:

а – разгон; б – торможение; в – остановка; г – опережение; 1 – интенсивный, экстренный характер маневра; 2 – спокойный, служебный характер маневра; 3 – опережаемый автомобиль

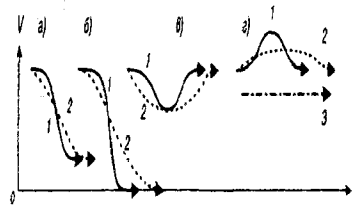


Рис. 5.3. $t-v$ диаграммы простых маневров:

а – торможение; б – остановка; в – поворот; г – опережение; 1 – интенсивный, экстренный характер маневра; 2 – спокойный, служебный характер маневра; 3 – опережаемый автомобиль

При изображении маневров на $t-S$ или $t-v$ диаграмме принято, что если ТС не находятся на одной полосе и не конфликтуют между собой, их траектории изображаются разными видами линий, – например, сплошной и пунктирной. Если же ТС в начале маневра были на одной полосе, а затем одно из них сошло с этой полосы (или наоборот), конфликтная часть траектории обозначается сплошной линией, а бесконфликтная – пунктирной (рис. 5.4, 5.5).

При выполнении бесконфликтных маневров изменение скорости и направления движения может производиться с любым темпом (интенсивностью), если это не угрожает потерей управляемости, что уже рассматривается как самостоятельный конфликт Т–Д. Если маневр заранее подготовлен, выполняется безопасно (хотя это понятие весьма субъективно), имеется значительный резерв для уси-

ления темпов маневрирования, он называется свободным, служебным, плановым. Если же маневр выполняется в условиях дефицита времени, вынужденно, на пределе возможностей, он называется экстренным. Граница между свободными и экстренными маневрами довольно условна, но все же существует и не вызывает больших разногласий. Так, в городских условиях (при $V \approx 60$ км/ч) торможение считается нормальным (служебным), если замедление не превышает величины $2 \dots 3$ м/с²; остановка считается нормальной (плановой), если от момента появления потребности до момента самой остановки проходит не менее 6 с ($T = 6$ с). Здесь временной интервал означает начало взаимодействия между участниками движения и потенциальным препятствием. Можно предположить, что он определяется исходя из возможности служебного торможения при замедлении $a \approx 3$ м/с² и времени реакции водителя $t_p \approx 1$ с:

$$T \approx \frac{v}{a} + t_p \approx 0,33v + 1, \text{ с,}$$

где v – скорость движения, м/с.

Поэтому, например, для загородных условий при скорости движения 90 км/ч, или 25 м/с, взаимодействие начинается примерно за 9 с, а при скорости движения порядка 30 км/ч – примерно за 4 с. Разгон считается нормальным, если ускорение не превышает величины 2 м/с², а объезд или смена полосы, – если поперечные ускорения не превышают величины 1 м/с², т.е., например, смена одной полосы производится не быстрее чем за 3 с.

5.1. Маневры на перекрестке

Отклонение – наиболее простой и безопасный маневр. На рис. 5.4 на t – S диаграмме и на плане показан маневр отклонения.

С одной полосы осуществляется одновременно прямое и поворотное движение. Автомобиль 1 проследовал через перекресток прямо; автомобиль 2, притормозив, отклоняется в боковую улицу. Поскольку интервал 3–2 сокращается, автомобиль 3 вынужден начать торможение, чтобы избежать столкновения с автомобилем 2. Автомобиль 4, оценив ситуацию, слегка притормаживает. Интенсивность

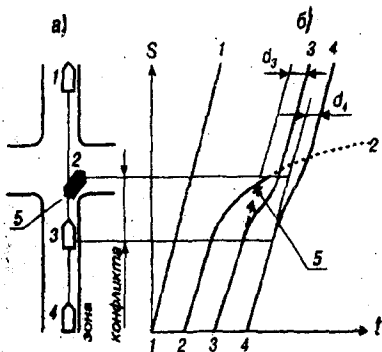


Рис. 5.4. Маневр отклонения [20]: а – план; б – t - S диаграмма; 1, 3, 4 – транзитные автомобили; 2 – поворотный автомобиль; 1-1...4-4 – траектории движения; 5 – возможная точка столкновения; d_3 , d_4 – задержки автомобилей

вило, она возникает только на одной полосе движения, с которой осуществляется маневр. Однако возможны случаи распространения конфликта и на другие полосы, – например, из-за заноса при торможении или вынужденной смены полосы движения автомобилем 3 или 4.

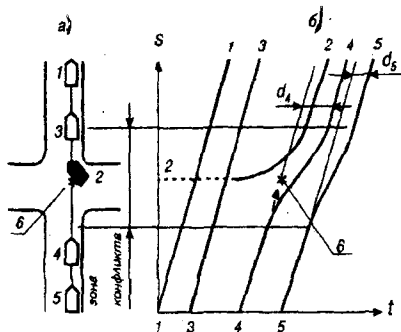


Рис. 5.5. Маневр слияния [20]: а – план; б – t - S диаграмма; 1, 3, 4, 5 – транзитные автомобили; 2 – поворотный автомобиль; 1-1...5-5 – траектории движения; 6 – возможная точка столкновения; d_4 , d_5 – задержки автомобилей

торможения автомобилей 3 и 4 зависит от поведения автомобиля 2: если он, например, полностью остановится на полосе, пропуская пешеходов, то и автомобили 3 и 4 вынуждены будут остановиться. Если же он при незначительном торможении сойдет с полосы, не создавая помех прямому движению, то торможение автомобилей 3 и 4 будет неинтенсивным.

Зона, в которой происходит отклонение и торможение, является зоной опасности, или *зоной конфликта*. Эта зона при маневре отклонения распространяется на подходы к перекрестку. Как пра-

Чтобы уменьшить вероятность конфликта, на напряженных улицах или на скоростных дорогах делают полосу замедления. Поворотные автомобили практически без снижения скорости перемещаются на эту полосу, на которой замедляются и с которой совершают маневр отклонения.

Слияние. В отличие от маневра отклонения слияние может произойти не в любое время, а только при наличии приемлемого интервала в главном конфликтующем потоке. На рис. 5.5 показаны план и t - S диаграмма маневра слияния.

Водитель автомобиля 2 желает влиться в главный поток с прилегающей справа улицы. Подъехав к перекрестку, он ожидает достаточно большого, приемлемого для себя интервала в потоке автомобилей 1–3–4–5. Интервал 1–3 для него оказался неприемлемым, он принял интервал 3–4 и начал, разгоняясь, сливаться с главным потоком. Поскольку он начал слияние с места, при очень высокой разности скоростей (высокой относительной скорости), его разгонная динамика оставляет желать лучшего, а выбранный им интервал оказался недостаточно большим, то автомобиль 4, избегая столкновения, вынужден тормозить, а автомобиль 5 – притормаживать. Зона конфликта распространяется на подходы и отходы от перекрестка.

Для улучшения условий выполнения маневра слияния на нагруженных городских улицах или на загородных магистралях делают разгонные полосы соответствующей протяженности. Двигаясь по этой полосе, водитель дожидается приемлемого интервала в главном потоке и выполняет маневр слияния с хода.

Представляет интерес понятие «*приемлемый интервал*». По определению, приемлемым называется такой интервал между автомобилями главного конфликтующего потока, при котором водитель второстепенного потока принимает решение выполнить маневр. Но может оказаться, что данный интервал приемлем для выполняющего маневр водителя, но неприемлем для водителя конфликтующего автомобиля главного потока, как правило, заднего по отношению к маневрирующему. На рис. 5.6 показаны кумулятивные кривые распределения вероятности принятия интервалов и вынужденного торможения приближающегося (заднего) автомобиля главного потока при маневре смены полосы движения, являющемся частным случаем маневра слияния, выполняемого с хода, с очень малым углом вхождения в поток,

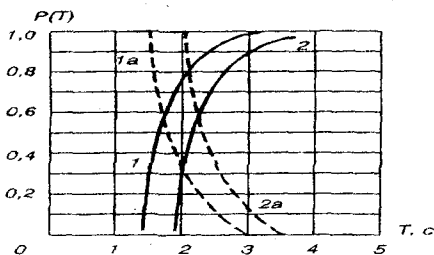


Рис. 5.6. Распределение минимальных приемлемых интервалов при слиянии с хода [20]:

1 — СД маневрирующего автомобиля 25...45 км/ч и малая относительная скорость; 2 — СД маневрирующего автомобиля 23 км/ч и средняя относительная скорость; 1a, 2a — распределение вероятности торможения заднего автомобиля в транзитном потоке в случае принятия маневрирующим автомобилем данного интервала

при невысокой относительной скорости и длинной условной полосе разгона. Видно, что в случае принятия маневрирующим участником интервала менее 1,5...2 с 100 % задних автомобилей вынуждены тормозить. В случае же принятия интервала порядка 3,5 с почти все задние автомобили не прибегают к торможению. В качестве расчетного принято значение $T = 3$ с, что приблизительно соответствует значению 85 % доверительной вероятности распределения этих интервалов.

На рис. 5.7 показано подобное распределение приемлемых интервалов при выполнении маневра слияния с места. Видно, что в этом случае они обязательно больше, чем при слиянии с хода. В качестве расчетного принято значение $T \approx 6$ с.

Следует отметить, что в вопросе о приемлемости интервалов существуют различные подходы. Например, в качестве расчетных могут приниматься и средние значения распределений. Некоторые авторы рассматривают так называемые *критические интервалы*, значения которых соответствуют точке пересечения кривых приемлемых и неприемлемых интервалов (рис. 5.8).

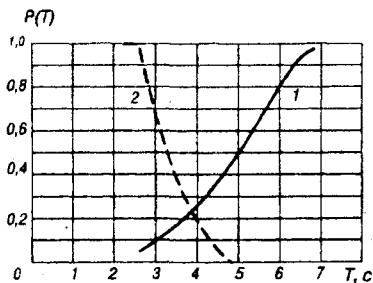


Рис. 5.7. Распределение минимальных приемлемых интервалов при слиянии с места [20]:

1 — распределение интервалов; 2 — распределение вероятности торможения заднего автомобиля в транзитном потоке в случае принятия маневрирующим автомобилем данного интервала

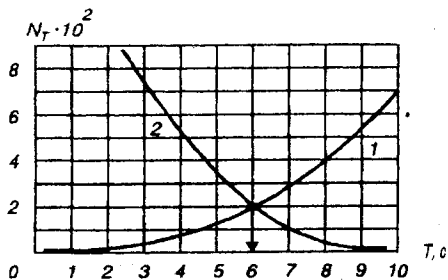


Рис. 5.8. Распределение принятых (1) и отклоненных (2) интервалов [20]: N_T — количество исследованных интервалов; критический интервал $T_{кр} = 6$ с

Следует также отметить, что при выполнении маневра, в принципе, имеет значение не столько величина интервала между автомобилями главного потока, сколько положение в этом интервале маневрирующего автомобиля. Может оказаться, что даже в боль-

шом интервале маневрирующий автомобиль создаст помеху переднему или (чаще) заднему конфликтующему автомобилю (рис. 5.9). Здесь важен интервал (разность времени) в точке конфликта между прохождением через нее второстепенного и главного автомобилей, — так называемый *интервал запаздывания*. Этот интервал также сильно зависит от различных факторов, имеет свои распределения и расчетные величины, в т.ч. и критическое запаздывание.

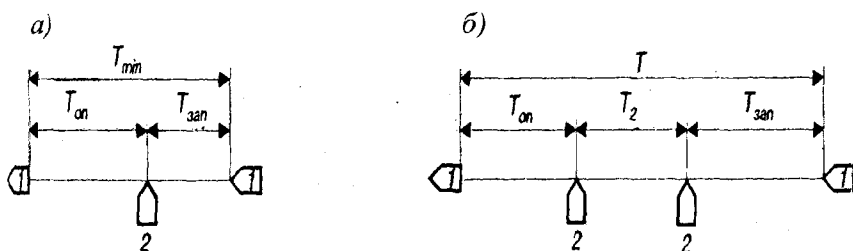


Рис. 5.9. Соотношения между приемлемыми интервалами:

а – минимальный приемлемый интервал T_{\min} ; б – интервал, больший минимально-приемлемого; $T_{\text{зап}}$ – интервал запаздывания; $T_{\text{оп}}$ – интервал опережения; T_2 – интервал во второстепенном потоке; 1 – автомобили главного ПП; 2 – автомобили второстепенного ПП

Приемлемость интервалов – отдельная узкоспециальная область знаний в дорожном движении, используемая при создании детальных моделей движения ПП [12]. Поскольку подробное исследование приемлемости интервалов не входит в нашу задачу, будет принят упрощенный подход, согласно которому минимальный приемлемый интервал запаздывания примерно равен половине минимального приемлемого интервала. Следовательно, минимальный приемлемый интервал запаздывания при смене полосы движения примерно равен 1,5 с, а при маневре слияния с места в рассматриваемом на рис. 5.7 случае – примерно 3 с. Однако уже при больших значениях приемлемых интервалов ($T > 6$ с) соотношение их с интервалами запаздывания несколько изменяется в сторону увеличения последних, — здесь уже грубо можно записать

$$T_{\text{зап}} = T - 3, \text{ с.}$$

В отношении критических интервалов в очень грубом приближении можно допустить

$$T = T_{кр} + (1...2) \text{ с.}$$

При этом меньшие значения следует добавлять к малым интервалам (до 4...5 с), а большие – к большим.

Величина приемлемого интервала зависит от следующих факторов:

1. Относительной скорости движения конфликтующих участников: чем меньше эта скорость, тем легче маневр и меньше интервал.
2. Состава ТП, выполняющего маневр. Можно допустить

$$T \approx T_{л} \sqrt{K_{пн}}, \text{ с.}$$

где $T_{л}$ – приемлемый интервал для потока легковых автомобилей, с (эти интервалы, как правило, приводятся в справочной литературе);

$K_{пн}$ – динамический коэффициент приведения ТП.

3. Видимости главного конфликтующего участника: чем лучше видимость (и меньше $v_{отн}$), тем точнее «прицеливается» водитель маневрирующего ТС к подошедшему интервалу в главном потоке, тем безопаснее маневр и меньше T .

4. Параметров разгонной динамики и габаритов маневрирующего автомобиля: чем лучше динамика и меньше габариты, тем легче маневрирование и меньше T .

5. Геометрии примыкания второстепенной дороги: чем меньше угол примыкания, тем легче совершается маневр. Однако, если угол примыкания равен 0° (движение по разгонной полосе), существенно ухудшается видимость главного потока (только через зеркало заднего вида) и несколько увеличивается величина T .

6. Длины разгонной полосы: чем длиннее полоса, тем больше возможностей у маневрирующего водителя точно попасть в назначенный интервал. Однако и здесь, как и в предыдущем случае, имеются свои пределы.

7. Психологических качеств и опыта водителя. Не следует путать умение оценивать ситуацию и безопасно маневрировать с агрессивностью некоторых водителей, принимающих заведомо малые интервалы, вынуждая тормозить автомобили главного потока.

Думается, что при соответствующей постановке вопроса такое поведение выявляется относительно легко и не должно оставаться безнаказанным.

В зависимости от способа выполнения маневра слияние можно разделить на следующие типы [20]:

- свободное: водитель выезжает на полосу главного потока в любой удобный для него момент, поскольку интервал между автомобилями главного потока очень велик;

- замедленное: водитель маневрирующего автомобиля вынужден снизить скорость, ожидая появления приемлемого интервала;

- интервальное: маневрирующий водитель принимает минимальный интервал и, разогнавшись до скорости потока, делит его точно пополам, не создавая при этом помех автомобилям главного потока;

- конфликтное: водитель принимает неприемлемый для других интервал или критическое запаздывание, заставляя автомобили главного потока тормозить (или ускоряться).

В последующем при выполнении расчетов задержек и пропускной способности будет рассматриваться замедленное слияние, пределом которого принят интервальный маневр при минимальном приемлемом интервале.

Некоторые авторы [9] рассматривают необязательное, или произвольное, и вынужденное слияние. В первом случае водитель имеет возможность отказаться от маневра и остановиться; во втором он вынужден сделать маневр, чтобы избежать столкновения с неожиданно остановившимся впереди ТС или не съехать с дороги при неожиданном (для этого водителя) окончании разгонной полосы. Ясно, что при вынужденном слиянии водители часто принимают явно неприемлемые интервалы и создают конфликтные ситуации.

Пересечение. Маневр пересечения принципиально не отличается от маневра слияния. Различия касаются лишь продолжительности нахождения второстепенного участника в конфликтной зоне и угла между траекториями движения участников, который при пересечении не может быть меньше некоторого значения (примерно 15°).

При попутных пересечениях заметно увеличивается вероятность совершения маневра с хода и величина приемлемого интервала существенно снижается и приближается к интервалам при слиянии, а в отдельных случаях – для динамичных легковых автомобилей – становится даже меньше их. В то же время при пересечении несколь-

ких полос главного конфликтующего потока, величина приемлемого интервала заметно возрастает.

Расчетные значения приемлемого интервала при пересечении под прямым углом определяются по различным формулам, простейшая из которых приведена ниже:

$$T \approx (4...5 + i)\sqrt{K_{\text{пн}}}, \text{ с.}$$

где i – число пересекаемых полос;

$K_{\text{пн}}$ – динамический коэффициент приведения.

Следует отметить, что пересечение – один из самых опасных маневров, поскольку часто выполняется в условиях недостаточной видимости, а относительные скорости участников довольно велики. Особенно опасны встречные пересечения, где абсолютные скорости практически складываются и относительные скорости особо велики. Поэтому, как правило, стараются не допускать таких конфликтов и все пересечения с двухсторонними главными потоками делать под прямым углом.

Обратим внимание на еще одну особенность, оказывающую влияние на процесс пересечения. Дело в том, что водитель расположен с левой стороны автомобиля и лучше видит, естественно, слева; в связи с этим лучше иметь главный поток при попутном пересечении именно слева, а не справа. Поэтому следует, по возможности, избегать решений, при которых в случае попутного пересечения или слияния главный конфликтующий поток оказался бы справа от второстепенного.

Переплетение – сложный маневр попутного пересечения, при котором конфликтующие потоки вначале сливаются в один, а затем отклоняются в противоположные стороны. На практике маневр переплетения можно наблюдать на кольцевых перекрестках с большим диаметром центрального островка при малом числе полос движения. При малых и средних диаметрах центрального островка и значительном числе (3 и более) полос движения маневрирование на кольцевых перекрестках трудно отнести к категории переплетения, – это, скорее, комбинация попутного пересечения, смены полосы движения и переплетения.

Переплетение удачно выполняется при небольших относительных скоростях, когда участники имеют возможность хорошо оце-

нивать взаимное расположение и, ускоряясь или замедляясь, точно попадать в намеченный интервал. Для этого, однако, они должны располагать достаточным временем и, следовательно, необходимой длиной маневрового участка, или линии переплетения. Поскольку поперечное перемещение происходит со скоростью примерно 1 м/с, а смена полосы требует около 3 с, легко определить, что для переплетения пары автомобилей при скорости, скажем, 36 км/ч необходима минимальная длина линии переплетения порядка 30 м. Заметим, что и переплетение выполняется намного производительнее и безопаснее, если главный конфликтующий поток находится слева. Поэтому и с точки зрения производительности процесса переплетения преимущество имеет тип регулирования «Кольцо главное» перед типом «Преимущество не имеющего помехи справа».

Конфликтный поворот – сложный маневр, включающий, как правило, последовательное выполнение маневров отклонения, торможения, остановки, разгона, пересечения с транспортным или пешеходным потоком, слияния. В одних случаях он может выполняться без остановки, с хода, в других – с многократными остановками и постепенным перемещением маневрирующего ТС на исходную позицию (или в первый номер очереди) для выполнения основного элемента маневра, например, пересечения главного потока.

На рис. 5.10 показана $t-v$ диаграмма конфликтного пересечения, слияния или поворота.

Конфликтные повороты являются весьма распространенными очагами повышенных потерь в дорожном движении. Потери заметно возрастают, если повороты делаются с той же полосы, что и прямое движение. В этом случае и прямой поток вынужден маневрировать – тормозить, останавливаться, разгоняться или менять полосу, если это возможно.

Условиями нормального маневрирования являются: наличие вместительного маневрового участка, отделенного от траектории движения главного прямого потока; хорошая видимость главного конфликтующего потока; пачкообразное движение автомобилей главного потока и своевременная подача ими сигналов поворота; однозначность приоритетов и траекторий; оптимальное регулирование; хорошая динамика маневрирующих машин.

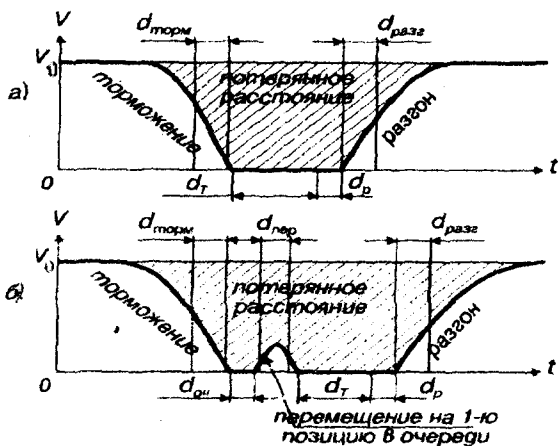


Рис. 5.10. t - v диаграмма конфликтного маневра пересечения, слияния или поворота:

a – без очереди; b – при наличии очереди; v_0 – начальная (и конечная) скорость автомобиля; $d_{\text{торм}}$ – задержка из-за торможения; $d_{\text{разг}}$ – задержка, вызванная разгоном; d_T – задержка из-за ожидания приемлемого интервала в главном потоке; d_P – задержка, вызванная реакцией водителя; $d_{\text{оч}}$ – задержка, вызванная нахождением в очереди; $d_{\text{пер}}$ – задержка, вызванная перемещением на 1-ю позицию в очереди

Особую сложность и опасность придает маневру наличие одновременно двух и более разнонаправленных главных конфликтующих потоков (рис. 5.11). В подобных случаях необходимо исклю-

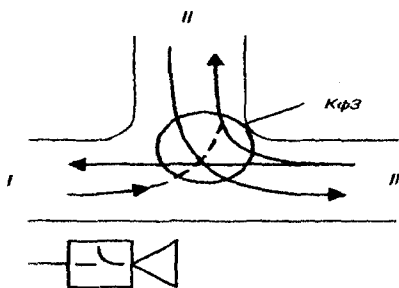


Рис. 5.11. Сложная конфликтная зона (второстепенный поток 12 конфликтует одновременно с тремя разнонаправленными главными потоками 23, 32 и 31)

чать отдельные конфликтующие потоки или разносить их так, чтобы в каждой конфликтной точке (вернее, в каждой конфликтной зоне) было не более одного главного конфликтующего потока.

Заметим, что при нескольких главных конфликтующих потоках не только существенно уменьшается вероятность появления приемлемого интервала для слияния или пересечения, но и резко ухудшаются возможности водителя

отыскать и оценить подошедший интервал, поскольку ему необходимо одновременно следить за несколькими разнонаправленными потоками. Поэтому вероятность совершения ошибки маневрирующим водителем увеличивается в несколько раз, т. е. маневр становится намного опаснее.

5.2. Маневры на перегоне

Смена полосы. Перемещение ТС с исходной полосы на смежную называется сменой полосы движения. Смена полосы может быть вынужденной, когда интервал между автомобилями быстро приближается к нулю и неизбежно столкновение, – в остальных случаях она не обязательна. На рис. 5.12 показаны возможные дорожно-транспортные ситуации перед маневром смены полосы, а на рис. 5.13 показана $t-S$ диаграмма маневра.

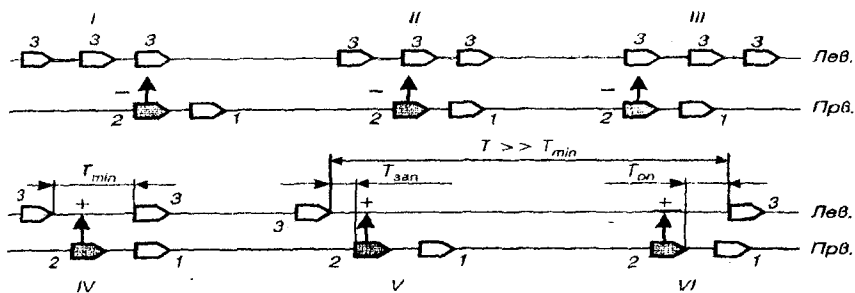


Рис. 5.12. Возможные дорожно-транспортные ситуации при смене полосы: 1 – тихоходный автомобиль; 2 – маневрирующий автомобиль; 3 – автомобили главного потока (на левой полосе); T_{min} – минимальный приемлемый интервал (≈ 3 с); $T_{зап}$, $T_{оп}$ – минимальные приемлемые интервалы запаздывания или опережения ($\approx 1,5$ с); T – интервал, значительно больший T_{min} ; символ «-» – невозможность выполнения маневра; символ «+» – возможность выполнения маневра; I – VI – возможные ситуации

В зависимости от способа выполнения маневра смену полосы (как и слияние) можно разделить на следующие виды: свободная, замедленная, интервальная, конфликтная.

Смена полосы в нормальных условиях длится от 3 до 4 с, при вынужденной смене – на 1 с меньше. Минимальный приемлемый интервал при смене полосы близок к 3 с, а интервал запаздывания – около 1,5 с.

Необходимо отметить, что смена полосы движения – один из самых безопасных и легких маневров в потоке. На рис. 5.14 показано распределение количества маневров смены полосы в зависимости от ИД. Видно, что с ростом ИД количество автомобилей, меняющих полосу, сначала возрастает, а затем после некоторого предела уменьшается из-за нехватки приемлемых интервалов в потоке. Тем не менее при двух полосах движения в одном направлении смена полосы производится еще довольно активно даже при ИД порядка 1000 авт /ч на полосу.

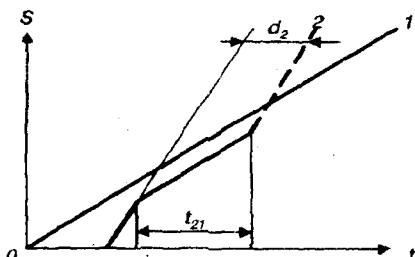


Рис. 5.13. t - S диаграмма маневра смены полосы [7]:

1 – тихоходный автомобиль; 2 – маневрирующий автомобиль; t_{21} – время замедленного движения автомобиля 2 за автомобилем 1; d_2 – задержка автомобиля 2 (пунктиром обозначено движение автомобиля 2 по смежной полосе)

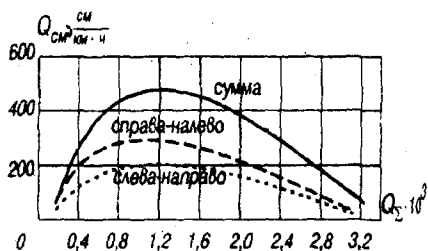


Рис. 5.14. Зависимость интенсивности смены полосы (на 1 км/ч) от суммарной ИД [28]

Обгон является маневром особой важности, оказывающим заметное влияние на все виды потерь в дорожном движении.

Согласно сегодняшним нормативам, **обгон** – это опережение одного или нескольких ТС, связанное с выездом на полосу (сторону проезжей части) встречного движения с последующим возвращением в ранее занимаемую полосу.

Таким образом, обязательным элементом обгона является выезд на полосу встречного движения, что придает ему свою специфику. Этим обгон, в принципе, и отличается от смены полосы, где нет выезда на полосу встречного движения. Однако еще совсем недавно (до 1987 года) в бывшем СССР действовало другое нормативное определение обгона:

«Обгон – опережение одного или нескольких движущихся ТС, связанное с выездом из занимаемого ряда. Движение ТС одного ряда с большей скоростью, чем ТС соседнего ряда, не рассматривается как обгон.»

Поскольку первое утверждение противоречит второму, любая смена полосы на усмотрение работника МВД могла быть признана обгоном со всеми вытекающими отсюда последствиями. И так было многие годы, хотя сегодня это кажется абсурдным. В связи с этим хотелось бы отметить, что многие положения сегодняшних нормативов грешат примерно такими же недостатками, что и недавно отмененная формулировка обгона.

Но и в сегодняшней формулировке есть определенный изъян. Речь идет о трехполосных дорогах с двухсторонним движением. В случаях отсутствия или изношенности разметки опережающий автомобиль при маневре выезжает не на полосу или сторону встречного движения, а лишь на среднюю, «ничейную» полосу и, следовательно, не совершает обгона. В то же время этот маневр как по характеру протекания процесса, так и по тяжести последствий не отличается от обгона. Поэтому, очевидно, следовало бы учесть это обстоятельство в определении, заменив, например, слова «... на полосу встречного движения» словами «... на полосу, где разрешено встречное движение» (возможны и другие варианты).

Маневры обгона бывают простыми и сложными. В простых маневрах участвует один обгоняющий и один обгоняемый автомобиль, в сложных – более чем один обгоняющий или обгоняемый. По данным [20], сложные обгоны составляют от 20 до 40 % всех обгонов.

Простые обгоны делятся на 4 вида:

- 1) свободный выход – произвольный возврат;
- 2) свободный выход – принудительный возврат;
- 3) ускоренный выход – произвольный возврат;
- 4) ускоренный выход – принудительный возврат.

На рис. 5.15 показана схема маневра простого обгона, а на рис. 5.16 показана $t-S$ диаграмма маневра. Быстроходный автомобиль 2 сближается с тихоходным 1 и решает его обогнать. Двигаясь медленно за автомобилем 1, дождавшись, когда автомобиль 3 освободит встречную полосу и, оценив интервал 3 – 4 до встречного автомобиля как приемлемый, автомобиль 2 начинает маневр.

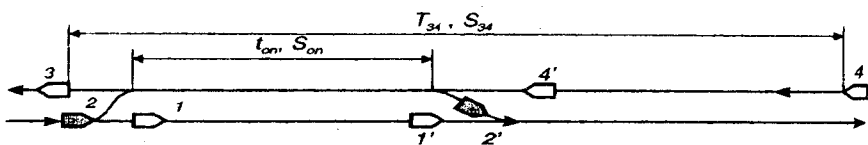


Рис. 5.15. Схема простого обгона:

1 – обгоняемый автомобиль; 2 – обгоняющий автомобиль; 3, 4 – автомобили встречного потока; 1', 2', 4' – положения автомобилей в момент окончания обгона; T_{34} и S_{34} – интервалы времени и расстояния во встречном потоке; $t_{оп}$ и $S_{оп}$ – время и путь опережаемого автомобиля, когда обгоняющий автомобиль находится на полосе встречного движения

Выехав на встречную полосу и опередив автомобиль 1, автомобиль 2 немедленно возвращается на свою полосу, поскольку интервал 2'–4' быстро приближается к нулю и возникает реальная угроза столкновения. Очевидно, описанный маневр ближе всего подходит к 4-му виду (ускоренный выход – принудительный возврат) и совершается в условиях повышенного риска.

Минимальная величина приемлемого интервала во встречном потоке определяется по формуле

$$T_{34\min} = t_{оп} \frac{v_4 + v_2}{v_4}, \text{ с,}$$

где v_4 – скорость встречного автомобиля, м/с;

v_2 – скорость обгоняющего автомобиля, м/с;

$t_{оп}$ – время опережения обгоняемого автомобиля 1 (в течение которого автомобиль 2 находился на полосе встречного движения), с.

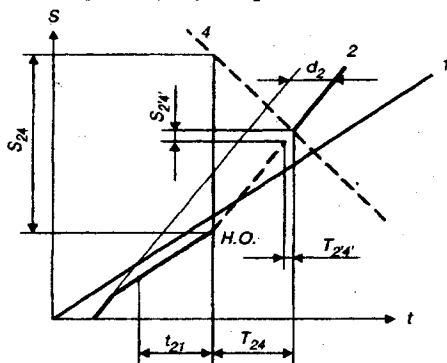


Рис. 5.16. t - S диаграмма маневра простого обгона:

1 – обгоняемый автомобиль; 2 – обгоняющий автомобиль; 4 – встречный автомобиль; Н.О. – начало обгона; S_{24} – расстояние до встречного автомобиля в момент начала обгона; $S_{2'4'}$ – расстояние до встречного автомобиля в момент окончания обгона; T_{24} и $T_{2'4'}$ – интервалы времени между автомобилями 2 и 4 в моменты начала и окончания обгона

Разные авторы дают различную трактовку момента выезда автомобиля 2 на полосу встречного движения и момента его возвращения на свою полосу. Если допустить, что автомобиль 2 выходит на встречную полосу и возвращается на свою полосу, когда расстояние между ним и обгоняемым автомобилем равно дистанции безопасности, т.е. примерно половине расстояния в метрах, равно-го скорости обгоняющего автомобиля в километрах в час, можно записать

$$t_{\text{оп}} = \frac{3,6 \cdot v_2 + l_{a1}}{v_2 - v_1},$$

где l_{a1} – длина обгоняемого автомобиля, м, в расчетах принято $l_{a1} = 7$ м;
 v_1 – скорость обгоняемого автомобиля, м/с.

В табл. 5.1 приведены некоторые параметры простого обгона, рассчитанные по приведенным формулам, а на рис. 5.17 – графическое изображение зависимости расстояния до встречного автомобиля от соотношения скоростей движения. Видно, что при малой разности скоростей обгоняющего и обгоняемого автомобилей обгон превращается в опаснейшую и трудноразрешимую задачу, т.к. требует от 1,5 до 3,5 км свободной полосы встречного движения.

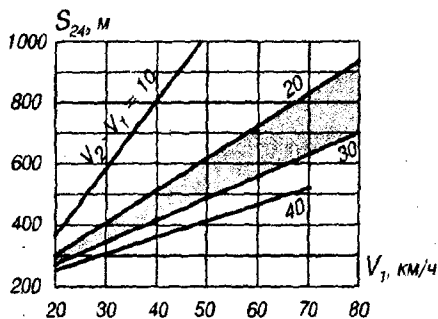


Рис. 5.17 Зависимость расстояния до встречного автомобиля в момент начала обгона от соотношения скоростей обгоняемого (v_1) и обгоняющего (v_2) автомобилей (заштрихована зона при безопасной разности скоростей 20...30; скорость встречного автомобиля (4) принята $v_4 = 90$ км/ч)

Некоторые параметры обгона [7]

V_2 , км/ч	$(V_2 - V_1)$, км/ч					
	5	10	20	30	40	50
50	41	20	10	7	5	—
	570	280	140	100	70	
	64 75 1000 1250	32 38 800 630	16 19 390 310	11 13 270 210	8 9 200 160	
60	48	24	12	8	4	6
	800	400	200	130	100	80
	80 96 2000 1600	40 48 1000 800	20 24 500 400	13 16 330 270	10 12 250 200	8 10 20 160
70	55	28	14	9	7	6
	1080	540	270	180	130	110
	98 120 2460 2000	49 60 1230 1000	25 30 615 500	16 20 410 330	12 15 310 250	10 12 250 200
80	63	31	16	10	8	6
	1400	700	350	230	170	140
	118 146 2960 2440	59 73 1480 1220	30 36 740 610	20 24 490 410	15 18 370 300	12 15 300 240
90	70	35	17	12	9	7
	1750	870	440	290	220	170
	140 174 3490 2910	70 87 1750 1450	35 44 870 730	23 29 580 480	17 22 440 360	14 17 350 290

Примечание. Данные приведены в следующей последовательности:
(см. выделенную ячейку):

$$t_{\text{оп}} = 41 \text{ с}; S_{\text{оп}} = t_{\text{оп}} \cdot v_2 = 570 \text{ м};$$

$$T_{34} = 64 \text{ с}; S_{34} = T_{34} \cdot v_4 = 1000 \text{ м при } v_4 = 90 \text{ км/ч};$$

$$T_{34} = 75 \text{ с}; S_{34} = T_{34} \cdot v_4 = 1250 \text{ м при } v_4 = 60 \text{ км/ч}.$$

При разности скоростей порядка 25...30 км/ч обгон продолжается около 8 – 10 с и требует около 300...600 м свободной полосы встречного движения. Эта разность скоростей признается оптимальной. Хотя при большей разности скоростей обгон и быстрее, и короче, однако, начинают появляться трудности, связанные с поперечным расположением автомобилей. Дело в том, что чем больше разность скоростей, тем большее поперечное расстояние (боковой интервал) должно быть между автомобилями, что не всегда возможно при имеющейся ширине проезжей части и положении на ней обгоняемого автомобиля. В результате на узких дорогах резко возрастает вероятность съезда обгоняющего автомобиля на левую обочину. Имеется и еще одна особенность, связанная с поведением водителей тихоходного транспорта: двигаясь на малой скорости, они часто делают довольно резкие и неожиданные маневры, в том числе

и левые повороты. При очень большой разности скоростей обгоняющий не в состоянии адекватно отреагировать на эти маневры, и конфликт неизбежен. Именно поэтому обгоняющий хотел бы иметь возможно больший боковой интервал, а если ширина проезжей части не позволяет этого, то желательно несколько снизить скорость.

Поскольку обгон требует больших интервалов во встречном потоке, а вероятность их появления резко уменьшается с ростом интенсивности, не все желающие могут выполнить обгон, особенно при средней и высокой интенсив-

ности. На рис. 5.18 показана зависимость возможности и потребности в обгонах от ИД. Видно, что с ростом ИД растет неудовлетворенная потребность в обгоне (дефицит), что приводит к возрастанию напряженности в потоке, росту числа случаев принятия водителями повышенного риска (росту числа нарушителей) и, как следствие, росту аварийности. При ИД порядка 900 авт./ч на полосу обгоны становятся невозможными.

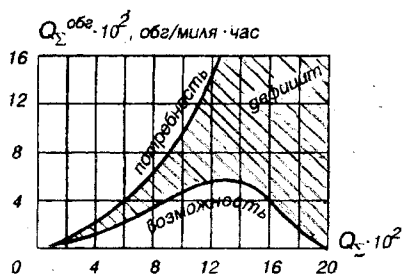


Рис. 5.18. Соотношение между потребностью и возможностью обгонов на двухполосной дороге [20] (разность между потребностью и возможностью есть дефицит (напряжение))

Обгон является, пожалуй, одним из самых опасных маневров, что объясняется несколькими причинами.

1. Так как скорости автомобилей складываются, то последствия столкновений — очень тяжелые, сопоставимые с наездом на пешехода и столкновением на железнодорожных переездах.

2. Обгоняющие водители допускают очень много ошибок в определении величины и достаточности интервала во встречном движении. Объективно трудно определить расстояние до встречного автомобиля и его скорость. Известно, что расстояние в этом случае определяется по сопоставлению видимых размеров поперечного сечения встречного автомобиля с некими эталонами, хранящимися в памяти водителя, а скорость движения встречного ТС определяется по темпу увеличения этих размеров, также хранящемуся в памяти. Поскольку автомобиль находится далеко, а на зрительное восприятие влияют цвет машины и ее форма, погодные-климатические условия, положение солнца, наличие ярких, заметных объектов в

конусе зрения, в том числе, элементов обустройства дороги и автомобилей попутного направления, ошибки весьма возможны. Если учесть еще и дефицит времени, состояние здоровья водителя, необходимость оценить скорость обгоняемого автомобиля, свою скорость и возможное предельное ее увеличение, становится ясным, что при обгоне ошибка водителя даже более вероятна, чем ее отсутствие.

3. При всем этом обгоняющий еще и плохо видит перед собой дорогу, которая частично закрывается обгоняемым. Это не исключает случаев, когда обгоняемый уже в процессе обгона принимает левее, объезжая, например, стоящие автомобили или посторонний предмет на проезжей части. В таких случаях неизбежен очень опасный конфликт.

4. Возможен «незапланированный выезд» встречного автомобиля из бокового проезда или второстепенной дороги.

5. Осознав свою ошибку и убедившись, что не успевает сделать обгон, обгоняющий может допустить еще одну ошибку при выборе способа выхода из создавшейся ситуации, так как оказывается перед выбором: тормозить и возвращаться в свою полосу, до предела ускориться и успеть-таки закончить обгон, вплотную прижаться к обгоняемому и попытаться разъехаться трем машинам на этой ширине дороги либо полностью уходить с дороги в левую сторону, предпочитая опрокидывание встречному столкновению с практически неизбежным смертельным исходом.

6. Иногда водители обгоняемых машин препятствуют совершению маневра, сознательно ускоряясь или принимая влево. Как представляется, такие действия подлежат уголовному преследованию. Получило также распространение ослепление обгоняющего водителя, допускающего ошибку, дальним светом фар встречного автомобиля, вследствие чего ситуация еще более осложняется и вероятность аварии резко возрастает. Представляется, что подобные действия являются следствием элементарной неграмотности, т.к. в случае аварии пострадают все участники, в том числе и мешающие совершать обгон. Здесь существует большое поле деятельности для просвещения и правоохраны.

5.3. Пропускная способность

Понятие «пропускная способность» – одно из самых употребительных в дорожном движении, однако разные авторы дают ему

различающиеся определения. Мы будем рассматривать пропускную способность (ПРС) как наибольшую интенсивность движения при заданной совокупности условий. Поскольку в эту совокупность входят линейная безопасность (соблюдение дистанции безопасности), скорость и удобство движения, уровень потерь и т.д., что удовлетворительно описывается уровнем обслуживания, то под *пропускной способностью* будем понимать наибольшую интенсивность движения при заданном уровне обслуживания.

Обычно рассматривается уровень обслуживания D. Однако в некоторых случаях, например, для скоростных дорог, рассматривается уровень обслуживания C или даже B, поскольку низкие скорости (которые при уровне D находятся в пределах 70 км/ч) несовместимы со статусом скоростной дороги.

Пропускная способность является характеристикой участка УДС, достаточно долговременной (не менее 1 часа), «тяжеловесной», учитывающей некие усредненные условия движения (в частности, мокрое покрытие). Этим она отличается от максимальной интенсивности, которая является характеристикой транспортного потока, более «легкой», кратковременной и учитывающей, как правило, хорошие условия движения. Максимальная интенсивность движения всегда выше пропускной способности по меньшей мере на 10 – 15 %.

Различают ПРС полосы движения (как элемента улично-дорожной сети) и ПРС объекта, состоящего из нескольких элементов. Например, ПРС объекта – двухполосной дороги с двухсторонним движением – составляет всего лишь около 2200 авт/ч (табл. 5.2), в то время как ПРС каждой полосы (элемента) достигает 1800 авт/ч. Дело в том, что при высокой интенсивности движения из-за невозможности обгона в одном или в обоих потоках перед тихоходными ТС образуются большие интервалы, которые физически невозможно заполнить.

Пропускная способность полосы рассматривается для эталонных и фактических условий. Эталонные условия во всем мире примерно одинаковые и формулируются следующим образом [26]:

- 1) участок – прямолинейный горизонтальный;
- 2) расстояние между пересечениями – более 5 км;
- 3) число полос движения (в одном направлении) – 2 и более;
- 4) ширина полосы – 3,75 м;
- 5) расстояние видимости – более 350 м;

- б) покрытие – сухое, ровное и шероховатое;
- 7) ТП состоит из легковых автомобилей;
- 8) отсутствуют препятствия на обочинах, вызывающие снижение скорости;
- 9) погодные условия – благоприятные.
- В работе [1] дается следующий перечень:
- 1) непрерывный поток ТС свободен от боковых помех;
 - 2) в потоке движутся только легковые автомобили;
 - 3) ширина полосы движения – 3,6 м;
 - 4) дорога имеет твердые обочины;
 - 5) на расстоянии 1,8 м от кромки ПЧ отсутствуют неподвижные предметы;
 - б) видимость не ограничена;
 - 7) геометрические элементы дороги обеспечивают безопасное движение со скоростями более 113 км/ч.

Для этих условий авторы дают численные значения ПРС, приведенные в табл. 5.2.

Таблица 5.2

ПРС для эталонных условий

Число полос		Значения Q_c' , авт /ч		
в одном направлении	в двух направлениях	[1], табл. 8.1.	[26], с. 286	рекомендуемые значения [7]
1	2	2000 суммарно	2200 суммарно	2200 суммарно
1 + 0,5	3	4000 суммарно	4000 суммарно	3600 суммарно
2	4	2000 на полосу	1800 на полосу	1800 на полосу
3	6	2000 на полосу	1900 на полосу	1800 на полосу

Изменение эталонных условий вызывает соответствующее изменение (как правило, уменьшение) величины ПРС. В основном, все условия, влияющие на ПРС, группируются вокруг 3 параметров – скорость, плотность и состав транспортного потока, – причем между ними также существуют известные взаимозависимости.

Скорость ТП – интегральный фактор, вбирающий в себя многие другие показатели – геометрию, ровность, видимость, препятствия на обочинах и т.д. В ряде случаев, особенно в условиях скользкой проезжей части или плохой видимости, скорость движения может задаваться исходя из соображений безопасности. В других случаях ее можно ориентировочно рассчитать, используя приводимые в литературе зависимости.

Плотность потока (имеется в виду ее верхний предел) зависит от скользкости покрытия, скорости движения и состава ТП. Известны зависимости между плотностью, скоростью и коэффициентом сцепления ϕ .

Влияние состава транспортного потока, в принципе, однозначно: чем «тяжелее» поток, т.е. чем больше в его составе большегрузных, крупногабаритных и тихоходных транспортных средств, тем меньше ПРС. Однако, когда речь заходит о количественной оценке этого влияния, мнения разных авторов весьма отличаются. Дело в том, что это влияние существенно различно в различных условиях и зависит от скорости, геометрии, условий маневрирования, угла и протяженности подъема и т.д. В данной работе для этих целей используется коэффициент приведения $K_{\text{пн}}$ и учет влияния состава транспортного потока производится простым делением величины ПРС на коэффициент $K_{\text{пн}}$.

Существует несколько расчетных формул для определения ПРС полосы движения, основанных на различных подходах, например, [26]. Приведем одну из простейших формул, построенную на предположении о равномерном движении транспортного потока с интервалом между ТС, равным динамическому габариту. Согласно этому подходу, ПРС полосы

$$Q'_{ci} = \frac{3600 \cdot v \cdot \phi}{K_{\text{пн}} \cdot [\phi(v + 7) + 0,015v^2]}, \text{ авт/ч,}$$

где v (м/с) и ϕ определяют совокупность условий i .

На рис. 5.19 показана зависимость $Q'_c = f(v, \phi)$ при значении $K_{\text{пн}} = 1$. Видно, что ПРС увеличивается с 1470 авт/ч при $\phi = 0,2$ до 2030 авт/ч при $\phi = 0,7$. Одновременно v_{0c} увеличивается с 35 км/ч

при $\varphi = 0,2$ до 65 км/ч при $\varphi = 0,7$. Заштрихованная зона между кривыми $\varphi \approx 0,3$ и $\varphi \approx 0,5$ примерно соответствует движению по мокрому асфальтобетонному покрытию удовлетворительного качества и может быть принята в качестве расчетной для реальных погодных условий ($Q_c' \approx 1800 \text{ авт/ч}$).

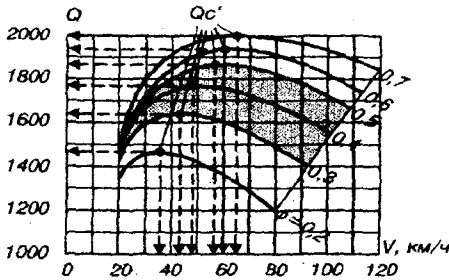


Рис. 5.19. Зависимость ПРС от скорости движения при различных значениях коэффициента сцепления φ (стрелками показаны значения Q_c' , V_c ; заштрихована зона расчетных значений Q_c)

верждать, что фактическая пропускная способность в обычных условиях ниже эталонной до 30 %.

Пропускная способность маневровых участков (примыканий, участков кольцевых и нерегулируемых перекрестков) есть сумма интенсивности движения главного направления и ПРС второстепенного направления:

$$Q_c = Q_1 + Q_{c2}.$$

Если второстепенный транспортный поток движется по одной полосе, задача сводится к определению ПРС полосы второстепенного направления Q_{c2}' . Если же второстепенный транспортный поток движется по нескольким полосам или направлениям, необходимо определить ПРС второстепенного направления Q_{c2} . В простейшем случае можно записать

$$Q_{c2} = \sum_1^i Q_{c2}'.$$

Пропускная способность линейных объектов (т.е. перегонов улиц и дорог) определяется путем умножения эталонных значений на поправочные коэффициенты (их около 12), учитывающие геометрию, состав потока, состояние проезжей части и т.д. Методики расчета приводятся в литературе по дорогам [26] и дают несколько отличающиеся результаты. Однако с некоторой долей вероятности можно ут-

Следует отметить, что кроме рассмотренных ниже подходов и расчетных формул существуют и другие, которые с наименьшим успехом могут применяться для решения подобных задач.

Участки примыкания. Рассмотрим простейший случай, когда маневр слияния производится с одной второстепенной полосы в полосу главного направления. ПРС второстепенной полосы Q'_{c2} определяется исходя из предельной интенсивности движения на правой полосе главного направления сразу же после примыкания:

$$Q'_{c2} = Q_c - Q_1,$$

где Q_c – предельная ИД на полосе слияния сразу после примыкания (ПРС примыкания), авт/ч;

Q_1 – ИД на полосе слияния до примыкания, авт/ч.

Значения Q_c для магистралей непрерывного движения, оборудованных примыканием под небольшим углом и разгонной полосой достаточной длины, взяты из работы [1] и приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Предельная интенсивность движения на полосе слияния (ПРС примыкания) для магистралей непрерывного движения [1]

Уровень обслуживания	Характеристика второстепенного потока	СД главного потока, км/ч	ПРС, авт/ч
А	Свободный	96	1000
В	С небольшой корректировкой СД	88	1200
С	Существенная корректировка СД	80	-1600
Д	Нечастое образование очередей	64	-1700
Е	Частое образование очередей, поток нестабильный	--	-2000
Ф	Заторы, поиск других маршрутов	--	-1800

Если принять, что достижение ПРС примыкания не потребует снижения скорости движения на магистрали ниже 64 км/ч, а уровень обслуживания второстепенного потока не опустится ниже уровня Д (рис. 5.20), то для таких примыканий можно записать:

$$Q'_{c2} = 1700 - Q_1, \text{ авт/ч.}$$

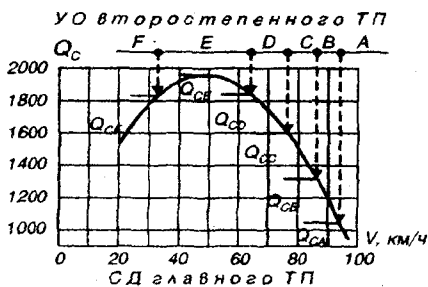


Рис. 5.20. ПРС однополосного примыкания к магистрали непрерывного движения для разных уровней обслуживания [1]

Значения Q_1 лучше всего определять экспериментально или по аналогии с подобными примыканиями. При отсутствии данных для приближенных расчетов можно принимать [1]:

— для 4-полосной магистрали (2+2)

$$Q_1 = 136 + 0,345Q - 0,115Q_2;$$

— для 6-полосной магистрали (3+3)

$$Q_1 = 120 + 0,244Q,$$

где Q — суммарная (в одном направлении) ИД на магистрали до примыкания, авт/ч.

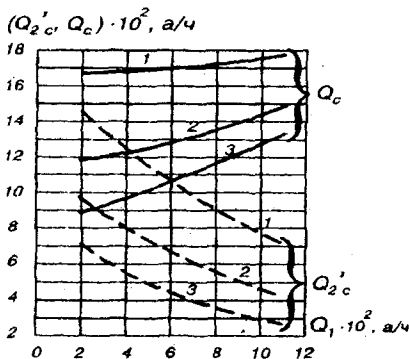


Рис. 5.21. Пропускная способность однополосных примыканий ($Q_c = Q_1 + Q_{2c}$) [18, 19]:

Q_1 — ИД на правой полосе магистрали до примыкания; Q_c — предельная ИД на правой полосе магистрали сразу после примыкания (ПРС примыкания); Q_{2c} — ПРС полосы примыкания; 1 — очень хорошие условия слияния; 2 — хорошие условия; 3 — удовлетворительные условия

В работах [18, 19] приводится формула для расчета ПРС второстепенной полосы:

$$q_{2c}^I = \frac{q_1 \cdot e^{-q_1 T}}{1 - e^{-q_1 T_2}}, \text{ авт/с,}$$

где q_1 — ИД на полосе слияния до примыкания, авт/с;

T — минимальный приемлемый интервал в главном конфликтующем потоке; в первом приближении, в зависимости от условий слияния можно принимать

$$T \approx 4 \dots 6 \text{ с};$$

T_2 — минимальный интервал между соседними ТС второстепенного конфликтующего пото-

ка в процессе слияния, с; в первом приближении можно принимать $T_2 \approx 2 \dots 4$ с.

На рис. 5.21 показана зависимость пропускной способности примыкания от ИД на правой полосе магистрали и условий слияния, рассчитанная по приведенной формуле. Видно, что при хороших условиях слияния значения предельной ИД близки к величине $Q_c \approx 1700$ авт/ч, что приблизительно соответствует уровню обслуживания D для примыканий магистралей непрерывного движения.

Участки кольцевых перекрестков. Известны различные формулы для определения ПРС участков кольцевых перекрестков, которые, к сожалению, дают существенно различающиеся результаты [1, 20, 25]: Здесь будут приведены три формулы, дающие, как представляется, сопоставимые результаты.

На участках с относительно большой длиной линии переплетения ($L > 30$ м), где имеет место в большей степени маневр переплетения, чем маневр попутного пересечения, можно применить следующую формулу [1] (рис. 5.22):

$$Q_{c2} = \frac{(31 \dots 35) \cdot L \cdot (B + B_1 + B_2) \cdot (3 - \eta)}{L + B}, \text{ авт/ч,}$$

где L – длина линии переплетения, м.

B – ширина ПЧ на участке переплетения, м;

B_1 – ширина входа главного направления, м: $4 \leq B_1 \leq 16$, м;

B_2 – ширина входа второстепенного направления, м: $4 \leq B_2 \leq 16$, м;

η – отношение интенсивности движения пересекающихся потоков к общей ИД на участке переплетения:

$$\eta = 1 - \frac{Q_{2\text{прв}} + Q_{1\text{лев}}}{Q_1 + Q_2},$$

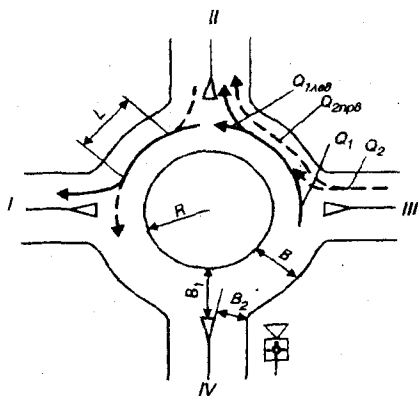


Рис. 5.22. К определению пропускной способности кольцевых перекрестков: L – длина линии переплетения; R – радиус центрального островка; B – ширина ПЧ; B_1 – ширина главного входа; B_2 – ширина второстепенного входа; Q – ИД потоков

где $Q_{2\text{прв}}$ – ИД правоповоротных второстепенных потоков, авт/ч;

$Q_{1\text{лев}}$ – ИД левоповоротных главных транспортных потоков, авт/ч.

Величину L при наличии центрального островка правильной формы можно определить из выражения

$$L \approx \frac{(R + 6)(2\pi - 0,5n)}{n}, \text{ м,}$$

где R – радиус центрального островка, м;

n – число входов; $n = 3 \dots 6$.

В других случаях эту величину определяют экспериментально с учетом фактического радиуса поворота траекторий движения на входе и на выходе.

Считается, что $Q_{1\text{лев}}$ и $Q_{2\text{прв}}$ не участвуют в маневре переплетения и тем самым повышают ПРС участка. Однако отечественная практика показывает, что, к сожалению, оба этих потока все же участвуют в маневре и в большинстве случаев значения η приближаются к 1 (при отсутствии данных в общих расчетах можно принимать: $\eta \approx 0,85$).

С учетом этого обстоятельства внесены незначительные корректировки в указанную формулу, основанные на результатах экспериментального исследования двух кольцевых перекрестков в г. Минске.

Принято

$$\eta = 1 - \frac{Q_{2\text{прв}}}{Q_1 + Q_2},$$

т.е. левоповоротный ТП $Q_{1\text{лев}}$ формально включен в маневр переплетения, а правоповоротный $Q_{2\text{прв}}$ исключен из этого маневра. Поскольку для входящих ТП главные левоповоротные и прямые транспортные потоки не различаются (т.е. обоим уступают дорогу), ширина входа B_1 в расчетах уменьшена на одну полосу движения, т.е. на 4 м, при этом условие $4 \leq B \leq 16$, м сохраняется.

Окончательно формула имеет следующий вид:

$$Q_{c2} = 32L \frac{(B + B_1 + B_2 - 4)(3 - \eta)}{L + B}, \text{ авт/ч.}$$

Другая формула, предложенная Английской исследовательской дорожной лабораторией, сразу учитывает состав ТП и имеет следующий вид:

$$Q_{c2} = \frac{4,9(B_1 + B_2)(4L - 3B)(3 - \eta)}{L(0,56 + \Delta\Gamma)}, \text{ авт/ч,}$$

где η – отношение ИД второстепенного переплетающегося потока к интенсивности движения главного потока,

$$\eta = \frac{Q_2 - Q_{\text{прв}}}{Q_1};$$

$\Delta\Gamma$ – доля грузовых автомобилей в переплетающихся потоках, с некоторыми допущениями можно принять:

$$\Delta\Gamma = K_{\text{пн}} - 1.$$

Если состав ТП учитывать отдельно путем деления полученных значений Q_c для легковых автомобилей на коэффициент приведения $K_{\text{пн}}$, то с известными допущениями можно записать

$$Q_{c2} = \frac{8,7(B_1 + B_2)(4L - 3B)(3 - \eta)}{L}, \text{ авт/ч.}$$

Если на кольцевом перекрестке диаметр центрального островка невелик и на участке имеет место фактически попутное пересечение, а не переплетение, то рекомендуется применять третью формулу [1]:

$$Q_{c2} = \frac{3600}{T}(1 + \eta) \cdot \lg\left(\frac{(T + 1)(1 + \eta)}{\eta}\right), \text{ авт/ч,}$$

где T – минимальный приемлемый интервал в главном конфликтующем потоке, с, определяется путем экспериментальных измере-

ний или по аналогии с подобными участками; при отсутствии данных для грубых расчетов можно принимать

$$T = (3 \dots 4,5) \cdot \sqrt{K_{\text{пн}}}, \text{ с,}$$

где меньшие значения относятся к условиям хорошей видимости и четкой организации движения, когда водители ТС второстепенного потока заранее видят ТС главного потока и знают его направление движения; в специфических условиях значения T можно уменьшать до $T = 2,2 \cdot \sqrt{K_{\text{пн}}}$ (очень хорошие условия) и увеличивать до $T = 5,5 \cdot \sqrt{K_{\text{пн}}}$ (плохие условия);

η – отношение большей ИД переплетающегося потока к меньшей интенсивности движения,

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_2 - Q_{2\text{прв}}};$$

при этом должно соблюдаться условие $\eta \geq 1$; при $\eta < 1$ в расчетах следует принимать

$$\eta^* = \frac{1}{\eta},$$

где η^* – расчетное значение η .

Таким образом, задавая соотношения интенсивности движения Q_1 , Q_2 и $Q_{2\text{прв}}$ для каждого входа индивидуально, можно приближенно определить ПРС каждого входа и всего кольцевого перекрестка. При этом надо учитывать, что соотношения ИД Q_1 , Q_2 и $Q_{2\text{прв}}$ на различных (особенно соседних) входах взаимосвязаны и зависят от транспортной корреспонденции на перекрестке. Поэтому при определении ПРС кольцевого перекрестка необходимо задать транспортную корреспонденцию, т.е. построить в относительных величинах планограмму интенсивности движения по всем направлениям. Для существующих кольцевых перекрестков следует построить

планограмму ИД по результатам экспериментальных измерений, которая может быть принята за основу при назначении расчетной транспортной корреспонденции.

Нерегулируемый перекресток. Расчет ПРС производится аналогично расчету ПРС примыкания. Отличия заключаются в следующем:

- ИД главных конфликтующих потоков выбирается в зависимости от схемы движения на перекрестке;
- величина минимального приемлемого интервала зависит от числа полос движения главного конфликтующего ТП и возможности раздельного выполнения маневра;
- пропускная способность второстепенного направления определяется как сумма ПРС каждой полосы:

$$Q_{c2} = \sum_1^i Q_{c2}.$$

ПРС отдельной полосы второстепенного направления определяется по приведенной выше формуле:

$$q_{2c} = \frac{q \cdot e^{-qT}}{1 - e^{-qT_2}}, \text{ авт/с,}$$

где q – расчетное значение ИД главного конфликтующего потока, авт/с;

T – минимальный приемлемый интервал в главном конфликтующем потоке, с; в первом приближении можно принимать

$$T = (4 \dots 5 + i) \cdot \sqrt{K_{\text{пн}}};$$

T_2 – минимальный интервал между соседними ТС второстепенного конфликтующего транспортного потока в процессе пересечения, с; в первом приближении можно принимать

$$T_2 = 3 \dots 4 \text{ с.}$$

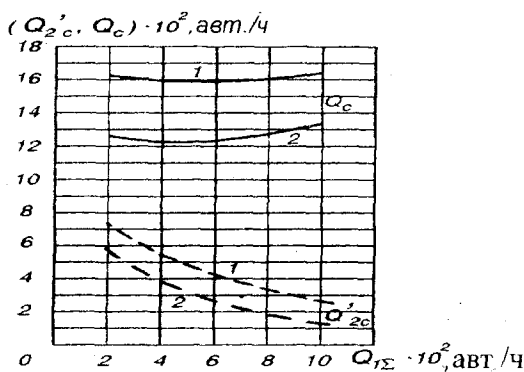


Рис. 5.23. Пропускная способность четырехстороннего перекрестка двухполосных дорог:

$$(Q_c = Q_{1\Sigma} + 2Q'_{2c}) [18, 19]:$$

$Q_{1\Sigma}$ – суммарная ИД главного направления Q'_{2c} – ПРС полосы второстепенного направления; Q_c – ПРС перекрестка; 1 – хорошие условия пересечения; 2 – удовлетворительные условия

значительно опережает достижение ПРС. Вследствие этого задолго до достижения ПРС нерегулируемого перекрестка на нем, согласно нормативам, вводят светофорное регулирование.

Регулируемые перекрестки. ПРС полосы движения на регулируемом перекрестке определяется по формуле

$$q'_c = q_n \cdot \lambda, \text{ авт./с,}$$

где q_n – поток насыщения; для стандартных условий можно приближенно принимать

$$q_n = \frac{0,5(t_z - 3)}{t_z \cdot K_{\text{пн}}},$$

где t_z – продолжительность горения зеленого сигнала, с;

λ – доля зеленого сигнала в цикле для данного направления:

$$\lambda = \frac{t_z}{C},$$

где C – продолжительность цикла регулирования, с.

На рис. 5.23 показана зависимость ПРС пересечения двухполосных дорог от интенсивности движения главного направления и условий пересечения, рассчитанная по приведенной формуле.

Следует отметить, что транспортная нагрузка на нерегулируемый перекресток, близкая к пропускной способности, – явление довольно редкое, потому что при существенных интенсивностях движения второстепенных направлений всплеск аварийности значи-

тельно опережает достижение ПРС. Вследствие этого задолго до достижения ПРС нерегулируемого перекрестка на нем, согласно нормативам, вводят светофорное регулирование.

Регулируемые перекрестки. ПРС полосы движения на регулируемом перекрестке определяется по формуле

$$q'_c = q_n \cdot \lambda, \text{ авт./с,}$$

где q_n – поток насыщения; для стандартных условий можно приближенно принимать

$$q_n = \frac{0,5(t_z - 3)}{t_z \cdot K_{\text{пн}}},$$

где t_z – продолжительность горения зеленого сигнала, с;

λ – доля зеленого сигнала в цикле для данного направления:

$$\lambda = \frac{t_z}{C},$$

где C – продолжительность цикла регулирования, с.

ПРС направления или всего перекрестка определяется по формуле

$$Q_c = \sum_1^i (X_{\text{lim}} Q_c)_i, \text{ авт/ч,}$$

где i – число полос движения на исследуемом направлении, входе или перекрестке;

X_{lim} – приемлемый (допустимый) коэффициент загрузки полосы движением.

Напомним, что

$$X = \frac{q}{q_H \cdot \lambda},$$

где q – фактическая ИД на полосе, авт/с.

Выбор приемлемых значений X_{lim} зависит от нескольких факторов и является довольно субъективным. Необходимо отыскать некое компромиссное решение между тремя основными противоречиями. Во-первых, чем выше X , тем больше экономические и экологические потери от задержек и остановок транспорта, – в этом плане оптимальными являются значения в пределах 0,4...0,6 (в зависимости от назначения и особенностей полосы или направления). Во-вторых, чем выше X (особенно после $X \geq 0,6$), тем выше аварийность, поэтому желательно иметь значения $X < 0,6$. В-третьих, чем меньше X , тем дороже стоит перекресток и тем меньше КПД вложенных средств. Кроме того, в ряде случаев, особенно при существующей застройке, просто невозможно реконструировать перекресток или каким-либо иным способом (например, перебросив часть ТП на другие перекрестки) уменьшить транспортно-пешеходную нагрузку. Поэтому невольно приходится соглашаться на повышенные потери в процессе движения.

Таким образом, значения X_{lim} выбираются индивидуально в каждом конкретном случае. Тем не менее существуют рекомендации, которыми можно пользоваться, разумеется, с известной осторожностью:

1. X_{lim} для главных, магистральных направлений должен быть несколько ниже, чем для второстепенных. Чем больше разрыв в значимости направлений, тем большую разницу можно допустить в приемлемых значениях X_{lim} . В самом общем случае

$$X_{lim1} \leq 0,6 \dots 0,7;$$

$$X_{lim2} \leq [X_{lim1} + (0,1 \dots 0,3)].$$

2. В некоторых случаях значения X_{lim} определяются исходя из длины очереди у стоп-линии, чтобы она не блокировала соседний (предыдущий) перекресток [11].

3. В общем случае можно допустить

$$X_{lim1} \leq 0,85.$$

Тогда можно записать

$$Q_c = 0,85 \sum_1^i Q_{ci}', \text{ авт/ч.}$$

Магистральные улицы. Пропускная способность магистральных улиц регулируемого движения определяется преимущественно ПРС искомых направлений на регулируемых перекрестках. Однако в некоторых случаях ПРС лимитируется не перекрестком, а перегонном, например, когда:

– непосредственно перед перекрестком имеется значительное уширение проезжей части, при этом эффективная доля зеленого сигнала в цикле очень велика;

– на перегоне образуются «узкие места», вызванные сужением проезжей части, стоянкой автомобилей, принудительным снижением скорости, наличием затяжного подъема и т.д.;

– ремонтные работы вызывают одновременно сужение проезжей части и снижение скорости и т.д.

Практически все упомянутые факторы, снижающие ПРС на магистральной улице, рассмотрены ранее. Приведем некоторые дан-

ные о влиянии околотротуарных стоянок на ПРС. Согласно английским представлениям, стоящие автомобили уменьшают ширину подхода к перекрестку в зависимости от расстояния между стоп-линией и запаркованным ТС:

$$\Delta B = 1,65 - \frac{0,9(S - 7,5)}{t_z}, \text{ м,}$$

где ΔB – сужение ширины проезжей части у стоп-линии, м;
 S – расстояние от стоп-линии до запаркованного ТС, м;
 t_z – продолжительность горения зеленого сигнала, с.

В Австралии считается, что стоящие автомобили не снижают ПРС перекрестка, если расстояние от них до перекрестка не менее 180 м. В остальных случаях ПРС правой полосы снижается.

Как считают в США, стоящие у перекрестка ТС уменьшают фактическую ширину проезжей части на подходе к перекрестку от 1,8 до 2,4 м на относительно узких улицах и до 4,5 м – на широких подходах к перекрестку (рис. 5.24).

Следует отметить, что действующие в Республике Беларусь Правила, разрешающие стоянку в 15 м от перекрестка, почти полностью исключают правую полосу из движения, резко снижают ПРС перекрестков и увеличивают все виды потерь.

Несколько слов о **нормировании интенсивности**

движения. В дорожном движении некоторые параметры ТП – интенсивность, скорость, плотность, энергию – часто представляют в нормированном виде, т.е. деленном на максимальное значение (см., например, подразделы 3.6 и 3.8). Нормированная интенсивность,

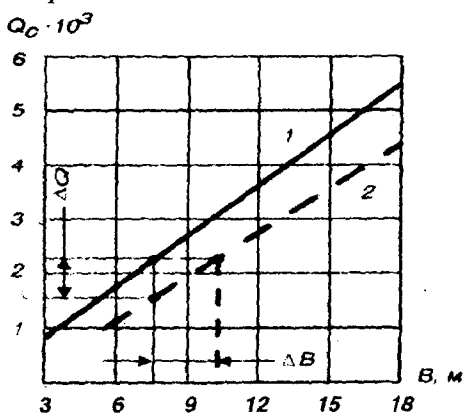


Рис. 5.24. Зависимость пропускной способности от ширины подхода к перекрестку [1]: 1 – стоянка запрещена; 2 – стоянка разрешена; ΔQ – фактическое снижение ПРС из-за стоянки при ширине входа 7,5 м; ΔB – фактическое сужение ПЧ из-за стоянок при $Q_c = 2400$ авт/ч

т.е. отношение текущей интенсивности к максимальной, получила название *коэффициента загрузки полосы движением X* и широко применяется при оценке состояния ТП, расчетах потерь и т.п.:

$$X = \frac{Q_i}{Q_m}.$$

Существует еще нормирование по пропускной способности:

$$Z = \frac{Q_i}{Q_c},$$

где Z – коэффициент использования ПРС, применяется для оценки использования ПРС объектов, при исследовании крупных систем, оценке распределения транспортных потоков по сети и т.д.

Смешивание этих понятий или их применение не по назначению приводит к ошибкам и искажениям. Необходимо помнить, что коэффициент X относится к нагрузке на полосе движения, а коэффициент Z – к пропускной способности объекта, что далеко не одно и то же.

6. СТОЯНКИ ТРАНСПОРТА

6.1. Общие положения

В обычных условиях ТС могут находиться только в двух основных состояниях – двигаться по проезжей части либо стоять на стоянке. Практически любая поездка сопровождается стоянкой. **Стоянки транспорта** являются неотъемлемой частью процесса дорожного движения, и оптимальное решение проблемы стоянок оказывает сильное влияние на качество дорожного движения.

Размещение транспорта в гаражах и на стоянках является важным фактором, т.к. стоянки у тротуара занимают проезжую часть, которая предназначена для движения. Особенно страдает от уличных стоянок МПТ, пользующийся, как правило, крайними правыми полосами. Уличные стоянки резко ухудшают условия движения, снижают пропускную способность и являются одной из основных причин повышенных потерь в дорожном движении.

Стоянки транспорта делятся на несколько категорий. Различают стоянки *открытые*, расположенные под открытым небом, и *крытые (гаражи-стоянки)*, расположенные в закрытых помещениях. Открытые стоянки, в свою очередь, делятся на *уличные* и *внеуличные*. Уличные стоянки располагаются на проезжей части около бортового камня, возможно, с частичным заездом на тротуар, – такие стоянки называются *околотротуарными*. Специфическим видом околотротуарной стоянки является остановочный пункт МПТ. К категории уличных следует отнести также стоянки на газонах и тротуарах, заезд на которые осуществляется непосредственно с проезжей части. К ним же, очевидно, можно отнести и стоянки, расположенные частично или полностью на обочине дорог и улиц, не имеющих тротуаров. Таким образом, к уличным можно отнести все стоянки, расположенные в пределах улицы или дороги, включая тротуары, обочины, газоны, разделительные полосы.

К внеуличным относятся стоянки, расположенные вне пределов улицы или дороги. Очевидно, к категории внеуличных следует отнести также и стоянки на площадках отдыха, расположенные на загородных дорогах. Внеуличные стоянки, имеющие один въезд-выезд, называются *закрытыми*, или *с двухсторонним движением*, а имеющие два и более въезда-выезда (как правило, отдельно – въезд и отдельно – выезд) – *незакрытыми*, или *с односторонним движением*. К категории внеуличных стоянок можно отнести грузовые площадки (терминалы) для переработки грузов, а также стоянки на площадях и конечные пункты маршрутов пассажирского транспорта. И, наконец, к этой категории можно отнести многочисленные дворовые стоянки, особенно в районах многоэтажной жилой застройки.

Открытые стоянки составляют подавляющее большинство всех стоянок. От того, как они запроектированы и организованы, зависит их вместимость, удобство, время постановки на стоянку и снятия с нее, безопасность движения на стоянках и в районе въездов и выездов, экологическая обстановка в районе стоянок, а также их заполняемость. При выборе геометрических размеров стояночных мест (машино-мест, или ячеек) исходят из размеров расчетного автомобиля, который несколько больше «стандартного» автомобиля. Для легковых автомобилей машино-место определяется двумя размерами: ширина – 2,5 м и длина – 5 м. В некоторых случаях, когда автомобили, как правило, ставятся на длительное время, например, на

платные охраняемые стоянки, ширина машино-места может быть уменьшена до 2,3 м. Для грузовых автомобилей стояночная ячейка имеет размер 10 x 3 м, для автобусов – 12 x 3,5 м.

Потребность в стоянках зависит от уровня автомобилизации и характеристик рассматриваемого района. Возникновение стояночных проблем вероятнее всего в районах, где преобладают многоэтажные жилые дома, промышленные предприятия, и особенно в деловых и торговых городских районах.

Если на границах района постоянно замерять все входящие и выходящие автомобили (кордонный учет), разность между объемом входящего и выходящего транспорта в каждый момент времени будет характеризовать накопление транспорта в этом районе (рис. 6.1).

Установлено, что менее трети скопившегося транспорта находится в движении, а остальные 2/3 – на стоянках. При этом чем ближе исследуемый район находится к центру, тем больше скопление транспорта и потребность в стоянках и тем меньше возможность удовлетворить эту потребность (рис. 6.2).

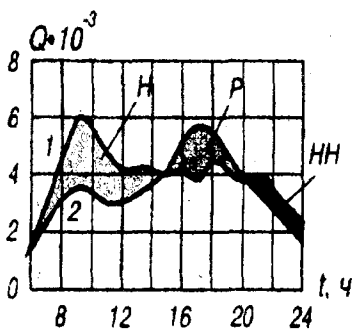


Рис. 6.1. Накопление транспорта в исследуемом районе города [1]:
1 – прибытие; 2 – убытие; N – накопление; P – рассасывание; NN – накопление для ночной стоянки

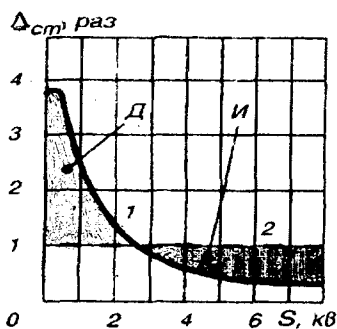


Рис. 6.2. Наличие и потребность в стояночных местах в США [20]:
 $\Delta_{ст}$ – отношение спроса к наличию;
 S , кв. – расстояние от центра города в кварталах; D – дефицит; И – избыток;
1 – спрос; 2 – наличие

Разумеется, в каждом крупном городе возможно также возникновение региональных или местных очагов скопления транспорта, особенно в районе торговых или иных центров, и, следовательно, повы-

шенной потребности в стоянках. В табл. 6.1 приведены некоторые численные характеристики, отражающие нормативную потребность в стоянках в районе расположения отдельных объектов тяготения.

Таблица 6.1

Нормативная потребность в стоянках
для городских объектов [24]

Объекты	Расчетная единица	Кол-во машино-мест на расчетн. единицу
Организации и учреждения	100 работающих	3-5
Промышленные предприятия	1000 работающих в 2 сменах	2-4
Универмаги	100 м ² торговой площади	2-4
Рынки	100 торговых мест	14-20
Рестораны и кафе	100 мест	3-5
Театры и кинотеатры	100 мест	3-5
Гостиницы	100 мест	3-5
Спортивные сооружения	100 мест	1-2
Больницы	100 коек	1-2
Вокзалы	100 пассажиров в час пик	3-5

Примечание. Приведены значения потребности на первую очередь. В 2006 году, спустя 20 лет после утверждения норматива, приведенные требования, как представляется, не выполнены.

На рис. 6.3 показана зависимость количества автомобилей, прибывающих на стоянку, от численности населения городского района; на рис. 6.4 – распределение запаркованных автомобилей в зависимости от целей поездки их владельцев, а на рис. 6.5 – зависимость количества стоянок в центральном деловом районе города от размеров города.

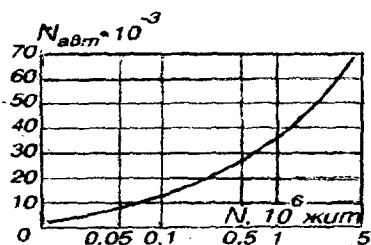


Рис. 6.3. Зависимость количества автомобилей, прибывающих на стоянку, от размеров города в США [1]

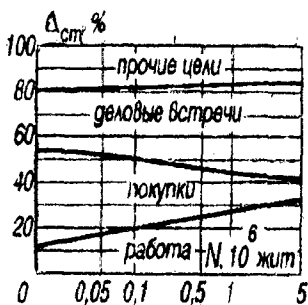


Рис. 6.4. Распределение запаркованных автомобилей в зависимости от целей поездки в США [1]

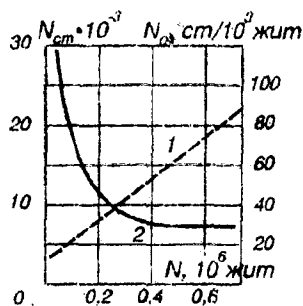


Рис. 6.5. Зависимость количества стоянок от размеров города в США [1]:
1 — абсолютное количество стоянок ($N_{\text{стк}}$);
2 — относительное количество стоянок ($N_{\text{отн}}$)

При выборе мест расположения и типа стоянок следует учитывать тот фактор, что водители стремятся запарковать свои автомобили возможно ближе к намеченной цели но, поскольку это не всегда удается, они согласны пройти некоторое расстояние пешком. Величина этого расстояния зависит от продолжительности пребывания на стоянке, типа стоянки и размеров города. Эти зависимости приведены на рис. 6.6.

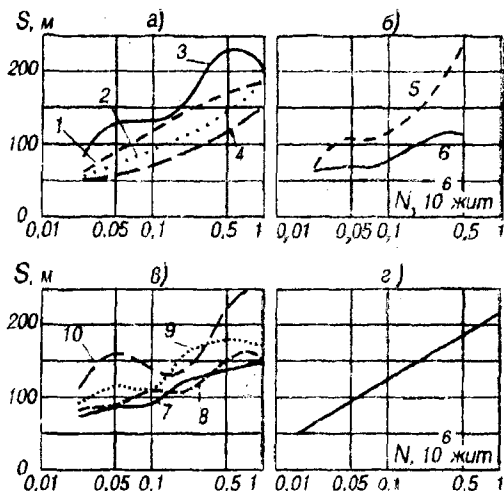


Рис. 6.6. Зависимость расстояния «место парковки — цель поездки» от размеров города и других факторов в США [1]:

а — цель поездки; б — тип стоянки; в — продолжительность парковки; г — результирующая; 1 — за покупками; 2 — по личным делам; 3 — на работу; 4 — прочие; 5 — внеуличная; 6 — околотротуарная; 7 — до 1 ч; 8 — от 1 до 2 ч; 9 — от 2 до 5 ч; 10 — свыше 5 ч

Характеристики стоянок.

Емкость, или вместимость стоянок определяется исходя из нормативов, с учетом фактического скопления автомобилей в данном районе и реальных возможностей. На рис. 6.7 показана зависимость числа автомобилей, накопленных на стоянках, от общего числа автомобилей, прибывающих за день в данный район. На рис. 6.8 показаны типичные кривые накопления автомобилей в ЦДР в различные дни недели.

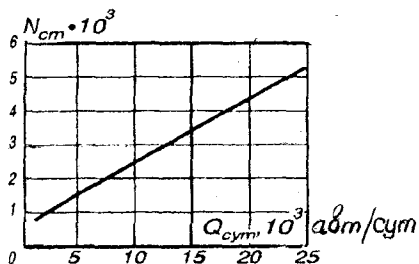


Рис. 6.7. Зависимость числа запаркованных автомобилей от интенсивности их прибытия в региональные торговые центры США [1]

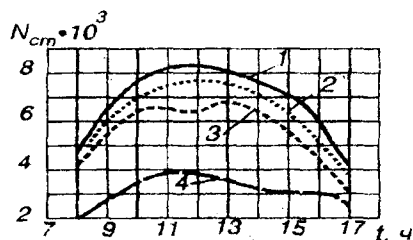


Рис. 6.8. Зависимость накопления автомобилей на стоянках в центральном деловом районе города от времени суток и дня недели в США [1]:
1 — понедельник; 2 — пятница; 3 — среда;
4 — суббота

Эти данные характеризуют общие тенденции потребности в стоянках и возможные диапазоны изменения количества машино-мест. Однако они являются явно недостаточными для принятия конкретных решений, — для этих целей необходимо детальное изучение исследуемого района.

Продолжительность стоянки зависит от целей поездки и размеров города (рис. 6.9). Наиболее длительная стоянка (исключая стоянки для хранения автомобилей) имеет место при поездках на работу — до 5 — 6 ч. Стоянки, связанные с поездками за покупками или по личным делам, имеют меньшую продолжительность. С увеличением численности населения города средняя продолжительность стоянки увеличивается. На рис. 6.10 показано распределение продолжительности стоянки автомобилей в районе крупнейшего рынка в г. Минске.

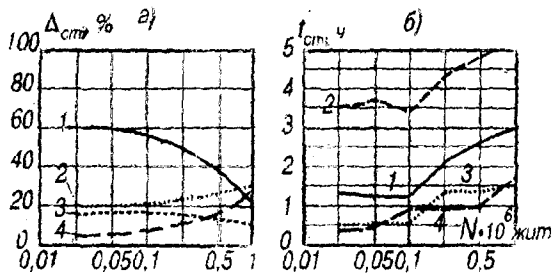


Рис. 6.9. Зависимость продолжительности стоянки автомобилей от размеров города и целей поездки в США [1]:

а – диапазоны продолжительности стоянки: 1 – до 0,5 ч; 2 – от 0,5 до 1 ч; 3 – от 1 до 3 ч; 4 – свыше 3 ч; б – цели поездки: 1 – результирующее значение; 2 – на работу; 3 – за покупками; 4 – личные дела

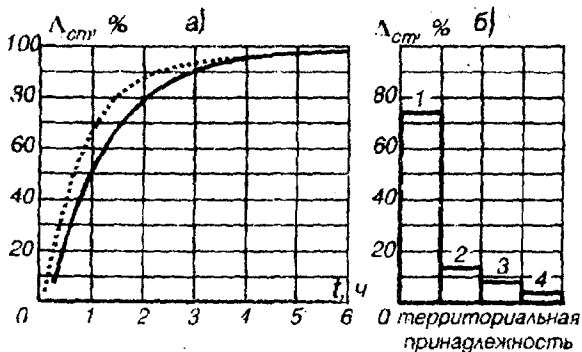


Рис. 6.10. Продолжительность стоянки (а) и принадлежность автомобилей (б) на околотротуарных стоянках в районе центрального рынка г. Минска (1991 г.) [7]; 1 – г. Минск; 2 – Минская обл.; 3 – области Беларуси; 4 – соседние республики (пунктиром для сравнения показано типичное распределение продолжительности околотротуарных стоянок в центральном деловом районе городов США [20])

Оборот стоянки представляет собой меру использования машино-мест и указывает на количество автомобилей, пользующихся одним машино-местом в течение заданного промежутка времени (как правило, с 8.00 до 20.00 часов). В табл. 6.2 приведена зависимость оборота стоянок от их типа и размеров города. Видно, что для длительного хранения чаще используют внеуличные стоянки, а для краткосрочного – уличные. С ростом размеров города оборот стоянок уменьшается.

Распределение оборота стоянок в США [1]

Размеры города, тыс. чел.	У тротуаров	Вне улиц
10-25	6,7	1,8
25-50	6,4	1,3
50-100	6,1	1,6
100-250	5,7	1,5
250-500	5,2	1,4
500-1000	4,5	1,2
св. 1000	3,8	1,1

Примечание. Расчетный период равен 8 часам (с 10 до 18 часов).

Занятость (загрузка) стоянки определяется отношением числа занятых в данный момент машино-мест к общему их числу.

На рис. 6.11 показано изменение загрузки стоянки в районе торговых центров в рабочие и выходные дни.

Продолжительность парковки (т.е. постановки на стоянку и снятия с нее) имеет существенное значение для охраняемых стоянок и многоэтажных гаражей-стоянок. Она определяет время заполнения и разгрузки стоянки и влияет на ее занятость и оборот. Оформление документов и плата за стоянку должны выполняться по упрощенной процедуре и в кратчайшие сроки, при этом в пиковый период необходимо дополнительное привлечение персонала. Широкое распространение получают автоматизированный учет и жетонная система пропусков.

Для определения оплаченного времени стоянки применяется *паркометр* – счетчик с часовым механизмом, указывающий время, которое остается до окончания стоянки. На Западе паркометры по-

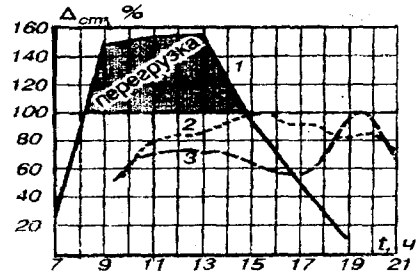


Рис. 6.11. Загрузка стоянок в районе торговых центров:

1 – около тротуарных стоянок в районе центрального рынка г. Минска в рабочие дни (1991 г.) [7]; 2 – стоянка в районе торгового центра в дни пиковой нагрузки, США [1]; 3 – то же, что 2, в обычные дни

лучили распространение с 30-х годов прошлого столетия; в Республике Беларусь, как и во всех постсоветских странах, они пока не применяются. В паркометрах предусмотрено устройство против несанкционированного извлечения выручки.

Паркометры при надлежащем обслуживании позволяют упорядочить стоянку автомобилей, увеличивают оборот стояночной площади и приносят определенный доход, который может быть направлен на развитие стоянок. Очевидно, время для внедрения паркометров в крупных городах Республики Беларусь уже наступило.

Особенности стоянок. Известно, что организация стоянки во многом зависит от характера объекта, который она в основном обслуживает. Игнорирование специфических особенностей обслуживаемых объектов снижает производительность стоянок, вызывает дополнительные потери и недовольство клиентов. Ниже очень кратко будут рассмотрены некоторые особенности стоянок автомобилей у характерных объектов.

Стоянки при зрелищных сооружениях – стадионах, дворцах спорта и т.д. – характеризуются интенсивным заполнением и быстрой разгрузкой. Обычно заполнение происходит в течение часа, а разгрузка – еще быстрее. Средняя продолжительность стоянки – около 2 ч. При проектировании стоянки следует учитывать, что часть пиковой нагрузки воспримут соседние внеуличные и особенно околотротуарные стоянки. Следует также учитывать, что приезжающие автомобили, как правило, заполнены пассажирами. Например, средняя заполняемость автомобилей, прибывающих на футбольные матчи, составляет от 3,5 до 4 человек. Вместе с тем необходимо учитывать, что при разгрузке стоянки в районе площадки находится очень много пешеходов, многие из которых (а также и водители) сильно возбуждены и вероятность конфликтной ситуации весьма высока. Поэтому во время разгрузки необходимо привлечение дополнительного персонала для ускорения расчетов при оплате и возможного регулирования на выездах.

Для *стоянок при аэропортах* характерно, что их пользователи разделены на несколько категорий. Работники аэропорта паркуют автомобили на длительный период – свыше 6 часов. Средняя продолжительность парковки автомобилей встречающих и провожающих – около 1 часа. Значительную долю запаркованных автомобилей составляют такси, продолжительность стоянки которых колеб-

лется от нескольких минут до нескольких часов. Должны быть также предусмотрены места для стоянки автобусов.

Стоянки, обслуживающие торговые центры, характеризуются резким возрастанием нагрузки в субботние и воскресные дни. Как правило, емкости стоянок недостаточны и автомобили в массовом порядке (рис. 6.12) паркуются с грубейшими нарушениями, что приводит к многочисленным конфликтам с жителями близлежащих домов и властями. Необходимо тщательное исследование возможностей близлежащей территории и принятие мер по полному удовлетворению спроса на стоянки. Как представляется, строительство современных многоэтажных гаражей-стоянок в районе мощных торговых центров является весьма желательным и экономически выгодным.

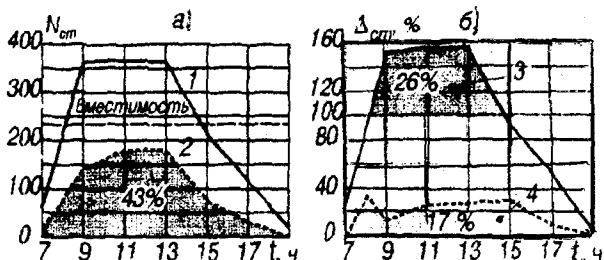


Рис. 6.12. Накопление автомобилей (а) и загрузка (б) околотротуарных стоянок в районе центрального рынка в г. Минске (1991 г.) [7]:

1 – накопление автомобилей; 2 – нарушения; 3 – нарушения, условно спровоцированные нехваткой стояночных мест; 4 – неспровоцированные нарушения

Стоянки, обслуживающие промышленные предприятия, должны учитывать расположение предприятия – город или пригород, контингент работающих – мужской или женский, и число рабочих смен. На рис. 6.13 показана нагрузка в течение суток стоянки, обслуживающей промышленное предприятие. Отчетливо просматриваются пиковые периоды между сменами, когда одни уже приехали на работу, а другие еще не уехали. Видно также, что частичная загрузка и разгрузка стоянки происходит очень интенсивно.

Стоянки, обслуживающие непромышленные организации – институты, властно-распорядительные учреждения и т.д., – характеризуются двумя заметно выраженными пиковыми нагрузками и значительной продолжительностью стоянки – до 6 часов. Загрузка и разгрузка стоянок происходят довольно интенсивно.

Стоянки в жилых районах характеризуются тем, что пиковая нагрузка приходится на ночь (рис. 6.14). Потребность в стоянках определяется в зависимости от плотности и этажности застройки, уровня доходов, преобладающего возраста жителей и т.д. Для определения потребности необходимо проведение детальных исследований, в т.ч. с использованием анкет. Поскольку жилые районы очень чувствительны к уровню экологического загрязнения, при проектировании стоянок кроме жесткого соблюдения нормативных требований особое внимание следует уделять их изоляции или хотя бы удалению от жилого массива, озеленению.

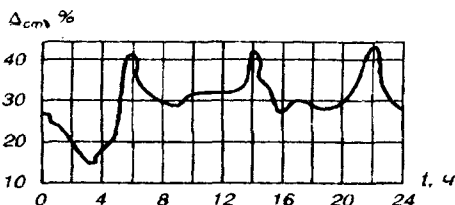


Рис. 6.13. Нагрузка в течение рабочих суток на стоянку, обслуживающую промышленное предприятие в США [1] (здесь $\Delta_{ст}$ – отношение количества одновременно стоящих автомобилей к среднесуточному количеству прибывающих на стоянку)

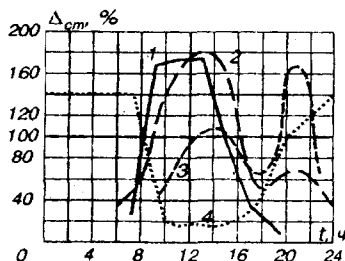


Рис. 6.14. Накопление автомобилей на стоянках:

- 1 – в районе центрального рынка г. Минска [7];
- 2 – в центральном деловом районе города США [20];
- 3 – в региональном торговом центре США [1];
- 4 – в жилом районе США [1]

Стоянки на загородных дорогах предназначены в основном для отдыха водителей и пассажиров легковых и грузовых автомобилей. Они оказывают заметное влияние на безопасность движения и должны располагаться через каждые 10–15 км. Поскольку здесь нет острой нехватки площадей, как в городах, основное внимание обращается на создание надлежащих условий для отдыха.

Очевидно, для цивилизованного отдыха обязательным является наличие туалета, контейнера для мусора, питьевой воды, места для очага, возможно, скамейки, стола, легкого навеса. Очень хорошо, когда стоянка расположена в живописном месте и защищена от ветра лесным массивом или посадками. Схема расстановки машин за-

висит от формы и размеров площадки, при этом должна быть предусмотрена возможность заезда и выезда грузовых автомобилей и автопоездов. Организация движения на площадке, как представляется, должна быть выполнена с использованием рекомендуемых знаков. Применение запрещающих знаков, особенно знака 3.1 «Въезд запрещен», при интенсивности движения около 10 авт/сут представляется по меньшей мере непродуманным.

На рис. 6.15 показаны варианты планировки стоянок на загородной дороге.

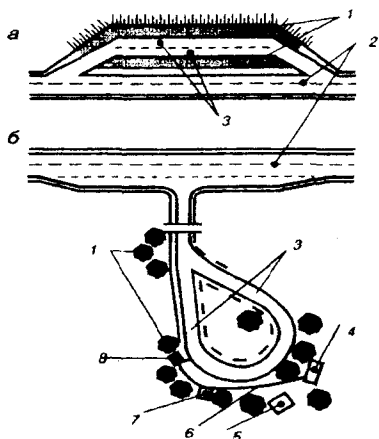


Рис. 6.15. Варианты планировки стоянок на загородных дорогах [3]: а – линейного типа; б – тупикового типа; 1 – зеленые насаждения; 2 – проезжая часть; 3 – место для стоянки; 4 – источник воды; 5 – место для приема пищи; 6 – тропинка; 7 – ящик для мусора; 8 – туалет

6.2. Классификация стоянок

Уличные стоянки. В табл. 6.3 показано расположение автомобилей на уличных околотротуарных стоянках и приведены ориентировочные размеры занимаемой одним машино-местом длины полосы L , шага парковки H , ширины проезжей части B и площади проезжей части S_1 – для крайних автомобилей и S_2 – для остальных автомобилей в ряду.

При расчете принято, что движение транспорта осуществляется на расстоянии не меньше 1 м от крайней габаритной точки запаркованного автомобиля. Если автомобиль запаркован частично на газоне или тротуаре, а занимаемая им ширина проезжей части меньше 3,5 м, но больше 0,7 м, принято допущение, что он занимает всю полосу, т.е. 3,5 м ширины проезжей части.

Парковка вдоль бортового камня является самым распространенным способом, потому что удобно высаживать пассажиров и потому, что она занимает наименьшую ширину проезжей части – из

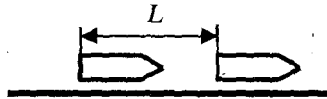
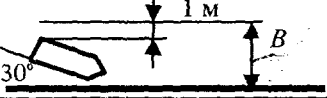
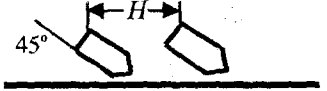


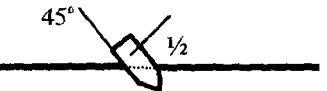


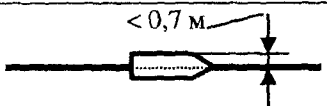
движения выключается только одна полоса. При соблюдении установленной дистанции до переднего автомобиля (около 3 м) выезд также очень удобный, делается фактически за один прием и дает водителю очень хорошую обзорность в направлении главного потока. Недостатком является большая длина полосы движения, занимаемая одним автомобилем. При недостатке стояночных мест водители сами сокращают дистанцию до переднего автомобиля до 1,5–2 м, что требует выезда в два приема. Хотя при этом и уменьшается длина занимаемой полосы, тем не менее на одно машино-место все же приходится около 7 м. Этот способ парковки используется в случаях невысоких и средних потребностей в стоянке. Известны способы организованного уплотнения запаркованных машин, например, спаренные стоянки, которые, однако, требуют четкой разметки и жесткого контроля и, как представляется, могут нормально функционировать только при наличии паркометров.

Если по каким-либо причинам (транспортная нагрузка, подвеска троллейбусной линии и т.д.) нельзя выключить из движения целую полосу, но имеется возможность частично заехать на газон или тротуар, парковка может быть выполнена так, как показано на позиции IX. Чтобы сохранить возможность движения на правой полосе, следует как можно дальше заезжать на газон, оставляя на проезжей части не более 0,7 м ширины автомобиля. В этом случае оставшейся ширины правой полосы (от 3 до 3,5 м) достаточно для движения ТС, хотя и несколько стесненного. Если же на проезжей части остается большая часть автомобиля, полоса фактически выключается из движения, хотя маневры объезжающего транспорта менее опасны, чем в случае парковки полностью на проезжей части.

Если имеется возможность выделить под стоянку широкую полосу, но условия маневрирования ограничены, парковку делают под углом 30° . В этом случае несколько уменьшается длина занимаемой полосы и остается весьма удобной постановка на стоянку. Однако выезд со стоянки возможен только с применением заднего хода, что более затруднительно и опасно.

Таблица 6.3

Размеры околотротуарных стоянок (ориентировочные)

№ п/п	Способ постановки	L, м	H, м	B, м	$S_1 = L \cdot B$, м ²	$S_2 = B \cdot H$, м ²
I		8,00	8,00	3,50	28,0	28,0
II		5,57	5,67	5,67	31,6	28,4
III		5,30	3,53	6,30	33,4	22,3
IV		4,67	2,89	6,57	30,7	20,0
V		2,50	2,50	6,00	15,0	15,0
VI		4,50	3,53	3,70	16,7	13,1
VII		2,50	2,50	5,00	13,0	13,0
VIII		5,30	3,53	5,60	29,7	19,8
IX		8,00	8,00	1,7	13,6	13,6

Парковка под углом 45° требует еще большей ширины проезжей части, однако тоже выполняется в один прием с соседней полосы движения. Эти два вида парковки (под углом 30° и 45°) применяют-

ся тогда, когда заезд на стоянку выполняется при худших условиях, чем выезд. Это может быть, например, разное время суток, когда заезд осуществляется в пиковое время, а выезд – в послепиковый период, или на перегонах регулируемых магистралей, когда заезд осуществляется из плотной пачки автомобилей и должен быть выполнен сразу, без особого маневрирования и задержек. В то же время выезд со стоянки может быть сделан в тот момент, когда на предыдущем перекрестке светофор перекрыл основной поток транспорта и по перегону движутся лишь одиночные автомобили поворотных направлений. Если имеется возможность, следует частично заезжать на газон или тротуар (позиция VI), что позволяет при таком способе парковки занимать только одну полосу движения.

Если имеется возможность свободной парковки на стоянку в два приема с применением заднего хода (например, при малоинтенсивном одностороннем движении), можно использовать парковку под углом 135° , как это показано в позиции VIII. В этом случае значительно облегчается выезд, который может быть произведен практически в любое время.

В случае когда имеется достаточно места и достаточно времени для маневрирования, парковку осуществляют перпендикулярно бортовому камню (позиции V и VII), что позволяет разместить наибольшее число машин по длине улицы. При этом наименьшую площадь занимает автомобиль, запаркованный задним свесом на тротуар (позиция VII). Однако кроме трудностей самой парковки (водителю трудно точно попасть в отведенное место, к тому же при высоком бортовом камне часто повреждаются бамперы и обрываются брызговики задних колес) недостаток этого способа (позиция VII) заключается в том, что выхлопные газы попадают прямо на пешеходов и жителей расположенного напротив жилого дома, даже если между машиной и пешеходом находится газон. Поэтому такой способ парковки, хотя он самый производительный, следует применять с осторожностью. Возможны случаи его применения на улицах с далеко расположенными зданиями, тупиковых улицах, улицах перед промышленными предприятиями и т.д.

Парковки под углом 60 и 150° , как представляется, занимают промежуточное положение между парковкой под углом 45 (135°) и 90° , поэтому их применение оправданно только в тех случаях, когда

еще невозможно запарковать машину под углом 90° , но уже можно парковать под углом, большим 45° .

Парковка автомобилей на тротуарах производится, в принципе, аналогично рассмотренному. Обязательным является требование не создавать значительных помех пешеходам, особенно при постановке на стоянку и выезде. Поэтому парковка производится, как правило, со стороны проезжей части и лишь в исключительных случаях (очень широкий тротуар при эпизодической пешеходной нагрузке, парковка ранним утром и т.д.) – со стороны тротуара.

Парковка грузовых машин, автопоездов и автобусов осуществляется, как правило, только вдоль бортового камня, по возможности у самого края проезжей части. Парковка мотоциклов может производиться любым способом так, чтобы они создавали минимум помех ПП и пешеходам. В случаях когда мотоциклы паркуются совместно с машинами, их надо устанавливать так, чтобы они не выходили за габариты запаркованных автомобилей в сторону проезжей части.

Парковка любых автомобилей на загородных дорогах при отсутствии специальных площадок производится параллельно оси проезжей части и по возможности ближе к краю обочины так, чтобы автомобиль не занимал проезжую часть или занимал ее как можно меньше. Парковка на дорогах и улицах местного значения производится так, чтобы не создавать труднопреодолимых помех транспорту и пешеходам.

Особый интерес представляет парковка автомобилей на газонах с использованием специальных плит и понижением бортового камня (рис. 6.16). Специальная плита заводского изготовления является для автомобиля од-

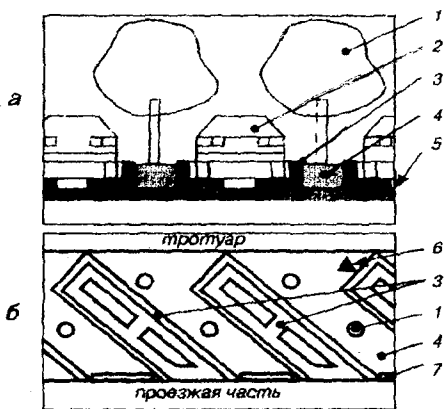


Рис. 6.16. Схема парковки автомобилей на газонах с использованием специальных плит: а – поперечный разрез; б – вид в плане; 1 – деревья; 2 – запаркованный автомобиль; 3 – специальная железобетонная плита; 4 – газон; 5 – уровень ПЧ; 6 – возможное место установки паркометра; 7 – бортовой камень

новременно опорой, направляющей и ограничителем. Применение таких плит позволяет полностью сохранить деревья, что важно с экологической и эстетической точек зрения.

Установка плит не требует особой подготовки грунта и может оперативно производиться как со стороны проезжей части, так и со стороны тротуара, что важно в случаях ремонта коммуникационных систем. Такие стоянки, как представляется, позволят в какой-то мере решить вопрос нехватки стояночных мест и будут дисциплинировать водителей, вынуждая их правильно парковать свои автомобили. Кроме того, в ряде мест такие стоянки могут быть оборудованы паркометрами, что позволит окупить затраты на их организацию.

Внеулические стоянки. На рис. 6.17 показаны наиболее распространенные схемы расположения машино-мест на внеулических стоянках. В табл. 6.4 приведены ориентировочные размеры и площадь стоянки на 1 машино-место (ячейку).

Таблица 6.4

Ориентировочные размеры внеулических стоянок [1, 20]
(рис. 6.17)

Тип	α°	$B, \text{ м}$	$G, \text{ м}$	$H, \text{ м}$	$L_1, \text{ м}$	$L_2, \text{ м}$	$M_1, \text{ м}$	$M_2, \text{ м}$	$S_1, \text{ м}^2$	$S_2, \text{ м}^2$
I	30	4,00	5,57	5,00	4,67	3,59	12,26	11,18	31,4	28,6
II, III	45	4,00	5,30	3,53	5,30	4,42	13,72	12,84	26,7	25,0
IV	60	5,00	4,67	2,89	5,57	4,95	15,52	14,90	25,2	24,2
V	90	6,00	2,50	2,50	5,00	5,00	16,00	16,00	20,0	20,0

Примечание. В расчетах принято: длина ячейки $l = 5 \text{ м}$; ширина ячейки $b = 2,5 \text{ м}$; $S_1 = (0,2 \cdot G + 0,8 \cdot H) \cdot 0,5 \cdot M_1$; $S_2 = (0,2 \cdot G + 0,8 \cdot H) \cdot 0,5 \cdot M_2$.

Автомобили могут заезжать на стоянку передним или задним ходом под различными углами к оси въезда. Ширина проезда зависит от ширины машино-места, угла стоянки, направления заезда, величины допускаемого проезда между машинами при маневрировании.

Принято, что парковка должна выполняться только одним маневром – вперед или назад, а минимальное расстояние между маневрирующими и стоящими автомобилями не должно быть меньше 0,9 м.

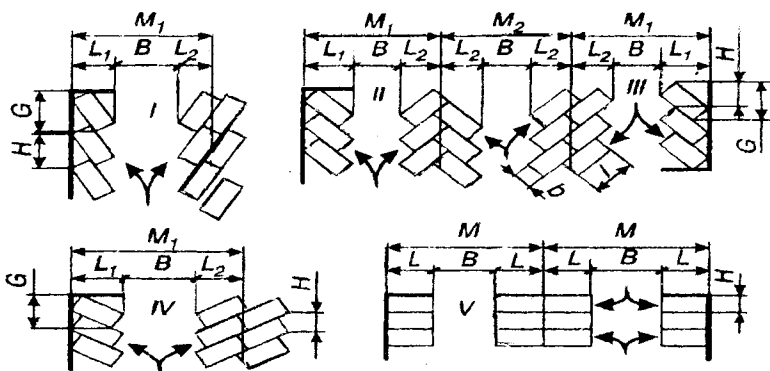


Рис. 6.17. Схемы расположения ячеек на внеуличных стоянках [1, 20]:

I – под углом 30° ; II – под углом 45° , елочка; III – под углом 45° , с перекрытием; IV – под углом 60° ; V – под углом 90° ; B – ширина проезда; G – габарит ячейки (длина, замеренная параллельно проезду); H – шаг ячейки; L_1 – глубина наружной ячейки; L_2 – глубина внутренней ячейки; M_1 – ширина наружного модуля; M_2 – ширина внутреннего модуля; b – ширина ячейки; l – длина ячейки (стрелками показано направление заезда; толстой линией – ограждающий барьер)

Считается, что стоянки под углом 30 , 45 и 60° более удобны для парковки, чем стоянки под углом 90° . Кроме того, в этом случае водители лучше видят свободные места. Поэтому, если исходить из удобства парковки, косоугольное расположение машин лучше, однако оно менее компактно и, следовательно, менее экономично. Кроме того, косоугольное расположение требует отдельного выезда, поскольку автомобиль выезжает со стояночного места в том же положении, в котором заезжал. Если не делать отдельного выезда, придется делать разрывы в стояночных местах, что ухудшит экономические показатели. Кроме того, потребуется дополнительный пробег каждого выезжающего автомобиля с несколькими поворотами, что к тому же опасно. Поэтому, если планировка позволяет иметь отдельные въезд и выезд и стоянка рассчитана на краткосрочное пребывание автомобилей, когда очень много маневрирования, применяют косоугольное расположение машино-мест, преимущественно елочкой или с перекрытием. Во всех остальных случаях, особенно при высокой стоимости земельных участков, применяют прямоугольную парковку.

При этом стремятся так спроектировать стоянку, чтобы на ней располагалось полное число модулей (которые состоят из двух рядов запаркованных машин и проезда между ними). На рис. 6.18 показан образец удачной и неудачной компоновки стоянок. Видно, что стоянка б, имеющая по сравнению со стоянкой а на 19 % большую территорию, обладает на 33 % большей вместимостью, т.е. на 12,5 % экономнее, что весьма актуально, поскольку стоимость земельных участков в городах очень высокая, а в центре крупных городов достигает баснословных величин.

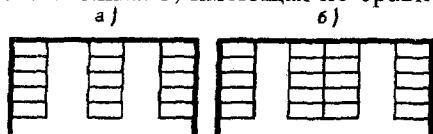


Рис. 6.18. Варианты компоновки внеуличных стоянок с прямоугольным расположением ячеек (стоянка б на 12,5 % экономичнее стоянки а)

На платных стоянках должна быть предусмотрена накопительная (резервная) площадка, предназначенная для приема и выдачи автомобилей. Недостаточные размеры этой площадки могут создавать заторы на улице из-за образовавшейся очереди автомобилей. Величина площадки рассчитывается исходя из вместимости и оборота стоянки, характера и особенностей близко расположенных объектов притяжения, а также процедуры оформления документов.

Большое значение имеет организация съезда с магистральной улицы на стоянку и выезд на улицу со стоянки. При этом следует избегать тяжелых и опасных левых поворотов и, по возможности, конфликтов с пешеходами. В некоторых случаях не исключается применение светофорного регулирования или включаемых предупреждающих сигналов типа «Берегись автомобиля». Имеет также значение информация о наличии свободных мест, которая может даваться не только непосредственно у стоянки, но и на подходах к ней. И, разумеется, должны быть предусмотрены элементарные бытовые удобства – навес, мусорный контейнер, вода и, по возможности, туалет.

Следует также предусмотреть возможность парковки некоторого количества грузовых автомобилей – либо на специально отведенной площадке, либо с временным занятием ячеек легковых автомобилей. Для этого как минимум должна быть предусмотрена соответствующая ширина въездных ворот и, возможно, несколько уширенный проезд от этих ворот.

Гаражи-стоянки. Известно, что в центре крупных городов земля чрезвычайно дорогая и строительство одноэтажных открытых стоянок является крайне невыгодным (рис. 6.19). Более того, во многих местах в центральном деловом районе попросту нет достаточных территорий, чтобы обеспечить хотя бы минимальную потребность в стоянках. Поэтому имеется только один выход – строить многоэтажные гаражи-стоянки. За последние полвека в развитых странах накоплен достаточный опыт строительства и эксплуатации многоэтажных гаражей-стоянок.

Различают два основных типа гаражей-стоянок – с перемещением автомобиля своим ходом и с перемещением посредством лифтоподъемного устройства. В первом случае гараж-стоянка в принципе напоминает обычную стоянку, расположенную на нескольких этажах. Перемещение автомобиля на любой этаж производится своим ходом по системам наклонных полов (пандусов или рамп), и дальнейшая парковка производится в обычном порядке. Известно много конструктивных решений таких гаражей – от безрамповых наклонных полов всего этажа до вынесенных двойных спиральных рамп. Их общим недостатком является невысокий коэффициент использования площади (слишком много вспомогательных площадей), большие и опасные пробеги автомобиля при парковке, невозможность строительства высотных гаражей (как правило, не более 10–12 этажей), загазованность помещений и т.д. В ряде случаев используют штатных загонщиков-профессионалов, которые ускоряют парковку и увеличивают вместимость гаража до 30 %. Однако многие клиенты очень неохотно доверяют ключи от своей машины загонщикам, опасаясь неаккуратного обращения с машиной или из-за оставленных в машине вещей. Все это повышает стоимость стоянки и отталкивает многих клиентов. Но у таких гаражей имеется одно неотразимое преимущество – высокая надежность. Очевидно, что постройка автомобиля

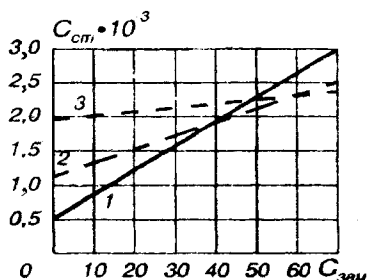


Рис. 6.19. Зависимость затрат на стоянку от стоимости земли в США [1]: $C_{зем}$ – стоимость 1 м² земли, дол.; $C_{ст}$ – стоимость 1 машино-места, дол.; 1 – открытая наземная стоянка; 2 – двухэтажная гараж-стоянка; 3 – пятиэтажная гараж-стоянка

на стоянку и его снятие практически не зависят от внешних обстоятельств – в первую очередь от работы лифтоподъемных устройств.

Тем не менее гаражи-стоянки с лифтоподъемными устройствами получают все большее распространение, что объясняется наличием у них целого ряда преимуществ: высокого коэффициента использования площади; отсутствия пробега автомобилей при парковке и, следовательно, безопасности и экологической чистоты; короткого цикла парковки; возможности для клиента закрыть автомобиль и

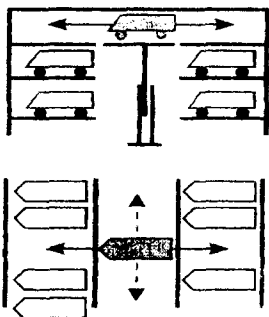


Рис. 6.20. Компоновка гаража-стоянки (лифтоподъемник передвигается вдоль стояночного модуля)

взять с собой ключи; возможности строительства высотных гаражей и т.д. В таких гаражах автомобиль, как правило, устанавливается на поддон, и все дальнейшие операции с ним производятся как с контейнером, без вмешательства человека.

На рис. 6.20 показана схема гаража-стоянки с лифтоподъемным устройством, передвигающимся вдоль проезда стояночного модуля. В таких конструкциях соотношение полезной и служебной площади внутри здания, приблизительно равно 2:1.

На рис. 6.21 показана схема гаража-стоянки, где стояночный модуль включает один лифтоподъемник и четыре стояночные ячейки и имеет в плане крестовидную форму. Специальное устройство лифтоподъемника позволяет перемещать неподвижный автомобиль на поддоне (или без поддона) в любую из 4 ячеек. Первый этаж служит только для заезда автомобиля и установки его на подъемник. Для ускорения оборота часть этажей может быть расположена внизу, под землей. Такая конструкция гаража-стоянки позволяет обеспечить соотношение полезной и вспомогательной площади, приблизительно равное 4:1, и заметно ускорить парковку автомобиля. В принципе, этажность здесь лимитируется только продолжительностью разгрузки, т.е. количеством автомобилей, приходящихся на один лифтоподъемник.

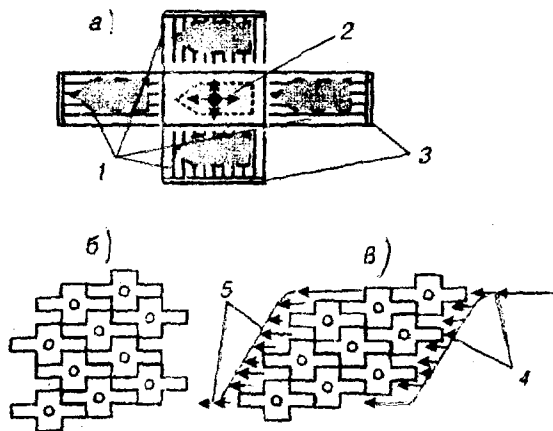


Рис. 6.21. Крестообразный стояночный модуль (а) и варианты компоновки многоэтажного гаража-стоянки (б, в) [7]:

1 – опорные пластины боковых ячеек; 2 – штыревая площадка лифтоподъемника; 3 – опорные стенки боковых ячеек; 4 – пути подъезда; 5 – пути отъезда

На рис. 6.22 показана одна из многих схем удвоения вместимости обыкновенных одноэтажных гаражей индивидуального пользования. Преимуществом ее является чрезвычайная простота и возможность

опускания-подъема автомобилей вручную с помощью простейшего редуктора или полиспаста. Кроме того, верхний автомобиль установлен как бы на подъемнике, и к нему имеется прекрасный доступ снизу, что может использоваться при обслуживании или ремонте.

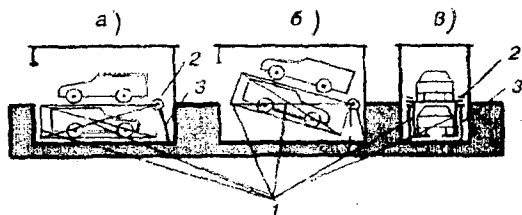


Рис. 6.22. Схема удвоения мест в одноэтажном гараже стандартных размеров (6х3х2,5м): а – заезд-выезд верхнего автомобиля; б – заезд-выезд нижнего автомобиля; в – поперечный разрез; 1 – поворотная ферма; 2 – шарнир; 3 – опора шарнира

6.3. Исследование стоянок

Исследования выполняются с целью определения потребности в стоянках, фактического наличия стояночных мест, характера ис-

пользования имеющихся стоянок и их влияния на характеристики дорожного движения.

Потребность в стоянках определяется посредством так называемого *кордонного учета*, при котором непрерывно фиксируется количество и состав транспорта, входящего в данный район и выходящего из него. Границы района устанавливаются в зависимости от задачи и объекта исследования. В центральном деловом районе города счетчики-наблюдатели располагаются на всех входах-выходах. В региональном или местном торговом центре исследуются только те направления, с которых, по предположению или по наблюдениям, подъезжают или отъезжают автомобили, водители и пассажиры которых имеют целью посещение этого центра. В этом случае границы обследуемого участка могут отстоять от центра на относительно небольшом расстоянии – до 300 м, а для особо крупных центров – до 450 м.

Счетчики-наблюдатели по согласованному графику фиксируют время, количество и тип прибывающих и убывающих автомобилей. Замеры могут быть непрерывными, с отметкой времени через каждые 15 минут, и периодическими, например, в течение 15 минут через каждые 20 минут. В первом случае требуется в два раза больше людей, но выше точность результатов, во втором – наоборот. По результатам измерений строится зависимость «интенсивность – время суток» при движении туда и обратно. Разность ординат «туда» и «обратно» характеризует скопление автомобилей в исследуемом районе. При необходимости можно определить процентное соотношение легковых, грузовых и других типов автомобилей, скопившихся в исследуемом районе.

Заметим, что для детальных исследований, особенно в часы быстрого накопления автомобилей (начала работы торговых центров или зрелищных предприятий), в качестве единицы времени следует брать не 1 ч, а, например, 15 мин. Заметим также, что при длительном исследовании крупного центрального делового района, когда среднее время движения через него достигает существенной величины (например, более пяти минут), этот фактор можно учитывать, сдвигая кривую интенсивности «обратно» влево на величину времени проезда через центральный деловой район. На рис. 6.1 показаны результаты измерений скопления автомобилей в заданном рай-

оне. Заштрихованная зона показывает количество скопившихся в районе автомобилей в зависимости от времени суток.

При определении *фактического количества стояночных мест* исследуемый район разбивается на небольшие участки и каждому участку или кварталу присваивается кодовый номер. Наблюдатель обходит (или объезжает) все улицы, тупики и проезды своего участка, оценивает по имеющейся документации или измеряет линейную протяженность кромки тротуаров, зон запрещения стоянок в районе перекрестков и пешеходных переходов или в зоне действия запрещающих знаков, размеры существующих стоянок и т.д. Вся эта информация наносится на масштабный план участка и соответствующим образом кодируется. Затем, уже в камеральных условиях, рассчитывается вместимость существующих стоянок и возможность организации новых стояночных мест.

При исследовании *характера использования стоянок* определяют занятость и продолжительность стоянки. С этой целью исследователи периодически обходят стояночные места на своем участке, записывая номер и тип каждого запаркованного автомобиля и фиксируя другие особенности, например, нарушение правил стоянки, неаккуратную парковку и т.д. При этом возможны разные варианты, например, когда каждый исследователь обходит только свой небольшой участок или когда несколько исследователей объединяются в группу и последовательно обходят значительно больший участок, например, целый квартал. В любом случае интервалы между обходами должны быть небольшими – не больше 20 минут, потому что за это время, особенно на околотротуарных стоянках, может запарковаться и уехать много автомобилей, которые останутся незафиксированными. Установлено, что на околотротуарных стоянках при интервале в 15 минут не регистрируется до 30 % останавливающихся автомобилей, поэтому на этих стоянках, особенно в районе торговых центров, обходы должны делаться с интервалами не более 10–15 мин. Однако, если допустить экспоненциальное распределение продолжительности стоянок, можно внести поправку, учитывающую незафиксированные автомобили. На рис. 6.23 приведен график, позволяющий определить число незафиксированных автомобилей в зависимости от интервала обхода и полученной средней продолжительности стоянки.

При исследовании внеуличных стоянок, где средняя продолжительность стоянки значительно больше, интервалы обхода могут

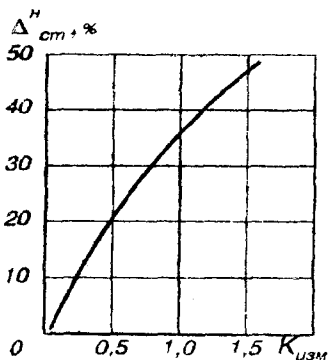


Рис. 6.23. Зависимость доли незафиксированных на стоянке автомобилей от интервала измерений [1]:

$\Delta_{ст}^н$ – доля незафиксированных на стоянке автомобилей; $K_{изм} = t_{изм}/t_{ст}$, где $t_{изм}$ – интервал измерений, ч; $t_{ст}$ – средняя продолжительность стоянки, определенная при данном интервале измерений, ч

быть увеличены до 0,5 часа. Исключения составляют лишь определенные периоды времени для стоянок, обслуживающих зрелищные предприятия, например, стадионы, когда накопление и разезд автомобилей производится с большой интенсивностью. При повторных обходах нет смысла повторять записи номерных знаков стоявших ранее автомобилей, – достаточно над или напротив номера такого автомобиля ставить условный знак, например, номер очередного обхода. Условными знаками отмечаются и другие особенности, в том числе нарушения. При специальных исследованиях особо отмечаются иногородние автомобили.

По результатам замеров определяются:

- количество запаркованных автомобилей;
- распределение продолжительности стоянок;
- распределение запаркованных автомобилей по составу и месту регистрации;
- количество нарушителей и распределение нарушений по видам и времени;
- занятость стоянки и распределение занятости по времени;
- оборот отдельных участков стоянки и исследуемого участка в целом.

Исследование влияния стоянок на процесс дорожного движения производится путем замера характеристик стоянок и параметров ТП в различные периоды времени. Например, в районе центрального рынка измерения проводятся трижды:

- в рабочие дни, когда рынок работает в нормальном режиме;
- в выходные дни, когда наступает пик торговли;

– в один из рабочих дней (как правило, понедельник), когда рынок не работает.

Сопоставляя результаты измерений и учитывая изменение интенсивности ТП, можно определить интересующее нас влияние стоянок на характеристики дорожного движения.

В некоторых случаях значительный объем информации можно получить путем опроса водителей и пассажиров паркующихся автомобилей. Желательно производить опрос одновременно на всем исследуемом участке. Однако из-за недостатка персонала исследуемый участок можно разбивать на элементарные участки по 12–15 машино-мест и выполнять исследования в течение нескольких дней или даже недель. При опросе водителей на внеуличных стоянках исследователи обычно располагаются на въезде или выезде. В результате опроса обычно получают следующие данные:

– куда планируют пойти водитель и пассажиры за время, когда автомобиль находится на стоянке;

– откуда приехал автомобиль на стоянку и с какой основной целью;

– как долго планируется держать автомобиль на стоянке.

Результаты опроса оформляются в виде таблиц и картограмм, где указываются основные цели поездки и их частота, направление и расстояние пешего пути, продолжительность стоянки, направление прибытия и т.д.

Такую же информацию можно получить и с помощью почтовых открыток, которые помещаются на ветровое стекло (под дворники) каждого запаркованного автомобиля. Почтовая открытка (оплаченная и с обратным адресом) содержит те же вопросы, что и при опросе водителей. Чтобы впоследствии установить место парковки каждого автомобиля, на открытке делается кодовый знак. Как правило, возвращается около трети выданных открыток. Открытки с вопросами, выясняющими влияние стоянок на процесс движения, могут вручаться водителям в местах транспортных заторов, вызванных стоянками, или на стоп-линии при красном сигнале светофора, разумеется, с соблюдением техники безопасности.

6.4. Отношение к стоянкам

Отношение к стоянкам определяется уровнем автомобилизации в стране и уровнем развития общества, что проявляется не

только в несовершенных и устаревших нормативах или в практике работы правоохраны, но и в каждодневном поведении основной массы водителей, которое часто можно характеризовать как некомпетентное, неуважительное, агрессивное. В результате общество несет ощутимые потери, неуклонно и быстро возрастающие по мере роста уровня автомобилизации.

Экономические потери заключаются в снижении скорости из-за фактического уменьшения ширины проезжей части, перерасходе топлива из-за ухудшения режимов движения и перепробеге в поисках места стоянки. Эти же причины, особенно ухудшение режима движения, вызывают увеличение экологических потерь. Аварийные потери возрастают из-за ухудшения видимости (особенно в конфликте Т-П и с участием детей), повышения уровня загрузки полосы движением, увеличения маневрирования и возрастания напряженности транспортного потока. Социальные потери кроме социальной составляющей в экологических и аварийных потерях выражаются также в многочисленных проявлениях несправедливости, агрессивности, закононепослушания.

Представляется, что отношение общества к стоянкам изначально заложено в нормативах, которые сегодня отличаются некомпетентностью и приносят много вреда. Например, существующие Правила различают три разновидности стоянки: кратковременную (до 5 мин), называемую остановкой; собственно стоянку (свыше 5 мин) и длительную стоянку, временное определение которой не дается вообще. Отличие остановки от стоянки только по временному признаку 5 минут недостаточно в связи с тем, что это время никак не связано с функциональными задачами остановки – посадки или высадки пассажиров, погрузки-разгрузки грузов, выяснения маршрута, устранения мелкой неисправности ТС и т.д.

Кроме того, существует трудность в доказательстве именно остановки, а не стоянки. Для того чтобы водитель мог доказать, что автомобиль простоял менее 5 мин, ему, очевидно, нужно как-то зафиксировать время остановки автомобиля (возможно, необходимо иметь в машине специальные часы или делать отметку на паркометре, если таковой имеется напротив машины). Во всех случаях водитель обычно ничего не может доказать, а инспектор может только с помощью специального снимка (где есть номер, время, дата) или свидетелей. Поэтому необходимо искать другое определе-

ние, функциональное, – возможно, посадка-высадка, погрузка-выгрузка, уточнение маршрута, работа двигателя, обязательное присутствие водителя.

Очевидно, должно быть дано четкое определение и термину «длительная стоянка», иначе его незачем вводить в нормативы. Должны быть также какие-то доказательства того, что это стоянка длительная, а не обычная, причем они должны быть предусмотрены для обеих сторон – для инспектора и для водителя.

Таким образом, принятая классификация стоянок нефункциональна, декларативна и недоказательна. Она не приносит никакой пользы, дает почву для различных злоупотреблений и должна быть пересмотрена.

Потребность в стоянках определяется уровнем развития автомобилизации в стране или регионе, характеристикой городского района, спецификой объектов тяготения и другими особенностями. Существуют нормативы, определяющие необходимое количество стоянок в зависимости от перечисленных факторов. При этом необходимо подчеркнуть, что действующие в Республике Беларусь советские нормативы несовершенны, поскольку опираются на идеологизированные и неверные представления о развитии общества, градостроительства и автомобилизации. Но даже эти заниженные нормативы не выполняются.

Необходимо отметить, что и участники движения, а не только разработчики и официальные структуры не придают должного значения вопросам стоянки. Парковка автомобилей производится с грубейшими нарушениями существующих нормативов и элементарных правил поведения, в ущерб дорожному движению, пешеходам и другим водителям. Можно привести примеры парковки в местах, где резко ухудшается видимость для конфликтующего транспорта или пешеходов; прямо на пешеходном переходе; на тротуарах, что сгоняет пешеходов в грязь и лужи; на проезжей части, что мешает движению транспорта, особенно МПТ; парковки, мешающей выезду из проездов; парковки, при которой водители оставляют для себя достаточно места для безманеврового выезда, не позволяя другим занять это полупустое место, и т.д. Иными словами, низкий уровень культуры, конфронтационность водителей и низкий уровень автомобилизации вкупе с неприемлемо слабым и ущербным надзором и устаревшими нормативами привели к тому,

что проблема стоянок становится весьма актуальной и резко обостряется по мере роста уровня автомобилизации. Необходимы серьезные усилия, в том числе и по разъяснению значимости стоянок в дорожном движении, особенно в городах.

Разумеется, очень желательны в напряженных местах указания о способе парковки машин и разметка. Заметим, что попытка увеличить производительность путем ужимания размеров по ширине стояночных мест против стандартных, как правило, не дает эффекта, т.к. водители просто-напросто перестают соблюдать требования разметки – им очень тесно, и они не справляются с парковкой. Чтобы хорошо поставить машину, им нужно несколько раз маневрировать, а это неудобно и опасно. Поэтому стандартный шаг парковки в 2,5 м следует выдерживать.

Допустимость уличных стоянок является одним из важнейших нерешенных вопросов управления дорожным движением. С одной стороны, околотротуарная стоянка – цель многих поездок, поскольку объект притяжения расположен в непосредственной близости. С другой, проезжая часть предназначена для движения, она очень дорогая и дефицитная, перегружена движущимися ТП, которым и так тесно и неудобно, да еще у них отнимается целая полоса стоящими ТС. Все это приводит к потерям всех видов. В ряде случаев, например, в центральном деловом районе, где стоянки особенно нужны, какие-либо возможности уширения проезжей части и улучшения условий движения ТП исчерпаны. При определении допустимости стоянок на проезжей части оцениваются два фактора: производительность или выигрыш для одних ТС и потери для других. Ясно, что если стоянка не мешает нормальному движению малоинтенсивных ТП, запрещать ее нет никаких оснований. Это относится к жилым улицам и нормальным улицам с несколькими полосами в одном направлении и слабой или умеренной интенсивностью движения. Ясно также, что на перегруженной улице, где любая остановка-стоянка вызывает массу опасных маневров, собираются длинные очереди ожидающих возможность совершить маневр объезда стоящего ТС, образуются заторы и т.д., стоянку надо запрещать. Трудности начинаются тогда, когда нет однозначного решения из-за величины транспортной нагрузки и колебаний ее во времени, из-за невозможности переноса стоянки на приемлемое удаление от объекта тяготения, из-за специфики объекта тяготения (например, банки, перед которыми

автомобили клиентов должны стоять очень близко, и т.д.). В таких случаях, как представляется, необходимо подсчитать потери с обеих сторон для различных вариантов ОДД. В частности, для ТП подсчитываются все потери при разрешении неограниченной стоянки, временной стоянки, стоянки для автомобилей ограниченного контингента участников, при переносе ее на другие улицы. Для пешеходных потоков также подсчитываются потери при разрешении неограниченной, временной и ограниченной по контингенту стоянки на тротуаре. Для потребителей стоянки подсчитываются потери времени от переносов стоянки, потери времени на поиск и достижение отдаленных стоянок, риск при специальных операциях (например, содержание охранников для банка) и т.д. Возможно, некоторые специфические виды потерь будут иметь повышающие штрафные (социальные) коэффициенты. Заметим, что перепробег в поисках стоянки увеличивает нагруженность УДС со всеми вытекающими последствиями. Все расчеты надо делать с учетом занятости близлежащих стоянок, возможности или невозможности создания новых стоянок или изменения регулирования, например, введения одностороннего движения и т.д. Таким образом, как представляется, это типичная оптимизационная задача, для которой должны быть созданы соответствующие программы. Здесь еще раз подтверждается необходимость прогнозирования потерь в вариантных решениях. Поскольку, в принципе, это дело будущего и сегодня таких программ практически нет, при оценке допустимости уличных стоянок нужно иметь в виду следующее.

Стоящие автомобили не должны располагаться в минимальных треугольниках боковой видимости: для пешеходов – 40 x 8 м, для транспорта – 50 x 30 м, – т.е., если нет на это специального разрешения, стоянки должны быть запрещены за 50 м по ходу движения перед перекрестком и за 40 м – перед пешеходным переходом (для магистральных и нормальных улиц с твердым покрытием).

На магистральных улицах, если нет специального разрешения, стоянки должны запрещаться вообще.

На участках нормальных улиц, где приведенная на полосу интенсивность достигает величины порядка 250 авт/ч и выше, стоянки надо запрещать.

Любой объект притяжения должен иметь пешеходную доступность в пределах согласованной нормы (200–300 м). В особых случаях, когда люди перегружены громоздкими, тяжелыми вещами, несут ценный груз и т.д., следует идти на компромисс и снижать норму пешеходной доступности, чаще организуя стоянки, лучше на втростепенных малонагруженных улицах.

Надо также отличать стоянку автомобиля от кратковременной остановки, не создающей помех движению. Например, при реализации магистрального движения обязательно будут появляться «окна» порядка 15–20 с, когда на проезжей части нет движущихся потоков. В это время вполне можно останавливаться, например, для высадки-посадки.

На вылетных магистралях в зоне притяжения магазинов обязательно должны быть оборудованы стоянки, в т.ч. и для грузовых автомобилей. Следует максимально использовать возможности газонов и незагруженных тротуаров. На газонах с использованием специальных плит и понижением бортового камня прекрасно организуются стоянки для легковых автомобилей. При этом бетонные плиты одновременно являются опорной и направляющей поверхностью.

Надо учитывать, что стоянки обязательно нужны, однако стоянки на проезжей части нагруженных улиц – несоизмеримо дорогое удовольствие, за которое общество расплачивается высокими потерями.

Выше рассматривались только стоянки легковых автомобилей. Однако в ряде случаев возникает потребность в организации уличных или внеуличных стоянок грузовых автомобилей – чаще всего в районах рынков или торговых центров на вылетных магистралях. Для уличных стоянок в таких случаях лучше всего выделить полосу движения. Для внеуличных стоянок следует учитывать трудности маневрирования и возможность парковки автопоездов. В некоторых случаях, особенно в туристических центрах, в зонах, примыкающих к пешеходным улицам и т.п., необходимо предусматривать стоянки для автобусов. Напомним, что размеры машино-места для грузового автомобиля равны 10 x 3 м, а для автобуса – примерно 12 x 3,5 м.

7. ПОТЕРИ В ДОРОЖНОМ ДВИЖЕНИИ

7.1. Понятие о потерях в дорожном движении

Оценка качества дорожного движения сегодня либо не выполняется совсем, либо выполняется формально, по нескольким несогласованным оценочным критериям, что приводит к тяжелым последствиям. В данной работе в кратком изложении приводится разрабатываемый в БНТУ новый метод оценки качества дорожного движения. Поскольку в этом методе основным оценочным критерием качества являются *потери в дорожном движении*, они рассматриваются более подробно [8].

Условно процессы в дорожном транспорте можно разделить на два этапа – подготовка к движению и сам процесс движения. На первом этапе происходит создание необходимых предпосылок для движения или необходимой инфраструктуры – строительство и содержание дорог, производство (или приобретение) и обслуживание транспортных средств, создание систем управления, подготовка кадров и т.д. На втором этапе производится перемещение людей и грузов в созданных для этого условиях. Очевидно, что на первом этапе от общества требуются весьма значительные затраты – так называемые затраты в инфраструктуре. Также очевидно, что и на втором этапе неизбежны не менее значительные издержки движения: потери времени, расход топлива, износ дорог и транспортных средств, выбросы в атмосферу, аварии и т.д.

Указанные затраты и издержки очень разнообразны и проявляются в самых различных формах, например, стоимость отведенных для дороги земельных участков, выбросы в атмосферу, содержание огромной массы людей, обслуживающих дорожное движение и дорожный транспорт, аварии, закононепослушание участников движения, потерянное время и т.д. Поэтому сопоставление их между собой дается очень трудно и является довольно условным. Тем не менее если все затраты и издержки привести к общему знаменателю, например, к деньгам (выразить в деньгах), то всегда будет существовать некая приведенная сумма издержек и затрат, которая характеризует стоимость транспортного обслуживания или транспортной услуги. Эта стоимость складывается из двух основных составляющих – затрат в инфраструктуре и издержек движения:

$$C = Z + E,$$

где C – стоимость транспортного обслуживания (транспортной услуги);

Z – стоимость затрат в инфраструктуре;

E – стоимость издержек движения.

Все это оценивается в денежных единицах – рублях или условных единицах либо, как принято, в руб./год или у.е./год.

Если исследуемая стоимость близка к минимально возможной, считается, что система работает оптимально, без потерь. Если же эта стоимость не минимальна, имеют место потери, под которыми понимают превышение исследуемой стоимости над минимально возможной:

$$П = C - C_{\min},$$

где $П$ – потери в исследуемой системе;

C – исследуемая стоимость;

C_{\min} – минимально возможная стоимость.

Если, например, затраты на строительство и содержание дороги будут ниже необходимых, издержки движения существенно возрастут и суммарная стоимость окажется выше минимальной. Если, наоборот, затраты на дорогу будут существенно выше необходимых, то, хотя издержки окажутся несколько меньшими, общая стоимость опять-таки превысит минимальную. В обоих случаях общество понесет убытки, т.е. в системе будут иметь место потери.

Понятие «*минимально возможная стоимость*» довольно условно и имеет расширенное толкование. Во-первых, все необязательные издержки, например, аварии, считаются потерями, хотя известно, что безаварийного движения в целом не бывает. Во-вторых, за базу для сравнения, скажем, скорости сообщения принимается стандартная разрешенная скорость, например, в населенных пунктах – 60 км/ч, повсеместное достижение которой, как известно, пока нереально. В-третьих, для достижения минимально возможной стоимости необходимо на исследуемом участке или в исследуемой системе собрать воедино все лучшие мировые достижения в этой области, что также практически невозможно. Поэтому минимально

возможная стоимость сегодня реально выступает не как эталон, а, скорее, как некий ориентир, к которому необходимо стремиться. В результате в понятие «потери» вкладывается смысл не только того, что мы действительно потеряли, но также и того, что мы «упустили», т.е. не воспользовались, не взяли и т.д.

Кроме того, дорожное движение обслуживает все сферы нашей деятельности, в нем участвует все население страны; дороги, улицы и окружающая среда являются общенародной собственностью. В силу этих и ряда других очевидных причин стоимость транспортного обслуживания рассматривается исключительно как общенародная, общегосударственная, общенациональная и т.д. Поэтому любая потеря в дорожном транспорте, в любой его подсистеме или на любом участке независимо от ее причины, последствий является потерей общенародной, общегосударственной, общенациональной. В результате любые потери в дорожном транспорте или дорожном движении независимо от того, касаются ли они нас непосредственно или нет, знаем ли мы о них или не знаем, — это *наши* потери, и все мы сильно, а иногда кровно заинтересованы в снижении этих потерь.

Понятие «*стоимость транспортного обслуживания*» имеет несколько оттенков. В одних случаях, когда речь идет об огромных региональных или национальных системах дорожного транспорта, в это понятие обычно вкладывается суммарная стоимость с учетом всех составляющих чрезвычайно сложной и многогранной системы. Такую стоимость можно было бы назвать *глобальной* ($C_{гл}$). В других случаях, например при исследовании вариантов регулирования на ограниченном участке улично-дорожной сети, в понятие «стоимость» вкладывается лишь стоимость издержек движения, а остальные составляющие могут быть просто опущены, поскольку они никак не участвуют в оценке вариантов и принятии решений. Такую стоимость можно было бы назвать *стоимостью издержек* (C_2). В третьих случаях речь может идти только о затратах в инфраструктуре, например, при решении вопроса о том, разрабатывать ли собственные конструкции светофоров или же закупить их за рубежом. Такую стоимость можно было бы назвать *стоимостью затрат в инфраструктуре* (C_z). В большинстве случаев, однако, инженер имеет дело с промежуточными вариантами, когда в понятие «стои-

мость» включаются лишь сопоставляемые компоненты, – чаще всего все издержки движения и определенные затраты на ограниченное изменение условий движения. Такую стоимость можно было бы назвать *сопоставительной* ($C_{сп}$ или просто C).

Поскольку потери по определению есть производная от стоимости, то и их можно квалифицировать аналогично стоимости: глобальные, от издержек движения, в инфраструктуре и сопоставительные. В данной работе исследуются преимущественно сопоставительные потери, которые, как мы уже знаем, включают в основном потери от издержек движения.

Таким образом, *потери в дорожном движении – это социально-экономическая стоимость необязательных издержек в процессе движения.*

Потери в дорожном движении можно разделить на четыре вида:

- экономические;
- экологические;
- аварийные;
- социальные.

Все эти виды довольно тесно связаны между собой, и иногда бывает трудно провести между ними четкую границу. Поэтому указанное деление, а также приведенные названия следует считать условными или рабочими. Тем не менее опыт применения этой классификации показал, что она понятна и довольно удобна в пользовании, особенно при анализе структуры потерь на отдельном участке. При применении этой классификации к суммарным потерям в дорожном транспорте необходимо учитывать, что суммарные потери включают кроме потерь от четырех видов издержек движения еще и соизмеримые по величине потери от неоптимальных затрат в инфраструктуре, которые носят преимущественно экономический характер. Поэтому чем выше доля потерь в инфраструктуре, тем слабее проявляются видовые отличия и потери в дорожном транспорте все отчетливее становятся чисто экономическими.

Экономические потери в дорожном движении связаны с необязательными задержками (снижением скорости в сравнении с нормативной), остановками и перепробегом транспорта, задержками пассажиров и пешеходов, перерасходом топлива, износом или повреждением транспортных средств из-за некачественных условий движения и т.д.

Сюда же относятся потери прибыли участниками движения и потери в смежных отраслях из-за невыполнения принятых обязательств (например, из-за опозданий или поломок в дороге и т.д.).

Экономические потери характеризуются тем, что они почти равномерно раскладываются на всех членов общества и как бы маскируются, сливаясь с действительно неизбежными издержками, в результате чего к ним привыкают и их как бы не замечают. Однако по своим масштабам эти потери значительно превышают аварийные и экологические вместе взятые и значимо влияют на уровень нашего благосостояния.

Экологические потери – это превышающие минимально возможные величины выбросы вредных веществ в атмосферу, загрязнение воды и почвы, воздействие шума, вибрации и электромагнитных излучений.

Основными причинами повышенного уровня экологических потерь являются перегрузки отдельных участков улично-дорожной сети; повышенный уровень маневрирования интенсивных потоков, включая торможения, остановки и разгоны; вынужденное снижение скорости и движение на неэкономичных режимах; перепробег в любых его проявлениях; неудовлетворительное техническое состояние транспортных средств и т.д. Даже, казалось бы, такие «полезные» начинания, как понижение установленного предела скорости в населенных пунктах или обязательное включение головного света в дневное время, приводят к повышенному расходу топлива и увеличению экологических (не говоря уже об экономических) потерь, что многократно перечеркивают кажущиеся «выигрыши».

В экологических потерях следует различать *произведенный* и *потребленный вред*. Одно дело, когда нагруженная городская магистраль проложена через незаселенную, например, промышленную зону, и совсем другое, когда эта же магистраль проходит через густонаселенные жилые районы и вплотную примыкает к жилым зданиям, больницам, детским учреждениям и т.п. Очевидно, при одинаковом произведенном вреде потребленный вред во втором случае будет несопоставимо большим. Это разделение хотя и недостаточно, но все же учитывается при определении экологических потерь. Например, стоимость ущерба от одинакового количества выбросов в атмосферу в городе оценивается почти в два раза выше, чем за городом, а при определении ущерба от воздействия на человека

учитывается число подвергшихся воздействию жителей, удаленность застройки и т.д.

Экологические потери характеризуются тем коварным свойством, что их действие отложено во времени на довольно значительный период. В результате сегодняшнее поколение пожинает плоды экологической деятельности прошлых поколений, а плоды нашей деятельности будут пожинать потомки. Опасность заключается в том, что результаты могут оказаться непредсказуемо страшными, к примеру, исчезновение озонового слоя или генетические изменения в самом человеке. Экологические потери, по сегодняшним германским оценкам, существенно уступают экономическим, но столь же существенно превышают аварийные. Завтра, как представляется, значимость экологических потерь существенно возрастет.

Под *аварийными* понимают все потери от аварий любых видов и любой тяжести последствий, а также судебные и иные издержки, связанные с авариями. В аварийных потерях в отличие от экономических и экологических ущерб наносится в первую очередь отдельным участникам движения, – именно для них эти потери тысячекратно важнее, чем другие виды потерь. В то же время отношение общества к аварийным потерям легко определяется по результатам, по уровню аварийности, т.е. по тому, что оно делает для снижения этих (и других) потерь, а не по тому, что оно заявляет по этому поводу.

Под *социальными* понимают все потери, связанные с нарушением прав и свобод человека, закононепослушанием и духовным развращением личности. Они могут быть вызваны произволом, недобросовестностью или некомпетентностью властей, неподчинением участников движения установленным нормам, равно как нелепостью или невыполнимостью отдельных положений этих норм; принуждением или подстрекательством к невыполнению нормативов; бесконтрольностью или безнаказанностью отдельных лиц и т.д. Долгое время социальные потери вообще не рассматривались как факт и уж тем более как потери. Видимо, потребуется определенное время для того, чтобы осознать их значимость, причем не только для дорожного движения, где они, как оказалось, занимают доминирующее положение, но и для других областей нашей жизни.

Все виды потерь являются социально-экономическими и имеют две составляющие – материальную и духовную (или экономическую и социальную). *Экономическая составляющая* – это та часть

потерь, которая имеет однозначный денежный эквивалент, например, стоимость поврежденных машин или грузов при аварии, оплата листков нетрудоспособности из-за экологических воздействий на человека и т.д.

Социальная составляющая не имеет однозначного денежного эквивалента и характеризует ту часть потерь, которая отражается на полноценности отдельного человека или общества в целом. Эти потери связаны с гибелью или потерей здоровья человеком, в том числе психического; с состоянием окружающей среды, общества, воспитанием детей и т.д. Экономическая оценка этих потерь производится опосредованно через систему страховых отношений, общественных приоритетов (нормативов), возмещения морального ущерба и т.д. И хотя эта оценка очень нежесткая и приблизительная, она все же есть и позволяет сопоставить между собой различные виды потерь.

Сопоставление производится по так называемым «приведенным» потерям, включающим в себя обе составляющие – экономическую и социальную:

$$\Pi = \Pi_e + \Pi_c,$$

где Π – приведенные потери данного вида, руб./год;

Π_e – экономическая составляющая потерь данного вида, руб./год;

Π_c – социальная составляющая потерь данного вида, руб./год.

Определение социальной составляющей производится с помощью так называемого «*социального коэффициента*» K_c , показывающего, сколько рублей (условных единиц) согласно заплатить (или уже платит) общество, чтобы избежать социально-экономических потерь данного вида на 1 рубль в данное время. По определению,

$$K_c = \frac{\Pi_e + \Pi_c}{\Pi_e} = 1 + \frac{\Pi_c}{\Pi_e}.$$

Приведенные потери данного вида можно определить как произведение экономической составляющей на социальный коэффициент:

$$\Pi = \Pi_e \cdot K_c, \text{ руб./год.}$$

Суммарные приведенные потери на исследуемом участке или в исследуемой системе определяются из выражения

$$P_{\Sigma} = P_{\text{эkn}} \cdot K_{\text{с эkn}} + P_{\text{экл}} \cdot K_{\text{с экл}} + P_{\text{а}} \cdot K_{\text{с а}} + P_{\text{с}} \cdot K_{\text{с с}}, \text{ руб./год,}$$

где $P_{\text{эkn}}$, $K_{\text{с эkn}}$ – экономическая составляющая и социальный коэффициент экономических потерь, соответственно;

$P_{\text{экл}}$, $K_{\text{с экл}}$ – то же для экологических потерь;

$P_{\text{а}}$, $K_{\text{с а}}$ – то же для аварийных потерь;

$P_{\text{с}}$, $K_{\text{с с}}$ – то же для социальных потерь.

Очевидно, что в экономических потерях социальная составляющая незначительна. Это могут быть потери из-за срыва обязательств (например, опоздание на поезд из-за незапланированного простоя в уличной пробке или из-за перепробега при объезде), потеря части клиентов из-за низких скоростей сообщения и т.д. Поскольку численные значения социальной составляющей в этом виде потерь пока не установлены, принято допущение, что они несут незначительные, и социальный коэффициент близок к единице, т.е. $K_{\text{с эkn}} \approx 1$. Учитывая это обстоятельство, можно утверждать, что виды потерь в дорожном движении приводятся к экономическим, или, что то же самое, *приведенные потери – это экономические потери*.

Экономическая составляющая экологических потерь проявляется в виде затрат на лечение, потери части национального дохода и выплат по листкам нетрудоспособности из-за болезней граждан, вызванных загрязнением окружающей среды; затрат на восстановление зеленых и лесных насаждений из-за их болезни и порчи; затрат на восстановление зданий и сооружений из-за кислотных дождей и т.д. Социальная составляющая проявляется в виде потери здоровья отдельным гражданином и нацией в целом, разрушения окружающей среды, нарушения экологического равновесия, что может привести к непредсказуемым последствиям. Данные о величине социального коэффициента неизвестны, однако, по некоторым оценкам, для Республики Беларусь он находится в пределах от 1,5 до 3 (т.е. $K_{\text{с экл}} \approx 1,5...3$).

Экономическая составляющая аварийных потерь – это стоимость повреждений машин и грузов, потеря части национального дохода из-за гибели или ранения людей, расходы на лечение, пенсии, пособия и т.д. Социальная составляющая – это душевная боль из-за гибели или увечья людей, крушения планов и надежд, изменения в худшую сторону привычного образа жизни и т.д. Точные данные о величине социального коэффициента аварийности в Республике Беларусь неизвестны, однако предварительные исследования показывают, что он, очевидно, находится в пределах от 3 до 10, т.е. $K_{ca} \approx 3...10$. При этом чем выше тяжесть последствий, тем выше социальный коэффициент аварийности.

Экономическая составляющая социальных потерь, как представляется, включает экономическую выгоду, полученную незаконным путем (например, выигрыш во времени из-за нарушений нормативов), и экономический ущерб, нанесенный незаконными или некомпетентными действиями (например, незаконные задержания, штрафы, опоздания МПТ из-за неорганизованности пассажиров или некомпетентности властей) и т.д. Поскольку эти потери только начинают исследоваться, каких-либо определенных данных пока не имеется. Сегодня делаются только первые попытки оценить величину приведенных (без разделения на составляющие) социальных потерь. Уже на основании первых оценок можно утверждать, что она колоссальна, а значения социального коэффициента чрезвычайно велики. Однако поскольку социальные потери еще недостаточно изучены, они, к сожалению, пока не определяются и не суммируются с другими видами потерь. При этом необходимо отметить, что это делается не по принципиальным соображениям, а по чисто техническим причинам – из-за отсутствия методики и необходимых данных.

7.2. Оценка качества дорожного движения

Объективная и достоверная оценка качества дорожного движения является одной из самых насущных, трудных и, пожалуй, самых нерешенных задач. Не имея такой оценки, невозможно оптимально управлять дорожным движением, что приводит к огромным потерям. Возрастающая потребность заставляет многих работать над созданием методик оценки качества, работы ведутся широким

фронтом, и можно ожидать, что в скором времени задача будет решена. Ниже будут рассмотрены основные положения методики, разрабатываемой в БНГУ.

Что же такое качество дорожного движения? В общем случае под термином «качество» понимают совокупное свойство изделия или процесса, характеризующее степень его соответствия своему назначению. Применительно к дорожному движению можно утверждать, что *качество дорожного движения* определяется совокупностью отдельных свойств, таких как экономичность, экологичность, безопасность, социологичность, производительность, надежность, комфортабельность и т.д. При этом термин «безопасность» применяется в зависимости от типа опасности.

Известно, что совокупная опасность современного дорожного движения складывается из четырех видов: физической, экологической, экономической и социальной.

Физическая опасность (опасность для участников движения) проявляется в авариях, приводящих к гибели или ранению людей, повреждению транспортных средств, грузов, обустройства дороги и т.д.

Экологическая опасность проявляется в загрязнении окружающей среды выбросами вредных веществ, шумом и вибрацией, наносящим ущерб здоровью людей и народному хозяйству.

Экономическая опасность проявляется в неоправданных задержках, остановках и перепробеге транспорта, перерасходе топлива, задержках пешеходов и пассажиров и т.д., приносящих значительный ущерб народному хозяйству.

Социальная опасность проявляется в закононепослушании участников дорожного движения, превышении служебных полномочий представителями власти и т.д., приводящих к издержкам в развитии людей и общества.

Если имеется в виду опасность для участников движения, то применяется термин «безопасность участников движения», реже – «физическая безопасность». Если же имеется в виду совокупная опасность дорожного движения, то применяется термин «безопасность дорожного движения». Легко увидеть, что *безопасность дорожного движения* является важнейшей составляющей *качества* дорожного движения.

Очевидно, высокое качество ДД как совокупности свойств подразумевает высокое качество каждого отдельного свойства. Напри-

мер, не может быть высокого качества ДД при высокой экономичности, но низкой безопасности участников движения или, наоборот, при высокой безопасности участников движения, но низкой экономичности. Каждое свойство, составляющее эту совокупность, имеет свою значимость в ней. Если эту значимость выразить в деньгах или, что то же самое, в потерях, качество ДД также можно выразить в потерях: чем меньше потери, тем выше качество. Все свойства, входящие в совокупность «качество», должны быть сбалансированы, – нельзя преувеличивать значимость одного и приуменьшать значимость другого. В противном случае управление дорожным движением будет несбалансированным, что неизбежно приведет к перекосам и росту потерь.

Очевидно, при оценке качества больших систем должны сопоставляться глобальные стоимости, охватывающие все стороны системы дорожного транспорта. В простейших случаях при оценке качества вариантов регулирования на отдельном объекте достаточно сопоставлять только потери от издержек движения. В общем случае должна рассматриваться так называемая *сопоставительная стоимость*, включающая потери от издержек движения и затраты на ограниченное изменение условий движения:

$$C = \Pi_{\Sigma} + Z, \text{ руб./год,}$$

где C – сопоставительная стоимость;

Π_{Σ} – суммарные приведенные потери в дорожном движении;

Z – приведенные к году затраты на изменение условий движения.

Исследуемый объект разбивается на элементарные участки, представляющие собой конфликтные объекты либо однотипные участки перегонов. В каждой конфликтной точке или на заданной длине полосы перегона определяются все виды потерь и результаты суммируются. Полученная величина суммарных потерь складывается с приведенными к году затратами в инфраструктуре, и определяется сопоставительная стоимость, по которой и производится оценка качества. Рассматриваются три вида оценок: абсолютная – θ ; относительная – θ_0 и сравнительная – θ_c .

Абсолютная оценка характеризуется величиной сопоставительной стоимости дорожного движения на исследуемом участке:

$$\theta = C, \text{ руб./год.}$$

Относительная оценка характеризует отношение абсолютной оценки к приведенному объему движения:

$$\theta_o = \frac{\theta}{F(Q, L) \cdot \Phi_r},$$

где Φ_r – годовой фонд времени, ч/год;

$F(Q, L)$ – некоторая функция, характеризующая приведенный объем движения.

Очевидно, для конфликтных объектов имеют значение только характеристики конфликтующих потоков (Q_1, Q_2), а для перегонов – характеристика потока и длина перегона. Известно несколько подходов к определению приведенного объема движения. Например, для конфликтных объектов применяется выражение

$$F(Q, L) = \sqrt{Q_1 \cdot Q_2};$$

для перегонов – выражение

$$F(Q, L) = Q \cdot L$$

и т.д.;

Сравнительная оценка есть частное от деления относительной оценки исследуемого объекта на относительную оценку эталонного объекта, приведенное к привычной, например, 10-балльной, системе оценок:

$$\theta_c = \frac{\theta_{oi}}{\theta_{oэт}} \cdot \delta_{10},$$

где θ_{oi} – относительная оценка исследуемого участка;

$\theta_{oэт}$ – относительная оценка эталонного участка;

δ_{10} – некоторая константа (в данном случае $\delta = 10$), приводящая сравнительную оценку к 10-балльной системе.

Очевидно, можно выбрать такие элементарные участки, которые по согласованному мнению (или по договоренности) могут быть приняты в качестве эталонных. Сравнивая относительные оценки исследуемого и эталонного участков, легко выполнить сравнительную оценку любого объекта или участка улично-дорожной сети.

Предлагаемая методика позволяет выполнить оценку не только качества дорожного движения в целом, но и основных его компонентов, например, управления движением или дорожных условий. Чтобы выполнить оценку качества управления, необходимо найти оптимальный вариант регулирования (управления) при заданных дорожных условиях и транспортно-пешеходной нагрузке и сопоставить его оценки с существующими. Чтобы выполнить оценку качества дорожных условий, необходимо оценки оптимального варианта регулирования для этих условий сопоставить с оценками эталонного участка при заданной транспортно-пешеходной нагрузке.

Таким образом, кратко рассмотрены основные положения разрабатываемой методики оценки качества дорожного движения. Как видно из изложенного, принцип оценки и оценочные критерии чрезвычайно просты – чем меньше потери (сопоставительная стоимость), тем лучше. Сама оценка уже несколько сложнее и включает три вида оценок, как минимум, для трех подсистем. Задача определения суммарных потерь, без которых невозможна никакая оценка, представляется наиболее трудной. Для этого необходимы автоматизированный сбор, обработка и хранение исходных данных, прогнозирование характеристик и потерь, оптимизация управления и т.д., что требует значительного интеллектуального потенциала и соответствующей инфраструктуры. А это уже задача не столько техническая, сколько социальная, причем общенационального масштаба.

Совершенно очевидно, что управление дорожным движением и всей системой дорожного транспорта не может быть основано на ошибочных критериях и осуществляться примитивными методами, – это приводит к колоссальным и все возрастающим потерям. И хотя создание совершенных систем управления стоит дорого, оно не только необходимо, но и весьма выгодно, поскольку потери в дорожном движении превышают эти затраты на несколько порядков.

Проблема заключается в неосведомленности и безразличии общества к гигантским потерям, поскольку они как бы ничейные, никому до них нет дела. Даже специалисты сегодня не могут сказать о потерях ничего определенного, разве только то, что потери есть и, очевидно, очень большие. И пока в обществе не возникнет потребности в снижении этих потерь, проблема не будет решена.

Оценка качества принимаемых решений является основой любой системы управления. Сегодня в Республике Беларусь делаются первые шаги по созданию объективной оценки качества дорожного движения. Сопоставление вариантов пока производится только по величине экономических и экологических потерь. В самое последнее время делаются относительно успешные попытки учитывать аварийные потери, хотя и весьма приближенно. Тем не менее даже такая оценка позволяет увидеть ошеломляющую, вопиющую нерациональность принимаемых решений, за которые общество расплачивается колоссальными потерями. Полученные результаты позволяют надеяться на то, что рано или поздно эти потери будут замечены в обществе и решение проблемы сдвинется с мертвой точки.

8. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ

Необходимо различать экономические потери в дорожном транспорте и в дорожном движении, хотя они довольно тесно связаны между собой.

Потери в системе дорожного транспорта – это суммарные потери во всех подсистемах, включая и дорожное движение. Как известно, в дорожный транспорт входят такие подсистемы, как дороги, транспортные средства, автомобильные перевозки, правоохрана, придорожный сервис, подготовка кадров и т.д. Во всех этих подсистемах имеют место очень большие экономические потери, связанные:

– с высокой себестоимостью продукции (услуг) из-за устаревшего оборудования, несовершенных технологий, качества рабочей силы, издержек перевозочного процесса и т.д., которая значительно выше достигнутой в развитых странах;

– неоптимальностью принимаемых решений – нелучшее проложение дороги, неудачное размещение АЗС, длительные сроки строительства, реконструкции или ремонта и т.д.;

– невысокой надежностью и долговечностью продукции, используемой в инфраструктуре дорожного транспорта – технологических машин и оборудования, инструмента, обучающих систем и т.д.

Особую роль играет качество конечной продукции и услуг, производимых в инфраструктуре дорожного транспорта, но проявляющееся уже в процессе дорожного движения (качество покрытия, транспортных средств, систем управления, подготовки кадров и т.д.). Легко увидеть, что это качество наряду с несовершенством управления процессом движения является одной из главных причин *экономических потерь* в дорожном движении, к которым относятся необязательные издержки процесса движения, имеющие преимущественно экономический характер. К их числу можно отнести:

– задержки (потери времени) транспорта из-за снижения скорости движения или вынужденных простоев на улично-дорожной сети;

– остановки транспорта, включающие торможение, собственно остановку, трогание и разгон;

– перепробег транспорта во всех его формах и проявлениях;

– перерасход топлива из-за неблагоприятных режимов движения;

– дополнительный (ускоренный) износ транспортных средств и дорожного покрытия из-за неблагоприятных режимов движения;

– задержки (потери времени) пешеходов;

– задержки пассажиров (которые учитываются в задержках или перепробеге транспорта).

Приведенный перечень относится к так называемым прямым издержкам. Однако имеются еще и опосредованные издержки, например, потеря прибыли (выгоды) участниками движения из-за незапланированных простоев или опозданий, потеря прибыли в смежных отраслях из-за невыполнения принятых обязательств, упущенная выгода из-за неполного использования возможностей и т.д. В результате этого в процессе дорожного движения, как и в инфраструктуре дорожного транспорта, имеют место огромные экономические потери. Соотношение потерь в дорожном движении и потерь в инфраструктуре дорожного транспорта, к сожалению, неизвестно, но думается, что они вполне сопоставимы.

8.1. Расчет экономических потерь

Определение экономических потерь в дорожном движении производится с использованием понятия удельной (на один автомобиль или одного пешехода) стоимости каждого из основных подвидов экономических издержек C_e . Для расчетного легкового автомобиля эта стоимость $C_{eл}$ определяется заранее и на некоторый расчетный период, например, на 5 лет, и приводится в виде справки. Стоимость издержек для остальных видов транспортных средств C_{ei} определяется с помощью так называемого экономического коэффициента приведения $K_{пэi}$:

$$C_{ei} = C_{eл} \cdot K_{пэi},$$

где $K_{пэi}$ – экономический коэффициент приведения для i -й группы транспортных средств (табл. 8.1).

Таблица 8.1

Коэффициенты приведения транспортных средств [8]

Тип ТС	Группа	Индекс	$K_{пг}$	$K_{пн}$	$K_{пэ}$
Мотоциклы, мопеды, мотороллеры, мокики	мотоциклы	М	0,5	0,7	0,5
Легковые, грузопассажирские, микроавтобусы	легковые	Л	1,0	1,0	1,0
Грузовые, тракторы, самоходные сельскохозяйственные машины	грузовые	Г	2,0	1,4	1,7
Автопоезда, тракторные поезда	поезда	П	3,5	2,3	3,0
Автобусы, троллейбусы	общественный транспорт	О	3,0	2,0	8,0
Сочлененные автобусы, троллейбусы	сочлененные	С	4,0	2,6	14,0

В дальнейшем для обозначения стоимости издержек легкового автомобиля индекс «л» будет опускаться, и они будут обозначаться « C_e ».

Для выполнения стандартных расчетов вполне достаточно использования обобщенных экономических коэффициентов приведения $K_{пз}$ из табл. 8.1. Для выполнения специальных расчетов могут потребоваться значения $K_{пз}$, определенные для каждого из подвигов издержек, или еще более детальные сведения, например, для отдельных видов грузовых автомобилей, автопоездов или автобусов. Для выполнения прикидочных расчетов иногда ограничиваются классификацией транспортных средств, состоящей всего из трех подгрупп: легковые, грузовые, общественный транспорт.

Определив для каждого подвида потерь удельные издержки в физическом измерении, зная годовой объем движения, экономический коэффициент приведения транспортного потока и цену издержек, можно найти стоимость годовых издержек для данного подвида потерь. Однако оказалось, что оценку и сопоставление вариантов решений в управлении дорожным движением гораздо удобнее выполнять не по стоимости годовых издержек E , а по величине годовых потерь Π . Дело в том, что при оценке по издержкам сопоставляются большие и мало отличающиеся суммы, значительная часть которых относится к *неизбежным издержкам* и которые, как балласт, постоянно и бесполезно переходят из одного оцениваемого варианта в другой. В результате имеющиеся различия затушевываются, оценка становится невыразительной и малоубедительной. Например, сопоставляются два варианта: $10 + 2 = 12$ и $10 + 1 = 11$ (допустим, млн. руб./год). При оценке по потерям постоянная составляющая отбрасывается, сопоставляются только отличающиеся составляющие и оценка становится более контрастной и убедительной: 2 и 1 (млн. руб./год).

Принято, что «потерей» считается только та часть издержки, которой могло бы не быть при нормативной (идеальной) организации движения. Существуют известные трудности при определении «нормативной» организации движения, однако с учетом некоторых допущений их можно преодолеть. Например, в качестве нормативной скорости движения принята разрешенная законодателем скорость без учета местных ограничений. Следовательно, существующее невообразимое количество местных ограничений скорости можно считать не чем иным, как непосредственным источником огромных

экономических потерь. Для пешеходов на пешеходном переходе в качестве нормативной принята скорость около 5 км/ч (1,3 м/с). В качестве нормативного пробега принят минимально возможный пробег на существующей или проектируемой улично-дорожной сети. Это же положение справедливо и для пешеходного движения. В качестве нормативного расхода топлива принят заявленный расход топлива для данной группы транспортных средств при движении с нормативной скоростью. Для остановок транспорта принято, что в идеальном случае вынужденных остановок не должно быть, поэтому каждая такая остановка транспортного средства – это потеря.

Рассматриваются 6 подвидов экономических потерь в дорожном движении: 4 – для транспорта и 2 – для пешеходов, удельные издержки которых имеют следующие обозначения и размерности:

e_0 – количество остановок, ост./авт ;

e_s – удельный перепробег, км/авт ;

d (или e_t) – удельная задержка, с/авт ;

e_F – удельный перерасход топлива, л/авт·км;

$d_{п}$ – удельная задержка пешеходов, с/чел ;

$e_{сп}$ – удельный перепроход, км/чел.

Годовые потери для данного подвида Π_i определяются по формуле

$$\Pi_i = e_i \cdot Q \cdot \Phi_{Г} \cdot K_{пэ} \cdot C_{ei} \cdot K_{ес}, \text{ у.е./год,}$$

где e_i – удельные экономические издержки данного подвида (в физическом выражении – ост., с, км, л);

C_{ei} – удельная стоимость данного подвида издержек (у.е./ост.; у.е./ч; у.е./км; у.е./л);

Q – интенсивность движения, авт /ч или чел /ч;

$\Phi_{Г}$ – годовой фонд времени, ч/год;

$K_{пэ}$ – экономический коэффициент приведения транспортного потока;

$K_{ес}$ – коэффициент приведения размерностей.

Удельные задержки измеряются в секундах: с/авт., с/чел., а стоимость задержки измеряется в у.е./авт.-ч или у.е./чел.-ч. Поэтому для расчета потерь от задержек $K_{ec} = 1/3600$, а для остальных подвигов $K_{ec} = 1$.

Экономические потери на исследуемом объекте или участке определяются для каждого подвида и затем суммируются.

Рассмотрим составляющие этой формулы.

Удельные издержки e_i . Расчет численных значений удельных издержек, особенно задержек и остановок, требует определенной квалификации и приводится в специальной литературе [1, 7, 36]. В данной работе в качестве справки приводятся формулы для расчета задержек и остановок в простейших случаях (см. подразделы 8.2 и 8.3).

Стоимость издержки C_{ei} . Справочные данные по стоимости издержек должны быть результатом серьезных исследований и периодически корректироваться, по меньшей мере не реже одного раза в 5 лет. При высоком уровне инфляции корректировка должна производиться чаще, а стоимость целесообразно давать в какой-либо твердой валюте, сопоставляя стоимость национальной валюты на момент выполнения расчетов и на момент опубликования справочных данных. В данной работе используются справочные данные по C_e , полученные в результате предварительных исследований 1985-1986 гг. (позднее, насколько известно, подобные исследования ни в Республике Беларусь, ни в бывшем СССР не проводились). За истекшее время изменился не только масштаб цен, но и соотношение составляющих, поэтому точность расчетов несколько снизилась.

Однако, поскольку других данных нет, приводим эти данные практически в том виде, в котором они были получены в 1986 г., когда 1 дол. США стоил приблизительно 2...3 рубля. При этом учтены некоторые изменения, произошедшие за истекший период, например, в цене топлива, которая увеличилась почти в 4 раза и составила около 0,4 у.е./л.

Стоимость задержки принята равной $C_d = 1,8$ у.е./ч. В эту стоимость вошли:

амортизационные расходы –	0,290
эксплуатационные расходы –	0,250
задержка водителя и одного пассажира –	0,500
расход топлива –	0,600
потери прибыли потребителями (10 %) –	0,164
Итого:	1,804 у.е./ч

Стоимость остановки принята равной $C_0 = 0,015$ у.е./ост.:

потери времени на разгон-торможение –	0,0033
перерасход топлива при трогании и разгоне (0,025 л) –	0,0100
дополнительный износ двигателя, шин и т.д. –	0,0010
потери прибыли потребителями –	0,0014
Итого:	0,0157 у.е./ост.

Стоимость перепробега принята равной $C_s = 0,09$ у.е./км. В эту стоимость вошли (при скорости движения 50 км/ч):

потери времени водителем и пассажиром –	0,0100
расход топлива –	0,0400
амортизационные расходы –	0,0180
эксплуатационные расходы –	0,0150
потери прибыли потребителями –	0,0083
Итого:	0,0913 у.е./км

Стоимость перепрохода $C_{s\pi} = 0,1$ у.е./км определена исходя из допущения, что время, потерянное пешеходом при ходьбе, оценивается в два раза дороже, чем время, потерянное пешеходом при ожидании.

Стоимость задержки пешехода принята $C_{d\pi} = 0,25$ у.е./ч.

Интенсивность движения Q . В качестве расчетных значений интенсивности движения транспорта принимают, как правило, математическое ожидание (среднее значение) плюс четверть среднего квадратического отклонения распределения интенсивности за светлый период рабочего дня недели продолжительностью 12 часов, чаще всего – с 7 до 19 или с 8 до 20 ч местного времени.

Годовой фонд времени Φ_r . В качестве расчетных значений годового фонда времени чаще всего принимают 3600 ч/год ($300 \cdot 12 = 3600$). Однако для сильно нагруженных объектов, расположенных на пересечении магистральных улиц или дорог, эта цифра может быть увеличена до 4400 ч/год ($315 \cdot 14 \approx 4400$). В то же время для слабонагруженных объектов величина годового фонда может быть уменьшена до 2500 ч/год ($250 \cdot 10 = 2500$). В принципе, расчетчик может принимать любые обоснованные значения Φ_r , тем более в диапазоне от 2500 до 4400 ч/год.

В отношении пешеходов подходы и цифры остаются примерно одинаковыми, хотя имеются определенные различия, например, на некоторых объектах интенсивность движения в выходные дни может быть выше, чем в рабочие. Однако в целом для неспециальных, стандартных расчетов пешеходных потерь можно пользоваться приведенными выше зависимостями.

Таким образом, рассмотрены все составляющие формулы для расчета экономических потерь в дорожном движении. Расчеты выполняются для каждого сравниваемого варианта регулирования на исследуемом объекте. Если сравниваются варианты организации движения, включающие изменение условий движения (уширение проезжей части на входе в перекресток, строительство заездного кармана для маршрутного пассажирского транспорта, установка светофорной сигнализации и т.п.), то дополнительно определяются затраты на изменение этих условий движения. В этом случае при оценке вариантов сопоставляются уже не потери Π , а сопоставительная стоимость C :

$$C = \Pi + Z, \text{ у.е./год,}$$

где Z – затраты на изменение условий движения, у.е./год.

В простейшем случае можно принимать

$$Z = K \cdot E_n + R, \text{ у.е./год,}$$

где K – капитальные (единовременные) вложения, у.е.;

E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений,

$$E_H = 1/T_{OK},$$

где T_{OK} – нормативный срок окупаемости капитальных вложений, лет;
 R – текущие расходы, у.е./год.

В каждом конкретном случае необходимо уточнять величину E_H или T_{OK} , согласуя ее с последними ведомственными нормативами. Для самых общих расчетов можно принимать следующие значения T_{OK} : для придорожных зданий и сооружений – 20 лет; для объектов дорожного строительства – 8...12 лет; для светофорной сигнализации, дорожных знаков и т.п. – 6 лет; для разметки из термопластика – 3 года; для разметки из нитрокраски – 1 год.

В сложных случаях, когда имеют место разновременные затраты (и потери), необходимо приведение текущих расходов к одному, базовому году путем умножения на коэффициент β_t :

$$\beta_t = (1 + E)^t,$$

если затраты или вложения осуществлялись до базового года;

$$\beta_t = \frac{1}{(1 + E)^t},$$

если затраты или вложения осуществлялись после базового года.

Здесь E – нормативный коэффициент эффективности для приведения разновременных затрат к базовому периоду; при отсутствии инфляции $E = 0,08$; t – число лет до (или после) базового года.

В качестве базового обычно принимают год ввода объектов в действие, если он одинаков для сравниваемых вариантов. В противном случае за базовый принимается наиболее ранний срок ввода в действие одного из рассматриваемых вариантов. В более сложных случаях необходимо пользоваться специальной литературой [2].

8.2. Расчет удельных издержек на нерегулируемых объектах

Маневрирование транспорта сопровождается повышенным уровнем потерь всех видов. Для расчета этих потерь необходимо знание удельных (т.е. приведенных к одному автомобилю) издержек. Ниже будут приведены примеры расчета удельных задержек d и удельных остановок e_0 при выполнении некоторых маневров на нерегулируемых объектах.

Удельная задержка при торможении (рис. 8.1) определяется как разность между временем прохождения отрезка торможения с фактической средней скоростью $(v_1 + v_2) / 2$ и начальной скоростью v_1 . Площадь заштрихованной зоны на $t - v$ диаграмме есть путь, потерянный при торможении:

$$S_t = \frac{t \cdot (v_1 - v_2)}{2}, \text{ м.}$$

Учитывая, что

$$t = \frac{v_1 - v_2}{a}, \text{ с,}$$

и
$$d = \frac{S_t}{v_1}, \text{ с,}$$

получим

$$d = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2av_1}, \text{ с,}$$

где d – удельная задержка, с;

v_1 – начальная скорость, м/с;

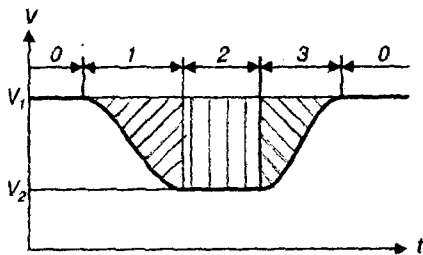


Рис. 8.1. t - v диаграмма бесконфликтного поворота:

0 – движение с начальной скоростью; 1 – участок торможения; 2 – движение с пониженной скоростью; 3 – участок разгона (заштриховано потерянное расстояние)

v_2 – конечная скорость, м/с;
 a – среднее замедление, м/с².

Задержка при разгоне ТС определяется аналогично. При определении потерь от задержек при разгоне и замедлении транспортно-го потока (а не единичных транспортных средств) можно принимать, что средние величины замедления и ускорения примерно равны и зависят от состава ТП:

$$a \approx b \approx \frac{1,5}{\sqrt{K_{\text{ТП}}}}, \text{ м/с}^2,$$

где a – замедление при торможении, м/с²;

b – ускорение при разгоне, м/с²;

$K_{\text{ТП}}$ – динамический коэффициент приведения ТП.

Для грубых, приближенных расчетов можно принимать

$$a \approx b \approx 1 \text{ м/с}^2.$$

Удельная задержка при остановке определяется по формуле

$$d_{\text{ост}} = \frac{v_1(a+b)}{2ab} + t_{\text{ост}}, \text{ с},$$

где $t_{\text{ост}}$ – время простоя (продолжительность остановки) ТС, с.

Заметим, что при расчете цены одной остановки ТС принято допущение, что потери времени при торможении и разгоне равны 4 с, а время чистого простоя на остановке (например, у знака 2.5) равно 2 с, т.е. суммарная задержка при одной «чистой» остановке равна около 10 с.

Задержки при бесконфликтном повороте определяются по формуле (рис. 8.1)

$$d = d_1 + d_2 + d_3, \text{ с},$$

где d_1 – участок замедления,

$$d_1 = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2av_1}, \text{ с};$$

d_3 – участок ускорения,

$$d_3 = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2bv_1}, \text{ с}$$

(напомним, что для общих расчетов $a \approx b$);

d_2 – участок движения на повороте,

$$d_2 = \frac{S}{v_2} - \frac{S}{v_1} = \frac{S(v_1 - v_2)}{v_1 \cdot v_2}, \text{ с.}$$

Принимая

$$S = \frac{\alpha}{180} \cdot \pi \cdot R, \text{ м,}$$

где α – угол поворота, градус;

R – радиус поворота траектории движения,

$$v_2 \approx 0,33 R \leq v_1,$$

получим

$$\frac{S_2}{v_2} = \frac{\alpha^\circ \cdot \pi \cdot R}{180 \cdot 0,33 \cdot R} \approx 0,05\alpha^\circ;$$

$$d_2 = \frac{0,05\alpha^\circ (v_1 - v_2)}{v_1}.$$

Суммируя все три составляющие, получим

$$d = \frac{v_1 - v_2}{v_1} \left(\frac{v_1 - v_2}{a} + 0,05\alpha^\circ \right), \text{ с.}$$

Экономические издержки при объезде складываются из задержек и перепробега. Если допустить, что объезд препятствия совершается на скорости v_2 , начинается за 3 с до момента прибытия в точку

начала препятствия и заканчивается через 2 с после прохождения конечной точки препятствия, то задержки определяются по формуле

$$d = \frac{v_1 - v_2}{v_1} \left(\frac{v_1 - v_2}{a} + \frac{l}{v_2} + 5 \right), \text{ с,}$$

где l – длина препятствия, м.

Величина перепробега определяется по формуле

$$S = 2B,$$

где B – наибольшее боковое смещение траектории движения, м.

Экономические издержки при отклонении вызываются задержками поворотного транспорта, который вынужден делать поворот на пониженной скорости. *Задержка поворотного ТС* складывается из потерь времени при движении на повороте с пониженной скоростью v_2 , потерь времени при торможении со скорости v_1 до v_2 и при разгоне со скорости v_2 до v_1 . Расчет задержек аналогичен расчету при бесконфликтном повороте. Принимая допущение, что для транспортных потоков (а не для отдельных транспортных средств) значения расчетного замедления и расчетного ускорения близки к $a \approx b \approx 1 \text{ м/с}^2$, удельная задержка определится по формуле

$$d_2 = \frac{v_1 - v_2}{v_1} (v_1 - v_2 + 0,05\alpha^\circ), \text{ с.}$$

Однако кроме поворотного ТП задерживается и прямой поток, если прямое и поворотное движение выполняется с одной полосы.

Задержку прямого потока можно приближенно рассчитать исходя из следующих допущений:

- на движение прямого потока оказывает влияние задержка каждого поворотного ТС, вызванная торможением со скорости v_1 до v_2 и прохождением половины траектории собственно поворота со скоростью v_2 ;

- в случае задержки прямого потока интервалы движения в нем приближаются к 2 с;

– рассасывание образовавшейся очереди ТС прямого потока производится с ускорением $b \approx 1 \text{ м/с}^2$.

Расчетная задержка поворотного ТС d_{21} , влияющая на движение прямого транспортного потока, определяется по формуле

$$d_{21} = \frac{(v_1 - v_2)(v_1 - v_2 + 0,05\alpha^0)}{2v_1}, \text{ с.}$$

Величина сокращения среднего интервала движения в потоке при возникновении очереди ΔT , с:

$$\Delta T = T - T_{\min} = \frac{1 - 2q}{q},$$

где q – интенсивность движения ТП (прямого и поворотного), авт./с.

Число задержанных ТС в потоке, включая прямые и поворотные, n , шт.:

$$n = \frac{d_{21}}{\Delta T} = \frac{q \cdot d_{21}}{1 - 2q}.$$

Суммарная задержка ТС прямого потока, вызванная задержкой одного поворотного автомобиля, D_{1T} :

$$D_{1T} = \frac{d_{21} \cdot n}{2}, \text{ с.}$$

Суммарная задержка ТС прямого потока, вызванная их разгоном со скорости v_2 до v_1 , D_{1P} :

$$D_{1P} = \frac{(v_1 - v_2)^2 \cdot n}{2v_1}, \text{ с.}$$

Удельная задержка ТС прямого потока d_1 :

$$d_1 = \frac{q_2}{q_1} (D_{1T} + D_{1P}), \text{ с.}$$

где q_2 – интенсивность поворотного потока, авт./с;

q_1 – интенсивность прямого потока, авт./с, $q_1 = q - q_2$, авт./с.

Окончательная формула имеет вид

$$d_1 = \frac{q_2}{q - q_2} \cdot \frac{q_2 \cdot d_{21}}{1 - 2q} \cdot \frac{d_{21} \cdot v_1 + (v_1 - v_2)^2}{2v_1}, \text{ с.}$$

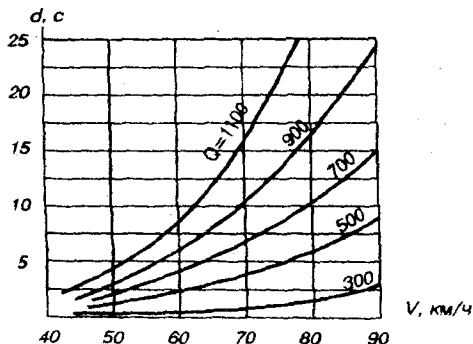


Рис. 8.2. Зависимость удельной задержки транзитного транспорта от скорости и интенсивности движения из-за бесконфликтного правого поворота с этой же полосы 20 % транспортного потока со скоростью 25 км/ч [7]

На рис. 8.2 приведена зависимость удельной задержки d_1 от некоторых параметров ТП.

Экономические издержки при *слиянии* имеют место только во второстепенном потоке. Они складываются из следующих составляющих:

- задержки, связанные с перемещением ТС в исходное положение для выполнения маневра (занятие 1-го номера в очереди) и ожиданием приемлемого интервала в главном конфликтующем потоке;
- задержки, связанные с торможением со скорости v_1 до скорости v_2 и последующим разгоном от v_2 до v_1 .

Вероятность остановки (удельная остановка) e'_0 определяется по формуле

$$e'_0 = 1 - \frac{e^{-2,5q_2} \cdot e^{-2qT}}{1 - e^{-2,5q_2} \cdot (1 - e^{-qT})} \leq 1,$$

где $e = 2,71828$ – основание натурального логарифма;

q_2 – интенсивность второстепенного потока, авт./с;

q – интенсивность главного потока на полосе, в которую производится маневр слияния, авт./с;

T – приемлемый интервал в главном конфликтующем потоке на полосе слияния, с.

Заметим, что в работах [1, 20] параметр T означает «критический интервал» или «критическое отставание», численные значения которых примерно на 20 % меньше значений «приемлемых интервалов», принятых в данной работе. Потому расчетчик, очевидно, вправе уменьшать рекомендуемые в данной работе значения приемлемых интервалов или, во всяком случае, принимать их меньшие значения.

Для примыканий к магистралям значения T определяются по формулам (рис. 8.3):

примыкания с полосой разгона

$$T_1 = 5,547 + 0,828\alpha - 0,0347L + 5 \cdot 10^{-5}L^2 - 0,042\alpha^2 \geq 2, \text{ с};$$

примыкания под малым углом без полосы разгона

$$T_2 = T_1 - 0,847, \text{ с},$$

где α – угол примыкания, градус;

L – длина полосы разгона, м.

Приведенные справочные значения T , как правило, относятся к потоку легковых автомобилей. Учет фактического состава ТП производится путем увеличения расчетного значения T на величину $\sqrt{K_{\text{ПН}}}$:

$$T = T_{\text{л}} \cdot \sqrt{K_{\text{ПН}}}, \text{ с},$$

где $T_{\text{л}}$ – приемлемый интервал для легкового потока, с.

При выполнении маневра слияния под прямым или близким к нему углом величина приемлемого интервала определяется экспериментально. При отсутствии данных в грубом приближении можно принимать

$$T = (5...7) \cdot \sqrt{K_{\text{ПН}}}.$$

При этом меньшие значения T следует принимать в случае примыкания под углом, меньшим 90° , и в условиях хорошей видимости главного конфликтующего потока. В работе [12] для мало- и средненагруженных участков приводится зависимость приемлемых интервалов от угла слияния и интенсивности движения главного потока (рис. 8.4).

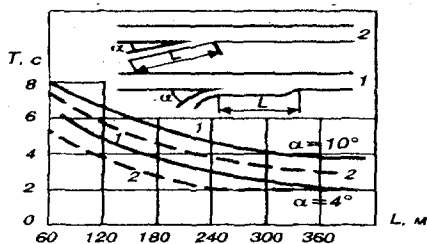


Рис. 8.3. Зависимость интервалов при слиянии от длины полосы разгона, угла примыкания и типа участка (с разгонной полосой или без нее)

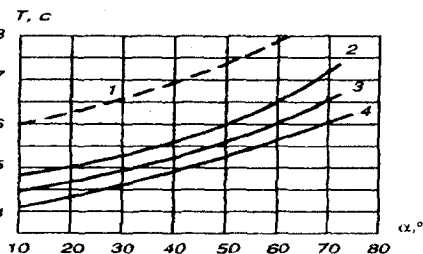


Рис. 8.4. Зависимость приемлемых интервалов при слиянии от угла примыкания α и ИД на главной полосе [12]:

1 – слияние после остановки, $Q_1 = 150$ авт./ч;
2, 3, 4 – слияние с хода; $Q_2 = 150$; $Q_3 = 300$;
 $Q_4 = 450$

Задержка второстепенного потока складывается из двух составляющих – задержки при занятии первой позиции в очереди и ожидании приемлемого интервала в главном потоке и задержки при торможении со скорости v_1 до скорости v_2 и разгоне с v_2 до v_1 .

Задержки при перемещении в очереди и ожидании приемлемого интервала испытывают в той или иной мере все ТС. Задержки от торможения до скорости v_2 и разгона испытывают только те ТС, которые не останавливались перед маневром (для тех, кто останавливался, потери от торможения и разгона уже учтены в цене одной остановки).

Удельные задержки от перемещения в очереди и ожидания приемлемого интервала определяются по формуле

$$d_1 = \frac{e^{qT} - qT - 1}{q_1 - q_2(e^{qT} - qT - 1)}, \text{ с.}$$

Удельные задержки от торможения и разгона определяются по формуле

$$d_2 = (1 - e'_0) \frac{(v_1 - v_2)^2}{v_1}, \text{ с.}$$

Суммарные удельные задержки при слиянии определяются как сумма двух составляющих:

$$d = d_1 + d_2, \text{ с.}$$

Заметим, что при незначительной интенсивности второстепенных потоков, когда образование очередей перед примыканием маловероятно ($q_2 < 0,01$), удельные задержки от ожидания приемлемого интервала можно определять по формуле

$$d_1 = \frac{e^{qT} - qT - 1}{q}, \text{ с.}$$

Заметим также, что в этих расчетах составляющая d_2 часто игнорируется, т.е. $d = d_1$.

Расчет экономических издержек при пересечении выполняется аналогично расчету при слиянии. Отличия заключаются лишь в определении расчетной интенсивности главного конфликтующего потока и выборе значений приемлемых интервалов.

Выбор расчетных значений интенсивности главного потока затрудняется тем, что он может быть многополосным и разнонаправленным. Поэтому в таких потоках очень трудно определить характер распределения и вероятность появления приемлемых интервалов. В разных литературных источниках приняты различные подходы – от простого игнорирования многополосности и разнонаправленности до введения сложных и громоздких эмпирических поправок. В данной работе принят упрощенный подход при определении расчетной интенсивности:

$$q^* = q_{\Sigma} \cdot K_i^{(i-1)}, \text{ авт./с,}$$

где q^* – расчетное значение ИД, авт./с;

q_{Σ} – суммарная ИД на всех полосах главного конфликтующего потока, авт./с;

i – число полос движения главного конфликтующего потока;

K_i – поправочный коэффициент, учитывающий комплексное влияние многополосности на процесс пересечения, в первом приближении можно принимать $K_i = 0,85 \dots 0,95$.

При выборе расчетных значений приемлемого интервала T учитывают условия выполнения маневра, в первую очередь видимость, ровность и скользкость проезжей части и т. д. В первом приближении можно принимать

$$T = (4 + 0,5i) \sqrt{K_{\text{пн}}}, \text{ с.}$$

Если пересечение выполняется или может выполняться в два приема с возможностью промежуточной остановки ТС, например, на разделительной полосе, расчеты ведутся как для двух последовательных маневров пересечения. Возможны комбинированные маневры, особенно связанные с левым поворотом со второстепенных направлений, когда имеет место пересечение нескольких полос встречного главного потока, конфликтный поворот с прямым второстепенным потоком (который тем не менее является главным по отношению к поворотному) и слияние в левую полосу главного попутного потока.

Расчеты экономических издержек при конфликтных поворотах, в принципе, ведутся аналогично расчетам при пересечении. При этом необходимо учитывать следующие особенности:

1. Поскольку начальная стадия разгона перед самым левым поворотом выполняется заранее и на своей полосе, приемлемый интервал при пересечении встречного прямого главного потока несколько меньше, чем при обычном маневре пересечения; в первом приближении можно принять

$$T = (3 + 0,5i) \sqrt{K_{\text{пн}}} \cdot K_{\text{ун}}, \text{ с.}$$

2. При конфликтном левом повороте на регулируемом перекрестке необходимо учитывать то обстоятельство, что главный встреч-

ный поток сжат во времени на величину, обратную доле зеленого сигнала в цикле, λ , поэтому расчетная интенсивность определяется по формуле

$$q^* = \frac{q_{\Sigma}}{\lambda} \cdot K_i^{(i-1)}, \text{ авт./с, где } \lambda = \frac{t_z}{C},$$

где t_z – продолжительность горения зеленого сигнала в направлении главного конфликтующего потока, с;

C – продолжительность цикла регулирования, с.

3. При правых поворотах, когда ТС конфликтует с пешеходами, которые являются для него главными, можно принимать

$$q_{\text{п}} = (0,7 \dots 0,8) \cdot q_{\text{п факт}}, \text{ чел./с,}$$

что учитывает движение пешеходов через проезжую часть не только поодиночке, но и рядами;

$$T = (3 + 4) \sqrt{K_{\text{пн}}}, \text{ с.}$$

При правоповоротном и прямом движении с одной полосы расчет задержек прямого потока осуществляется аналогично расчету задержек при отклонении. При этом:

– величина задержки поворотного ТС, влияющая на задержку прямого потока, определяется по формуле

$$d_{21} = \frac{(v_1 - v_2)(v_1 - v_2 + 0,05\alpha)}{2v_1} + \frac{e^{q_{\text{п}}T} - q_{\text{п}}T - 1}{q_{\text{п}} - q_2(e^{q_{\text{п}}T} - q_{\text{п}}T - 1)}, \text{ с,}$$

где $q_{\text{п}}$ – расчетная интенсивность движения пешеходов, чел./с;

– вероятность остановки ТС прямого потока определяется по формуле

$$e_0 = q \cdot (d_{21} + 2 - \frac{1}{q}) \leq 1,$$

где q – интенсивность движения по полосе, авт./с;

– необходимо учитывать емкость накопительной площадки перед пешеходным переходом, на которой поворотные ТС останавливаются не мешая движению прямого транспортного потока. При наличии достаточной емкости ТС прямого потока не останавливаются, и их задержка вызвана только первым членом формулы для определения d_{21} .

При сложных комбинированных левых поворотах, при которых возможны маневры пересечения и слияния, необходимы детальный анализ маневров и оценка возможности их раздельного выполнения. Если раздельное их выполнение невозможно, расчет производится, как для пересечения, и все главные конфликтующие потоки суммируются.

При смене полосы движения задержки, в принципе, определяются аналогично маневру слияния под очень малым углом.

Формула для расчета задержек при смене полосы имеет вид

$$d = e'_{\text{см}} \cdot \frac{e^{qT} - qT - 1}{q}, \text{ с/км,}$$

где q – ИД на полосе, в которую совершается маневр, авт/с;

T – минимальный приемлемый интервал в потоке q , с,

$$T = 3\sqrt{K_{\text{пн}}}, \text{ с;}$$

$e'_{\text{см}}$ – удельное количество маневров на 1 км полосы дороги, авт/км,

$$e'_{\text{см}} = \frac{1000 \cdot q_F \cdot q_S (v_F - v_S)}{(q_F + q_S) \cdot v_F \cdot v_S}, \text{ авт /км,}$$

где q_F – интенсивность движения «быстрых» ТС на полосе, на которую (или с которой) совершается маневр, авт /с;

q_S – интенсивность движения «медленных» ТС, авт /с;

v_F – скорость движения «быстрых» ТС, м/с;

v_S – скорость движения «медленных» ТС, м/с.

Считается, что потребность в смене полосы удовлетворяется полностью. Если неизвестно соотношение быстрых и медленных ТС в потоке, то можно в первом приближении легковые считать быстрыми, а остальные – медленными. Если неизвестно распределение ИД по полосам, его можно принимать равномерным.

На рис. 8.5 показана кривая зависимости $d_{см}$ от Q , построенная для некоторых соотношений параметров (кривая 3). Необходимо отметить, что задержки при смене полосы являются незначительными и практически не влияют на скорость движения ТП, за исключением очень высоких нагрузок.

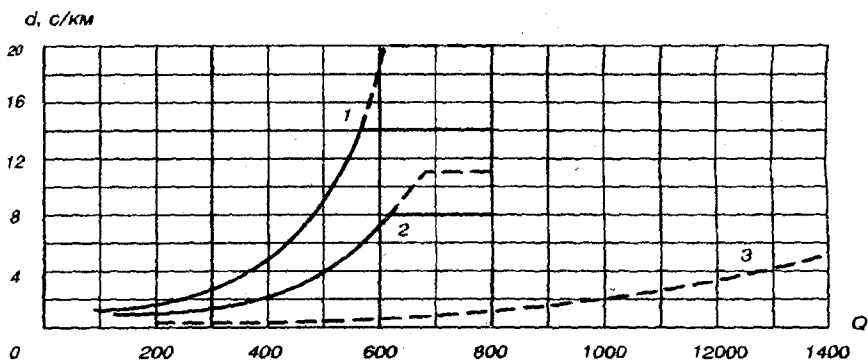


Рис. 8.5. Зависимость удельных задержек при обгоне и смене полосы от ИД на полосе:
 1 – обгон : $v_1 = 45$ км/ч; $v_2 = 60$ км/ч; $T = 20$ с; 2 – обгон : $v_1 = 70$ км/ч; $v_2 = 90$ км/ч; $T = 20$ с; 3 – смена полосы : $v_1 = 45$ км/ч; $v_2 = 60$ км/ч; $T = 3$ с (принято: интенсивность движения на обеих полосах одинакова; соотношение быстрых и медленных ТС – 7 : 3)

Задержки при обгоне, в принципе, рассчитываются аналогично задержкам при смене полосы. Формула для расчета задержек при обгоне имеет следующий вид:

$$d = e_{об} \cdot \frac{v_F - v_S}{v_F + v_S} \cdot \frac{e^{qT} - qT - 1}{q}, \text{ с/км,}$$

где $e_{об} \approx e_{см}$.

Остальные составляющие рассмотрены выше.

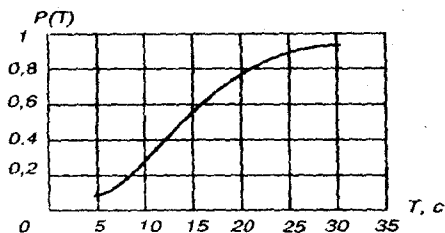


Рис. 8.6. Распределение приемлемых интервалов при обгоне [26]

Численные значения приемлемого интервала выбираются в зависимости от решаемой задачи (рис. 8.6). Для общих задач можно принимать $T \approx 10 \dots 25$ с.

На рис. 8.5 показаны кривые зависимости d от Q , построенные для некоторых соотношений параметров. Следует отметить, что задержки при обгоне

являются весьма значительными и существенно снижают скорость движения потока.

Необходимо также отметить, что предельные значения удельной задержки зависят от соотношения скоростей v_F и v_S и соотношения интенсивности движения быстрых и медленных ТС и определяются по формуле

$$d_{\lim} = \frac{1000 \cdot q_F \cdot (v_F - v_S)}{(q_F + q_S) \cdot v_F \cdot v_S}, \text{ с/км.}$$

На рис. 8.5 сплошными горизонтальными линиями показаны предельные значения d_{\lim} для принятого соотношения q_F и q_S , а пунктирными линиями – возможные значения удельной задержки при других соотношениях q_F и q_S .

8.3. Расчет удельных издержек на регулируемых объектах

Светофорный объект является одним из наиболее значимых мест концентрации экономических потерь главным образом от задержек и остановок транспорта. В свою очередь, задержки и остановки транспорта являются важнейшими показателями функционирования СФО, и их определение является необходимым при расчете и оптимизации светофорного цикла.

Механизм возникновения остановок и задержек транспорта и простейший подход по их определению показан на рис. 8.7. Зная среднюю интенсивность прибытия $q = 1/T$ и интенсивность убытия $q_n = 1/T_n$, а также продолжительность цикла и ЗС, можно определить суммарную величину задержки, пропорциональную площади заштрихованного треугольника, и затем, разделив ее на число прошедших автомобилей $n = q \cdot C$, рассчитать удельную задержку d .

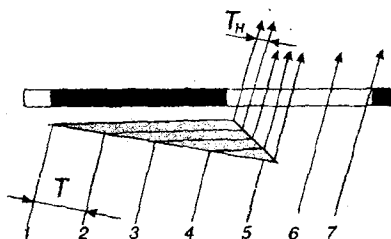


Рис. 8.7. Простейший подход к расчету задержек [3]:

T – интервал прибытия; T_n – интервал убытия; горизонтальные линии – задержка автомобиля; 1...5 – остановленные (задерживающиеся) автомобили; 6...7 – автомобили, проследовавшие через стоп-линию без задержки

В первом, самом грубом приближении можно допустить, что каждый остановившийся автомобиль задерживается на время, равное половине горения КС, т.е. $t_k / 2$. Поскольку доля остановившихся автомобилей в первом приближении пропорциональна доле КС в цикле, t_k / C , удельная задержка приблизительно равна

$$d \approx (t_k / 2) \cdot (t_k / C) = t_k^2 / (2 \cdot C), \text{ с,}$$

где t_k – продолжительность горения запрещающего (КС+ЖС) сигнала, с;

C – продолжительность СФЦ, с.

Учитывая, что

$$t_k = C (1 - \lambda),$$

можно записать:

$$d \approx C \cdot (1 - \lambda)^2 / 2, \text{ с,}$$

где λ – доля ЗС в цикле,

$$\lambda = t_z / C.$$

Приведенная формула применялась для грубых, прикидочных расчетов при оценке вариантов ОДД на укрупненных участках улично-дорожной сети, чаще всего на начальной стадии проектирования. Она не учитывает несколько очень значимых факторов, которые могут принципиально изменить величину задержки.

Во-первых, прибытие происходит далеко не равномерно как по количеству прибывающих к стоп-линии за один цикл ТС, так и по моменту их прибытия внутри самого цикла (рис. 8.8).

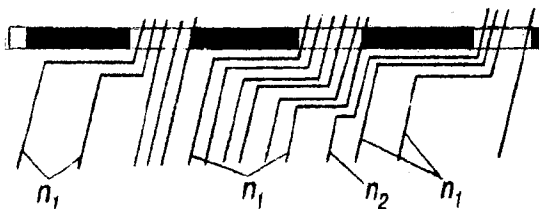


Рис. 8.8. Неравномерность прибытия ТС к стоп-линии [3]:

n_1 – задержанные автомобили, проходящие стоп-линию за 1 цикл; n_2 – задержанные автомобили, вынужденные остаться на 2-й цикл

Столь же неравномерным может быть и убытие транспортных средств от стоп-линии (поток насыщения), что связано с составом транспортного потока, расположением типов ТС перед стоп-линией (например, вначале грузовики и автобусы, а затем легковые, или наоборот), а также крайним разнообразием условий движения. Наконец, возможны относительно кратковременные перегрузки, когда не все ТС успевают пройти стоп-линию в данном цикле и остаются на второй и даже на третий и четвертый циклы. С учетом этих факторов и их комбинаций расчет задержки транспорта резко усложняется, и точные значения получить практически невозможно. Поэтому получил распространение подход, предложенный Ф. Вебстером, который рассматривает две составляющие суммарной задержки – детерминированную и случайную:

$$d = d_1 + d_2, \text{ с,}$$

где d_1 – детерминированная составляющая, соответствующая равномерному прибытию и убытию ТС;

d_2 – случайная составляющая, учитывающая случайный характер прибытия и убытия ТС.

Задача расчета задержек на СФО и в настоящее время исследуется многими авторами, которые предлагают и совершенствуют различные подходы. Представляется, что наиболее точные результаты могут дать лишь расчеты, при которых моделируется движение каждого ТС. Но поскольку такие расчеты требуют большого объема исходной информации и солидных познаний в специальных областях, они в данной работе не рассматриваются, а приводятся существенно упрощенные подходы и формулы.

Наибольшее распространение получила формула, предложенная английским ученым Ф. Вебстером:

$$d = \frac{C \cdot (1 - \lambda)^2}{2(1 - \lambda \cdot x)} + \frac{x^2}{2q(1 - x)} - 0,65 \cdot \sqrt[3]{(C/q^2)} \cdot x^{2+5\lambda}, \text{ с,}$$

где C – продолжительность СФЗ, с;

λ – доля ЗС в цикле, $\lambda = t_z / C$;

t_z – продолжительность ЗС, с;

x – коэффициент загрузки полосы движением,

$$x = \frac{q}{q_n \cdot \lambda},$$

где q – интенсивность прибытия, авт /с;

q_n – поток насыщения, авт /с.

Установлено [1], что достаточно хорошие результаты дает упрощенная формула Вебстера:

$$d = 0,45 \cdot \left[\frac{C \cdot (1 - \lambda)^2}{1 - \lambda \cdot x} + \frac{x^2}{q \cdot (1 - x)} \right], \text{ с.}$$

К сожалению, формула Вебстера не всегда применима в области очень высоких нагрузок, когда $x \rightarrow 1$, и перегрузок, когда $x \geq 1$, что хорошо видно из ее структуры, где выражение $(1 - x)$ стоит в

знаменателе. Этот недостаток пытались устранить некоторые исследователи, например, Миллер (Австралия), одна из формул которого имеет следующий вид:

$$d = \frac{C \cdot (1-\lambda)^2}{2 \cdot (1-\lambda \cdot x)} + \frac{1-\lambda}{1-\lambda \cdot x} \cdot \frac{N_0}{q}, \text{ с,}$$

где N_0 – длина очереди (количество ТС) на стоп-линии в момент окончания горения зеленого сигнала, с,

$$N_0 = \frac{e^{-1,33 \cdot \frac{1-x}{x} \sqrt{q_H \cdot \lambda \cdot C}}}{2 \cdot (1-x)}, \text{ авт.}$$

Как показывают последние исследования, при расчете задержек необходимо учитывать продолжительность пикового периода T_0 , величину перегрузки x_0 и величину средней загрузки x . Например, Брилон и Ву (Рурский университет, ФРГ) предлагают формулу, которая позволяет рассчитывать задержку при наличии кратковременных перегрузок, т.е. когда $x \geq 1$:

$$d = \frac{C \cdot (1-\lambda)^2}{2 \cdot (1-\lambda \cdot x)} + \frac{N_0}{q_H \cdot \lambda}, \text{ с,}$$

где N_0 – средняя длина очереди на стоп-линии в течение пикового периода T_0 , авт, определяется в зависимости от соотношения x , x_0 , x_1^* и x_2^* :

при $x' > x_0$ и $x < x_2^*$,

$$N_0 = \frac{q_H \cdot \lambda \cdot T_0'}{4} \cdot \left[x' - 1 + \sqrt{(1-x')^2 + \frac{12 \cdot (x' - x_0)}{q_H \cdot \lambda \cdot T_0'}} \right];$$

при $x \geq x_2^*$

$$N_0 = \frac{q_H \cdot \lambda \cdot T_0}{4} \cdot \left[x - 1 + \sqrt{(1+x)^2 + \frac{12 \cdot [(1-x_0) \cdot x_1^* - (1-x)]}{q_H \cdot \lambda \cdot T_0}} \right];$$

при $x' \leq x_0$

$$N_0 = 0.$$

Здесь T_0 – продолжительность пикового периода, с (рис. 8.9);

T'_0 – приведенная продолжительность пикового периода, с,

$$T'_0 = T_0 \cdot K_T,$$

где K_T – коэффициент формы распределения ИД на входе (табл. 8.2);

x – коэффициент загрузки полосы движением;

x' – приведенный коэффициент загрузки полосы движением,

$$x' = x \cdot K_x,$$

где K_x – коэффициент, зависящий от формы распределения ИД (табл. 8.2);

x_0 – верхний предел значения x , выше которого будут ожидать перенасыщенные циклы:

$$x_0 = 0,67 + \frac{q_H \cdot \lambda \cdot C}{600};$$

x_1^* , x_2^* – параметры, характеризующие распределение ИД на входе (табл. 8.2).

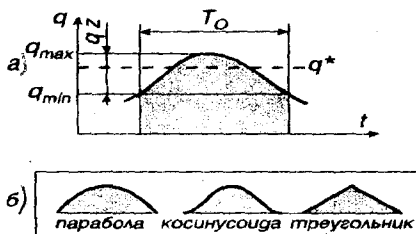


Рис. 8.9. К расчету задержек по формуле Брилона и Ву [3]:

- а – продолжительность пикового периода T_0 ;
- б – форма распределения ИД в период T_0 ;
- $Z = (q_{\max} - q_{\min}) / q_{\max}$ – размах распределения ИД

К расчету задержек по формуле Брилона и Ву [7]

Форма распределения	x_1^*	x_2^*	K_x	K_T
Парабола	1: (1 + 0,22 Z)	1: (1 - 0,32 Z)	1 + 0,22 Z	0,582
Косинусоида	1: (1 + 0,32 Z)	1: (1 - 0,32 Z)	1 + 0,32 Z	0,5
Треугольник	1: (1 + 0,25 Z)	1: (1 - 0,25 Z)	1 + 0,25 Z	0,5

Размах распределения ИД на входе в течение пикового периода:

$$Z = \frac{q_{\max} - q_{\min}}{q_{\max}}$$

Если допустить, что в разных условиях кривая распределения наиболее часто имеет вид параболы с параметрами $Z = 0,4$ и $T_0 = 3600$ с, можно записать:

при $x \leq 0,92x_0$

$$N_0 = 0;$$

при $x > 0,92x_0$ и $x < 1,14$

$$N_0 = 524 \cdot K_t \cdot q_H \cdot \lambda \cdot \left[1,09 \cdot x - 1 + \sqrt{(1 - 1,09 \cdot x)^2 + \frac{1,09 \cdot x - x_0}{175 \cdot q_H \cdot \lambda \cdot K_t}} \right];$$

при $x > 1,14$

$$N_0 = 900 \cdot K_t \cdot q_H \cdot \lambda \cdot \left[x - 1 + \sqrt{(1 - x)^2 + \frac{x - 0,92 \cdot x_0 - 0,08}{300 \cdot q_H \cdot \lambda \cdot K_t}} \right]$$

В этих формулах

$$K_t = \frac{T_0}{3600}$$

На рис. 8.10 показана зависимость $d = f(x)$, построенная по формулам Вебстера, Миллера и Брилона.

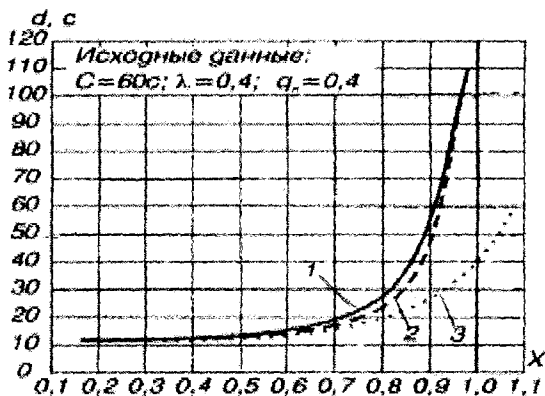


Рис. 8.10. Зависимость удельной задержки d от коэффициента загрузки полосы x по формулам [7]:
1 - Вебстера; 2 - Миллера; 3 - Брилона и Ву
(для кратковременных (до 1 часа) перегрузок)

Необходимо отметить, что кроме приведенных имеются и другие подходы и формулы для расчета задержек [11, 20]. Расчеты следует выполнять для каждой отдельной полосы, поскольку в противном случае нивелируются различия в загрузке полос, составе потока, потоке насыщения, что может привести к существенным погрешностям.

Расчет остановок транспорта производится по формуле

$$e_0 = [(1 - \lambda) - k_{oc}] \cdot k_0 \geq 0,$$

где e_0 - удельное число остановок транспорта, ост./авт.;

K_0 - коэффициент приращения очереди,

$$K_0 = \frac{q_n}{q_n - q},$$

где q - расчетная ИД, авт /с;

q_n - поток насыщения, авт /с;

K_{oc} - коэффициент снижения очереди, учитывает взаимодействие водителей прибывающих автомобилей с сигналами светофора и снижает расчетную долю КС в светофорном цикле.

Можно допустить, что это взаимодействие фактически уменьшает продолжительность запрещающих сигналов на половину продолжительности предупреждения о предстоящей смене сигнала. Учитывая ЗМС = 3 с, ЖС = 3 с и комбинацию КС + ЖС = 2...3 с, можно приближенно принять

$$K_{oc} \approx 0,5 \cdot \frac{t_{zm} + t_{ж} + t_{(к+ж)}}{C} \approx \frac{4}{C}.$$

В случае введения перемигивания сигналов и КМС вместо комбинации КС+ЖС значения K_{oc} , очевидно, увеличатся и количество остановок транспорта перед светофором заметно уменьшится.

Задержки пешеходов определяются по формуле

$$d_{п} = 0,5 \cdot C \cdot (1 - \lambda_{п})^2, \text{ с,}$$

где $\lambda_{п}$ – доля ЗС в цикле для пешеходов.

Расчет задержек при адаптивном регулировании затрудняется случайным характером параметров СФЦ, что привносит дополнительные погрешности. В работе [18] предлагается рассчитывать задержки транспорта, как для жесткого программного регулирования, при этом значения t_z принимать в пределах $t_{z \min} \dots t_{z \max}$ таким образом, чтобы величина задержек на СФО была минимальной для данной транспортной нагрузки.

Более приемлемым представляется подход, при котором рассчитываются удельные задержки для состояний $t_{z \min}$ и $t_{z \max}$, а в качестве расчетной принимается средневзвешенная задержка по вероятности каждого состояния

$$\bar{d} = d_{t_{z \min}} \cdot P_{(t_{z \min})} + d_{t_{z \max}} \cdot [1 - P_{(t_{z \min})}], \text{ с,}$$

где $d_{t_{z \min}}$ – удельная задержка для состояния $t_{z \min}$;

$d_{t_{z \max}}$ – удельная задержка для состояния $t_{z \max}$;

$P_{(t_{z \min})}$ – вероятность состояния $t_{z \min}$.

В работе [11] дается следующая формула для расчета задержек при управлении по длине очереди (приведены средние значения всех входящих величин):

$$d = \frac{1}{q \cdot C} \cdot \left\{ \frac{q \cdot \tau^2}{2 \cdot (1 - \rho)} + \frac{\tau}{2 \cdot (1 - \rho)^2} \left[\frac{\rho}{q_H} + 2 \cdot \rho \cdot (1 - \rho) \right] \right\}, \text{ с,}$$

где q – ИД в данном направлении, авт/с;

C – продолжительность СФЦ, с;

ρ – удельная ИД: $\rho = q/q_H$;

q_H – поток насыщения, авт/с;

τ – среднее время нарастания очереди, с, определяется экспериментально, в первом приближении можно принять:

$$\tau \approx \frac{K_0 + 1}{2} \cdot \left(C - \frac{t_{z \min} + t_{z \max}}{2} \right) - K_0 \cdot t_{ж}, \text{ с,}$$

где K_0 – коэффициент приращения очереди,

$$K_0 = \frac{q_H}{q_H - q}.$$

Расчет задержек в координированном направлении может быть выполнен лишь очень приблизительно. Можно выделить два подхода к расчету задержек.

Согласно первому из них, изложенному в работе [11], задержка определяется как функция относительной ИД, ширины ленты безостановочного движения и доли зеленого сигнала в цикле в направлении координации. При этом делается ряд допущений, среди которых можно отметить следующие:

– координированная пачка состоит из одной или из двух групп, которые имеют равномерную плотность (рис. 8.11);

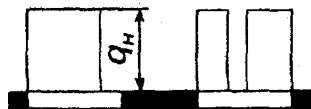


Рис. 8.11. Расчетные формы импульса интенсивности при определении задержек координированного регулирования (согласно работе [7])

- каждая группа имеет строго очерченные границы и представляет собой импульс интенсивности прямоугольной формы;
- мгновенная интенсивность импульса (т.е. высота прямоугольника) соответствует потоку насыщения q_H ;
- на всех СФО доля зеленого сигнала в цикле одинакова и больше 0,5, при этом выполняется условие: $t_{\text{л0}} \geq 2 \cdot \lambda - 1$.

Формула для расчета удельной задержки имеет вид

$$d = \frac{11 \cdot (\rho - t_{\text{л0}})^2 \cdot (1 + \rho - \lambda)}{84 \cdot \rho \cdot (\lambda - t_{\text{л0}})} + \frac{3 \cdot [\rho^2 + (t_{\text{л0}} - \lambda) \cdot \rho + 2 \cdot \lambda^2 - 3 \cdot t_{\text{л0}} \cdot \lambda] \cdot (\rho - t_{\text{л0}})}{84 \cdot \rho \cdot (\lambda - t_{\text{л0}})}, \text{ с,}$$

где ρ – относительная ИД, $\rho = q / q_H$;

$t_{\text{л0}}$ – относительная ширина ЛБД, $t_{\text{л0}} = t_{\text{л}} / C$,

где $t_{\text{л}}$ – ширина ЛБД, с;

C – продолжительность СФЦ, с;

λ – доля ЗС в цикле, $\lambda = t_z / C$,

где t_z – продолжительность ЗС в направлении координации, с.

При этом должно выполняться условие

$$\lambda \geq \rho \geq t_{\text{л0}}.$$

При $\rho > \lambda$ задержка не определена, при $\rho \leq t_{\text{л0}}$ равна нулю.

Согласно другому подходу, вначале определяется ИД остановленного транспортного потока, рассчитывается для него суммарная задержка, а затем – удельная задержка для всего потока. Наибольшую погрешность вносит определение числа остановленных ТС. Если при переходе через исследуемый светофорный объект лента безостановочного движения не деформируется, то принято считать, что останавливаются только внепачковые автомобили, число которых легко определить из картограммы интенсивности – это лево- или правоповоротные ТС с предыдущего светофорного объекта.

Если же лента безостановочного движения деформируется (часть потока упирается в КС), то к остановленным относят часть транзитных ТС, пропорциональную доле деформированной ленты безостановочного движения. Необходимо также учитывать избыточное время горения ЗС на данном и предыдущем светофорном объекте: в одном случае оно позволяет пропускать без остановок часть внепачковых автомобилей, в другом приводит к задержке части транзитных транспортных средств.

Удельная задержка рассчитывается по формуле

$$d = \frac{1}{2q} \cdot \left[C \cdot q_0 \cdot (1 - \lambda) + \frac{q_0 \cdot C + 1}{q_n \cdot C} \right], \text{ с,}$$

где q – ИД в координированном направлении, авт./с;

q_0 – ИД остановленного транспорта, авт./с;

λ – доля ЗС в цикле;

q_n – поток насыщения, авт./с;

C – продолжительность СФЦ, с.

Издержки при отнесении стоп-линии. Стоп-линия должна быть расположена таким образом, чтобы между ней и ближайшей конфликтной точкой находился определенный отрезок безопасности, который, согласно нормативам, находится в пределах 2-3 м. Поскольку верхний предел этого отрезка безопасности нигде не оговорен, на практике встречаются случаи, когда стоп-линия отнесена от ближайшей конфликтной точки на 20 м и более, что удобно строителям, но приводит к увеличению потенциальной опасности и экономических потерь. Увеличение потенциальной опасности выражается, например, в том, что возрастает вероятность прибытия ТС в конфликтную точку уже после включения запрещающего сигнала, а увеличение экономических потерь – в том, что время, необходимое ТС для преодоления дополнительного расстояния, является потерянным в цикле и фактически вычитается из продолжительности горения зеленого сигнала.

В ряде случаев ТС, прошедшему отнесенную стоп-линию, приходится останавливаться перед конфликтной точкой, по которой уже движется конфликтующий поток. Такая остановка осуществляется на условной второй стоп-линии, в качестве которой, согласно

нормативам, может приниматься продолжение кромки проезжей части пересекаемой улицы или линия пешеходного перехода. Укажем, что принятие решения остановиться или продолжить движение осуществляется водителем в условиях дефицита времени без четких критериев и в довольно неясных обстоятельствах, что намного увеличивает вероятность ошибки и возникновения конфликтной ситуации.

На рис. 8.12 показана $t-s$ -диаграмма движения ТС через отнесенную стоп-линию. Последний автомобиль, пересекающий стоп-линию на ЗС, вынужден будет остановиться на условной второй стоп-линии. Возможно, однако, что он на ней не остановится и продолжит движение, вынуждая преимущественное право у конфликтующего потока, которому уже включен зеленый свет и который готов начать или даже уже начал движение (особенно часто это имеет место при высоких $K_{пн}$, загрузке и скорости движения ПП предыдущего направления).

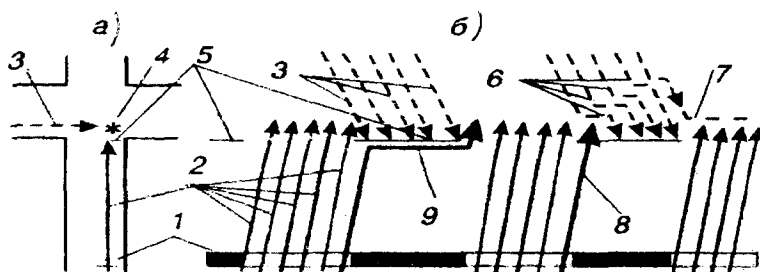


Рис. 8.12. Диаграмма движения ТС при отнесенной стоп-линии:

а – план перекрестка; б – $t-s$ -диаграмма; 1 – отнесенная 1-я стоп-линия; 2 – ТС предыдущего направления; 3 – ТС последующего направления; 4 – КФТ; 5 – условная 2-я стоп-линия; 6 – ТС последующего направления, вынужденные остановиться во избежание КФ; 7 – ТС последующего направления, вынужденное из-за конфликтной остановки своего потока остаться на второй цикл; 8 – ТС предыдущего направления, не остановившиеся на условной 2-й стоп-линии и вынудившее конфликтующий поток притормозить или остановиться; 9 – ТС предыдущего направления, остановившиеся на условной 2-й стоп-линии и оставшиеся на второй цикл

Возможно несколько вариантов распределения потерянного времени при отнесении стоп-линии: либо оно отнимается у потока предыдущего направления, либо – у потока последующего направления, либо увеличивается переходной интервал за счет увеличения продолжительности цикла. Возможны комбинации этих вариантов, а

также обозначение второй стоп-линии или введение соответствующих сдвигов включения сигналов светофора. Поскольку этих комбинаций может быть значительное количество, расчеты следует производить для каждого конкретного случая. Проведенные исследования показали, что средняя величина задержки колеблется около значения 0,15 ч/год на 1 м отнесения стоп-линии на каждую единицу приведенной (по $K_{по}$) интенсивности движения в час, что существенно.

Расчеты экономических издержек при конфликтных поворотах и на вторых стоп-линиях приведены в работах [7, 36].

9. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ

К экологическим потерям будем относить ущерб только от превышающих минимально возможные величины выбросов вредных веществ в атмосферу, загрязнений воды и почвы, а также шума и вибрации. Экологический ущерб отличается тем, что его действие отложено во времени на довольно значительный период, в результате чего ныне живущие пожинают плоды деятельности прошлых поколений, а результаты нашей деятельности будут испытывать на себе потомки.

Экологические потери в дорожном движении почти во всех постсоветских государствах не рассчитываются и очень слабо учитываются при оценке или принятии решений. В последние годы все больше ведется разговоров о важности этой проблемы, необходимости учета экологических потерь, однако дальше разговоров дело не идет.

Экологические потери в общем объеме всех потерь в дорожном движении, не считая социальных, по сегодняшним германским оценкам, стоят на втором месте, значительно уступая экономическим и не менее значительно превышая аварийные. Завтра, как представляется, значимость экологических потерь существенно возрастет.

Уже упоминалось, что экологические потери в дорожном движении, к сожалению, не рассчитываются. В связи с этим многие решения, принимаемые с благими намерениями, часто приводят к прямо противоположным результатам, сопровождаемым весьма значительными и совершенно неоправданными потерями. Например, запрещение стоянок транспорта вне проезжей части якобы направленное на защиту окружающей среды, вынуждает водителей прав-

дами или неправдами парковаться исключительно на проезжей части. Это приводит не только к увеличению маневрирования, загрузки полос, повышению опасности, увеличению экономических и социальных потерь (масса нарушений), но и к увеличению (иногда в несколько раз) тех самых экологических потерь. Еще один пример (см. подраздел 11.2): на одном из участков нагруженной улицы возник очаг аварийности. В течение года здесь произошло, скажем, 3 аварии, из которых одна с ранением и две с материальным ущербом. Местные власти ограничили скорость на полукилометровом участке до 40 км/ч, и аварии прекратились. Вроде бы все правильно, но... Стоимость этих аварий составила около 1800 у.е., а снижение скорости привело к увеличению экологических потерь приблизительно на 60000 у.е./год и экономических потерь – приблизительно на 80000 у.е./год. В результате суммарные потери увеличились примерно на 140000 у.е./год! Сказанное совершенно не означает, что не нужно бороться с аварийностью, – в данном случае необходимо выполнить тщательный очаговый анализ и найти причины этих аварий. Устранение причин, очевидно, потребует определенных вложений и усилий по их реализации, при этом придется считать каждую копейку. Гораздо удобнее и дешевле просто снизить скорость.

Подобные примеры можно приводить сотнями и тысячами. Вывод может быть только один: экологические потери обязательно нужно считать и учитывать при принятии решений в дорожном движении!

Достоверная экономическая оценка экологических потерь в дорожном движении требует серьезного отношения и не менее серьезных вложений, которые сегодня в Республике Беларусь по ряду причин невозможны. В результате здесь возник вакуум, и экологические потери не рассчитываются вообще. Чтобы устранить эту ненормальную ситуацию, предлагается приближенная экономическая оценка экологических потерь, выполненная с рядом допущений и обобщений. Такая оценка, как представляется, позволит лучше учитывать экологические потери и повысит качество принимаемых решений в дорожном движении.

Напомним, что под термином «экологические потери в дорожном движении» понимается разность между фактической стоимостью экологического ущерба, наносимого заданным транспортным потоком в реальных условиях, и стоимостью минимально возможного экологического ущерба, наносимого транспортным потоком

аналогичной интенсивности и состава в эталонных условиях. При этом понятие «эталонные условия» имеет расширительное толкование – для различных задач оно может меняться. При решении обычных, стандартных задач управления дорожным движением такие условия, как средний возраст транспортных средств, ширина улицы, тип и высота застройки, продольный уклон и т.д., могут быть приняты в качестве заданных (эталонных). При решении специальных задач практически любое из этих (и других) условий может быть принято уже в качестве исследуемого.

9.1. Расчетное определение потерь от выбросов

Расчет производится по стоимости ущерба для народного хозяйства от произведенного объема выбросов (M_0) и ущерба для здоровья людей от приведенного (к потребителю) объема выбросов (M_i). *Годовые нормативные* (по отношению к принятому нормативу: $V = 60$ км/ч; $I_V = 0$ и $t = 4$ года) *потери на линейном объекте* определяются по формуле

$$P_{\text{тн}} = \left[M_0 \cdot C_{m0} + \sum_1^{i=3} (N_i \cdot C_{mi}) \right] \cdot \Phi_{\Gamma} \cdot S \cdot K_c, \text{ у.е./год},$$

где Φ_{Γ} – годовой фонд времени, ч/год;

S – протяженность участка, км;

K_c – социальный коэффициент экологических потерь,

$K_c \approx 1,5$;

M_0 – удельный объем произведенных выбросов, кг/км,

$$M_0 = Q^* \cdot m \cdot [K_{\text{пн}}(K_{mv} \cdot K_{iv} - 1) + H_t \cdot K_{mv} \cdot K_{iv}], \text{ кг/км},$$

где m – базовое (минимальное) значение суммарных приведенных (по СО) выбросов легкового автомобиля, кг/км; при отсутствии других данных можно принимать $m = 0,02$ кг/км;

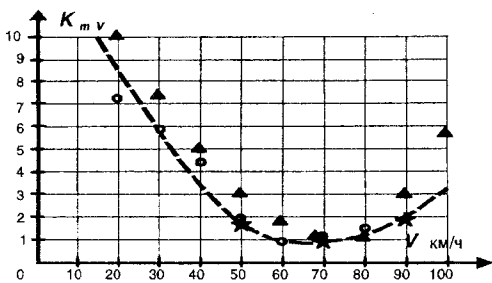


Рис. 9.1. Ориентировочная зависимость удельных приведенных (по СО) выбросов легковых автомобилей от скорости движения потока: о – по данным [30]; ★ – по данным [32]; Δ – по данным [8] (только СО); K_{mv} – коэффициент изменения величины выбросов от скорости

K_{mv} – коэффициент изменения выбросов от скорости (рис. 9.1);

K_{iv} – коэффициент изменения выбросов от дисперсии скорости,

$$K_{iv} = \sqrt{1 + I_V},$$

где I_V – коэффициент вариации распределения скорости ТП;

$K_{пн}$ – динамический коэффициент приведения ТП (см. табл. 8.1);

Q^* – расчетная ИД, авт /ч,

$$Q^* = Q \cdot [1 - \Delta_{эл} \cdot (1 + K_{пнэл} - K_{пн})], \text{ авт /ч,}$$

где Q – интенсивность движения ТП, авт /ч (как правило, рассматривается суммарный ТП, параметры которого определены как средневзвешенные значения параметров входящих потоков);

$\Delta_{эл}$ – доля электротранспорта в ТП;

$K_{пнэл}$ – динамический коэффициент приведения электротранспорта;

H_t – коэффициент возраста ТС,

$$H_t = \Delta_б \cdot K_{пнб} \cdot K_{тб} + \Delta_д \cdot K_{пнд} \cdot K_{тд},$$

где $\Delta_б$, $\Delta_д$ – доля в потоке ТС с бензиновыми и дизельными двигателями;

$K_{пнб}$, $K_{пнд}$ – динамический коэффициент приведения ТС с бензиновыми и дизельными двигателями;

$K_{тб}$ и $K_{тд}$ – коэффициент приращения выбросов от возраста ТС с бензиновыми и дизельными двигателями:

$$K_{тб} = 0,08 \cdot (t - 4) \geq 0; \quad K_{тд} = 0,05 \cdot (t - 4) \geq 0,$$

где t – средний возраст ТС, лет;

$C_{мо}$ – стоимость экологических потерь в народном хозяйстве от выброса 1 кг приведенных (по CO) вредных веществ, у.е./кг:
для города

$$C_{мо} = 0,025, \text{ у.е./кг};$$

для загорода

$$C_{мо} = 0,010, \text{ у.е./кг};$$

C_{mi} – стоимость экологических потерь от воздействия на человека в течение часа вредных выбросов концентрации, эквивалентной удельному приведенному (к потребителю) объему выбросов M_i , у.е./чел.,

$$C_{mi} = 0,02 \cdot C_b \cdot \sqrt{M_i - 6}, \text{ у.е./чел.ч},$$

где M_i – удельный приведенный (к данному потребителю) объем выбросов ТП, кг/км;

C_b – доля национального дохода (ВВП), приходящаяся на 1 чел·ч; при отсутствии иных данных для Республики Беларусь можно принимать: $C_b = 0,25$ у.е./ч.

Рассматриваются 3 категории потребителей – водители и пассажиры (1), пешеходы (2) и жители прилегающих зданий (3). Примем: водители

$$M_1 = M_0 \cdot K_{Z1}, \text{ кг/км},$$

где K_{Z1} – коэффициент защиты водителей и пассажиров, $K_{Z1} = 1$;

пешеходы

$$M_2 = M_0 \cdot K_{Z2}, \text{ кг/км},$$

где K_{Z2} – коэффициент защиты пешеходов:

$$K_{Z2} = e^{-0,04 \cdot (r_2 + 5 \cdot i_2)},$$

где r_2 – расстояние от середины траектории движения ближайшего ряда ТП до середины тротуара, м;

i_2 – число рядов деревьев или кустарников, эффективно защищающих пешеходов от экологического воздействия, что при регулярной эффективной мойке проезжей части и тротуаров можно приравнять к некоторому (до 1) числу рядов посадок;

жители

$$M_3 = M_0 \cdot K_{Z3}, \text{ кг/км},$$

где K_{Z3} – коэффициент защиты жителей:

$$K_{Z3} = e^{-0,04 \cdot (r_3 + 5 \cdot i_3 + 10)},$$

где r_3 – расстояние (по диагонали) от середины траектории движения ближайшего ряда ТС до средних по высоте окон застройки.

Высота застройки (0,5 Н) может быть приближенно определена по формуле

$$0,5H \approx 3 \cdot n_{эм} + 2, \text{ м},$$

где $n_{эм}$ – число этажей застройки;

i_3 – число рядов деревьев (для одноэтажной застройки – и кустарников), эффективно защищающих жителей от экологического воздействия (при наличии защитных сооружений или если улица очень хорошо проветривается, условное число рядов i_3 можно несколько увеличить);

N_i – удельное (на 1 км) число потребителей данной категории, чел./км;

N_1 – водители и пассажиры,

$$N_1 = \frac{(\Delta O \cdot 40 + 1,5) \cdot Q}{V} \text{ чел./км,}$$

где ΔO – доля общественного транспорта в потоке;

Q – интенсивность движения, авт./ч;

V – скорость движения, км/ч;

N_2 – пешеходы,

$$N_2 = \frac{Q_{п\Sigma}}{V_{п}}, \text{ чел./км,}$$

где $V_{п}$ – скорость движения пешеходов, км/ч, $V_{п} = 4$ км/ч – тротуары; $V_{п} = 5$ км/ч – пешеходные переходы;

$Q_{п\Sigma}$ – суммарная ИД пешеходов, включая движение по тротуарам и пешеходным переходам, чел./ч (при отсутствии иных данных можно принимать значения N_2 в зависимости от категории улиц: главная – 250 чел./км; торгово-деловая – 150 чел./км; прочие – 50 чел./км; при этом для отдельных улиц крупных и крупнейших городов значения N_2 могут быть увеличены до 5 раз, а для малых городов и населенных пунктов – существенно уменьшены);

N_3 – жители прилегающих зданий; для детальных расчетов число N_3 должно быть приведено в исходных данных, при этом оно может отличаться для расчетов потерь от выбросов и потерь от шума; для приближенных расчетов в зависимости от типа и назначения застройки можно принимать

$$N_3 = (0,7 \dots 1,0) \cdot N_{ок}, \text{ чел./км,}$$

где $N_{ок}$ – удельное (на 1 км) число окон прилегающих (до 50 м) зданий, выходящих на исследуемую улицу, окон/км.

Перед проведением расчетов задают эталонные ($\Pi_{\text{мнэ}}$) и исследуемые ($\Pi_{\text{мни}}$) условия; рассчитывают нормативные потери для исследуемых и эталонных условий. Полученная разность между ними будет искомой величиной экологических потерь:

$$\Pi_m = \Pi_{\text{мни}} - \Pi_{\text{мнэ}}, \text{ у.е./год.}$$

При расчете *потерь на конфликтных объектах (перекрестках)* определяют, как правило, два расчетных суммарных ТП – для главной (1) и второстепенной (2) улиц. В расчетный поток объединяются все потоки, движущиеся транзитом с обоих направлений данной улицы, и все поворотные потоки, выходящие с нее. Для каждого отдельного ТП, входящего в состав расчетного, определяются расчетная протяженность перекрестка (S_i) и параметры распределения скорости (\bar{V}_i и I_{vi}).

Расчетная протяженность перекрестка складывается из пути, пройденного ТС за время торможения от начальной скорости (V_0) до конечной перед первой стоп-линией (V_k), которая часто бывает равной нулю; расстояния от условной первой стоп-линии до условной последней на самом перекрестке; пути, пройденного ТС за время разгона от конечной скорости (V_k) на последней стоп-линии до начальной (V_0) на следующем перегоне. При отсутствии других данных в качестве замедления и ускорения ТП можно принять

$$a = \frac{2,0 \dots 2,5}{K_{\text{пн}}}, \text{ м/с}^2.$$

Для определения параметров распределения скорости (\bar{V} и I_v) на участке (S_i) необходимо рассчитать задержки ТП на каждой стоп-линии и определить скорости поворотных потоков на самом перекрестке:

$$V_R \approx 0,33 \cdot R, \text{ м/с,}$$

где R – радиус траектории поворотного потока, м.

Методом пошагового счета (рекомендуемый шаг равен 1 с) определяют текущие значения скорости (V_i) на исследуемом участке и параметры распределения скорости (\bar{V} и I_v).

Интенсивность движения расчетных потоков (Q) определяется как сумма интенсивностей движения всех входящих потоков. Остальные параметры ($K_{\text{пн}}$, S , V , I_v) определяются как средневзвешенные (можно – только по Q , но иногда необходимо и по $K_{\text{пн}}$, S и даже V) значения соответствующих параметров.

Для определения параметров эталонных потоков необходимо принимать ряд допущений, связанных с наличием поворотных потоков, пешеходов, координации, начальной скорости (V_0) и т.д. В принципе, транзитные потоки могут двигаться безостановочно со скоростью $V_{03} = 60$ км/ч. Поворотные потоки также могут быть разведены во времени с главными конфликтующими транзитными потоками и пешеходами, но на самом повороте вынуждены двигаться со скоростью V_R . На нерегулируемых перекрестках остановки всех второстепенных и главных поворотных потоков неизбежны, однако этим потокам должны быть обеспечены идеальные условия видимости, ровности, отдельные полосы и т.д.

Для полученных таким образом расчетных потоков для обеих улиц рассчитываются удельные объемы произведенных выбросов (M_{01} и M_{02}). Затем для каждой улицы рассчитывается суммарный объем произведенных выбросов:

$$M_{01\Sigma} = M_{01} + \Delta M_{02}, \text{ кг/км (главная улица);}$$

$$M_{02\Sigma} = M_{02} + \Delta M_{01}, \text{ кг/км (второстепенная улица),}$$

где ΔM_{01} – доля удельного объема произведенных выбросов главной улицы (1), попадающая в зону влияния второстепенной улицы (2):

$$\Delta M_{01} = M_{01} \left[K_{Z01} + \frac{(S_2 + B_1)(1 - K_{Z01})}{2 \cdot S_2} \right], \text{ кг/км,}$$

где S_2 – протяженность перекрестка на второстепенной улице, м;

B_1 – ширина проезжей части главной улицы, м;

K_{Z01} – коэффициент защиты потребителей главной улицы,

$$K_{Z01} = \frac{B_2 + 2 \cdot b_2}{S_1} \cdot e^{-0,02 \cdot S_2} + \left(1 - \frac{B_2 + 2 \cdot b_2}{S_1} \right) \cdot e^{-0,04(0,5 \cdot S_2 + 5 \cdot i_{41} + 10 \cdot i_{51})},$$

где B_2 – ширина проезжей части второстепенной улицы, м;

b_2 – ширина тротуара второстепенной улицы, м;

i_{41} – число рядов деревьев и кустарников на удалении от оси проезжей части главной улицы до $0,5 \cdot S_2$;

i_{51} – число рядов зданий на удалении от оси проезжей части главной улицы до $0,5 \cdot S_2$.

Аналогично определяется значение ΔM_{02} . Далее расчеты выполняются для двух улиц – главной и второстепенной, – каждая из которых имеет своих «потребителей», для которых определяются годовые потери. Потери на перекрестке определяются простым суммированием потерь на обеих улицах.

9.2. Расчетное определение потерь от шума

Расчет производится по стоимости ущерба для здоровья людей. *Годовые* нормативные по отношению к принятому нормативу $L_i \approx 35$ дБА *потери на линейном объекте* определяются по формуле

$$\Pi_{LH} = \sum_1^{i=3} (K_{Li} \cdot N_i) \cdot \Phi_{\Gamma} \cdot S \cdot C_{\text{в}} \cdot K_{\text{с}}, \text{ у.е./год},$$

где Φ_{Γ} , S , $C_{\text{в}}$, $K_{\text{с}}$, N_i – определены ранее при расчете потерь от выбросов;

K_{Li} – коэффициент удельных потерь национального дохода (ВВП) от воздействия шума для каждой категории потребителей,

$$K_{Li} = 1,8 \cdot 10^{-7} \cdot L_i^{3,39} - 0,0312,$$

где L_i – приведенный (к потребителю) уровень шума, дБА:

$$L_i = L_0 + \sum d_i, \text{ дБА};$$

$$L_1 = L_0 + \sum d_1 \text{ (водители);}$$

$$L_2 = L_0 + \sum d_2 \text{ (пешеходы);}$$

$$L_3 = L_0 + \sum d_3 \text{ (жители),}$$

где L_0 – уровень производимого шума, дБА,

$$L_0 = 4,3 + 10 \cdot \lg [Q \cdot V^2 \cdot (14 \cdot K_{\text{пн}} - 13)] + \sum d_0, \text{ дБА},$$

где $\sum d_0$ – сумма поправок при расчете производимого шума, дБА.

При расчете эталонного шума рассматриваются поправки ($\sum d_{03}$), характеризующие эталонные условия, а при расчете исследуемого шума – поправки ($\sum d_{0н}$), характеризующие фактические условия.

При расчетном определении потерь рассматриваются следующие поправки:

d_{α} – на продольный уклон (табл. 9.1);

$d_{н}$ – на отношение ширины улицы к сумме высот застройки

$$\left(\frac{B_{\text{к}}}{H} \right) \text{ (табл. 9.1),}$$

где $B_{\text{к}}$ – ширина улицы в красных линиях, м;

H – сумма высот застройки с обеих сторон улицы, м;

$d_{\text{пч}}$ – на тип покрытия (табл. 9.1);

d_3 – на озеленение (табл. 9.1);

$d_{\text{эк}}$ – на экранирование (табл. 9.1);

d_{iV} – на дисперсию скорости,

$$d_{iV} = 40 \cdot \lg(1 + I_V), \text{ дБА};$$

d_t – на возраст ТС,

$$d_t = 0,12(t - 4), \text{ дБА},$$

где t – средний возраст ТС, лет;

d_r – на расстояние,

$$d_r = -14 \lg \frac{r}{7,5}, \text{ дБА [35]},$$

где r – расстояние от середины траектории движения ближайшего ряда ТС до потребителя, м.

Таблица 9.1

Значения поправочных коэффициентов d_x при расчете уровней шума

d_α [34]	Продольный уклон								
	$\alpha, \%$	1	2	3	4	5	6	7	8
	d_α	0,5	0,8	1,2	1,5	2,0	2,3	2,7	3,0
d_H [34]	Отношение ширины улицы B к сумме высот застройки H								
	B/H	1	1,5	2	3	4	5	6	8
	d_H	4	2,5	1,5	0	-1	-1,4	-1,7	-2
d_3 [34]	Озеленение (посадка деревьев)								
	тип	однорядная			двухрядная		трехрядная		
	d_3	-5			-8		-10		
$d_{пч}$ [35]	Покрытие проезжей части								
	тип	цементобетон			брусчатка		бульжник		
	скорость	40	1			1		2	
60		2			3		5		
	80	3			5		10		
$d_{эк}$ [34]	Экраны								
	тип	окна обычные при открытой форт.			окна специальные		экраны		
	$d_{эк}$	-10...-12			-20...-28		-6...-24		

В принципе, возможны и другие поправки, – например, на трамвайное движение [34], ровность покрытия и т.д.

$\sum d_i$ – сумма поправок при расчете приведенного шума, дБА;

$\sum d_i$ – поправки, относящиеся к водителям и пассажирам,

$\sum d_1 = -12$ дБА;

$\sum d_2$ – поправки, относящиеся к пешеходам,

$$\sum d_2 = d_{r2} + d_{s2};$$

$\sum d_3$ – поправки, относящиеся к жителям прилегающих зданий,

$$\sum d_3 = d_{r3} + d_{s3} + d_{эж}, \text{ дБА.}$$

Перед проведением расчетов задают эталонные и исследуемые условия, рассчитывают нормативные экологические потери для исследуемых ($\Pi_{LНИ}$) и эталонных ($\Pi_{LНЭ}$) условий. Разность между ними и есть потери от шума:

$$\Pi_L = \Pi_{LНИ} - \Pi_{LНЭ}, \text{ у.е./год.}$$

Поскольку во многих расчетах в качестве эталонной принимается, как правило, скорость $V_3 = 60$ км/ч, то вполне возможно, что из-за существенного снижения исследуемой скорости уровень шума окажется ниже эталонного, а потери от шума будут иметь знак «минус».

При расчете *потерь на конфликтных объектах (перекрестках)* определяются параметры расчетных потоков и уровень производимого шума (L_{01} и L_{02}). Затем для каждой улицы определяется суммарный уровень производимого шума:

$$L_{01\Sigma} = L_{01} + dL_{02}, \text{ дБА (главная улица);}$$

$$L_{02\Sigma} = L_{02} + dL_{01}, \text{ дБА (второстепенная улица),}$$

где dL_{01} – приращение уровня шума на второстепенной улице от шума главной улицы, дБА,

$$dL_{01} = (L_{0\Sigma} - L_{02}) \frac{S_2 + B_1}{2 \cdot S_2}, \text{ дБА,}$$

где $L_{0\Sigma}$ – суммарный уровень производимого шума, дБА,

$$L_{0\Sigma} = 10 \lg \left(10^{0,1 \cdot L_{01}} + 10^{0,1 \cdot L_{02}} \right), \text{ дБА.}$$

Аналогично определяется величина dL_{02} . Для полученных таким образом суммарных уровней производимого шума ($L_{01\Sigma}$ и $L_{02\Sigma}$) определяются потери от шума для каждой улицы. Потери на перекрестке определяются простым суммированием потерь обеих улиц.

10. АВАРИЙНЫЕ ПОТЕРИ

Аварийность – одна из самых тяжелых и трагических потерь в дорожном движении. Если экономические и экологические потери равномерно распределяются среди всех членов общества, то аварийные концентрируются на отдельных участниках движения. И если на чью-то долю выпадает несчастье, эти люди, как правило, остаются один на один со своим горем и проблемами, без существенной помощи общества. Истинное отношение властей к проблеме аварийности проявляется в создании комплекса условий для безаварийного движения и в оказании страховой и своевременной медицинской помощи в случае несчастья.

10.1. Экономическая оценка аварийных потерь

Аварийные потери проявляются в самых разнообразных формах. На рис. 10.1 показана упрощенная структура потерь от аварий.

По своему характеру ущерб, нанесенный при аварии, делится на две составляющие – материальную (или экономическую) и духовную (или социальную).

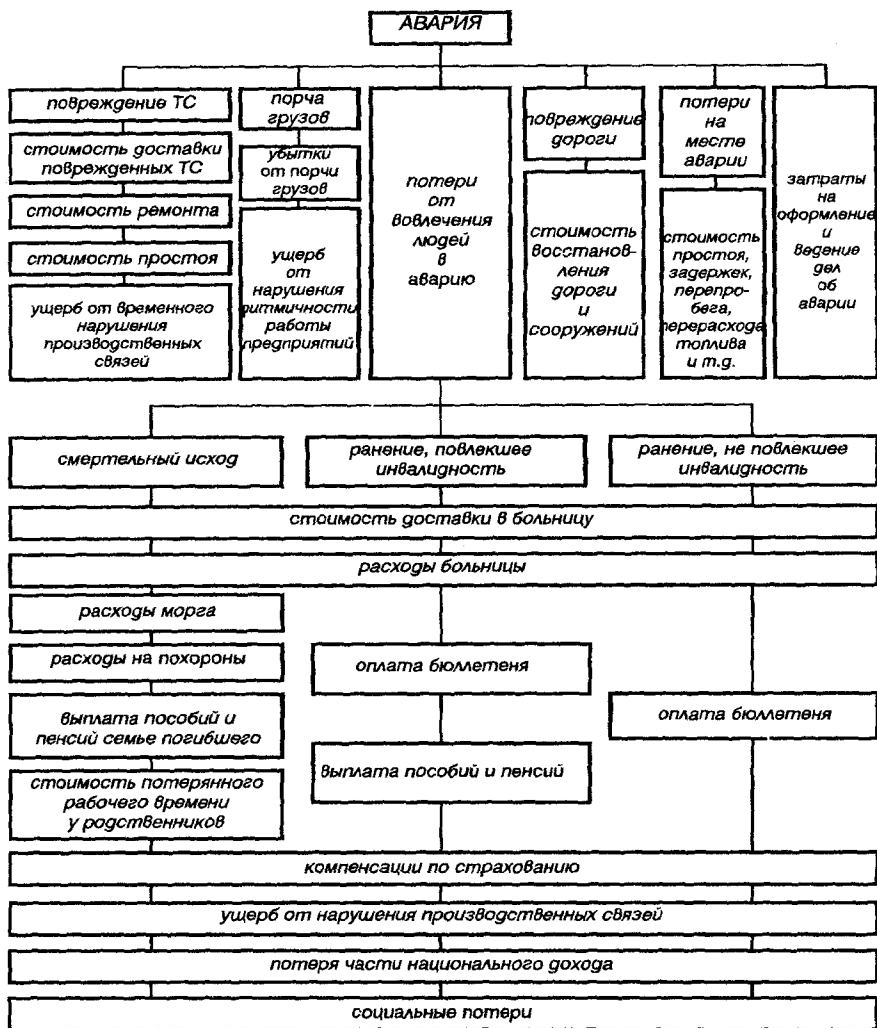


Рис. 10.1. Структура потерь от аварий [2]

Экономическая составляющая потерь делится на прямую и косвенную. *Прямые потери* – это потери от разрушения дороги и ее обустройства, повреждения транспортных средств и грузов, расходы на расследование аварии, пенсии, пособия, средства на лечение по-

страдавших или похороны погибших. *Косвенные потери* – это потери части внутреннего валового продукта от временного, частичного или полного исключения членов общества из производственной деятельности, потери из-за нарушения нормального процесса дорожного движения при аварии и т.д.

В табл. 10.1...10.3 приведены некоторые данные по экономическим потерям от аварийности в СССР за 1990 год, когда 1 доллар США стоил около 3...5 рублей. Нельзя не отметить низкий уровень оценки аварий в бывшем Союзе.

Таблица 10.1

Экономические потери (в рублях 1990 г.) на одного человека, вовлеченного в аварию [2]

Летальный исход	Ранение				
	среднее значение		в том числе при тяжести		
	город	загород	повлекшей за собой инвалидность	тяжелой	легкой
30550	1760	2935	19635	771	54

Таблица 10.2

Экономические потери (в рублях 1990 г.) на одну аварию [2]

В городах с числом жителей, тыс. чел.					На дорогах		Неотчетные	
малые <50	средние 50-100	большие 100-250	крупные 250-500	крупнейшие 500-1000	в равнинной или холмистой местности	в горах	город	загород
4630	3570	2650	2020	2790	10800	16330	108	200
1645	1285	975	760	1020	6870	14080		

Примечание. В числителе даны средние потери от одной аварии с пострадавшими, а в знаменателе – от аварии без указания тяжести последствий.

Таблица 10.3

Экономические потери (в рублях 1990 г.) от одной аварии с пострадавшими на дорогах в равнинной и холмистой местности [2]

Вид аварии		Потери
Съезды с	мостов и путепроводов	23590
	дороги	13080
Наезды на	велосипедиста	13290
	пешехода	13050
	гужевой транспорт	12640
	стоящее транспортное средство	11620
	неподвижное препятствие	9000
	впереди идущее транспортное средство	8050
	животное	5900
Столкновения	встречное	15250
	боковое	8270
Опрокидывание		9650

Социальная составляющая включает так называемую душевную боль от гибели или увечья людей. В нее входят потери от изменения нормальной психики людей, подвергшихся смертельному риску или подвергших смертельному риску своих близких, от крушения планов из-за аварии, от изменения (всегда в худшую сторону) привычного уклада жизни целых семей. Наконец, она выражает общественную боль из-за бессмысленной утраты своих граждан. Заметим, что в этом плане аварии отбирают лучшую часть общества: средний возраст погибших – около 33, при этом около 80 % составляют мужчины. Примерно такое же соотношение и в категории получивших увечье. Социальную составляющую потерь невозможно прямо оценить денежным эквивалентом. Однако найдено несколько способов оценки стоимости этой составляющей: страхование; материальная компенсация морального ущерба через суд; нормативы, учитывающие социальную составляющую; моральные устои, допускающие или поощряющие определенную практику, и т.д. В случае с аварийностью наибольшее распространение получило страхование, которое является обязательным для водителей, но может быть индивидуальным по размеру, разумеется, в установленных рамках. В развитых странах страховые оценки очень высоки, например, в

США страховая оценка аварии с погибшим превышает 2 млн. долларов, в ФРГ – 1 млн. евро и т.д. Именно эти суммы входят в полную оценочную стоимость аварий. У нас страхование делает только первые шаги, а социальная составляющая пока не входит в полную оценочную стоимость аварии и нигде не учитывается.

Правда, анализ некоторых нормативов, например, условий введения светофорной сигнализации или строительства подземных пешеходных переходов, показывает, что в них заложена более высокая оценочная стоимость аварий, чем чисто экономическая. Это обстоятельство, а также анализ существующей практики применения ограничений, позволили установить ориентировочные пределы полной оценочной стоимости аварий. Она выражается с помощью так называемого *социального коэффициента аварийности* K_{ca} , который показывает соотношение общественной значимости социальной и экономической составляющей. Оказалось, что социальная составляющая значительно – от 3 до 10 раз ($K_{ca} \approx 3 \dots 10$) – дороже, чем экономическая, при этом для аварий с гибелью людей она существенно выше, чем для аварий без пострадавших. К сожалению, отсутствие серьезных исследований в этой области не позволяет более детально рассмотреть эту проблему.

Однако имеющейся информации достаточно для того, чтобы сделать следующие выводы:

1. Социальная составляющая является неотъемлемой частью полной оценочной стоимости аварии и должна повсеместно учитываться.

2. Расчеты экономической эффективности мероприятий по снижению аварийности, которые сегодня оперируют позорно низкими цифрами чисто экономического ущерба, должны производиться только по полной оценочной стоимости. Временно, до получения научно обоснованных значений полной стоимости аварий в Республике Беларусь, предлагается использовать данные, приведенные в табл. 10.4.

3. Постепенное и разумное введение страхования участников дорожного движения в Республике Беларусь целесообразно и выгодно не только самим участникам движения, но и государству.

**Рекомендуемые (временные) расчетные значения полной
экономической оценки аварий**

Тяжесть последствий		Стоимость, у.е.
Смертельный исход		60 000
Ранение, повлекшее за собой инвалидность		20 000
Ранение тяжелое		1 200
Ранение легкое		600
Материальный ущерб		300
Усредненные значения	авария без указания тяжести последствий	2 000
	авария с пострадавшими	11 000
	авария с ранением	1 200

Примечание. При легком ранении (легкие телесные повреждения) перерыв в работе не превышает 7 дней; при тяжелом (тяжкие и менее тяжкие телесные повреждения) перерыв в работе превышает 7 дней.

10.2. Расчет аварийных потерь

Потери от аварийности определяются по формуле

$$П_a = \sum_{i=1}^j n_{ai} C_{ai}, \text{ у.е./год.}$$

где C_{ai} – расчетная полная стоимость аварий данной тяжести последствий, у.е./ав. (см. табл. 10.4);

i – разряд тяжести последствий аварий, принятый в исследуемой выборке;

j – число разрядов тяжести последствий аварий, принятых в данной выборке;

n_{ai} – расчетное число аварий данной тяжести последствий в исследуемой выборке, ав./год.

Значения n_{ai} принимаются из статистических данных либо по результатам прогнозирования аварийности для исследуемого объекта (тогда расчетное число аварий получает индекс P_{a2}).

Прогнозирование аварийности может быть выполнено несколькими методами, которые рассматриваются в дисциплине «Безопас-

ность дорожного движения». Ниже в кратком изложении будет приведен статистический метод прогнозирования аварийности, взятый из работы [2].

Во многих странах ведутся систематические исследования аварийности до и после внедрения типовых мероприятий, которые позволили накопить огромный статистический материал о влиянии на аварийность тех или иных мероприятий. Этот материал систематизирован и сведен в соответствующие таблицы, по которым и делается прогноз. К сожалению, такой прогноз очень приблизителен, касается крупных систем, малоприменим для конкретного объекта и ограничен целым рядом условий (например, то, что исследуемое мероприятие должно быть тщательно проработано и наилучшим образом соответствовать конкретным условиям, что само по себе является сложной оптимизационной задачей).

Прогноз касается только тех аварий, которые целиком зависят от внедряемого мероприятия, что также является расплывчатой и трудноразрешимой задачей. Кроме того, необходимо вносить поправки, линейно учитывающие срок наблюдения и некоторые характеристики движения до и после внедрения, а поскольку зависимость между этими параметрами и аварийностью не является линейной, то эти поправки вносят еще большую дополнительную погрешность.

В некоторых случаях принимаемые меры позволяют снизить аварии одного вида, но увеличивают число аварий других видов. Например, внедрение светофорного регулирования уменьшает число поперечных столкновений, но существенно увеличивает число попутных. Иногда выигрыш, достигаемый в одном месте, сопровождается проигрышем совсем в других, часто не учитываемых, местах. Например, запрещение левого поворота приносит ухудшение в том месте, куда перенесен этот поворот. Возможны случаи, когда при явном выигрыше в данном месте общее число аварий на УДС увеличивается, если, например, левый поворот перенесен в еще более напряженное место.

В табл. 10.5 приведены статистические данные США по снижению числа аварий в случае внедрения соответствующих мероприятий [1]. Знак «-» означает ухудшение безопасности, т. е. рост аварийности (данного вида), тем не менее такие мероприятия все же внедряются, поскольку позволяют значительно увеличить скорость движения или пропускную способность. Индексом «*» отмечены

данные, достоверность которых не столь велика из-за недостаточного объема статистической выборки.

В табл. 10.6 приведены аналогичные статистические данные бывшего СССР [2]. Обращают на себя внимание безапелляционность выводов (индекс «*» отсутствует) и несоответствие приведенных данных результатам анализа аварийности (одностороннее движение, координированное движение, обозначенные пешеходные переходы и т.д.); кроме того, графа «Все виды» не связана с графами двух других видов аварий. Эти и другие обстоятельства вызывают сомнения в достоверности приведенных данных, поэтому использование их в прогнозировании аварийности должно быть осторожным.

Таблица 10.5

Статистическое прогнозирование аварийности
по данным США [1]

Мероприятия	Город, загород	Число полос	Снижение числа аварий в долях единицы ΔA		
			все виды	с пострадавшими	с матер. ущербом
1	2	3	4	5	6
Отдельные участки дорог					
Запрещение стоянок	Г	>2	0,32	0,03	–
Устройство или улучшение разметки краевой полосы	3	2	0,14	0,17*	–
Установка или изменение местоположения предупреждающих знаков	Г	2	0,14	0,14*	–
	Г	>2	0,20*	0,26*	–
	3	2	0,36	0,32*	–
	3	>2	0,18*	0,03	–
Установка тросового ограждения на разделительной полосе автомагистрали	3	>2	–0,33*	–0,04*	–
Установка ограждения из металлических балок на разделительной полосе автомагистрали	3	>2	–0,20*	–0,22*	–
Установка центрального барьера безопасности при ширине разделительной полосы до 1,5 м	–	–	–0,53*	–0,61*	–

Продолжение табл. 10.5

1	2	3	4	5	6
Выделение разделительной полосы разметкой или выполнение ее над уровнем ПЧ	Г	>2	0,12	-	-
Укладка нового дорожного покрытия	Г	>2	0,42	0,46	-
	З	2	0,12	0,21	-
	З	>2	0,44	0,59	-
Стабилизация обочин	З	2	0,38	0,46	-
Уширение обочин	З	2	-0,20	0,07*	-
Уширение ПЧ	З	2	0,38	0,30	-
Уширение ПЧ при ширине полосы 2,7 м и более	З	2	0,38	0,16	-
Уширение ПЧ при ширине полосы 3 м и более	З	2	0,05*	-0,65*	-0,37*
Установка ограждения для домашнего скота вдоль дороги	З	2 и более	0,90	-	-
Модернизация дороги в соответствии со стандартом	З	2	0,10	-0,06*	0,40*
	З	>2	0,15*	0,22*	-
Выпуклые кривые в профиле					
Нанесение разделительной линии	З	2	0,64	-	-
Кривые в плане					
Установка направляющих устройств	З	2	0,02*	0,16	-
	З	>2	0,52	0,10*	-
Установка и обновление предупреждающих знаков	З	2	0,57	0,71	0,23*
	З	>2	0,52	0,40	-
Реконструкция кривых	З	2	0,88	0,89	0,96
Установка предупреждающих знаков и направляющих устройств	Г	>2	0,20	-0,27*	-
	З	2	0,22	0,41*	-
Перекрестки					
Установка или обновление предупреждающих или указательных знаков	З	2	0,37	0,19	-
	З	>2	0,09	-0,07	-
	Г	2	0,29	0,51*	-
	Г	>2	0,41	0,47*	0,26*
Установка или обновление знаков на Т-образном перекрестке	Г	2	0,61	0,43*	-
	Г	>2	0,65	0,67	-
Установка знака «Стоп»	З	2	0,47	0,96	-
Установка предупреждающих сигналов	Г	>2	-0,27*	0,73*	-
	З	3	0,56	0,29*	-

Окончание табл. 10.5

1	2	3	4	5	6
То же на Т-образном перекрестке	3	>2	0,21*	–	–
Добавление пешеходных сигналов	Г	2	0,13	0,56*	–
	Г	>2	0,02*	0,42*	–
Обновление светофоров	Г	2	0,31	0,35*	–
	Г	>2	–0,02	0,10*	–
	3	>2	0,42	0,45*	–
То же на Т-образном перекрестке	Г	>2	–	0,57	–
Запрещение поворотов	Г	>2	0,40	0,39	–
Организация полосы для левого поворота без светофора	Г	2	0,19*	0,80*	–
	Г	>2	0,06	0,54	0,18*
	3	>2	–0,06	–0,01*	–
То же на Т-образном перекрестке	Г	2	0,79	0,79	–
	Г	>2	0,51*	0,62	–
То же на Y-образном перекрестке	3	2	0,33	0,05	–0,15
Организация полосы для левых поворотов со светофором	Г	>2	0,27	0,01	0,07*
	3	>2	0,43*	0,58*	–
То же на Т-образном перекрестке	3	>2	–0,42*	–0,28*	–
Дополнительная секция левого поворота без полосы	Г	>2	0,39*	0,57	–
Дополнительная секция левого поворота с дополнительной полосой	Г	>2	0,46	0,76	–
Установка новых светофоров	Г	2 и более	0,29	0,50	–
Поверхностная обработка ПЧ	Г	>2	0,20	0,15	–
Устройство трясущих полос	3	2	0,27*	0,26*	0,24*
Мосты и пересечения в разных уровнях					
Установка направляющих устройств	3	2	0,47	–0,8*	–
	3	>2	0,53*	0,62	0,89

Примечание. Индексом «*» отмечены данные, достоверность которых не столь велика из-за недостаточного объема статистической выборки. Знак «-» означает рост аварийности данного вида.

Статистическое прогнозирование аварийности
по данным СССР [2]

Мероприятия	Город, загород	Число полос	Снижение числа аварий в долях единицы ΔA		
			все виды	с пострадавшими	с мажор. ущербом
Установка 3-секционного светофора	Г	2 и более	0,62	0,80	0,79
Установка светофора с ЖМС	Г, З	2 и более	0,77	0,85	0,70
Установка дополнительной секции к светофору	Г	2 и более	0,75	-	-
Установка пешеходных ограждений (100-1800 м)	Г, З	2 и более	0,87	0,68	0,
Установка дорожных знаков	Г, З	2 и более	0,67	0,61	0,64
Строительство пешеходной дорожки или тротуаров	Г, З	2 и более	0,72	0,78	0,77
Устройство велодорожки	З	2 и более	0,80	0,84	0,93
Горизонтальная разметка	Г, З	2 и более	0,17	0,44	0,54
Разметка перекрестка	Г	2 и более	0,62	0,62	0,84
Строительство подземного пешеходного перехода	Г	4 и более	0,64	0,54	0,35
Устройство заездного кармана ОП МПП	З	2 и более	0,56	0,73	0,83
Введение одностороннего движения	Г	2 и более	0,11	0,06	0,01
Установка светофора для пешеходов	Г	2 и более	0,50	0,74	0,93
Ограничение скорости	Г, З	2 и более	0,48	0,60	0,86
Организация координированного регулирования	Г	2 и более	-0,04	0,06	0,51
Освещение проезжей части	Г	2 и более	0,67	0,60	0,20
Замена стандартного перекрестка кольцевым (реконструкция)	Г	2 и более	0,51	0,76	0,93
Уширение ПЧ и увеличение радиуса поворотов (реконструкция)	З	2 и более	0,37	0,58 пог. 0,41 ран.	0,98
Установка транспортного вызывного светофора	Г	2 и более	0,87	0,96	0,99
Устройство обозначенных пешеходных переходов	Г	2 и более	1,00	1,00	0,96
Установка транспортных ограждений на мостах	Г	2 и более	1,00	1,00	1,00
Строительство путепроводов	Г, З	2 и более	0,97	0,20	0,27

Прогнозируемое число аварий на исследуемом участке P_{a2} после внедрения одного мероприятия определяется по формуле

$$P_{a2} = n_{a1} \cdot (1 - \Delta A) \cdot \eta_Q \cdot \eta_t, \text{ ав./год,}$$

где n_{a1} – среднегодовое число аварий до внедрения;

η_Q – поправочный коэффициент, учитывающий возможное изменение интенсивности движения до (Q_1) и после (Q_2) внедрения мероприятия,

$$\eta_Q = Q_2 / Q_1;$$

η_t – поправочный коэффициент, учитывающий сроки исследования аварийности на участке до (t_1) и после (t_2):

$$\eta_t = t_2 / t_1;$$

ΔA – коэффициент снижения аварийности (см. табл. 10.5, 10.6).

Если на каком-либо участке внедрены два или более мероприятия, расчетное значение коэффициента снижения аварийности определяется по формуле

$$\Delta A = 1 - (1 - \Delta A_1) \cdot (1 - \Delta A_2) \cdot \dots \cdot (1 - \Delta A_k),$$

где $\Delta A_{1, 2, \dots, k}$ – коэффициенты снижения аварийности для каждого мероприятия;

k – число внедренных мероприятий.

Следует отметить, что механизм одновременного влияния на аварийность нескольких факторов (или нескольких мероприятий) далеко не выяснен и приводимые формулы, в том числе и данная, являются не более чем гипотезами, предположениями. Поэтому наравне с приведенными имеют право на существование и другие гипотезы и выражающие их формулы. В частности, имеется мнение, что при одновременном действии нескольких факторов определяющее влияние оказывает только один из них, а остальные являются как бы подчиненными, вспомогательными, и их влияние за-

метно слабее. Например, можно допустить, что расчетное значение коэффициента снижения аварийности будет более скромным, если его определять по формуле

$$\Delta A^* = 1 - (1 - \Delta A_{\max}) \cdot \sqrt{(1 - \Delta A_1) \cdot (1 - \Delta A_2) \cdot \dots \cdot (1 - \Delta A_i)},$$

где ΔA_{\max} – определяющее значение коэффициента снижения аварийности;

$\Delta A_{1, 2, \dots, i}$ – коэффициенты снижения аварийности для остальных мероприятий (кроме определяющего).

Можно допустить и следующее построение формулы:

$$\Delta A = 1 - (1 - \Delta A_1) \cdot (1 - \Delta A_2)^{1/2} \cdot \dots \cdot (1 - \Delta A_k)^{1/i}.$$

При этом расположение мероприятий по степени важности (ранжирование) производит расчетчик, исходя из субъективного отношения к ним.

Возможны и другие подходы и формулы.

Представляется, что статистический метод прогнозирования аварийности применим в основном для грубой, прикидочной оценки эффективности крупных мероприятий на значительных участках УДС. Очевидно, он может использоваться при разработке планов развития городских районов, планов реконструкции магистралей и т.д. В то же время он малопригоден для прогнозирования аварийности на элементарном участке УДС, поскольку в нем не учитывается множество факторов, оказывающих влияние в данном конкретном случае.

11. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ В ДОРОЖНОМ ДВИЖЕНИИ

11.1. Оценка распределения потерь

Потери в дорожном движении можно классифицировать по трем основным признакам: виду, причинам, источнику.

Распределение потерь по видам уже знакомо читателю: экономические, экологические, аварийные и социальные.

Распределение потерь по причинам может быть укрупненно представлено следующими группами: транспортные средства, доро-

га, организация движения, человек, стихия (которая не будет рассматриваться, поскольку она пока не управляема).

Основными источниками потерь, как представляется, являются власть и участники движения.

Количественная оценка распределения потерь является очень условной и весьма приближенной. Поэтому и саму оценку, и ее результаты следует воспринимать лишь как одну из первых попыток в этом направлении; будем рассматривать только 3 вида достаточно изученных потерь – экономические, экологические и аварийные, величина которых оценивается суммой порядка 2 млрд. у.е. ежегодно. Малоизученные социальные потери, величина которых, по некоторым оценкам, также приближается к 2 млрд. у.е., не будут рассматриваться из-за недостатка информации.

Примем допущение, что распределение потерь по видам близко к приведенному в работе [8] и основанному на некоторых германских данных 1990-х годов:

экономические – 0,7;

экологические – 0,2;

аварийные – 0,1.

Экономические потери зависят от качества дорог, транспортных средств, работы систем управления, оптимальности автомобильных перевозок, подготовки кадров, работы правоохраны и т.д. Как представляется, львиная доля этих потерь происходит по вине властей. От участника движения зависит лишь выбор маршрута и тактика вождения, а также, в определенной мере, состояние транспортного средства. Однако, например, качество самого транспортного средства, включая конструктивный уровень, применяемые горючесмазочные материалы и т.д., мало зависят от участника: если уровень его благосостояния низкий (а это уже больше зависит от властей), то и качество транспортного средства, как правило, будет низким. Можно допустить следующее распределение экономических потерь по группам причин (табл. 11.1).

Таблица 11.1

Транспортное средство	Дорога	Организация дорожного движения	Человек
0,25	0,35	0,35	0,05

Экологические потери являются следствием качества и состояния транспортных средств, применяемых горючесмазочных материалов, качества и состояния дороги, систем регулирования и тактики вождения. От участников движения в значительной мере зависит лишь состояние собственного транспортного средства и тактика вождения, все остальное практически полностью зависит от властей. Можно допустить следующее распределение экологических потерь (табл. 11.2).

Таблица 11.2

Транспортное средство	Дорога	Организация дорожного движения	Человек
0,15	0,35	0,35	0,15

Аварийные потери, равно как и аварийность, можно разделить на фоновые и очаговые. *Фоновая аварийность* распределяется относительно равномерно по всей улично-дорожной сети и является следствием качества и состояния дорог, транспортных средств, качества организации движения, подготовки и дисциплины участников и т.д. Ее доля в общем объеме аварийности оценивается приблизительно в 30 %. *Очаговая аварийность* сосредоточена в отдельных очагах (ее доля оценивается в 70 %) и является следствием качества и состояния дороги, организации дорожного движения, состояния и подготовки участников и мало зависит от транспортного средства.

Можно допустить следующее распределение аварийных потерь (табл. 11.3).

Таблица 11.3

Тип	Транспортное средство	Дорога	Организация дорожного движения	Человек	Доля
Фоновая	(0,2	0,2	0,2	0,4)	x 0,3
Очаговая	(–	0,3	0,5	0,2)	x 0,7
Всего:	0,06	0,27	0,41	0,26	1,0

Суммируя потери по видам, получим укрупненное **распределение потерь по причинам** (табл. 11.4).

Таблица 11.4

Вид потерь	Транспортное средство	Дорога	Организация дорожного движения	Человек	Доля
Экономические	0,25	0,35	0,35	0,05	х 0,7
Экологические	0,15	0,35	0,35	0,15	х 0,2
Аварийные	0,06	0,27	0,41	0,26	х 0,1
Всего:	0,211	0,342	0,356	0,091	1,0
Укрупненно:	0,20	0,35	0,35	0,10	1,0

Можно допустить следующее *распределение источников потерь* в каждой группе причин (табл. 11.5).

Таблица 11.5

Причины	Власть	Участники
Транспортное средство	0,7	0,3
Дорога	1,0	–
Организация дорожного движения	1,0	–
Человек	–	1,0

Общий вклад властей и участников в суммарных потерях составит

$$\Delta_{вл} = 0,211 \cdot 0,7 + 0,342 \cdot 1,0 + 0,356 \cdot 1,0 = 0,8457 \approx 0,85;$$

$$\Delta_{уч} = 0,211 \cdot 0,3 + 0,091 \cdot 1,0 = 0,1543 \approx 0,15.$$

Таким образом, примерное распределение источников в суммарных экономических, экологических и аварийных потерях имеет следующий вид: власти приблизительно 0,8; участники движения приблизительно 0,2.

11.2. Расчет потерь

Для того чтобы составить более наглядное представление о соотношении потерь различных видов, рассмотрим небольшой пример.

На участке нагруженной городской магистрали по неустановленным причинам за последний год произошло 3 аварии: одна – с ране-

нием и две – с материальным ущербом. Местные власти ограничили скорость движения с 60 до 40 км/ч, усилили контроль за движением, и аварии прекратились. Определим, как изменились потери на данном участке.

Таблица 11.6

Исходные данные	Величины	Значения величин
Протяженность участка	S	0,5 км
Ширина улицы	B_1	50 м
Ширина проезжей части	B_K	24 м
Сумма высот застройки	H	30 м
Расстояние от середины тротуара до траектории движения первого ряда ТС	r_2	7,5 м
Озеленение, деревья		однорядное
Интенсивность движения, суммарная	Q	2000 авт./ч
Состав транспортного потока: легковые – 0,80; грузовые – 0,15; автопоезда – 0,03; общественный транспорт – 0,02		$K_{ЛП} = 1,12$ $K_{ДЭ} = 1,30$
Доля ТС с дизельными двигателями	Δ_d	0,2
Доля электротранспорта	$\Delta_{эл}$	0,01
Средний возраст транспортных средств	t	14 лет
Средняя скорость движения эталонная	$V_э$	60 км/ч
Средняя скорость движения фактическая	$V_ф$	40 км/ч
Коэффициент вариации распределения скорости	I_v	0,1
Интенсивность движения пешеходов	Q_p	200 чел./ч
Годовой фонд времени	Φ_r	4200 ч/год

Расчет аварийных потерь производим согласно табл. 10.4:

$$\Pi_a = 1200 + 2 \cdot 300 = 1800 \text{ у.е./год.}$$

Расчет экономических потерь производим по формуле

$$\Pi_{эки} = d \cdot Q \cdot K_{ПЭ} \cdot \Phi_r \cdot C_d / 3600, \text{ у.е./год.}$$

где d – удельная задержка, с/авт.,

$$d = 3600 \cdot S \cdot \left(\frac{1}{V_{\Phi}} - \frac{1}{V_3} \right) = 3600 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{1}{40} - \frac{1}{60} \right) = 15 \text{ с/авт};$$

C_d – стоимость 1 часа задержки легкового автомобиля,
 $C_d = 1,8 \text{ у.е./ч.}$

$$\Pi_{\text{эКН}} = 15 \cdot 2000 \cdot 1,3 \cdot 4200 \cdot 1,8 / 3600 = 81900 \text{ у.е./год.}$$

Расчет экологических потерь от увеличения выбросов в атмосферу производим по формуле (см. подраздел 9.1):

$$\Pi_{\text{мн}} = \left[M_0 \cdot C_{\text{мо}} + \sum_1^{i=3} (N_i \cdot C_{\text{ми}}) \right] \cdot \Phi_{\Gamma} \cdot S \cdot K_c, \text{ у.е./год.}$$

$$S = 0,5 \text{ км}; \quad K_c = 1,5;$$

$$M_0 = Q^* \cdot m [K_{\text{пн}} (K_{\text{mV}} \cdot K_{\text{iV}} - 1) + H_t \cdot K_{\text{mV}} \cdot K_{\text{iV}}], \text{ кг/км};$$

$$m = 0,02 \text{ кг/км}; \quad K_{\text{пн}} = 1,12; \quad K_{\text{mVЭ}} = 1; \quad K_{\text{mVI}} = 3,5;$$

$$K_{\text{iVЭ}} = K_{\text{iVI}} = \sqrt{1 + 0,1} = 1,05;$$

$$H_t = \Delta_{\text{б}} \cdot K_{\text{пнб}} \cdot K_{\text{тб}} + \Delta_{\text{д}} \cdot K_{\text{пнд}} \cdot K_{\text{тд}};$$

$$\Delta_{\text{д}} = 0,2; \quad \Delta_{\text{эл}} = 0,01; \quad \Delta_{\text{б}} = 1 - 0,2 - 0,01 = 0,79;$$

$$K_{\text{пнб}} = K_{\text{пнд}} = 1,12; \quad K_{\text{тб}} = 0,08(t - 4); \quad t = 14; \quad K_{\text{тб}} = 0,8;$$

$$K_{\text{тд}} = 0,05(t - 4) = 0,5;$$

$$H_t = 0,79 \cdot 1,12 \cdot 0,8 + 0,2 \cdot 1,12 \cdot 0,5 = 0,820;$$

$$Q^* = Q \left[1 - \Delta_{\text{эл}} (1 + K_{\text{пнэл}} - K_{\text{пн}}) \right], \text{ авт /ч.}$$

$$K_{\text{пнэл}} = 2 \text{ (троллейбусы);}$$

$$Q^* = 2000 \cdot [1 - 0,01(1 + 2 - 1,12)] = 1962, \text{ авт./ч};$$

$$M_{0Э} = 1962 \cdot 0,02[1,12(1 \cdot 1,05 - 1) + 0,82 \cdot 1 \cdot 1,05] = 35,98 \text{ кг/км};$$

$$M_{0И} = 1962 \cdot 0,02[1,12(3,5 \cdot 1,05 - 1) + 0,82 \cdot 3,5 \cdot 1,05] = 235,8 \text{ кг/км};$$

$$C_{mo} = 0,025 \text{ у.е./кг (город)};$$

$$K_{Z1} = 1; \quad M_{1Э} = 35,98; \quad M_{1И} = 235,8;$$

$$K_{Z2} = e^{-0,04(7,5+5 \cdot 0)} = 0,741;$$

$$M_{2Э} = 0,741 \cdot 35,98 = 26,66; \quad M_{2И} = 0,741 \cdot 235,8 = 174,73.$$

$$r_3 = \sqrt{\left(\frac{50 - 24 + 3,75}{2}\right)^2 + \left(\frac{30}{4}\right)^2} = 16,66 \text{ м}; \quad i_3 = 1;$$

$$K_{Z3} = e^{-0,04(16,66+5 \cdot 1+10)} = 0,282;$$

$$M_{3Э} = 0,282 \cdot 35,98 = 10,14; \quad M_{3И} = 0,282 \cdot 235,8 = 66,50;$$

$$C_{m1Э} = 0,005\sqrt{35,98 - 6} = 0,0273;$$

$$C_{m1И} = 0,005\sqrt{235,8 - 6} = 0,0758;$$

$$C_{m2Э} = 0,005\sqrt{26,66 - 6} = 0,0227;$$

$$C_{m2И} = 0,005\sqrt{174,73 - 6} = 0,0649;$$

$$C_{m3Э} = 0,005\sqrt{10,14 - 6} = 0,0102;$$

$$C_{m3И} = 0,005\sqrt{66,5 - 6} = 0,0389;$$

$$N_1 = \frac{(40 \cdot \Delta O + 1,5)Q}{V}, \text{ чел./км};$$

$$N_{1Э} = \frac{(40 \cdot 0,02 + 1,5)2000}{60} = 76,67 \text{ чел./км};$$

$$N_{1И} = \frac{(40 \cdot 0,02 + 1,5)2000}{40} = 115 \text{ чел./км};$$

$$N_2 = \frac{Q_{нΣ}}{4} = \frac{200}{4} = 50 \text{ чел./км};$$

$$N_3 = 250 \text{ чел./км.}$$

Подставляя принятые значения C_{m0} и K_c , получим:

$$\begin{aligned} \Pi_{mнЭ} &= [35,98 \cdot 0,025 + 76,67 \cdot 0,0273 + 50 \cdot 0,0227 + 250 \cdot 0,0102] \times \\ &\quad \times 4200 \cdot 0,5 \cdot 1,5 = 21034 \text{ у.е./год}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Pi_{mнИ} &= [235,8 \cdot 0,025 + 115 \cdot 0,0758 + 50 \cdot 0,0649 + 250 \cdot 0,0389] \times \\ &\quad \times 4200 \cdot 0,5 \cdot 1,5 = 86883 \text{ у.е./год}; \end{aligned}$$

$$\Pi_m = 86883 - 21034 = 65849 \text{ у.е./год.}$$

Расчет экологических потерь от изменения уровня шума производим по формуле (см. подраздел 9.2):

$$\Pi_{LH} = \left[\sum_{i=1}^{i=3} (K_{Li} \cdot N_i) \right] \cdot \Phi_{\Gamma} \cdot S \cdot C_B \cdot K_c;$$

$$C_B = 0,25 \text{ у.е./ч.}$$

$N_i, \Phi_{\Gamma}, S, K_c$ – определены ранее;

$$K_{Li} = 1,8 \cdot 10^{-7} \cdot L_i^{3,39} - 0,0312;$$

$$L_i = L_0 + \sum d_i;$$

$$\sum d_1 = -12; \quad \sum d_2 = dr_2 + d_{z_2} = 0; \quad \sum d_3 = dr_3 + d_{z_3} + d_{эК};$$

$$r_3 = 16,66 \text{ м}; \quad dr_3 = -14 \cdot \lg \frac{16,66}{7,5} = -4,85 \text{ дБА};$$

$$i_3 = 1; \quad d_{33} = -5; \quad d_{\text{ЭК}} = -12 \text{ дБА};$$

$$\sum d_3 = -21,85 \text{ дБА};$$

$$L_0 = 4,3 + 10 \cdot \lg[Q \cdot V^2 \cdot (14 \cdot K_{\text{ПН}} - 13)] + \sum d_0, \text{ дБА};$$

$$\sum d_{0\text{Э}} = \sum d_{0\text{Ф}} = d_{\text{Н}} + d_t + d_{iV};$$

$$B_{\text{к}}/H = 50/30 = 1,67; \quad d_{\text{Н}} = 2,2; \quad d_t = 0,12(t-4) = 1,2;$$

$$d_{iV} = 40 \cdot \lg(1 + I_V) = 1,65;$$

$$\sum d_0 = 2,2 + 1,2 + 1,65 = 5,05 \text{ дБА};$$

$$L_{0\text{Э}} = 4,3 + 10 \cdot \lg[2000 \cdot 60^2 \cdot (14 \cdot 1,12 - 13)] + 5,05 = 82,20 \text{ дБА};$$

$$L_{0\text{В}} = 4,3 + 10 \cdot \lg[2000 \cdot 40^2 \cdot (14 \cdot 1,12 - 13)] + 5,05 = 78,68 \text{ дБА};$$

$$L_{1\text{Э}} = 82,2 - 12 = 70,20 \text{ дБА}; \quad L_{1\text{И}} = 78,68 - 12 = 66,68 \text{ дБА};$$

$$L_{2\text{Э}} = 82,2 \text{ дБА}; \quad L_{2\text{И}} = 78,68 \text{ дБА};$$

$$L_{3\text{Э}} = 82,2 - 21,85 = 60,35 \text{ дБА}; \quad L_{3\text{И}} = 78,68 - 21,85 = 56,83 \text{ дБА};$$

$$K_{L1\text{Э}} = 0,2956; \quad K_{L2\text{Э}} = 0,5268; \quad K_{L3\text{Э}} = 0,1645;$$

$$K_{L1\text{И}} = 0,2433; \quad K_{L2\text{И}} = 0,4499; \quad K_{L3\text{И}} = 0,1285;$$

$$P_{L\text{ЭЭ}} = (0,2956 \cdot 76,67 + 0,5268 \cdot 50 + 0,1645 \cdot 250) \times$$

$$\times 4200 \cdot 0,5 \cdot 0,25 \cdot 1,5 = 70976 \text{ у.е./год};$$

$$\Pi_{LНИ} = (0,2433 \cdot 115 + 0,4499 \cdot 50 + 0,1285 \cdot 250) \times \\ \times 4200 \cdot 0,5 \cdot 0,25 \cdot 1,5 = 65047 \text{ у.е./год};$$

$$\Pi'_L = 65047 - 70976 = -5929 \text{ у.е./год};$$

$$\Pi_{\text{экл}} = \Pi'_m + \Pi'_L = 65849 - 5929 = 59920 \text{ у.е./год};$$

$$\Pi_{\Sigma} = \Pi_{\text{экл}} + \Pi_{\text{экл}} + \Pi_a = 81900 + 59920 - 1800 = 140020 \text{ у.е./год.}$$

Таким образом, в принятом местными властями решении снижение аварийных потерь на 1800 у.е./год достигается за счет увеличения экономических и экологических потерь на 140020 у.е./год или примерно в 77 раз! Подобный очаг аварийности после всестороннего исследования может быть элементарно устранен другими (кроме снижения скорости) способами, при которых потери не увеличиваются и которые дают значимый экономический эффект. На этом примере отчетливо видна истинная цена большинства местных ограничений скорости. Очевидно, прежде чем принимать какие-либо решения по организации дорожного движения на любом уровне, следует обязательно просчитать возможные последствия, т.к. недоработки и тем более ошибки слишком дорого обходятся стране.

Социальные потери здесь, безусловно, тоже значительны, потому что необоснованное ограничение скорости неизбежно вызывает рост нарушений Правил с обязательным шлейфом негативных последствий, связанных с выявлением нарушителей, наказаниями, попытками водителей оправдаться или откупиться, «взаимовыручкой» водителей и т.д. К сожалению, мы пока не умеем рассчитывать социальные потери в данной конкретной ситуации, и это очень плохо. Однако можно с уверенностью сказать, что в случае необоснованного ограничения скорости социальные потери никак не меньше суммарных экономических, экологических и аварийных потерь вместе взятых. Учитывая масштабы и значимость социальных потерь, можно утверждать, что разработка методики расчета этих потерь является весьма актуальной.

Л и т е р а т у р а

1. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения: справочник; пер. с англ. / В.У. Рэнкин [и др.]. – М.: Транспорт, 1981. – 592 с.
2. Аксенов, В.А., Попова, Е.П., Дивочкин, О.А. Экономическая эффективность рациональной организации дорожного движения. – М.: Транспорт, 1987. – 128 с.
3. Бабков, В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения. – М.: Транспорт, 1988. – 288 с.
4. Буга, П. Г. Пешеходное движение в городах. – М.: Стройиздат, 1979. – 128 с.
5. Буга, П.Г., Шелков, Ю.Д. Организация пешеходного движения в городах. – М.: Высш. школа, 1980. – 232 с.
6. Васильев, А.П., Фримштейн, М.И. Управление движением на автомобильных дорогах. – М.: Транспорт, 1990. – 296 с.
7. Врубель, Ю.А. Организация дорожного движения. – Мн.: Белорусский фонд безопасности дорожного движения, 1996. – 634 с.
8. Врубель, Ю.А. Потери в дорожном движении. – Мн.: БНТУ, 2002. – 306 с.
9. Дрю, Д. Теория транспортных потоков и управление ими: пер. с англ. – М.: Транспорт, 1972. – 424 с.
10. Илларионов, В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий. – М.: Транспорт, 1989. – 255 с.
11. Иносэ, Х., Хамада, Т. Управление дорожным движением: пер. с англ. – М.: Транспорт, 1983. – 248 с.
12. Математическое моделирование и оценка условий движения автомобилей и пешеходов / В.М. Кисляков [и др.]. – М.: Транспорт, 1979. – 200 с.
13. Клеббельсберг, Дитер. Транспортная психология: пер. с нем. – М.: Транспорт, 1989. – 367 с.
14. Клинковштейн, Г.И. Организация дорожного движения. – М.: Транспорт, 1981. – 240 с.
15. Методы оценки качества организации дорожного движения / Г.И. Клинковштейн [и др.]. – М.: МАДИ, 1987. – 77 с.
16. Краткий автомобильный справочник. – М.: Транспорт, 1984. – 220 с.
17. Кременец, Ю.А. Технические средства организации дорожного движения. – М.: Транспорт, 1990. – 255 с.

18. Кременец, Ю.А., Печерский, М.П. Технические средства регулирования дорожного движения. – М.: Транспорт, 1981. – 252 с.
19. Проектирование и изыскания пересечений автомобильных дорог / Е.М. Лобанов [и др.]. – М.: Транспорт, 1972. – 232 с.
20. Организация движения / Т.М. Метсон [и др.]; пер. с англ. – М.: Автотрансиздат, 1960. – 463 с.
21. Правила дорожного движения. – М., 2006.
22. Романов, А.Г. Дорожное движение в городах: закономерности и тенденции. – М.: Транспорт, 1984. – 80 с.
23. Ротенберг, Р.В. Основы надежности системы водитель – автомобиль – дорога – среда. – М.: Машиностроение, 1986. – 216 с.
24. Руководство по проектированию городских улиц и дорог. – М.: Стройиздат, 1980. – 222 с.
25. Самойлов, Д.С., Юдин, В.А. Рушевский, П.В. Организация и безопасность городского движения. – М.: Высш. школа, 1981. – 256 с.
26. Сильянов, В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. – М.: Транспорт, 1977. – 303 с.
27. Фишельсон, М.С. Городские пути сообщения. – М.: Высш. школа, 1980. – 296 с.
28. Шевяков, А.П. Организация движения на автомобильных магистралях. – М.: Транспорт, 1985. – 86 с.
29. Болбас, М.М., Пармон, Р.Я., Савич, Е.Л. Основы промышленной экологии: Автомобильный транспорт. – Мн.: Выш. школа, 1993. – 235 с.
30. Дьяков, А.Б. Экологическая безопасность автомобиля. – М.: МАДИ, 1984.
31. Дьяков, А.Б. Экологическая безопасность транспортных потоков. – М.: Транспорт, 1989. – 255 с.
32. Рабочие семинары «Транспорт и окружающая среда». – М.: EBRD – HASKONING – Институт географии РАН, 1995. – 300 с.
33. Сайдаминов, С.С. Основы охраны окружающей среды при эксплуатации мобильного транспорта. – Ташкент: Укитувчи, 1989. – 304 с.
34. Факторович, А.А. Постников, Г.И. Защита городов от транспортного шума. – Киев: Будівельник, 1982. – 144 с.
35. Снижение автотранспортного шума в городах / А.Я. Фоменко [и др.]. – Киев: Техніка, 1979. – 104 с.
36. Врубель, Ю.А., Капский, Д.В. Кот, Е.Н. Определение потерь в дорожном движении. – Мн.: БНТУ, 2006. – 240 с.

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

- АЗС — автозаправочная станция
АСУ — автоматизированная система управления
ВАДС — система «водитель – автомобиль – дорога – среда»
ДД — дорожное движение
ДЗ — дорожный знак
ДТ — дорожный транспорт
ДУ — дорожные условия
ДТС — дорожно-транспортная ситуация
ЖС, ЖМС — желтый (желтый мигающий) сигнал
ЗС, ЗМС — зеленый (зеленый мигающий) сигнал
КС, КМС — красный (красный мигающий) сигнал
ИД — интенсивность движения
КФ — конфликт
КФС — конфликтная ситуация
КФТ — конфликтная точка
МПТ — маршрутный пассажирский транспорт
ОДД — организация дорожного движения
ОП — остановочный пункт (МПТ)
ПРС — пропускная способность
ПЧ — проезжая часть
СД — скорость движения
СФ — светофор
СФО — светофорный объект
СФР — светофорное регулирование
СФЦ — светофорный цикл
ТП — транспортный поток
ТС — транспортное средство
ТВП — табло вызова пешехода
ТСР — технические средства регулирования
Т-Д — конфликт «транспорт – дорога»
Т-П — конфликт «транспорт – пешеход»
Т-Т — конфликт «транспорт – транспорт»
УДД — управление дорожным движением
УДТ — управление дорожным транспортом
УДС — улично-дорожная сеть

О г л а в л е н и е

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.	3
1.1. Проблемы автомобилизации.	3
1.2. Дорожный транспорт и дорожное движение.	7
2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ «ВОДИТЕЛЬ – АВТОМОБИЛЬ – ДОРОГА – СРЕДА (ВАДС)».	17
2.1. Водитель.	17
2.2. Транспортные средства.	26
2.3. Дорога.	34
2.4. Технические средства регулирования.	41
3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ.	51
3.1. Расположение транспортных средств.	52
3.2. Интенсивность движения.	56
3.3. Состав транспортного потока.	64
3.4. Скорость движения.	70
3.5. Плотность транспортного потока.	79
3.6. Зависимости между параметрами транспортного потока.	81
3.7. Интервалы движения.	88
3.8. Состояние транспортного потока.	92
4. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕШЕХОДНЫХ ПОТОКОВ.	105
5. МАНЕВРИРОВАНИЕ.	114
5.1. Маневры на перекрестке.	117
5.2. Маневры на перегоне.	127
5.3. Пропускная способность.	134
6. СТОЯНКИ ТРАНСПОРТА.	150
6.1. Общие положения.	150
6.2. Классификация стоянок.	161
6.3. Исследование стоянок.	171
6.4. Отношение к стоянкам.	175
7. ПОТЕРИ В ДОРОЖНОМ ДВИЖЕНИИ.	181
7.1. Понятие о потерях в дорожном движении.	181
7.2. Оценка качества дорожного движения.	189
8. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ.	194
8.1. Расчет экономических потерь.	196

8.2. Расчет удельных издержек на нерегулируемых объектах.	203
8.3. Расчет удельных издержек на регулируемых объектах.	216
9. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ.	229
9.1. Расчетное определение потерь от выбросов.	231
9.2. Расчетное определение потерь от шума.	238
10. АВАРИЙНЫЕ ПОТЕРИ.	242
10.1. Экономическая оценка аварийных потерь.	242
10.2. Расчет аварийных потерь.	247
11. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ В ДОРОЖНОМ ДВИЖЕНИИ.	254
11.1. Оценка распределения потерь.	254
11.2. Расчет потерь.	257
Л и т е р а т у р а.	264
ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ.	266

Учебное издание

ВРУБЕЛЬ Юрий Андреевич

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Учебно-методическое пособие
для студентов специальности 1-44 01 02
«Организация дорожного движения»

Редактор Т.Н. Микулик
Компьютерная верстка Н.А. Школьниковой

Подписано в печать 20.03.2007.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 15,6. Уч.-изд. л. 12,2. Тираж 100. Заказ 391.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский национальный технический университет.
ЛИ № 02330/0131627 от 01.04.2004.
220013, Минск, проспект Независимости, 65.