

Министерство образования Российской Федерации
Иркутский государственный технический университет

А.Ю. Михайлов И.М. Головных

Современные тенденции
проектирования и реконструкции
улично-дорожных сетей городов



Новосибирск
"Наука"
2004

УДК 711.7
ББК 39.8
М 69

Рецензенты: доктор технических наук *И.В. Бычков*;
доктор экономических наук, профессор, академик МАН ВШ
В.И. Самаруха;
главный инженер ОАО Иркутскгипродорнии *Г.А. Белинский*.

Михайлов А.Ю., Головных И.М. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов. – Новосибирск: Наука, 2004. – 267 с., ил.

Монография посвящена актуальным проблемам проектирования улично-дорожных сетей городов в условиях высокого уровня автомобилизации. Рассмотрены проблемы, связанные с обоснованием исходных данных при прогнозировании интенсивности движения. Особое внимание уделено развитию классификаций улично-дорожных сетей. Приведены методы и критерии оценки улично-дорожных сетей. Изложен метод восстановления матриц корреспонденций на основе замеров интенсивности движения транспортных средств.

Книга предназначена для специалистов, работающих в области градостроительства и проектирования транспортных систем и улично-дорожных сетей городов.

Ил. 44. Табл. 73. Библиогр. 227 назв.

Утверждено к печати ученым советом
Иркутского государственного технического университета

Без объявления

ISBN 5–02–032091–9

© А.Ю. Михайлов, И.М.Головных, 2004
© Иркутский государственный
технический университет, 2004
© “Наука” Сибирская издательская
фирма РАН, 2004

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
Глава 1. ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОГО РАЗВИТИЯ УЛИЧНО-ДОРОЖНЫХ СЕТЕЙ	9
1.1. Особенности функционирования улично-дорожных сетей в условиях высокого уровня автомобилизации	9
1.1.1. Уровень автомобилизации городов РФ на современ- ном этапе	9
1.1.2. Уровень автомобилизации США и стран Европы	16
1.1.3. Распределение перевозок между индивидуальным и общественным транспортом в США и европейских странах	21
1.1.4. Особенности функционирования улично-дорожных сетей	30
1.2. Основные направления проектирования транспортных систем и улично-дорожных сетей городов	36
1.2.1. Актуальные задачи развития транспортных систем городов и методы их решения	36
1.2.2. Успокоение движения	42
1.2.3. Приоритет маршрутного транспорта и полосы движения NOV	56
Глава 2. РАЗВИТИЕ КЛАССИФИКАЦИЙ И НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРОДСКИХ УЛИЦ И ДОРОГ	63
2.1. Классификации городских улиц и дорог, разрабатывавшие- ся в Российской Федерации	63
2.2. Североамериканские функциональные классификации го- родских улиц и дорог	74
2.2.1. Принципы построения классификаций, основные категории улиц и дорог	74
2.2.2. Примеры классификаций улиц и дорог в США и Ка- наде	82
2.2.3. Программы по совершенствованию УДС в США и Канаде	86
2.3. Европейские классификации	89

2.3.1.	Критерии классификации городских улиц и дорог, используемые в европейских странах	89
2.3.2.	Классификации городских улиц и дорог в Великобритании	93
2.4.	Предложения по развитию классификации городских улиц и дорог	111
2.4.1.	Североамериканские альтернативные классификации городских улиц и дорог	111
2.4.2.	Классификации городских улиц и дорог Западной Австралии.....	113
2.4.3.	Классификация городских улиц и дорог, предложенная PIARC	118
2.5.	Городские бульвары	124
2.5.1.	Концепция городских бульваров	124
2.5.2.	Примеры городских бульваров	126

Глава 3. МЕТОДЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ УЛИЧНО-ДОРОЖНЫХ СЕТЕЙ	131
3.1. Классификации критериев оценки улично-дорожных сетей	131
3.2. Частные критерии оценки УДС	137
3.2.1. Транспортная работа УДС	137
3.2.2. Показатели экологической безопасности	138
3.2.3. Показатели безопасности дорожного движения ...	140
3.2.4. Показатель устойчивости функционирования УДС ..	142
3.2.5. Критерии, основанные на величине задержки и длине очереди	143
3.3. Пропускная способность УДС	146
3.3.1. Основные подходы к оценке пропускной способности УДС	146
3.3.2. Оценка пропускной способности на основе плотности УДС	147
3.3.3. Емкость УДС	150
3.3.4. Оценка пропускной способности УДС на основе теории графов	151
3.4. Интегральный критерий оценки – показатель уровня обслуживания	155
3.4.1. Основные положения концепции показателя уровня обслуживания	155
3.4.2. Формирование системы показателей уровня обслуживания	157

3.4.3. Оценка уровня обслуживания на перегонах улиц и дорог	160
3.4.4. Оценка уровня обслуживания на пересечениях	170
3.4.5. Показатель уровня обслуживания пешеходных потоков	176
3.4.6. Показатель уровня обслуживания маршрутным пассажирским транспортом	179
3.4.7. Дальнейшее развитие показателя уровня обслуживания	183
3.5. Оценка пропускной способности улично-дорожной сети с использованием показателя уровня обслуживания	185
Глава 4. МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ МАТРИЦ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ ПО ДАННЫМ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ	192
4.1. Модели оценки матриц корреспонденций по данным интенсивности движения	192
4.2. Методы обследований интенсивности движения при выполнении оценки матриц корреспонденций	198
4.3. Особенности оценки матрицы корреспонденций с использованием только значений интенсивности движения	203
4.4. Модели робастного оценивания матриц корреспонденций ..	213
4.5. Предварительная оценка исходных данных и выявление грубых ошибок	221
4.6. Результаты тестирования методов робастного оценивания матриц корреспонденций	230
Библиографический список	247

ВВЕДЕНИЕ

Реконструкция улично-дорожных сетей (УДС), организация дорожного движения (ОДД) относятся к числу наиболее сложных и актуальных вопросов как теории, так и современной практики проектирования транспортных систем городов. Об этом свидетельствуют итоговый документ WOLD ROAD MANIFESTO конференции Международной дорожной федерации (IRF Париж 2001) и материалы проведенного Мировой дорожной ассоциацией (PIARC) специализированного XX Мирового дорожного конгресса (XX World Road Congress Монреаль 1995), посвященного исключительно проблемам транспортной планировки городов.

Можно утверждать, что за последние 10–15 лет взгляды на проектирование УДС претерпели революционные изменения. Распространение концепции устойчивого развития на градостроительное планирование оказало сильное влияние на виды проектирования, связанные с городскими территориями, включая проектирование транспортных систем. Появление в специальной зарубежной литературе и периодике новых терминов “sustainable streets”, “liveable streets”, “living streets”, “naturalized streetscapes”, “context sensitive design” вызвано растущим интересом к проблемам экологии, ландшафтного проектирования и дизайна благоустройства улиц, интеграции улиц в городскую среду, сохранения архитектурного наследия, обеспечения безопасных и комфортных условий движения пешеходов. Все эти тенденции получают отражение в разработках новых классификаций городских улиц и дорог, совершенствовании их норм проектирования. В этой связи в монографии уделено особое внимание анализу развития классификаций городских улиц и дорог.

Опыт проектных и исследовательских работ позволяет авторам утверждать, что методы оценки УДС остаются одним из самых

актуальных вопросов теории и практики проектирования транспортных сетей городов. Оценка УДС предшествует многим стадиям и видам градостроительного проектирования, включая даже такие, как разработка градостроительных регламентов и зонирования городских территорий, является обязательным элементом проектов организации дорожного движения (ПОД) и комплексных схем организации движения (КСОД). Выполнение проектных работ связано с определенными трудностями, вызываемыми, в том числе, состоянием методического обеспечения в области оценки УДС и ОДД. В этой связи представляет особый интерес опыт США, где за основу оценки различных видов движения (транспортные средства, пешеходы) и элементов УДС принят единый критерий – показатель уровня обслуживания (Level of Service), при этом непрерывно совершенствуются методики его использования.

Отечественными специалистами редко выполнялись работы по оценке существующих матриц корреспонденций в виде потоков транспортных средств, предметом исследований были пассажиропотоки. Вместе с тем по понятным причинам для зарубежных специалистов больший интерес представляли транспортные потоки на УДС. В методических документах Мировой дорожной ассоциации PIARC (10.02.В Traffic control, toll and road information) методы восстановления существующих матриц корреспонденций указываются как важнейший инструмент анализа функционирования УДС. В последнем издании “Руководства по пропускной способности 2000” (Highway Capacity Manual 2000) методике восстановления матриц корреспонденций посвящена целая глава. В нашей стране становятся все более актуальными вопросы ОДД и реконструкции УДС, при решении которых должна проводиться оценка их существующего состояния. Поэтому авторы рассмотрели одно из возможных решений задачи оценки матрицы корреспонденций на основе данных интенсивности движения.

Особенностью данной монографии является то, что авторы воспользовались различными библиографическими источниками, включая интернет-издания. В настоящее время зарубежные веб-сайты государственных, научных и проектных учреждений, университетов, профессиональных и общественных объединений предоставляют разнообразную информацию о градостроительстве, муниципальных программах, транспортных системах городов, методах проектирования и моделирования транспортных систем и т.д.

С целью помочь читателям самостоятельно ознакомиться с этой информацией, авторы систематизировали ссылки:

градостроительство [85,96,114,133,138,161,162,183];

классификации и нормы проектирования городских улиц и дорог [76, 79,99-101,112,124,127,129,152,180,187,193-195,200];

приоритетные условия движения пешеходов и велосипедистов, успокоение движения [88,107,123,128,130,135,136,141,143, 145, 148,189,199,204];

приоритетные условия общественного транспорта и полосы НОУ [110,126,131,134, 151,155];

пропускная способность и показатель уровня обслуживания [80,109, 117,156,157,160,168,203,208,211];

транспортная статистика [104,105,120,140,147,172,207].

Из российских сайтов, которыми воспользовались авторы, следует особо отметить сайт www.waksman.fromru.com, содержащий много интересной профессиональной информации.

Глава I. ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОГО РАЗВИТИЯ УЛИЧНО-ДОРОЖНЫХ СЕТЕЙ

1.1. Особенности функционирования улично-дорожных сетей в условиях высокого уровня автомобилизации

1.1.1. Уровень автомобилизации городов РФ на современном этапе

Наблюдающийся рост уровня автомобилизации в нашей стране создает принципиально новую ситуацию в градостроительном проектировании. Хотя маршрутный пассажирский транспорт сохраняет ведущие позиции в обеспечении пассажирских перевозок, доля легковых автомобилей в составе транспортных потоков достигает 70–90 %, поэтому прогнозирование интенсивности движения легкового автомобильного транспорта становится важнейшей составляющей расчетов перспективных нагрузок на улично-дорожные сети (УДС) городов.

В качестве примера можно рассмотреть проблемы, возникающие в процессе обоснования развития УДС при разработке генерального плана Иркутска, который предполагается завершить в 2004 г. В 2001 г. уровень автомобилизации в городе составил 237 легковых автомобилей на 1000 жителей и превысил показатели, предусматриваемые пока еще действующим СНиПом 2.07.01 – 89. “Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений”. Соответственно, развитие УДС должно стать одним из важнейших вопросов будущей градостроительной политики.

Начиная с середины 1990-х гг., муниципальные власти Иркутска столкнулись с острыми проблемами организации движения и парковки в центральной части города, обусловленными рядом причин. Последнее десятилетие в городе быстро развивался так назы-

ваемый третичный сектор (торговля, бытовые услуги, различные формы коммерции). Территориально третичный сектор фактически воспроизвел размещение торговых учреждений в Иркутске в канун Первой мировой войны. Таким образом, сложилось “торговое ядро” – функционально насыщенная территория площадью примерно 12–15 га, ставшая фокусом массового тяготения, в том числе пользователей индивидуального транспорта (рис. 1.1). Территория торгового ядра постепенно разрастается и все более насыщается новыми объектами, фактически идет процесс, называемый в зарубежной градостроительной литературе термином *urban regeneration*. Организация транспортного обслуживания торгового ядра требует реконструкции УДС и входит в острое противоречие с требованиями сохранения культурного наследия Иркутска, получившего статус исторического города.

В этой связи мэрия Иркутска инициировала в 1995–2001 гг. ряд транспортных обследований городского центра, которые выполнял ИрГТУ, и проектных работ, в том числе международный проект “Irkutsk City administration support for transportation and City Master Plan modernization” (программа BISTRO TASIC) с участием французских экспертов из IARIF (Париж) и SERTU (Лион). Материалы обследований показали, что интенсивность движения в центральной части уже в 1995 г. превышала на разных участках улично-дорожной сети расчетную интенсивность генерального плана (расчетный срок – 2005 г.) на 50–350 %. По данным 1995 г. и последующих обследований суммарное количество автомобилей, паркуемых в центре, составляет 2200–2600 единиц. Обычно в расчетах средние показатели необходимой для одного паркуемого легкового автомобиля площади (брутто) составляют 20–25 м². Таким образом, уже с 1995 г. суммарная площадь, необходимая для организации паркования в городском центре Иркутска (вся площадь 400 га), оценивается величиной 44 000–65 000 м².

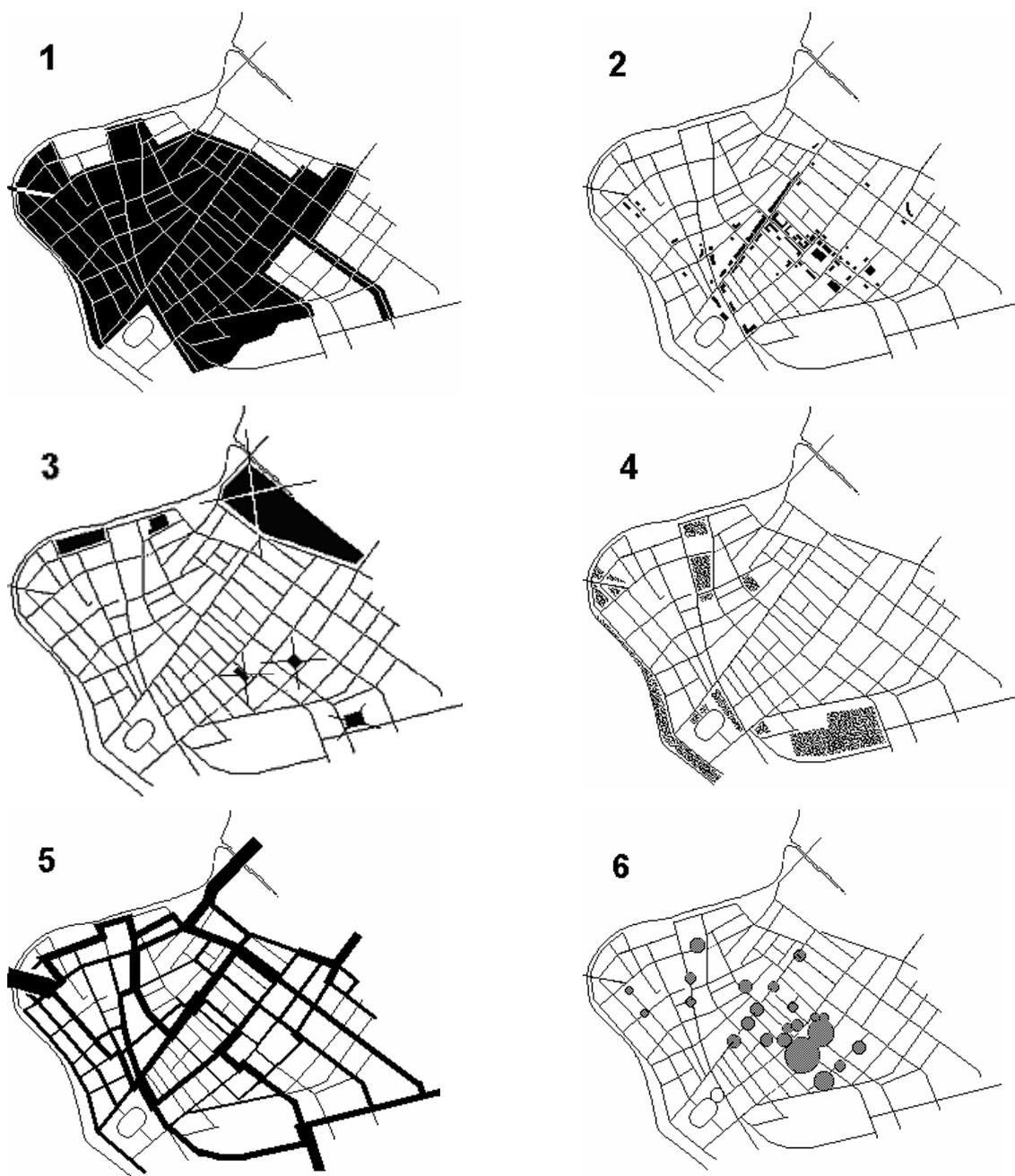


Рис 1.1. Современное состояние центральной части Иркутска: 1 – охраняемые территории и территории регулируемой застройки (выделено черным); 2 – пространственное распределение торговых объектов; 3 – ликвидация промышленных и коммунальных территорий; 4 – территории зеленых насаждений; 5 – транспортные потоки; 6 – распределение паркуемых автомобилей

Поэтому при разработке генерального плана придется решать ряд принципиально новых задач, в том числе в области градострои-

тельной политики по реконструкции городского центра Иркутска. Для выполнения транспортного раздела нового генерального плана и, в частности, обоснования развития УДС потребуются задаваться целым рядом исходных показателей. К их числу будут относиться предполагаемый уровень автомобилизации населения, подвижность населения (включая владельцев индивидуального автомобильного транспорта), распределение пассажиропотоков между общественным пассажирским транспортом и индивидуальным автомобильным.

Традиционно расчеты перспективных транспортных потоков на стадиях генерального плана и комплексных транспортных схем (КТС) сводились к следующим основным этапам:

расчет матрицы пассажирских корреспонденций на основе данных подвижности населения;

распределение пассажирских корреспонденций по видам транспорта и расчет интенсивности движения;

сведение воедино потоков транспортных средств, полученных при расчете матриц пассажирских и грузовых корреспонденций.

Основными исходными данными, получаемыми на стадии предпроектных обследований, были подвижность населения и затраты времени населения при передвижении по разным целям. В соответствии с предполагаемым перспективным уровнем автомобилизации – 200 автомобилей на 1000 жителей – доля легкового транспорта в пассажирских перевозках принималась в расчетах не выше 10–15 %. При таком соотношении поездок на общественном и индивидуальном транспорте точность оценки перспективных пассажиропотоков не являлась фактором, определяющим точность расчетов интенсивности движения. Так, например, ошибка оценки пассажиропотока на уличном маршрутном транспорте 1000 пас./ч сводится к нескольким десяткам единиц подвижного состава (например, автобусов большой вместимости).

В новых условиях характеристики использования индивидуальных автомобилей (уровень автомобилизации, транспортная подвижность, наполнение легковых автомобилей при поездках по разным целям) определяют точность прогнозирования загрузки УДС. Так, в зависимости от принимаемого среднего наполнения автомобиля ошибка оценки пассажиропотока 1000 пас./ч вызывает ошибку расчета интенсивности движения легковых автомобилей 300–500 авт./ч. Эта одна из причин, объясняющих внимание, уделяемое транспортной статистике в США и странах Западной Европы. На основе этой статистики формируются все исходные показатели, применяемые в расчетах. Кроме того, следует отметить, что в некоторых современных пакетах программ, например VISUM, оценка распределения потоков легковых автомобилей выделяется в виде специальной задачи.

Совокупная численность автомобильного парка нашей страны на 1 января 2001 г. превысила 25 млн.ед. Из них на легковые автомобили приходится порядка 21,6 млн. ед., и их доля в общей численности автомобильного парка достигла 80 %. Темпы роста численности автомобилей в России составляют в среднем 8 % в год и являются одними из самых высоких в Европе. В 2001 г. в среднем по России на 1000 жителей приходилось 170 автомобилей, но при этом уровень автомобилизации варьирует в широких пределах (табл. 1.1) [2,41,43,47,137].

Разные темпы роста автомобильного парка в регионах РФ обусловлены целым рядом факторов различного порядка, в частности различиями экономических и социальных условий в регионах. Отличительной особенностью нашей страны является высокий темп роста уровня автомобилизации в крупных городах, превышающий средние показатели по стране. В качестве характерного примера можно привести динамику роста парка автомобилей в Иркутске (рис. 1.2), в котором в 2001 г. при населении 600 тыс. жителей было зарегистрировано 189 тыс. транспортных средств, из них

142 тыс. легковых автомобилей. За 1991–2001 гг. парк легковых автомобилей вырос на 80 тыс. ед., при этом средний годовой рост парка составлял 13 %.

Таблица 1.1

Количество автомобилей в расчете на 1000 жителей в ряде регионов РФ по состоянию на 1 января 2001 г.

Регион РФ	Количество автомобилей
Москва и Московская область	232
Санкт-Петербург и Ленинградская область	225
Самара и Самарская область	201
Екатеринбург и Свердловская область	197
Нижний Новгород и Нижегородская область	162
Ростов-на-Дону и Ростовская область	206
Республика Татарстан	168

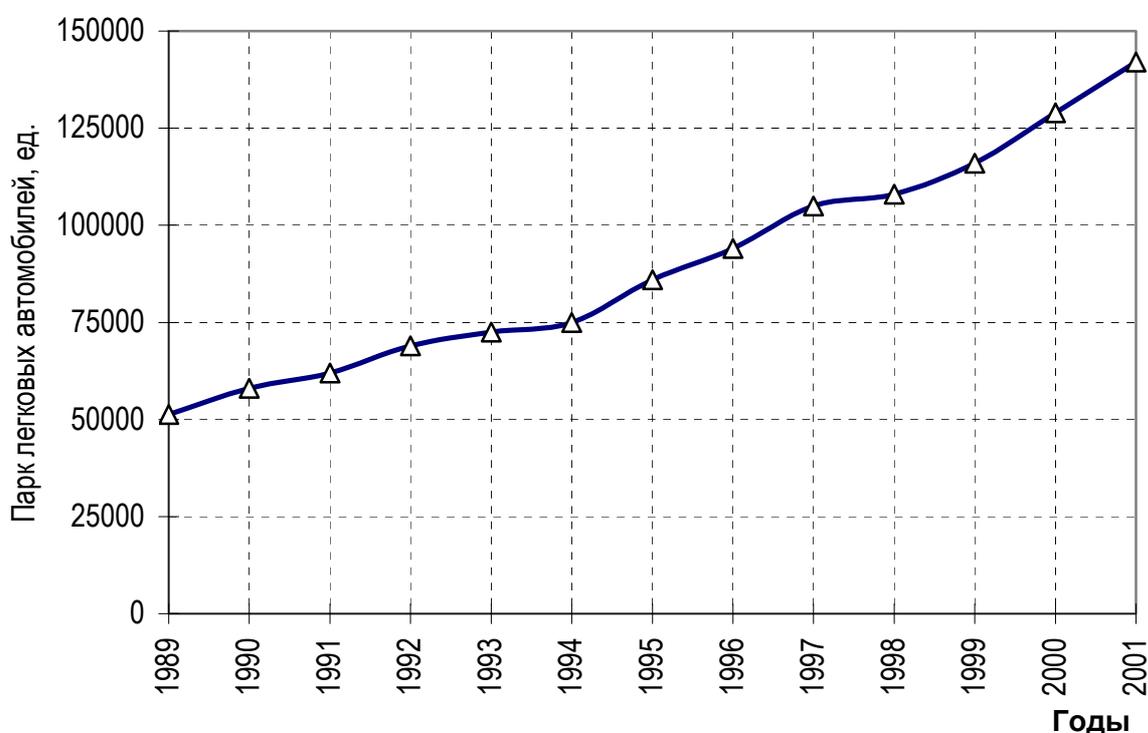


Рис. 1.2. Динамика роста парка легковых автомобилей Иркутска

В связи с разной региональной динамикой роста автомобильного парка представляется, что при выполнении градостроительного проектирования целесообразно использовать дифференцированный подход к назначению расчетных показателей. При разработке генеральных планов и КТС городов такие показатели, как уровень автомобилизации, структура распределения поездок на общественном пассажирском транспорте и индивидуальном автомобильном, должны приниматься в соответствии с конкретными региональными условиями и градостроительной политикой.

В Москве эта задача уже решена. Нормами и правилами проектирования планировки и застройки г. Москвы (МГСН 1.01-99, п. 9.1.2) предусматривается расчетный уровень насыщения автомобильным транспортом на 1000 жителей:

всех категорий автомобилей – 355 ед.;

в том числе легковых автомобилей – 320 ед.;

в том числе легковых автомобилей в частной собственности – 300 ед.

Таблица 1.2

Структура и динамика численности автомобильного парка Москвы [41]

Год	Всего автотранспортных средств	Легковые автомобили	
		Всего	Индивидуальные
1991	884292	735905	697411
1993	1087274	918029	832946
1994	1301137	1104213	1010411
1995	1549183	1329553	1235032
1996	1729419	1491086	1470462
1997	1888432	1642137	1672711
1998	2017637	1766726	1691920
...
На 01.2001	2318148	2071019	1907586

В Москве за последние 10 лет парк автомобилей увеличился почти в 2,6 раза, парк индивидуального автомобильного транспорта – в 2,7 раза (табл. 1.2). Темпы роста парка индивидуальных автомобилей столицы составляли 6 – 12 % в год, а его доля в автомобильном парке в 2001 г. достигла 82 % (весь легковой транспорт – 87%).

Анализ динамики роста парка столицы уже в ближайшие годы позволит оценить сроки, за которые принятый уровень автомобилизации будет превышен. Если исходить из уже достигнутого уровня автомобилизации (см. табл. 1.1 и 1.2), годовых темпов роста парка 5 % (пессимистичный прогноз) и нынешней численности населения столицы, то принятый в МГСН 1.01- 99 расчетный уровень автомобилизации может быть достигнут за 10 лет.

К сожалению, в нашей стране как на национальном, так и на региональном уровнях не собирается подробная статистка использования легкового индивидуального транспорта. Поэтому такие показатели, как распределение поездок между общественным пассажирским транспортом и индивидуальным автомобильным при разных уровнях автомобилизации, наполнение легковых автомобилей при поездках по разным целям приходится рассматривать на примерах зарубежных данных. Особый интерес представляет транспортная статистика стран Восточной Европы, где наблюдаются такие же темпы роста автомобильного парка, как и в нашей стране.

1.1.2. Уровень автомобилизации США и стран Европы

Уже несколько десятилетий многие специалисты придерживаются мнения, что существует определенный предел насыщения индивидуальными автомобилями, при достижении которого уровень автомобилизации стабилизируется и происходит только ротация парка. В частности, такая точка зрения была представлена в [185], где рассматривалось текущее состояние транспортных сис-

тем городов Великобритании в начале 1970-х гг. приводились и долгосрочные прогнозы уровня автомобилизации (рис. 1.3).

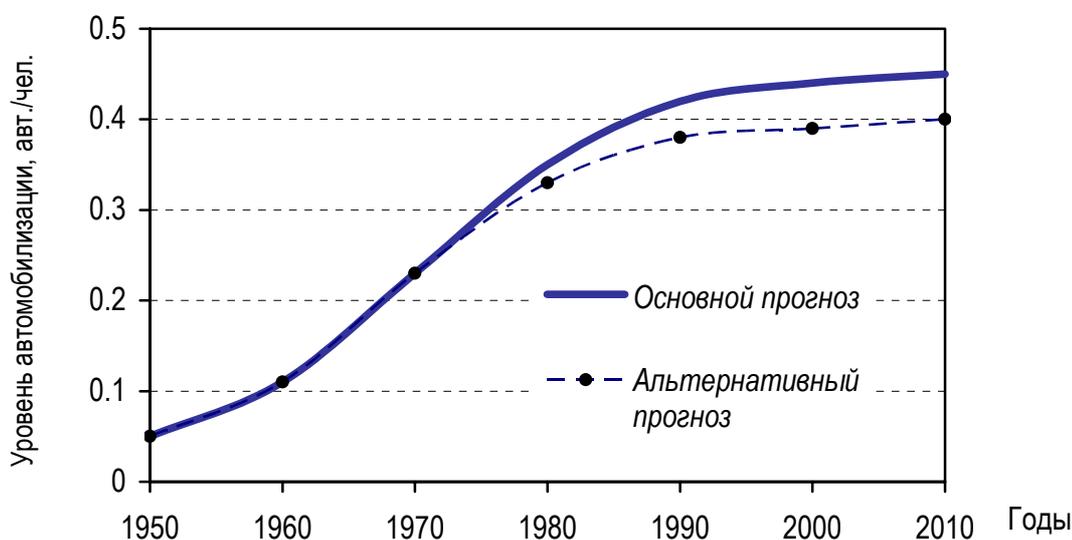


Рис. 1.3. Динамика и прогноз роста уровня автомобилизации в Великобритании [185]

Спустя 30 лет имеется возможность оценить их точность. По одному из двух вариантов прогнозов (см. рис. 1.3) считалось, что уровень насыщения 0,45 автомобиля на 1 жителя будет достигнут в 2010 г. В табл. 1.3 приведены данные сопоставительного анализа уровня автомобилизации ряда развитых стран [147]. Уровень автомобилизации Великобритании в 2000 г. составил 456 автомобилей на 1000 жителей, из них 418 легковых автомобилей. Таким образом, показатель, рассматривавшийся как уровень насыщения, был достигнут в 2000 г., то есть на 10 лет раньше прогнозируемых сроков. Рост парка продолжается, и в 2001 г. на 1000 жителей уже приходилось 433 легковых автомобиля.

Региональные, национальные, международные данные транспортной статистики последних лет интерпретируются специалистами по-разному. В одних публикациях [165,181] считается, что показатель 600 легковых автомобилей на 1000 жителей, достигнутый в развитых странах (16% мирового населения и 78 % мирового

автомобильного парка), не является пределом. Высказывается мнение, что до достижения уровня насыщения еще далеко, так как наблюдается феномен, получивший название *multy-motorisation* (владение семьей несколькими легковыми автомобилями). При этом в национальном отчете США для Мирового дорожного конгресса IRF [165] по результатам анализа многолетнего тренда сделано заключение, что страна уже вступила в фазу насыщения.

Таблица 1.3

Уровень автомобилизации (легковых автомобилей на 1000 жителей) ряда стран на 2000 г. [147]

Страна, объединение	Население, млн.	Парк легковых автомобилей, млн.	Уровень автомобилизации
Великобритания	59,8	25,029	418
Франция	60,6	28,060	463
Германия	82,2	42,840	521
Италия	57,7	32,453	562
Испания	39,5	17,449	442
Швеция	8,9	3,999	449
Европейский союз	378	177,406	469
Япония	126,9	62,438	492

В документах XIV Мирового дорожного конгресса IRF [165], подводившего итоги столетнего развития автомобильного транспорта и дорожной инфраструктуры, были приведены цифры, характеризующие темпы роста автомобильного парка. Если в 1900 г. мировой парк насчитывал 8000 автомобилей, то на рубеже столетий – около 800 млн. автомобилей. Средний уровень автомобилизации населения развитых стран составил 580 автомобилей на 1000 жителей. Процесс автомобилизации продолжается. По оценкам экспертов IRF суммарный парк развитых стран, составлявший в 2000 г. 544 млн. автомобилей, должен возрасти до 618 млн. автомобилей в 2015 г. (+14 %). Соответственно средний уровень автомобилизации этих стран достигнет 640 автомобилей на 1000 жителей. Для разви-

вающихся стран, где средний уровень автомобилизации составлял 40 автомобилей на 1000 жителей, прогнозируется рост парка с 216 млн. автомобилей в 2000 г. до 424 млн. в 2015 г. (+96 %).

В США в 2000 г. были отмечены следующие показатели [104,105]:

средний уровень автомобилизации – 787 автомобилей на 1000 жителей;

количество людей, имеющих водительскую лицензию, – 878 на 1000 жителей;

отношение числа водительских лицензий к численности автомобильного парка – 1,16.

Естественно, что региональные уровни автомобилизации различались и составляли от 423 автомобилей на 1000 жителей в округе Колумбия (г. Вашингтон) до 1188 в штате Вайоминг. Уровень 1000 автомобилей на 1000 жителей был превышен в 6 штатах. Изменения парка за 1990–2000 гг. приведены в табл. 1.4. Следует отметить, что в этот период количество легковых автомобилей стабилизировалось, рост автомобильного парка США был обусловлен увеличением численности грузовых автомобилей на 33,3 млн.ед. (прирост 63 %). При этом особую распространенность получили легкие грузовые автомобили – 39 % автомобильного парка страны.

Таблица 1.4

Изменения автомобильного парка США за 1990 – 2000 гг.
(<http://www.fhwa.dot.gov/ohim/onh00/line2.htm>)

Тип автомобиля	Автомобильный парк, млн.авт.		Изменение за 1990–2000 гг., %
	1990	2000	
Легковой	133,7	133,6	– 0,1
Автобус	0,6	0,7	16,7
Грузовик	54,0	87,0	61,1
Всего	188,3	221,3	17,5

В целом в развитых странах происходит снижение темпов роста автомобильного парка, который в последние годы составляет 1–2 %. Вместе с тем в Северной Америке уже достаточно долго отмечается рост числа семей (или домовладений - households), имеющих два автомобиля и более. В США их доля уже достигла 58 % [165]. В Западной Европе рост численности среднего класса и его благосостояния сопровождается аналогичными процессами. Так, например, в Иль-де-Франс (агломерация Парижа) в 1991 г. 75 % домовладений имели один автомобиль, а 20 % – два и более (для сравнения в 1976 г. – 12 %) [165,181].

Рассматриваемые тенденции отмечаются и в Великобритании [147]. За период 1992–2000 гг. произошли следующие изменения:

доля домовладений без автомобилей снизилась с 32 до 26 %;

доля домовладений с одним автомобилем осталась постоянной – 45 %;

доля домовладений с двумя автомобилями и более возросла с 24 до 27 %;

среднее количество автомобилей, приходящихся на одно домовладение, повысилось с 0,86 до 1,04.

Особый интерес для нас представляют динамика роста автомобильного парка в городах стран Восточной Европы и прогнозные показатели, принимаемые специалистами этих стран. Темпы роста автомобильного парка в городах Восточной Европы, естественно, выше, чем в городах Западной Европы. Так, в первой половине 1990-х гг. рост парка Парижа составлял 1 %, а Варшавы – 7 % (табл. 1.5) [165,181]. В стратегическом планировании Варшавы до 2020 г. принят перспективный показатель 500 авт./1000 жителей. Следует отметить, что в Варшаве увеличение доли поездок, совершаемых с использованием легкового автомобиля, оказалось меньше, чем рост автомобильного парка.

Таблица 1.5**Показатели автомобилизации Варшавы [165]**

Показатель	1990	1998	Изменение, %
Количество легковых автомобилей, тыс.	466	737	+58
Уровень автомобилизации, авт./1000 жителей	282	456	+62
Доля поездок на легковых автомобилях, %	27	36	+33

В Будапеште в 1975 г. средний уровень автомобилизации составлял 84 авт./1000 жителей, в 1993 г. – 265 авт./1000 жителей. Показатель 400 – 450 авт./1000 жителей рассматривается как перспективный уровень автомобилизации [181]. Согласно публикациям эстонских авторов [45] в Таллинне уровень автомобилизации вырос до 336 авт. на 1000 жителей, а доля легковых автомобилей в городском транспорте достигла 85 %. В Вильнюсе [7,25] количество легковых автомобилей в расчете на 1000 жителей возросло до 324, при этом среднегодовые темпы роста автомобильного парка увеличились до 9 %.

1.1.3. Распределение перевозок между индивидуальным и общественным транспортом в США и европейских странах

Распределение поездок на легковом автомобильном транспорте и общественном пассажирском – принципиально важный показатель для расчетов перспективной интенсивности движения. Результаты расчетов интенсивности движения будут во многом обусловлены принимаемыми значениями этого показателя. В этой связи интерес представляет взаимосвязь между уровнем автомобилизации и структурой распределения поездок по видам транспорта.

По результатам национального обследования в США общественный транспорт обслуживает лишь несколько процентов поездок (табл. 1.6) [165]. Транспортная статистика США [165] показывает значительное преимущество в скорости сообщения при пользова-

нии индивидуальным автомобильным транспортом (табл. 1.7). Современное положение в транспортном обслуживании городского населения вызывает озабоченность и критику, стратегической целью объявляются уменьшение зависимости от автомобиля (Automobile Dependency) и развитие общественного пассажирского транспорта.

Таблица 1.6

Распределение передвижений по видам транспорта
в городах США (1995 г.)

Вид передвижения	Распределение поездок (%) в городах с населением				
	< 250 000	250000 - 500000	500000 - 1000000	1000000 - 3000000	> 3000000
Легковой автомобиль	89,21	89,20	89,53	88,44	81,89
Общественный пассажирский транспорт	0,56	0,42	0,84	0,97	3,61
Школьный автобус	1,63	1,84	1,89	1,76	1,57
Велосипед	1,42	1,20	0,66	0,83	0,75
Пешком	3,61	3,98	3,61	4,33	8,13
Остальные способы передвижения	3,57	3,37	3,47	3,66	4,06

Таблица 1.7

Характеристики передвижений в США
с использованием разных видов транспорта [165]

Показатель	Все виды транспорта	Индивидуальные автомобили	Все виды маршрутного пассажирского транспорта	Остальные виды транспорта
Средняя продолжительность поездки, мин.	21	20	42	19
Средняя дальность поездки, миль	11,6	11,8	12,9	8,2
Средняя скорость, миль/ч	34	35	19	26

Структура распределения поездок по видам транспорта в западноевропейских странах несколько иная, чем в США (табл. 1.8 – 1.14). На общественный транспорт приходится 10–20 %, при этом также преобладают поездки на индивидуальном автомобильном транспорте (60 – 70 % всех передвижений).

Последние десятилетия во Франции наблюдался рост урбанизированных территорий, сопровождавшийся увеличением средней дальности поездки в 1975–1990 гг. с 7 до 14 км. Увеличение протяженности передвижений в сочетании с лучшими показателями затрат времени на поездку при пользовании автомобилем (см. табл. 1.8) сопровождалось стабильным ростом доли поездок на индивидуальном автомобильном транспорте.

Таблица 1.8

Средние затраты на передвижение в ряде городов Франции [181]

Территория	Пользование индивидуальным автомобилем, мин.	Пользование маршрутным транспортом, мин.
Регион Парижа (Иль-Де-Франс)	20	40
Лилль, Лион, Марсель	15	30
Провинциальные города	15	25

Эта тенденция отмечалась в городах с разной численностью населения [165,181]. Так, по данным SERTU в Гренобле (население в городских административных границах – 150 000 тыс. жителей, агломерация Гренобля – 370 000 тыс. жителей) за 1972–1992 гг. доля поездок на индивидуальном транспорте возросла с 38 до 54 % (см. табл. 1.9). В регионе Иль-де-Франс (агломерация Парижа с населением 10,7 млн. жителей) доля поездок на индивидуальном транспорте достигла 65 % (в 1970 г. – 50 %) [181].

Таблица 1.9

Доля различных передвижений с использованием разных видов транспорта в Гренобле [181], %

Вид передвижения	1972	1985	1992
Пешком	41	36	27
Двухколесный транспорт	11	4,5	4
Общественный пассажирский транспорт	10	11,5	15
Индивидуальный автомобиль	38	48	54

Материалы исследования по передвижениям в населенных пунктах Германии в 1994 г. (см. табл. 1.10) показали, что доля легкового автомобильного транспорта в пассажирских перевозках варьировала в пределах 43–56 %. В среднем общественный пассажирский транспорт обслуживает 11 % поездок, и лишь в городах с населением более 500 000 жителей – 20 %.

Таблица 1.10

Доля различных передвижений в населенных пунктах Германии [181]

Вид передвижения	Доля передвижений, %			
	Всего	Количество жителей		
		<2000	2000—10000	>500000
Пешком	27	26	31	25
Велосипед	12	7	12	12
Мотоцикл	1	1	1	1
Легковой автомобиль (владельцы)	38	45	37	34
Легковой автомобиль (пассажиры)	11	11	8	9

В городах Великобритании 70 % передвижений осуществляется на легковом автомобиле (см. табл. 1.11). Исключение составляет Лондон, в котором городской пассажирский транспорт обслуживает 43 % передвижений.

Таблица 1.11**Распределение передвижений на работу по видам транспорта в Великобритании (1998 г.)**

Территория, агломерация	Распределение по видам передвижения, %				Численность работающего населения
	Легковой автомобиль	Общественный пассажирский транспорт	Велосипед	Пешком	
Большой Манчестер	74	12	2	10	875 000
Большой Лондон	48	43	2	8	3 437 000
Merseyside (Ливерпуль)	69	15	3	11	481 000
Strathclyde (Глазго)	73	15	2	10	1 109 000
Tyne & Wear (Ньюкасл)	72	13	2	11	473 000
West Midlands (Бирмингем)	74	13	2	10	1 179 000
West Yorkshire (Лидс)	73	14	2	11	926 000
Великобритания	72	13	3	11	24 504 000

Транспортная статистика Великобритании с 1985 по 2000 гг. [166] (см. табл. 1.12 – 1.14) показывает следующую динамику:

подвижность населения стабилизировалась на уровне 1020–1030 передвижений в год;

средние затраты на передвижения в сутки изменились незначительно – с 54 до 59 мин.;

среднее количество поездок на легковом автомобиле, приходящееся на одного жителя, увеличилось на 24 %;

использование общественного транспорта сократилось на 30 %.

Таблица 1.12

Динамика изменения подвижности населения Великобритании
(передвижений/чел. в год)

Вид передвижения	Годы, в период которых рассчитывались показатели					
	1985–1986	1989–1991	1992–1994	1995–1997	1998–2000	1999–2001
Легковой автомобиль	517	619	618	637	639	638
Пешком	350	328	306	293	271	263
Двухколесный транспорт	34	27	23	20	19	19
Автобус	83	73	67	62	58	57
Ж/д транспорт, метро	18	18	17	17	19	20
Другие виды передвижения	24	25	23	23	24	22

Таблица 1.13

Среднее время, затрачиваемое на передвижение с использованием разных видов транспорта (Великобритания), ч/чел. в год

Вид передвижения	Годы, в период которых рассчитывались показатели				
	1985–1986	1989–1991	1992–1994	1995–1997	1999–2001
Пешком	84	83	76	72	69
Легковой автомобиль	170	207	211	213	218
Двухколесный транспорт	9	7	6	6	6
Автобус	40	35	34	31	30
Ж/д транспорт, метро	19	22	18	19	23
Другие виды передвижения	16	16	14	13	14

Таблица 1.14

Суммарное расстояние передвижений, приходящееся на одного человека (Великобритания), миль в год

Вид передвижения	Годы, в период которых рассчитывались показатели				
	1985–1986	1989–1991	1992–1994	1995–1997	1999–2001
Пешком	244	237	199	195	189
Легковой автомобиль	3796	4806	4954	5187	5354
Двухколесный транспорт	95	78	70	69	68
Автобус	297	274	259	252	245
Ж/д транспорт, метро	336	415	348	345	425

Данные статистики (см. табл. 1.12 – 1.14) позволяют сделать вывод, что в Великобритании за последние 10–15 лет произошла стабилизация уровня подвижности населения, но при этом возросли доля передвижений с использованием легкового автомобильного транспорта, продолжительность и дальность поездок.

Следует отметить, что уменьшение поездок на общественном транспорте приходилось на период 1986–1993 гг. (рис. 1.4). В последующее десятилетие (1993–2000 гг.) в Великобритании уделялось большое внимание системам городского пассажирского транспорта, осуществлялись проекты по их развитию, и с 1994–1995 гг. объемы перевозок на пассажирском транспорте стабилизировались и даже стали возрастать. В частности, возрождение трамвая в ряде городов Великобритании привело к тому, что объем перевозок на этом виде транспорта увеличился за последние десять лет почти втрое:

1991–1992 гг. – 48,5 млн. пассажиров;

2001–2002 гг. – 127,3 млн. пассажиров.

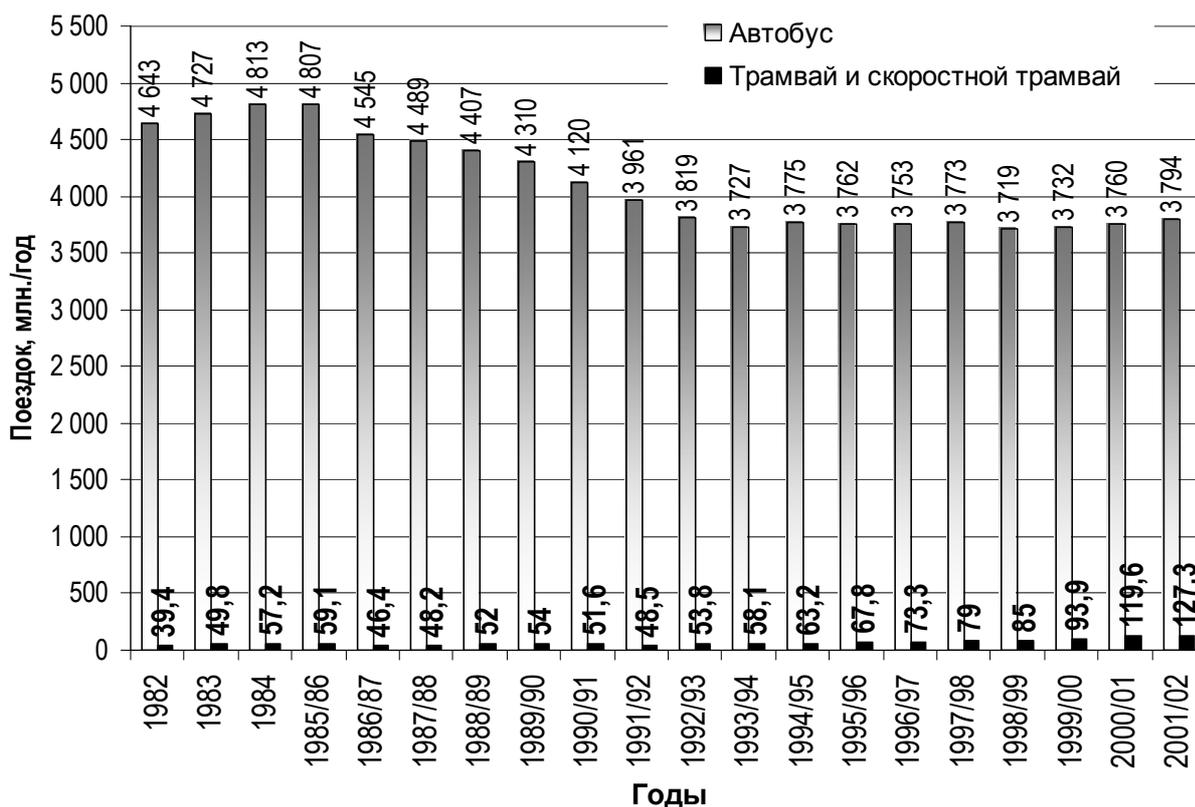


Рис. 1.4. Динамика количества поездок на общественном пассажирском транспорте в Великобритании (1982 – 2002 гг.)

Как и в случае анализа процессов автомобилизации, особый интерес представляют данные о распределении поездок по видам транспорта в городах Восточной Европы. Распределение передвижений по видам транспорта в Варшаве в 1998 г. при уровне автомобилизации 456 авт./1000 жителей показано в табл. 1.15. Доля поездок на индивидуальном автомобиле в Кракове в 1993 г. достигла 25%. Считается, что нужно сохранять этот показатель и что в перспективе он не должен превышать 35 %.

В городах Чехии и Словакии в середине 1990-х годов доля поездок на легковых автомобилях превысила 20 % (табл. 1.16). В Хорватии ввиду предполагаемого роста парка индивидуальных автомобилей в больших городах (Загреб, Сплит, Риека, Осиек) прогнозируется соотношение поездок на индивидуальном легковом и общественном транспорте 40:60 [181].

Таблица 1.15

Распределение передвижений по видам транспорта в
Варшаве, 1998 г. [165]

Способ передвижения	Доля, %	
	Все передвижения	Поездки на транспорте
Пешком	20,5	–
Легковой автомобиль	25,8	32,4
Такси	0,4	0,5
Общественный пассажирский транспорт	52,5	66,0
Другие способы передвижения	0,8	1,1
Всего	100	100

Таблица 1.16

Уровень автомобилизации и соотношение поездок
на индивидуальном и общественном транспорте
в Чехии и Словакии [181]

Город	Уровень автомобилизации, авт./1000 жителей	Соотношение поездок на индивидуальном и общественном транспорте
Прага	303	24:76
Брно	325	20:80
Острава	256	22:78
Братислава	256	28:72

По результатам анализа текущего состояния городского общественного транспорта (ГОТ) Таллинна установлено, что ежегодный объем пассажирских перевозок уменьшается на 10 % [12]. В качестве главной причины такой динамики указывается, что ГОТ не представляет собой привлекательную альтернативу для владельцев автомобилей (325 индивидуальных автомобилей на 1000 жителей). Стратегическая программа развития ГОТ Таллинна предусматривает стабилизацию объемов перевозок и увеличение их на 6 % к 2010 г.

Анализ данных транспортной статистики, рассмотренных в этом параграфе, позволяет сделать следующий вывод. В странах Восточной Европы, где уровень автомобилизации уже достиг 300–350 автомобилей на 1000 жителей, доля легкового автомобильного транспорта в пассажирских перевозках превышает 20 %. Этот показатель можно принимать за основу в транспортных расчетах, если исходить из предположения, что перспективный уровень автомобилизации составит 300–350 автомобилей на 1000 жителей.

1.1.4. Особенности функционирования улично-дорожных сетей

Темпы роста интенсивности движения и пробега автомобильного транспорта в городах значительно выше аналогичных показателей внегородских территорий. В 2000 г. годовой пробег на улицах и дорогах урбанизированных территорий США достиг 1,7 трлн. миль и составил 61 % от всего суммарного пробега в стране (рис. 1.5). Для сравнения в 1960 г. доля урбанизированных территорий в пробеге составляла 44 %. За 1990–2000 гг. пробег на урбанизированных территориях возрос на 44 %, на внегородских – лишь на 27 % [164,214].

Другой особенностью динамики является то, что темпы роста интенсивности движения превышают темпы роста автомобильного парка. Например, в Иль-де-Франс ежегодный рост парка составлял 1 %, а рост интенсивности – 3 % [181]. Объясняют такую тенденцию рост подвижности населения и непрерывно увеличивающаяся доля легкового автомобильного транспорта в пассажирских перевозках.

Данные интенсивности движения на городских скоростных дорогах (фривеях) США (табл. 1.17) свидетельствуют о том, что именно на этом элементе УДС сосредотачиваются основные транспортные потоки городов.

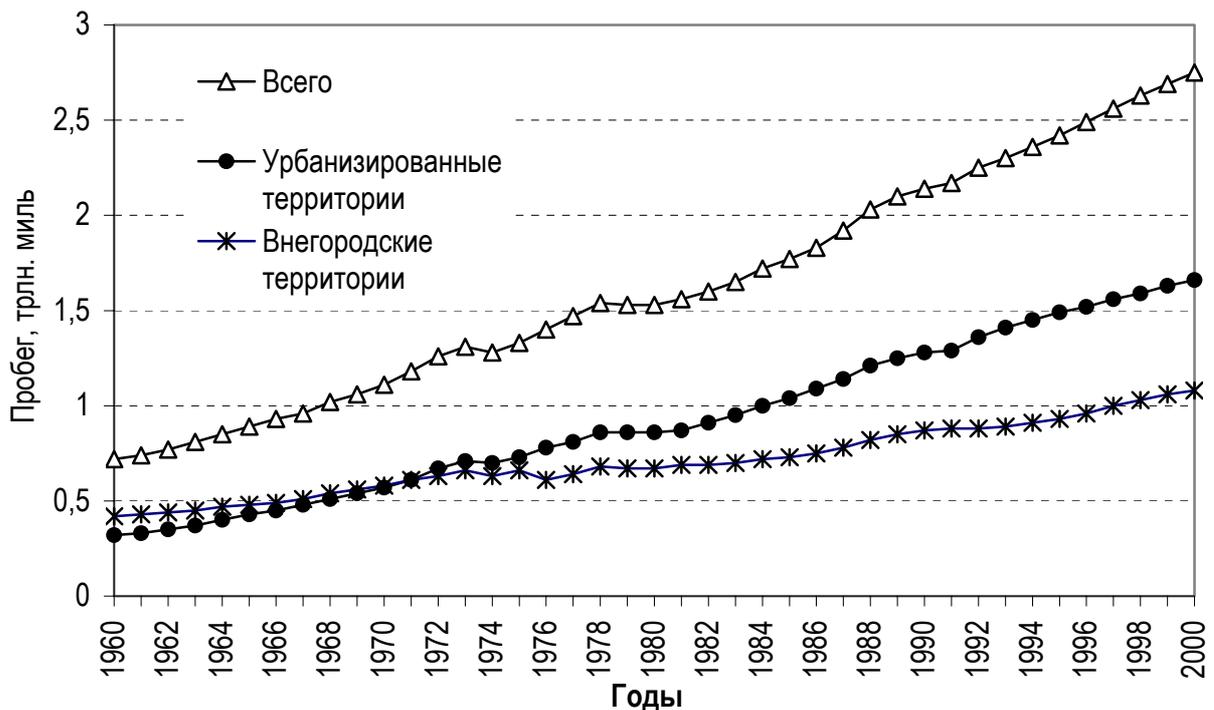


Рис. 1.5. Годовой пробег автомобильного транспорта в США за период 1960–2000 гг. (<http://www.fhwa.dot.gov/ohim/onh00/graph1.htm>)

Показатели объемов движения на городских дорогах крупных городов Западной Европы (табл. 1.18) аналогичны показателям, которые приведены для США (см. табл. 1.17). Это позволяет говорить о наличии общей тенденции – концентрации движения на городских дорогах и магистральных улицах высоких категорий. Статистика распределения потоков по УДС Мадрида, уровень автомобилизации которого к 1999 г. превысил 650 авт./1000 жителей [165], также свидетельствует о крайней неравномерности распределения нагрузок по элементам УДС. Доля улиц с интенсивностью движения более 15000 авт./сут. составила 24 % суммарной протяженности магистральной УДС Мадрида, при этом большая часть сети имела интенсивность менее 5000 авт./сут.; доля улиц с интенсивностью менее 1000 авт./сут. – 72,9 % протяженности сети местных улиц.

Таблица 1.17

**Интенсивность движения на скоростных дорогах
ряда крупнейших городов США [104]**

Город или агломерация	Население, млн. жителей	Средняя суточная интенсивность движения на магистральных дорогах, тыс. авт.
Нью-Йорк	17,089	89,639
Лос-Анджелес	12,384	193,875
Чикаго	7,702	101,167
Филадельфия	4,068	70,457
Сан-Франциско – Окленд	4,022	145,461
Детройт	3,836	109,882
Вашингтон	3,617	112,852
Бостон	2,917	108,468
Сан-Диего	2,653	137,029
Сент-Луис	2,044	80,362
Сиэтл	1,994	99,474
Кливленд	1,783	76,169
Питтсбург	1,569	39,295
Норфолк – Ньюпорт	1,507	65,150
Канзас-Сити	1,422	51,566
Лас-Вегас	1,256	88,954
Оклахома-Сити	1,083	59,444
Мемфис	0,919	75,077
Солт-Лейк-Сити	0,830	81,618
Талса	0,803	55,813

Таблица 1.18

**Суточная интенсивность движения на обходах центров крупных
городов Западной Европы [181]**

Город (городская дорога)	Год обследования	Интенсивность движения, авт./сут.
Вена (A20)	1987	77 000
Мальмё (кольцевая дорога)	1976	35 000
	1986	45 000
Цюрих (N20)	1987	45 000
Стокгольм (Soderlender)	1984	74 000
	1987	111 000

Рассмотренные выше данные в целом подтверждают “концепцию концентрации” [179,180], возникшую еще в 1960-е гг., в соответствии с которой основные объемы будут концентрироваться на городских скоростных дорогах и улицах высших категорий. Вместе с тем непрерывное развитие дорожной инфраструктуры сопровождается ростом подвижности населения, уровня автомобилизации и, соответственно, интенсивности движения. Несмотря на значительные инвестиции в развитие УДС городов, отмечается устойчивый тренд снижения скорости движения транспортных потоков. В специальной литературе стал использоваться термин *congestion* (перегруженность) [132,223]. Например, в США уровень загрузки более 80% классифицируют как перегруженность УДС и систематически оценивают ущерб, связанный с таким состоянием УДС городов.

В технической и градостроительной литературе нашей страны достаточно подробно рассматривались вопросы безопасности движения, экологические проблемы городов, связанные с функционированием автомобильного транспорта. Поэтому представляются интересными случаи оценки экономического ущерба, связанного с перегруженностью УДС, снижением скорости сообщения и задержками.

В США за период с 1980 по 1999 гг. протяженность дорог возросла на 1,5 %, в то время как суммарный пробег – на 76 % [132]. По оценкам Техасского института транспорта [132] в 2000 г. суммарные задержки автомобильного транспорта в 75 крупнейших урбанизированных территориях составили 3,6 млрд. автомобилечасов, что повлекло дополнительные расходы топлива 21,6 млрд. л и ущерб в размере 67,5 млрд. дол.

Снижение скорости движения, рост задержек и связанный с ними экономический и социальный ущерб отмечается и в европейских городах. Например, исследования показали [181], что в центре Стокгольма средняя скорость движения на многих улицах не превышала 10 км/ч. В результате анкетирования фирм было установ-

лено, что из-за задержек и снижения скорости средние потери времени одного грузового автомобиля, обслуживающего центр, составляют 1,6 ч в день. Суммарный годовой ущерб от эксплуатации грузового транспорта в центре Стокгольма был оценен в 1,7 млрд. крон (170 млн. фунтов стерлингов). В Лондоне уже 20 лет наблюдается устойчивый тренд – снижение скорости сообщения как в пиковые периоды суток, так и в межпиковый (табл. 1.19) [207].

Таблица 1.19

Средняя скорость движения в Большом Лондоне

Время движения	Средняя скорость, миль/ч					
	1980-1982	1983-1986	1986-1990	1990-1994	1994-1997	1997-1990
Утренний пик	17,5	16,9	16,0	15,8	15,6	15,9
Межпиковый период	20,6	20,9	18,9	19,3	19,1	18,5
Вечерний пик	18,0	17,2	16,5	17,0	16,6	16,2

На нынешнем этапе своего развития транспортные системы российских городов имеют следующие отличительные особенности:

- очень низкие показатели развития сети городских дорог;
- низкий уровень оснащённости техническими средствами регулирования.

Генеральными планами, выполненными для крупных и крупнейших городов в период 1965–1975 гг., предусматривалась достаточно высокая плотность сети городских дорог – 0,2–0,4 км/км² (табл. 1.20).

Градостроительные нормы нашей страны на протяжении многих лет (СНиП II-K2-62, СНиП II-60-75, СНиП II-60-75**) предусматривали категории городских скоростных дорог и дорог грузового движения (последние – в более позднем СНиПе 2.07.01-89 – дороги регулируемого движения). Их основной функцией является

обслуживание транзитного движения; кроме того, городские скоростные дороги должны обеспечивать высокую скорость сообщения.

Таблица 1.20

Протяженность и плотность сети городских дорог в отдельных городах Российской Федерации (данные генпланов 1965–1975 гг.) [56]

Город	Прогнозируемые показатели				Дороги грузового движения, км/км ²
	Население, тыс.чел.	Площадь застройки, км ²	Скоростные дороги		
			Всего, км	Плотность, км/км ²	
Нижний Новгород	1450	217	80	0,36	Нет свед.
Новосибирск	1450	390	58	0,16	*
Екатеринбург	1300	220	107	0,48	0,12
Ростов-на-Дону	900	160	30	0,19	0,25
Ярославль	650	176	31	0,18	Нет свед.
Нижний Тагил	550	159	23	0,15	Нет свед.
Иркутск	550	118	22	0,18	0,65

* не предусматривались генеральными планами.

Эти градостроительные программы в значительной степени не выполнены, характерным примером чего служит Иркутск. По данным ЦНИИП градостроительства генеральным планом, выполненным в 1968 г., предполагалось развитие сети магистральной УДС:

на 1985 г. – 2,21 км/км² (достигнутый показатель 1,19 км/км²);

на 1995 г. – 2,57 км/км² (достигнутый показатель 1,4 км/км²).

Таким образом, степень реализации программы развития УДС в Иркутске составила 50–55 %, а строительства городских дорог – даже ниже. Низким показателям развития УДС российских городов сопутствуют высокие темпы роста автомобилизации, наблюдающиеся в нашей стране уже более десяти лет. Отсутствие сетей городских дорог приводит к тому, что движение как внутригородского, так и внешнего транзита обслуживается сетью улиц, в том числе

жилых и центральных районов. Нарушается важнейший принцип функциональной специализации различных классов улиц и дорог, который положен в основу как норм проектирования УДС, так и современных принципов ОДД.

В этом контексте следует привести оценки экспертов, участвовавших в совместном российско-французском проекте в рамках программы EU BISTRO TASIC [154] (рабочее название проекта “Irkutsk City administration support for transportation and City Master Plan modernization”). Целью проекта была разработка рекомендаций по развитию транспортной системы центра Иркутска, который отнесен к охраняемым территориям, включенным в список ЮНЕСКО. С французской стороны материалы о градостроительных и транспортных программах предоставили:

агентство по градостроительству (ADEUS), Страсбург;

департаменты общественного транспорта и департаменты градостроительного планирования: Страсбург, Дижон, Сент-Этьен;

региональное агентство общественного транспорта Иль-Де-Франс (IARIF), Париж;

Характерно, что при анализе состояния УДС Иркутска французские эксперты важнейшим ее недостатком признали “...отсутствие иерархии уличной сети...”[154], то есть недостаточное развитие сети городских дорог и магистральных улиц.

1.2. Основные направления проектирования транспортных систем и улично-дорожных сетей городов

1.2.1. Актуальные задачи развития транспортных систем городов и методы их решения

Еще три десятилетия тому назад основное внимание уделялось улучшению условий движения автомобильного транспорта (увеличению пропускной способности УДС, повышению скорости сообщения) и чисто техническим аспектам решения этой задачи.

Такой подход привел к чрезмерным затратам на дорожную инфраструктуру и упадку общественного транспорта. Так, по оценкам [165] в городах и агломерациях Западной Европы доля улиц и дорог в границах застройки достигла 25 %, а в США – 30%. Уже в период достижения уровня автомобилизации 200–250 автомобилей на 1000 жителей в европейском градостроительстве была осознана необходимость долгосрочных программ развития транспортных систем городов, включая общественный транспорт.

В современных зарубежных работах по проблемам развития транспортных систем городов, УДС часто ссылаются на официальный документ “Дорожное движение в городах”, опубликованный в Великобритании 1963 г. Автор отчета Colin Buchanan сформулировал концепцию емкости окружающей среды (*environmental capacity*), которая, по его мнению, определяет экологические ограничения на развитие городской среды и транспортных систем городов в частности. К числу заслуг автора относят [135] “концепцию концентрации”, согласно которой транспортные потоки должны концентрироваться на главных магистральных улицах. Его идея формирования городского ландшафта путем разделения городских территорий на зоны успокоения движения и зоны, свободные для транспорта (*traffic calmed and traffic-free zones*), предопределила следующие тенденции проектирования УДС.

За последние годы взгляды на цели и методы ОДД претерпели революционные изменения. Главными проблемами признаны чрезмерная зависимость населения от индивидуального автомобиля, перегруженность городов и особенно их центров автомобильным транспортом [181]. Термин “зависимость населения от индивидуального автомобиля” (*Automobile Dependency*) [121,133,138,161, 162,165] получил следующее определение: зависимость от автомобиля – суммарный эффект ряда факторов, приводящий к высокому уровню использования автомобиля и ограничивающий возможности использования альтернативных видов транспорта. Есть и дру-

гое определение: транспортная система и организация территории, ориентированные на использование автомобиля (automobile oriented transportation and land use patterns).

Последние десятилетия осуществляется международная координация в области транспорта, автомобильных дорог и градостроительства. Крупнейшей международной организацией, проводящей такую координацию, является Мировая дорожная ассоциация (PIARC). Вопросы развития дорожной инфраструктуры, транспортных систем городов систематически рассматриваются в документах профильных комитетов PIARC [177-181]. В 1995 г. PIARC провел специализированный XX Мировой дорожный конгресс (XX World Road Congress), посвященный исключительно проблемам транспортной планировки городов. Методические документы PIARC последних лет и труды XX конгресса выделяют следующие важнейшие направления развития ОДД [177-181]:

- снижение интенсивности движения автомобилей в центрах городов;

- приоритет общественного пассажирского транспорта и автомобилей, использующихся несколькими пассажирами (HOV – high occupancy vehicles);

 - регламентация паркования;

 - взаимодействие между улично-дорожной сетью и городской средой.

Аналогичные приоритеты в области ОДД сформулированы в специальных документах Института транспортных инженеров США (ITE), посвященных проблемам перегрузки дорожной сети [135].

В настоящее время используется широкий спектр мер [85,107,109,121, 123,126,128-130,133-135,138,141,145,148-150,161-163,175,190,192,201], призванных снижать нагрузки на УДС и интенсивность движения в городских центрах и увеличить привлекательность общественного пассажирского транспорта (табл. 1.21),

начиная с градостроительного и технического проектирования и кончая административной деятельностью муниципалитетов. Характерна тесная интеграция ОДД с другими видами транспортного и градостроительного проектирования. Обязательным элементом проектов ОДД является оценка их влияния на городскую среду, оценка экологического и социального эффектов. Непосредственно к компетенции ОДД (см. табл. 1.21) можно отнести: ограничение движения тяжелых автомобилей, регламентирование паркования, ограничение скорости движения, обеспечение приоритета общественного пассажирского транспорта средствами регулирования.

В поиске решений по снижению интенсивности движения было обращено внимание на ряд особенностей использования индивидуального автомобиля. Подробная и систематически собираемая статистика об использовании индивидуального автомобиля позволила установить, что значительная часть поездок совершается на небольшие расстояния. Так, в США до 25 % всех передвижений совершается на расстояние меньше одной мили, при этом 75 % из них совершается на автомобиле. В Иль-Де-Франс (агломерация Парижа) 50 % поездок на легковом автомобиле совершаются на расстояние менее 3 км и составляют 11 % общего пробега [181]. В соответствии с данными статистики Великобритании [120,181] дальность 75 % передвижений не превышает 8 км, 50 % – 3 км и 32 % – 1,6 км.

Такая статистика обусловила интерес к организации пешеходного движения как со стороны профессиональных кругов градостроителей, транспортников, представителей городских властей, так и общественных движений во многих странах. Например, в США на государственном уровне были приняты акты, в которых особое внимание уделялось организации и безопасности пешеходного движения [199]: Intermodal Surface Transportation Act of 1991 (ISTEA), Transportation Equality Act of 21st Century.

Таблица 1.21

Меры по снижению интенсивности движения
автомобильного транспорта

Вид мероприятий	Способ реализации
Координация городского и транспортного планирования	Планировка городских территорий, снижающая потребность в использовании транспорта
Инвестиции в транспортные системы	Строительство обходов городских центров
	Развитие систем общественного транспорта
Более эффективное использование существующих транспортных систем	Снижение интенсивности в пиковые часы
	Автоматизированные системы регулирования
	Совместное (коллективное) использование легкового автомобильного транспорта
	Приоритет автобусного движения
	Ограничение на движение тяжелого грузового транспорта
Совершенствование систем общественного транспорта	Повышение качества обслуживания общественным транспортом
	Стимулирование пользования общественным транспортом владельцами индивидуальных автомобилей
Создание ограничений для движения автомобильного транспорта	Управление движением транспортных потоков
	Зоны, свободные от автомобильного транспорта
	Приоритет общественного транспорта
	Ограничения пропускной способности
Ограничения паркования	Ограничения на уличное паркование
	Регулирование правил паркования на территориях частных владений
	Организация паркования на подходах к городским центрам
Экономические и административные методы	Плата за пользование дорогами
	Плата за паркование
	Плата за возможность поездок по территории
	Административные запреты и ограничения

Подробная и систематически собираемая статистика [166] позволила выявить еще одну проблему – низкое наполнение легковых автомобилей (табл. 1.22, 1.23), особенно при поездках на работу, которые совершаются в пиковые периоды. В качестве средства, стимулирующего более эффективное использование легковых автомобилей, были предложены полосы для движения транспортных средств, перевозящих несколько человек (high occupancy vehicles – HOV).

Таблица 1.22

Среднее наполнение легковых автомобилей при поездках по всем целям в Великобритании

Годы	Среднее наполнение автомобиля, чел.
1985–1986	1,64
...	...
1989–1991	1,62
1992–1994	1,62
1996–1998	1,60
1999–2001	1,59

Таблица 1.23

Среднее наполнение легковых автомобилей при поездках по разным целям в Великобритании

Цель поездки	Среднее наполнение, чел.
К месту работы	1,20
С пересадкой на ж/д транспорт (регулярные поездки)	1,20
Покупки в магазинах	1,80
Индивидуальный бизнес	1,50
Развлечения, отдых в будние дни	1,80
На учебу	2,00
Поездки в выходные дни	2,20
Прочие	1,80
Среднее по всем целям	1,60

Поскольку в настоящей монографии материалы о разработках новых классификаций городских улиц дорог подробно изложены в отдельной главе, ниже кратко рассмотрена практика проектирования зон успокоения и обеспечения приоритетного движения маршрутного транспорта.

1.2.2. Успокоение движения

К наиболее радикальным средствам снижения интенсивности движения автомобильного транспорта в городских центрах относятся “зоны, свободные от автомобилей” (car-free zones) [170,173]. Они характеризуются полным запрещением движения транспорта, за исключением специальных видов (скорая помощь, полиция, пожарные и коммунальные службы, обслуживание магазинов). Такие зоны устраивают на небольших, как правило, имеющих статус охраняемых, территориях. В качестве примеров можно привести исторический центр Таллинна (Старый Город) и старинные кварталы Маленькой Франции (Страсбург).

В настоящее время распространенный вид мероприятий ОДД – “успокоение движения” (traffic calming), сочетающий технические и архитектурно-планировочные решения. Согласно определению Института транспортных инженеров (ITE) успокоение движения является “комбинацией физических мер, которые уменьшают негативный эффект использования автомобилей и улучшают условия для других пользователей улицы” [135]. Основными задачами этих мер названы [128,130,135,143,163]:

- улучшение условий проживания;
- учет и приоритет требований, которые предъявляют пользователи городской территории (работа, рекреация);
- создание безопасных и привлекательных улиц;

снижение негативных эффектов от автомобильного транспорта (прежде всего шум и загрязнение);

создание благоприятных условий для пешеходов и велосипедистов.

В числе основных результатов, достигаемых успокоением движения, указывают [128,130,135,143,145,163,178,181]:

снижение скорости движения транспортных средств;

снижение количества и тяжести ДТП;

обеспечение условий для различных видов передвижений (общественный транспорт, велосипед, пешком);

уменьшение транзитного движения автомобильного транспорта.

Успокоение движения (traffic calming) достигается как изменениями уличной сети, так и техническими мероприятиями. Прежде всего при создании зон успокоения (calming zones) ликвидируют транзитное движение, для чего в границах зон сквозные улицы превращают в тупиковые, петлевые, кольцевые и т.д. Кроме того, вводят ограничение скорости движения, что позволяет резко уменьшить количество конфликтов между транспортом и пешеходами, и регламентируют паркование. Следует особо подчеркнуть, что при проектировании зон успокоения благоустройство улиц и дизайн их пространства играют очень важную роль и рассматриваются как средства влияния на режим движения транспортных средств (рис. 1.5–1.8, 1.13,1.14).

Обслуживание зон часто возлагается на общественный транспорт, который получает приоритет. Поэтому возможны сочетания, например, пешеходного движения и трамвайных линий (Страсбург, Сент-Этьен) или пешеходного движения и автобусных маршрутов (Дижон). Организация пространства улиц, их благоустройство и дизайн обеспечивают приоритет движения пешеходов и велосипедистов и стимулируют снижение скорости движения транспортных средств, в частности допускается снижение пропускной способно-

сти УДС или некоторых ее участков. Например, во Франции предложена идея “ „конвертации улиц с 4 полосами движения в двухполосные, чтобы они не имели статус магистралей...”[181].

Местом рождения идеи успокоения движения называют Делфт (Нидерланды), в котором в начале 1960-х гг. по инициативе горожан стали проводиться мероприятия по переустройству улиц с целью уменьшения транзитного движения. Благоустройство и дизайн нового типа улиц, получившего название *Woonerven* (буквально “жилой двор”), должны были обеспечивать снижение скорости до 15 км/ч. Успокоение движения со временем было признано в Нидерландах наиболее эффективным приемом организации движения на местных улицах.

Сначала зоны успокоения получили распространение в Нидерландах, ФРГ, Швейцарии. Затем опыт их использования был принят другими странами Европы и включен в муниципальные программы многих городов США. Более того, в США и Канаде изданы руководства по проектированию зон успокоения движения. В 1990 г. количество улиц с успокоением движения достигло [135] в Голландии и Германии – 3500, Израиле – 600, Японии – 300.

В европейской практике зоны успокоения движения применяются, прежде всего, в условиях исторически сложившейся застройки, в том числе традиционной квартальной (см. рис. 1.6).

Опросы населения показали популярность таких зон, при этом население отмечало улучшение внешнего облика городской территории. Например, положительно оценили меры по успокоению движения в Граце (Австрия) 75 % жителей и 62 % водителей [181]. Отмечено также, что городские власти и эксперты относятся к идее зон успокоения более скептически, чем население. Так, сторонниками мер успокоения движения в историческом центре Клагенфурта (Германия) были: 74 % рядовых горожан, 40 % представителей городских властей, 44 % экспертов и 44 % журналистов.



a)



b)

Рис. 1.6. Уличная сеть охраняемых территорий: *a* – квартал Петит-Франс в Страсбурге, доступный только для обслуживающего транспорта (car-free zone); *б* – центр старинного эльзасского городка Кольмар – типичный пример зоны успокоения движения

а)



б)



Рис. 1.7. Примеры благоустройства и дизайна при введении успокоения движения (Париж) : *а* – граница зоны успокоения с ограничением скорости до 30 км/ч (дорожные знаки указывают скорость и средство успокоения движения – приподнятые пешеходные переходы); *б* – приподнятый пешеходный переход в сочетании с кольцевым пересечением

a)



б)



Рис. 1.8. Благоустройство перекрестков и переходов подчеркивает статус пешеходов и велосипедистов и стало частью дизайна пространства улиц: *a* – пешеходный переход в районе Гайд-парка (Лондон); *б* – пешеходный переход и велосипедная дорожка на набережной Сены (Париж)



Рис. 1.9. Островки безопасности на одной из улиц Сити (Лондон), обеспечивающие в соответствии с современными нормами проектирования удобные условия для движения инвалидов



Рис. 1.10. Городские бульвары, сочетающие значительную интенсивность движения транспорта и пешеходов и высокую концентрацию объектов массового тяготения (Елисейские поля, Париж)



a)



б)

Рис. 1.11. Примеры применения приоритетного движения автобусов в разных условиях: *a* – начало “красной” автобусной полосы на Режент Стрит, одной из самых оживленных улиц центра Лондона; *б* – полоса для движения автобусов на транзитной магистрали в Сержи-Понтуаз (агломерация Парижа)



a)



б)

Рис. 1.12. Примеры приоритетного движения разных видов общественного пассажирского транспорта в центре городов: *а* – пешеходная улица с движением автобусов в Лулео (Швеция); *б* – одна из трамвайных линий в старинном центре Страсбурга, превращенном в зону успокоения

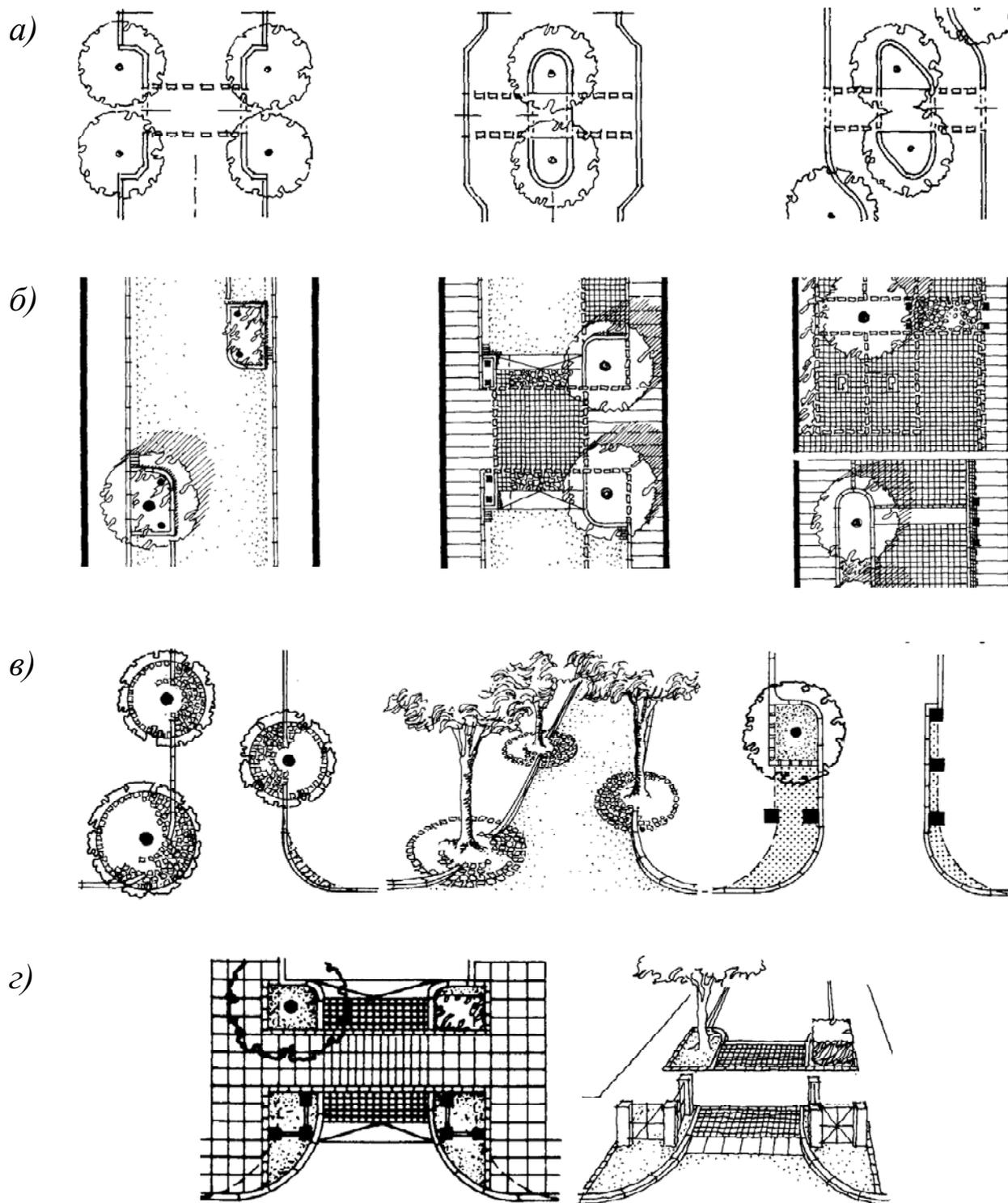


Рис. 1.13. Примеры благоустройства и дизайн при введении успокоения движения [184]: а, б – пешеходные переходы; в – примыкание улиц и проездов; г - приподнятые пешеходные переходы в местах примыкания улиц и проездов

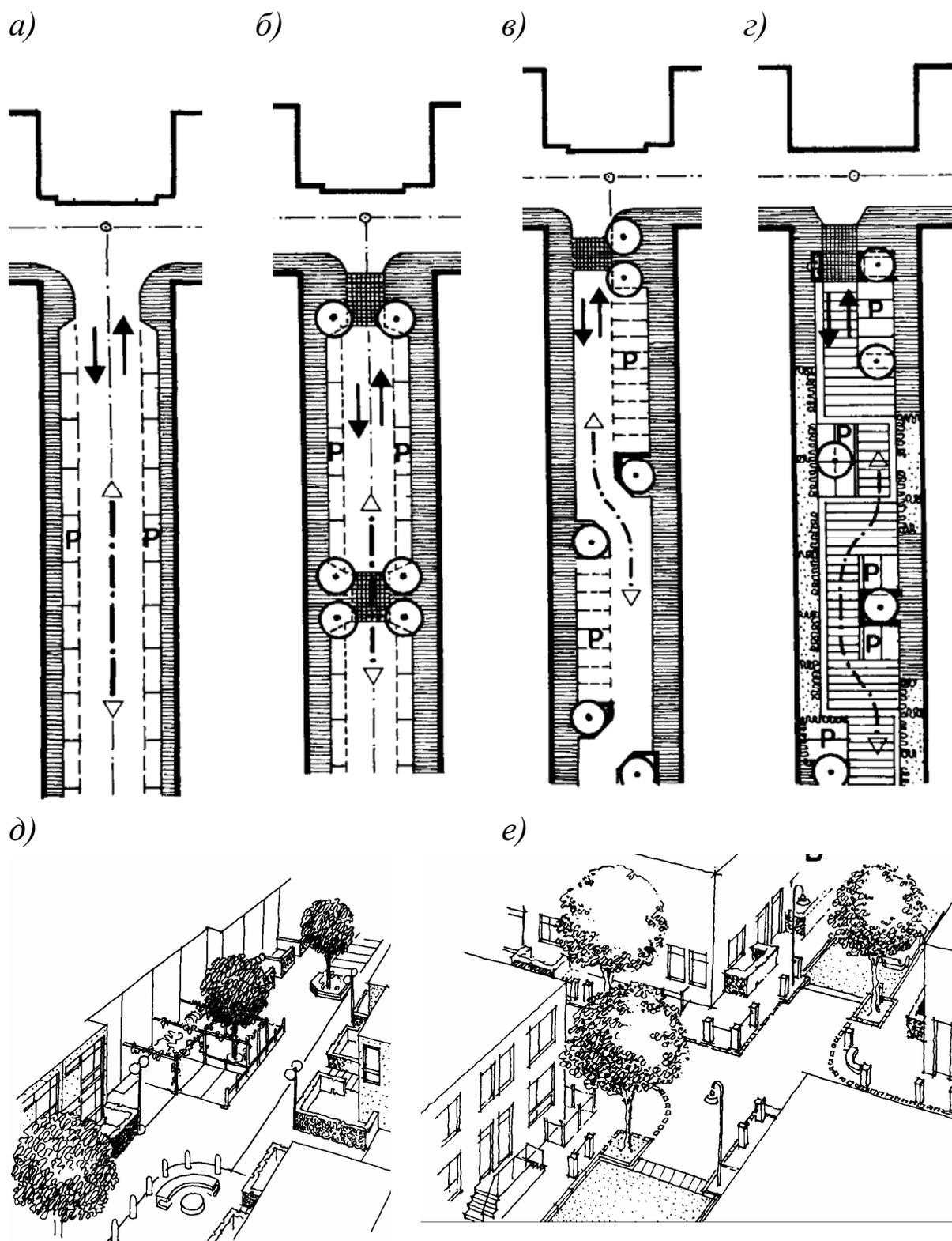


Рис. 1.14. Зоны успокоения [184]: *а* – исходная ситуация до введения успокоения движения; *б, в, г* – варианты благоустройства улицы при успокоении движения; *д, е* – примеры размещения зеленых насаждений и элементов благоустройства

Конкретные результаты успешной политики по уменьшению интенсивности движения можно проиллюстрировать примером Брюгге [181], где “успокоение движения” введено в историческом центре города в 1992 г.:

- снижение количества автомобилей, приезжающих в центр, на 10% (на 600 авт./ч);

- снижение интенсивности движения в центре на 30%;

- увеличение скорости сообщения автобусных маршрутов с 19 до 22 км/ч;

- увеличение количества жителей, пользующихся автобусом, на 33%;

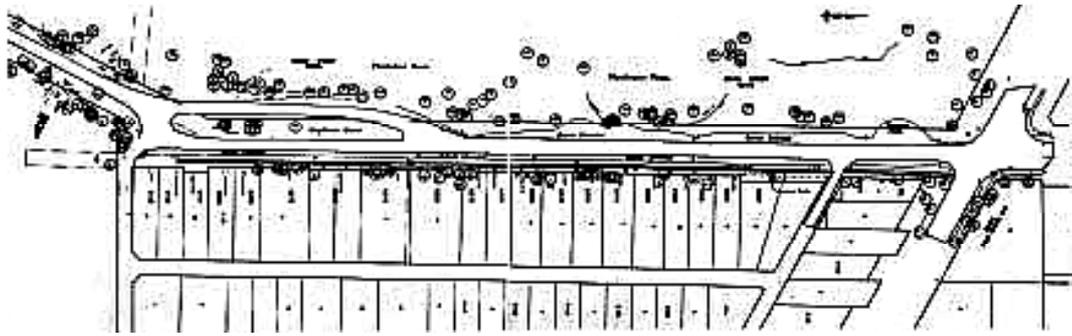
- увеличение количества жителей, пользующихся велосипедом, на 20%;

- снижение количества ДТП в центре на 36%.

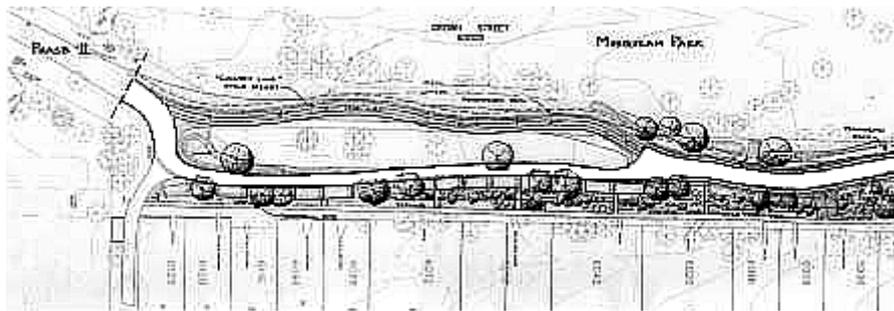
Одним из эффективных приемов “успокоения движения” является распространенный в странах Западной Европы стандарт ограничения скорости движения 50 и 30 км/ч для целых городских территорий. Во Франции внедрение “зон 30 км/ч” рассматривается как инструмент формирования уличных систем нового типа [181]. К техническим приемам, обеспечивающим “успокоение движения”, относят также режим “зеленой волны” с низкой скоростью движения, например 30 км/ч.

Так, одна из самых значительных по размерам зон с ограничением скорости создана в Граце [181]. На главных “приоритетных” улицах (“priority streets”) города введен предел скорости 50 км/ч. Около 75 % УДС, суммарная протяженность которой 800 км, имеет ограничение скорости движения 30 км/ч. Кроме того, ограничения скорости до 30 км/ч введены на некоторых участках “приоритетных” улиц, например около школ. В результате ограничения скорости достигнуто снижение количества тяжелых ДТП на 24 %, легких – на 12 %.

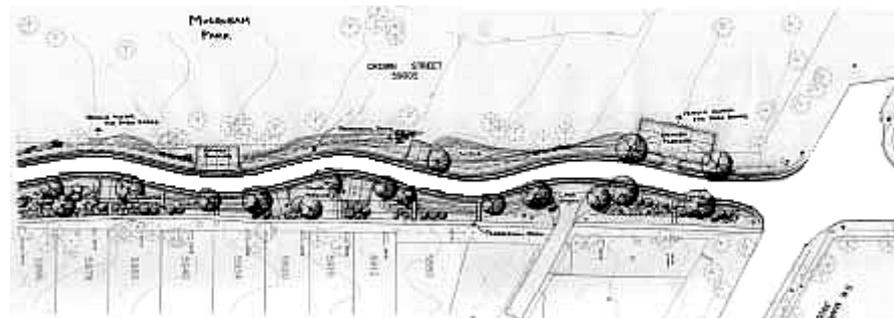
a)



б)



в)



г)



Рис. 1.15. Пример реконструкции улицы Crown Street в Ванкувере [192] : *a* – план улицы до реконструкции; *б, в* – предложения по реконструкции соответственно южной и северной частей улицы; *г* – вид улицы в перспективе

В США применение успокоения движения стало активно использоваться с начала 1970 г. (Сиэтл, Беркли, в городах штата Орегон). Первым крупным экспериментом по внедрению зоны успокоения был район Сиэтла Stevens Neighborhood [135]. Реализация проекта завершилась в начале 1973 г. В результате достигнуто снижение интенсивности движения на 56 % и уменьшение количества ДТП до 0.

В США и Канаде, где существует практика проектирования парковых дорог (parkways), меры успокоения движения сочетают с ландшафтным проектированием [108,128-130,133,138,148,187,192]. Например, частью программ устойчивого развития района Большого Ванкувера стало создание так называемых “зеленых улиц” (green streets, green ways) [192]. Проектирование этого типа улиц предполагает: уменьшение площадей покрытий, увеличение территорий посадок и газонов в границах улиц, превращение их в бульвары, создание разделительных полос с посадками, применение для тротуаров мощения и конструкций из природных материалов вместо стандартного асфальтобетона.

Концепция природного ландшафта улиц (naturalized street-scapes), разработанная отделом улиц муниципалитета Ванкувера, была принята к реализации в начале 2003 г. [192]. Объектом пилотного проекта, выполненного в соответствии с этой концепцией, стала реконструкция улицы Crown Street в Ванкувере (рис. 1.15). Рассматриваемая улица относится к категории местных, интенсивность движения на ней составляет 650 авт./сут., наблюдаемая скорость движения 50 км/ч.

Важно отметить, что применение зон успокоения и зон ограничения скорости движения предполагает, что обслуживание транспортных потоков начинает осуществляться другими участками и элементами УДС. Это хорошо подтверждается данными обследований, выполняемых в местах внедрения средств успокоения движения. Например, в районе Midtown г. Сакраменто (США) [135]

на жилых улицах интенсивность движения снизилась с 1800–5400 авт./сут. до планируемых значений, но зато возросла на соседних участках УДС (табл. 1.24).

Таблица 1.24

**Изменения в распределении движения в
районе Midtown г. Сакраменто**

Период	Суммарная интенсивность движения авт./сут.			
	Жилые улицы, где выполнялось успокоение движения	Соседние улицы		Весь район
		коммерческие	жилые	
До реализации проекта	34 740	28 310	28 550	91 600
После реализации	26 910 (- 23%)	32 670 (+15%)	30 030 (+5%)	89 610 (- 1%)

Для введения зональных ограничений требуется развитая сеть магистральных улиц и городских дорог. При этом на городские дороги возлагается обслуживание внутригородских транзитных потоков и, соответственно, на них приходятся основные объемы транспортной работы. Кроме того, на них должны перераспределяться транспортные потоки. Таким образом, зоны успокоения еще более усиливают дифференциацию элементов УДС по выполняемым функциям, режимам и скорости движения.

**1.2.3. Приоритет маршрутного транспорта и
полосы движения NOV**

Технико-экономические и градостроительные прогнозы показывают, что дальнейший рост уровня автомобилизации при сохранении прежнего уровня использования легкового автомобиля требует очень дорогой транспортной инфраструктуры (реконструкция УДС, парковки, отторжение городских территорий). В настоящее время в зарубежной практике развитие систем NOV, в том числе возрождение общественного транспорта, обеспечение ему приори-

тетных условий рассматривается как одно из самых эффективных средств снижения большинства негативных эффектов автомобилизации.

а)



б)



Рис. 1.16. Пример устройства полос движения NOV в Мадриде [169]: *а* – для автобусов; *б* – для автобусов и легковых автомобилей

Уточним, что в зарубежных публикациях термином NOV – high occupancy vehicles – в большинстве случаев обозначают транспортные средства, используемые более чем 2–3 человеками, включая водителя [126,131, 151,155,177]. В рассматриваемом контексте полосы для движения маршрутного пассажирского транспорта яв-

ляются одним из видов полос HOV (рис. 1.16). Такие полосы начали применяться в США в 70-х годах прошлого века в период энергетического кризиса; на сегодня их суммарная протяженность достигла около 2000 км (суммарная длина полос 2500 км) [155]. Для сравнения протяженность полос HOV в Европе: Мадрид – 12, Стокгольм – 9, Лидс – 1,5, Тронхейм – 0,8 км [155].

В настоящее время в США полосами HOV пользуются 3 млн. человек в день, осуществлено 125 проектов в 30 городах; ожидается, что их протяженность удвоится за ближайшие 20–25 лет. Отдельные города характеризуются следующими показателями:

Хьюстон – суточный объем перевозок на HOV полосах (включая автобусы) – 40 000 чел.;

агломерация Лос-Анджелеса – суточный объем перевозок на HOV полосах – 1 млн. чел.; оцениваемое сокращение задержек – 30 000 ч/сут.;

Сиэтл – в пиковые часы движение по полосам HOV в 4 раза интенсивнее, чем на соседних полосах проезжих частей;

Нью-Джерси – суточный объем перевозок специализированными полосами для автобусов – 32 000 чел.

Полосы HOV пользуются популярностью. Так, опросы показали, что 80 % населения в Сиэтле и 88 % – в Лос-Анджелесе положительно относятся к устройству этих полос в районе их проживания. За тридцать лет было лишь шесть случаев (4% от общего количества проектов), когда внедрение полос оказалось неудачным и их пришлось ликвидировать.

Значимость обеспечения приоритетных условий общественному пассажирскому транспорту и транспорту HOV оценивается столь высоко, что PIARC посвятил ей специальный обзор [177]. Материалы для обзора были представлены 30 городами из 15 стран. К средствам обеспечения приоритетных условий движения транспорта HOV (в том числе маршрутного пассажирского) отнесены:

отдельные проезжие части, выделяемые дорожными ограждениями или трассируемые самостоятельно от основной проезжей части;

выделяемые разметкой или ограждениями полосы, на которых направление движения противоположно направлению транспортного потока (contra-lane lanes);

выделяемые разметкой или цветом покрытия полосы только для транспорта HOV;

приоритет движения общественного транспорта на регулируемых пересечениях;

проектирование остановочных пунктов большой пропускной способности.

К средствам обеспечения приоритета относят и устройство обособленного полотна для трамвайного движения, что распространено в нашей стране, поэтому в данной монографии представляет интерес рассмотреть методы обеспечения приоритетного движения нерельсового транспорта (автобусов).

Случаев устройства специальных проезжих частей для общественного маршрутного транспорта пока немного. В Европе примером этого являются новые районы Дижона (Франция), включая территорию университетского городка, где движение автобусов осуществляется по специальным проездам, на которые не допускается другой транспорт. Кроме того, автобусы допущены на ряд улиц пешеходной зоны исторического центра города. Эта система автобусных маршрутов оценивается как одна из лучших в стране. Дижон имеет один из самых высоких показателей подвижности населения на общественном транспорте – 180 поездок на жителя в год (средний показатель по Франции – 80 поездок на жителя в год).

Примером успешного применения специальных проезжих частей является маршрутная система района Оттавы Carleton [177], где их общая протяженность составляет 31 км и только 2 км – дополнительные полосы для автобусов на основных проезжих частях

улиц. Пиковые значения составляют соответственно: пассажиропоток – 9000 пас./ч, интенсивность движения автобусов – до 180 ед./ч. Скорость сообщения в зависимости от расстояния между остановками составляет 45–60 км/ч, что является очень высоким показателем.

Специальные полосы для общественного транспорта широко используются в европейской практике. Например, в Мадриде суммарная протяженность автобусных полос составила 90 км, в Хельсинки – 40 км. Выделение специальных полос разметкой или цветом характерно для обеспечения приоритета автобусного движения в центре Лондона (см. рис. 2.6).

Практика применения выделенных полос для автобусов и автомобилей, перевозящих два и более пассажиров, пока не получила в Европе такого распространения, как в США и Канаде. В Северной Америке в 1995 г. насчитывалось 680 км таких полос.

Устройство специальных отдельных проезжих частей для автобусного движения и автомобилей, перевозящих два и более пассажиров, наиболее характерно для США, где их насчитывается 175 км (Сиэтл, Лос-Анджелес).

Полосы, “противоположные потоку”, пока нашли применение в США (Нью-Йорк, Даллас) и Канаде, где их суммарная протяженность составила в 1995 г. 31 км. В качестве одной из наиболее успешных реализаций указывают автобусный маршрут в Монреале (Boulevard Pie-IX), где автобусная полоса, “противоположная потоку”, размещена рядом с разделительной полосой на участке длиной 9 км. Скорость сообщения составила 25 км/ч (на 9 км/ч больше, чем до выделения полосы), при этом средние затраты времени на передвижение по рассматриваемому участку сократились на 11 мин. Увеличение пассажиропотока соответствовало 30%, в том числе 8% пассажиров, ранее не пользовавшихся общественным транспортом.

В целом эффект выделения специальных полос и отдельных проезжих частей (оценивались маршруты с наибольшими пассажиропотоками) [177] характеризуется следующими показателями:

двухполосная проезжая часть для автобусного движения может обеспечить провозную способность 11 000—15 000 пас./ч в одном направлении;

при внедрении мероприятий по повышению пропускной способности остановочных пунктов достигнута провозная способность 18 000 пас./ч в одном направлении;

наибольший пассажиропоток, зафиксированный в Порто-Аллегро (Бразилия) – 26 000 пас./ч в одном направлении.

Приведенные выше значения пассажиропотоков можно оценивать как высокие. Они соответствуют показателям провозной способности линий трамвая, скоростного трамвая и даже метрополитена (в случае небольшого числа секций в составе поезда), которые указываются в отечественной и зарубежной специальной литературе.

В России пока недооценена эффективность приоритета нерельсового маршрутного транспорта, методов организации движения на остановочных пунктах общественного транспорта и увеличения их пропускной способности. На это, в частности, указывает отсутствие в нашей стране публикаций по данной тематике. Доля общественного транспорта в российских городах в городских пассажирских перевозках в несколько раз выше, чем в странах Западной Европы. Так, например, Дижон (Франция) имеет один из самых высоких показателей подвижности населения на общественном транспорте в этой стране – 180 поездок на жителя в год. Аналогичный показатель для Иркутска оценивается величиной 440 поездок на жителя в год.

В рассматриваемом контексте следует привести мнение французских экспертов, участвовавших в совместном российско-французском проекте по программе EU BISTRO TASIC [154]. По

их мнению обеспечение приоритетных условий движения общественного пассажирского транспорта является наиболее эффективным инструментом сдерживания роста интенсивности движения и предотвращения перегрузки УДС в центральной, исторической части Иркутска (см. рис. 1.1).

Поэтому сохранение и развитие инфраструктуры общественного транспорта российских городов может во многом способствовать снижению нагрузок на УДС. Обеспечение приоритетных условий движения является одним из наиболее эффективных методов повышения скорости сообщения и провозной способности общественного пассажирского транспорта и увеличения его привлекательности.

Глава 2. РАЗВИТИЕ КЛАССИФИКАЦИЙ И НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРОДСКИХ УЛИЦ И ДОРОГ

2.1. Классификации городских улиц и дорог, разрабатывавшиеся в Российской Федерации

Чуть больше чем за десятилетний период в российских городах стремительно вырос парк индивидуального автомобильного транспорта. Уровень автомобилизации населения уже превысил расчетные показатели, предусмотренные пока еще действующим СНиПом 2.07.01–89 “Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений”. Возникают принципиально новые градостроительные и технические задачи, инструментарий решения которых должен содержать будущие градостроительные нормы и руководства. Естественно, что при создании таких документов необходимо учитывать и обобщать зарубежный опыт. Сопоставление теории и практики проектирования УДС в нашей стране и за рубежом следует начинать с краткого обзора истории вопроса. Из всех технических норм проектирования в данной главе будет рассматриваться расчетная скорость движения.

Градостроительные нормы СССР, начиная с 1960-х гг. (последовательно СНиП П-К.2-62. “Планировка и застройка населенных мест”, СНиП П-60-75. “Планировка и застройка городов, поселков и сельских населенных пунктов” и СНиП П-60-75**), содержали устоявшуюся классификацию городских улиц и дорог. Основу классификации составляли планировочные характеристики и функциональные признаки (табл. 2.1):

характер связей, осуществляемых данной категорией улиц и дорог;

вид корреспонденций (т.е. состав транспортного потока - преимущественно пассажирский или грузовой);

Таблица 2.1

Классификация городских улиц и дорог (СНиП II-60-75)

Категории улиц и дорог	Функции улиц и дорог	Расчетная скорость движения, км/ч
Скоростные дороги	Скоростная транспортная связь между районами крупнейшего или крупного города и между городами и другими населенными пунктами группового расселения с устройством пересечений с другими улицами в разных уровнях	120
Магистральные улицы и дороги общегородского значения:		
непрерывного движения	Транспортная связь между жилыми, промышленными районами и общественными центрами, со скоростными дорогами, с устройством пересечений с другими улицами в разных уровнях	100
регулируемого движения	Транспортная связь между жилыми, промышленными районами и общественными центрами, с магистральными улицами регулируемого движения, с устройством пересечений с другими улицами в одном уровне	80
грузового движения	Перевозка промышленных и строительных грузов, осуществляемая вне жилой застройки, между промышленными и коммунально-складскими зонами с устройством пересечений с другими улицами в одном уровне	80
Магистральные улицы районного значения	Транспортная связь в пределах района и с магистральными улицами общегородского значения с устройством пересечений в одном уровне	60
Улицы и дороги местного значения:		
жилые улицы	Транспортные (без пропуска общественного транспорта) и пешеходные связи жилых районов и групп жилых зданий с магистральными улицами районного значения	60
дороги промышленно-складских районов	Перевозка промышленных и строительных грузов в пределах района, обеспечение связей с дорогами грузового движения с устройством пересечений с другими улицами и дорогами в одном уровне	60
пешеходные улицы и дороги	Пешеходная связь с местами приложения труда, учреждениями и предприятиями обслуживания, местами отдыха	60
поселковые улицы	Транспортная связь внутри селитебной зоны с общественным центром, учреждениями и предприятиями обслуживания поселков и сельских населенных пунктов	60
поселковые дороги	Транспортная связь между селитебной и производственными, промышленными и коммунально-складскими зонами, а также в пределах этих зон	60

режим движения (скоростное, непрерывное, регулируемое).

Объективными факторами, обуславливающими такое деление на категории, явились низкие существовавший и расчетный перспективный уровни автомобилизации населения и доминирование общественного транспорта в пассажирских перевозках. Например, главной функцией магистральных улиц непрерывного движения и магистральных улиц регулируемого движения городского значения объявлялось обслуживание общественного массового пассажирского транспорта [55,57,58].

Отличительной особенностью УДС городов СССР в рассматриваемый период являлись неоднородность состава транспортных потоков и значительная доля в них грузового транспорта. Так, по мнению А.В. Сигаева [57] к началу 1970-х гг. только на основных магистральных улицах общегородского значения ряда городов отмечалась более высокая интенсивность движения легкового транспорта по сравнению с грузовым. По данным этого автора от 19 до 65 % суммарной протяженности магистральных улиц городов обслуживали грузовое движение, а от 13 до 52 % совмещали движение массового пассажирского и грузового транспорта. Такое положение обуславливало интерес к вопросам организации движения грузового транспорта [16,17,24,55-58] (к разделению его с пассажирским) и делало закономерным выделение специальной категории – “дороги грузового движения”.

Рост уровня автомобилизации в 1980-е гг. привел к изменению процентного соотношения разных видов транспорта в составе потоков, но доля грузового транспорта была все еще значительной, что подтверждают данные, собранные в 1987–1988 гг. при выполнении КТС Санкт-Петербурга (табл. 2.2).

В 1980-е гг. исследовательскими и проектными организациями предпринимались попытки дифференцировать магистральные улицы по структуре транспортных потоков. Так, в частности, классификация городских улиц и дорог Москвы ВСН 2 – 85 включала

категорию “магистральные дороги преимущественного грузового движения” [40]. По результатам исследований в Екатеринбурге [17] предлагалось разделить магистральных улиц на четыре группы:

магистралю преимущественно легкового движения (доля грузового транспорта не превышает 25%);

магистралю смешанного движения (доля грузового транспорта составляет 25–50 %);

магистралю преимущественно грузового движения (доля грузового транспорта составляет 50–75 %);

магистралю грузового движения (доля грузового превышает 75 %).

Пожалуй, наибольшее внимание составу потоков было уделено при разработке классификации для Санкт-Петербурга (ЛенНИ-Ипроект 1987–1988 гг.), которая была опубликована несколько позже Ю.А. Ставничим [63]. В данной классификации магистральные улицы были представлены 12 категориями, разделенными на пять классов:

I. Транзитные магистрали:

I – 1. Скоростные дороги.

I – 2. Магистрали повышенных скоростей движения:

без регулирования движения;

с координированным движением.

II. Городские магистрали:

II – 1. С преимущественным движением пассажирского транспорта.

II – 2. С преимущественным движением грузового транспорта.

II – 3. Со смешанным движением.

III. Главные улицы:

III – 1. Города.

III – 2. Района.

IV. Въезды в город.

V. Районные магистрали:

V – 1. С преимущественным движением пассажирского транспорта.

V – 2. С преимущественным движением грузового транспорта.

V – 3. Со смешанным движением.

Таблица 2.2

Доля грузового транспорта на отдельных участках УДС Санкт-Петербурга

Перегон улицы (год обследования)	Интенсивность движения, физ.ед./ч		Доля грузового транспорта в потоке, %
	Грузовые автомобили	Всего	
Ушаковский мост (1961)	338	519	65
(1984)	663	1254	53
Северная набережная Обводного канала от Атаманского моста к ул. Черняховского (1986)	578	1110	52
Ул. Днепропетровская от Обводного канала до ул. Расстанная (1986)	248	607	41
Ул. Тамбовская от Обводного канала до ул. Курская (1986)	213	640	33
Атаманский мост (1986)	625	1303	48
Расстанный пер. (1986)	253	499	51

Возникновение столь сложной классификации объясняется несколькими причинами. В Санкт-Петербурге существовала уникальная по сложности проблема транспортного обслуживания крупных промышленных предприятий в центре города и транзитного движения грузового транспорта из южных районов города в северные и обратно. Разрешение грузового движения на части улиц в сочетании с полным запретом на других, совмещенное движение грузового и маршрутного пассажирского транспорта обуславливали исключительную неоднородность состава движения, что подтверждалось данными обследований (табл. 2.3). В качестве критерия однородности транспортного потока можно использовать отношение приведенной $N_{пр}$ интенсивности движения к физической $N_{физ}$, рассчитанное для рассматриваемого потока (среднее значение коэффициента приведения к легковому автомобилю):

$$K_{ср} = N_{пр} / N_{физ} .$$

Таблица 2.3

Состав транспортных потоков в Санкт-Петербурге.
Обследования 1985–1988 гг.

Улицы		Интенсивность движения, ед./ч		$K_{ср} = N_{пр}/N_{физ}$	
		приведенная	физическая		
1		2	3	4	
Улицы центральной части Санкт-Петербурга					
С запрещенным движением грузового транспорта	<i>Движение маршрутного пассажирского транспорта отсутствовало</i>				
	Адмиралтейская набережная - 1985		1383	1243	1,11
	Дворцовая набережная – 1987		1229	1065	1,15
	Наб. Кутузова - 1988		1264	1177	1,07
	Ул. Бродского - 1985		595	510	1,17
	Ул. Марата - 1987		510	471	1,08
	Ул. Маяковского – 1984		337	284	1,19
	<i>Улицы с незначительной интенсивностью движения маршрутного пассажирского транспорта</i>				
	Вознесенский пр. (пр.Майорова) – 1988		925	810	1,14
	Казанская ул. (Плеханова) - 1985		754	608	1,24
	Пер. Гривцова - 1985		966	770	1,25
	<i>Магистральные улицы с большой интенсивностью движения маршрутного пассажирского транспорта</i>				
	Лиговский пр. – 1988		3162	2484	1,27
	Литейный пр. - 1984		1954	1392	1,40
	Московский пр. - 1987		2279	1712	1,33
Невский пр. - 1987		2799	2054	1,36	
С разрешенным движением грузового транспорта	Английская наб.(Красного флота) - 1986		726	399	1,82
	Лермонтовский пр. -1985		1252	728	1,72
	Наб. Введенского канала - 1985		811	499	1,62
	Рузовская ул. - 1987		958	510	1,88
	Ул. Дзержинского – 1987		865	482	1,79
	Ул. Звенигородская - 1985		720	453	1,59
	Тульская ул. - 1987		3868	2414	1,60
Улицы вне центральной части Санкт-Петербурга					
Участки УДС с движением грузового транспорта	<i>Магистральные улицы (движение транзита и внутригородского транзита)</i>				
	Арсенальная набережная – 1986		2523	1676	1,51
	Выборгская набережная – 1987		2516	1750	1,44
	Набережная Обводного канала – 1987		3072	1629	1,88
	Народного ополчения –1985		2202	1310	1,68
	Октябрьская набережная -- 1988		1660	881	1,88
	<i>Улицы, отнесенные к категории местных</i>				
	Курская ул. – 1986		807	441	1,83
	Митрофаньевское шоссе - 1987		581	340	1,71
	Ул. Розенштейна – 1986		783	495	1,58
Ул. Шкапина – 1986		754	373	2,02	

Окончание табл.2.3

1		2	3	4
Участки УДС с движением грузового транспорта	Участки совмещенного движения маршрутного пассажирского и грузового транспорта			
	Заневский пр. - 1985	2646	1451	1,82
	Ленинский пр. - 1984	3664	2142	1,71
	Пискаревский пр. - 1986	2566	1483	1,73
	Пр. Славы -- 1987	3612	2122	1,70
	Ул. Ивановская – 1988	3585	2011	1,78
	Шоссе Революции – 1988	2661	1325	2,00

Данные табл. 2.3 показывают, что в 1986–1988 гг. структура транспортных потоков на УДС Санкт-Петербурга отличалась крайним разнообразием.

Действующий СНиП 2.07.01 –89 [62] и “Рекомендации по проектированию улиц и дорог” [50], разработанные ЦНИИП Градостроительства в 1994 г., содержат классификацию, которая приведена с некоторыми сокращениями в табл. 2.4. На этом этапе развития классификации дороги грузового движения трансформировались в дороги регулируемого движения. Прошедшие более десяти лет с момента создания СНиПа 2.07.01 –89 показывают, что это изменение оказалось оправданным. С 1991–1992 гг. в результате социальных и экономических процессов интенсивность грузового движения в городах почти не увеличивалась, а доля грузового транспорта в составе потоков заметно сократилась вследствие стремительно растущей интенсивности движения легковых автомобилей.

А.В. Сигаев отмечал [57], что поток, в котором доля грузового транспорта составляет менее 10 %, считается состоящим из легковых автомобилей. Структура транспортных потоков в российских городах сближается (и будет сближаться в дальнейшем) с составом движения в европейских и североамериканских городах. Таким образом, в будущем в нормах проектирования придется рассматри-

вать однородный транспортный поток, а дифференциация улиц и дорог будет проводиться с использованием других характеристик.

Таблица 2.4

Классификация городских улиц и дорог [62]

Категории улиц и дорог городов	Расчетная скорость, км/ч *	Скорость движения транспортного потока, км/ч
Магистральные дороги: скоростного движения	120/80	90/60
регулируемого движения	80/60	60
Магистральные улицы общегородского значения: непрерывного движения	100/75	75/55
регулируемого движения	80/60	60/45
Магистральные улицы районного значения: транспортно-пешеходные	70/50	50/35
пешеходно-транспортные	50/35	35/25
Боковые проезды	60/40	40/25
Местные проезды	40/30	25/20
Улицы и дороги местного значения: улицы в жилой застройке	40/30	30/20
улицы и дороги в промышленно-складских районах	50/35	35/25
парковые дороги	50/40	35/25
Проезды : основные	40/30	35/25
второстепенные	30/20	15/10

* Наибольшие/наименьшие (допустимые для данной категории улиц и дорог) расчетные скорости движения соответствуют нормальным (новое строительство, равнинная местность) и сложным (реконструкция, горный рельеф) условиям.

На момент написания настоящей работы новейшая российская классификация (в смысле времени ее разработки) содержится в документе МГСН 1.01- 99. “Нормы и правила проектирования планировки и застройки г. Москвы” (табл.2.5) [32]. Предложенное деление на категории улиц гораздо проще, чем приведенное в табл. 2.4, что, однако, не помешало впервые в отечественной истории разработок классификаций уделить внимание исторической городской среде. Ряд положений, содержащихся в нормах проектирования Москвы, соответствует современным зарубежным классификациям. В частности, на магистральных улицах Москвы предусматривается движение всех видов транспорта, что характерно для современных классификаций дорог крупных городов, например Торонто и Лондона (табл. 2.10, 2.13). В московской классификации нашли отражение и архитектурно-планировочные критерии, в соответствии с ними магистральные улицы рассматриваются как планировочные оси. Учет архитектурных требований в классификациях пока только предлагается на уровне концепций, как, например, в отчетах проекта ARTISTS [99-101].

Вместе с тем зарубежные классификации принципиально отличаются от рассмотренных выше российских. Эти различия обусловлены особенностями и задачами организации движения, которые возникают в условиях высокого уровня автомобилизации, плотных транспортных потоков. Прежде всего речь идет о так называемом “доступе” (то есть о контроле на право выезда на проезжую часть с прилегающих территорий и въезда в обратном направлении), управлении уличным паркованием и обеспечении приоритетных условий движения маршрутного пассажирского транспорта.

Таблица 2.5

Классификация улично-дорожной сети Москвы

Категория улиц		УДС города		УДС центра города	
		Основное назначение улиц	Транспортная характеристика (расчетная скорость)	Основное назначение улиц	Транспортная характеристика (расчетная скорость).
1		2	3	4	5
Магистральные улицы городского значения	I класса	Основные транспортные и функционально-планировочные оси города. Формируют направления преимущественного развития московской системы расселения. Обеспечивают международные, республиканские, региональные и городские связи. Имеют выходы на внешние автомобильные дороги, к аэропортам, крупным зонам массового отдыха и поселениям в регионе	Пропуск всех видов транспорта. Движение непрерывное. Пересечения с магистральными улицами в разных уровнях (100 км/ч)	Транспортно-планировочные и архитектурно-функциональные оси исторического центра. Обеспечивают его связи с направлениями развития и элементами системы общегородского центра, функционально-планировочными частями города. Имеют выходы на магистральные улицы общегородского значения города I класса	Пропуск всех видов транспорта, за исключением грузового, не связанного с обслуживанием центра. Интенсивное пешеходное движение. Режим движения регулируемый (90 км/ч)
	II класса	Основные транспортные каналы города. Обеспечивают связи различных функционально-планировочных частей города. Могут иметь выходы на внешние автомобильные дороги	Пропуск всех видов транспорта. Режим движения - непрерывный и регулируемый. Пересечения с магистральными улицами в одном и разных уровнях (80 – 100 м/ч)	Основные транспортные каналы исторического центра. Обеспечивают его внутренние связи, связи с функционально-планировочными элементами города. Имеют выходы на магистральные улицы общегородского и районного значения города	Пропуск всех видов транспорта, за исключением большегрузных автомобилей и грузового транспорта, не связанного с обслуживанием центра. Интенсивное пешеходное движение. Режим движения регулируемый (80 км/ч)

		1	2	3	4	5
		Магистральные улицы районного значения	Основные оси районов. Обеспечивают связи в пределах жилых районов и производственных зон, а также между ними	Пропуск всех видов транспорта. Режим движения регулируемый (60 – 70 км/ч)	Оси функционально-планировочных зон исторического центра. Обеспечивают его внутренние связи, имеют выход на магистральные улицы города общегородского и районного значения	Пропуск всех видов транспорта, за исключением большегрузных автомобилей, грузового транспорта, не связанного с обслуживанием центра. Режим движения регулируемый (60 км/ч)
Улицы и дороги местного назначения	Улицы в жилой застройке	Транспортные и пешеходные связи в пределах жилых районов и микрорайонов. Связи с магистральными улицами общегородского и районного значения (за исключением улиц с непрерывным движением транспорта)	Пропуск легкового, специального и обслуживающего район грузового транспорта; в отдельных случаях допускается организация движения массового пассажирского транспорта (60 км/ч)	Транспортные и пешеходные связи в пределах жилых районов и микрорайонов. Связи с магистральными улицами центра	Пропуск легкового, специального и обслуживающего район грузового транспорта; в отдельных случаях допускается организация движения массового пассажирского транспорта (60 км/ч)	
	Улицы и дороги в производственных и коммунально-складских зонах	Транспортные связи в пределах производственных и коммунально-складских зон	Пропуск всех видов транспорта (60 км/ч)	Данная категория отсутствует		

2.2. Североамериканские функциональные классификации городских улиц и дорог

2.2.1. Принципы построения классификаций, основные категории улиц и дорог

В градостроительной и технической литературе достаточно подробно рассматриваются различия российских и американских городов; при этом отмечается высокая плотность населения в городах нашей страны, что существенно усложняет приспособление их УДС к растущему парку индивидуальных автомобилей. Поэтому анализ американских классификаций и норм следует проводить не с целью прямого заимствования, а для ознакомления с методикой и применяемыми критериями.

В Северной Америке (США, Канада) функциональная классификация (Functional Classification) строится на использовании в качестве критерия основной, доминирующей функции той или иной дороги. Главным признаком разделения дорог и улиц на категории (рис. 2.1) является соотношение функций “обслуживание движения – обслуживание доступа” (traffic circulation versus access).

Обслуживание поездок на большие расстояния (для обозначения применяются термины traffic circulation, circulation, mobility) является главной функцией дорог и улиц высших категорий (arterials, principal arterials). В американских и канадских текстах по дорожному проектированию и городской планировке используются термины “доступ” (access), “доступ к владениям” (property access), “доступ к территории” (land access). Чтобы объяснить их содержание, лучше всего обратиться к одному из многочисленных документов, которые разрабатываются транспортными департаментами [76,152]. Например, в разделе “Управление доступом” (Access management) “Руководства по стандартам проектирования в городах” штата Айова [152] приводится следующее определение:

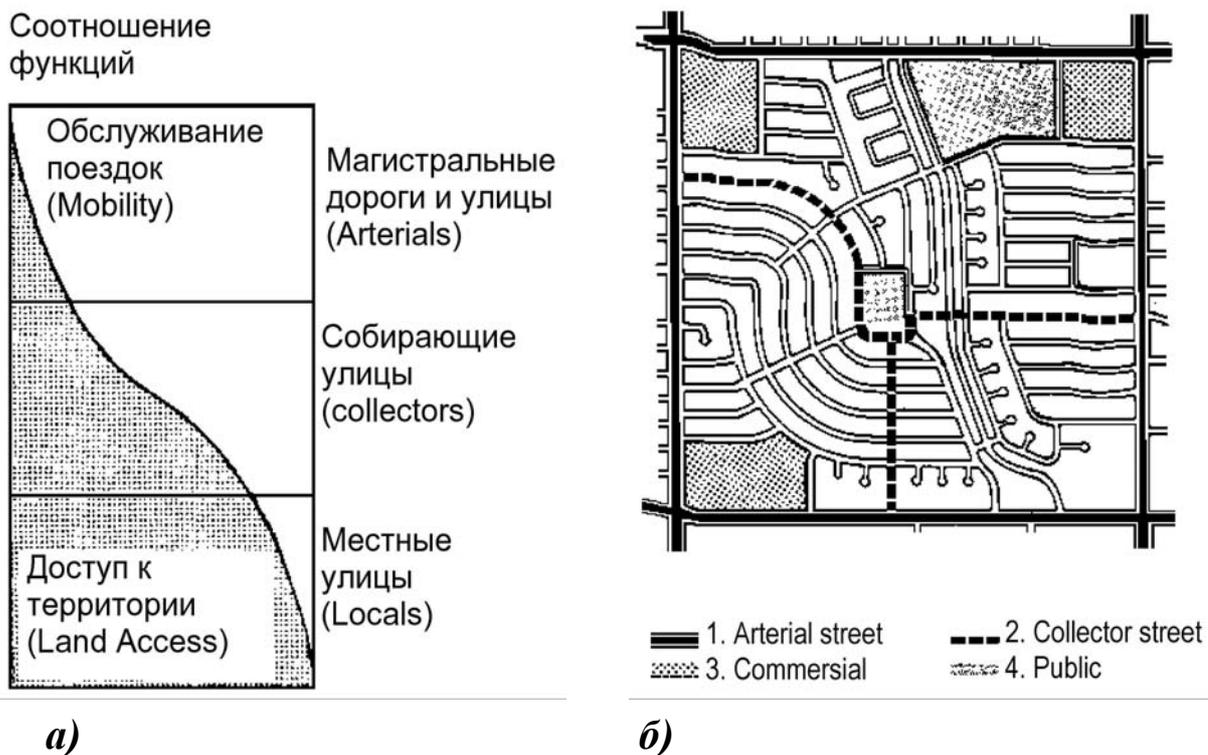


Рис. 2.1. Соотношение функций разных категорий дорог и улиц (а) и схематическое представление структуры УДС (б): 1 – магистральная улица; 2 – собирающая улица; 3 – коммерческая зона; 4 – общественная территория

доступ (access) – право выезда на дорогу или улицу с граничащего с дорогой владения и въезда в него.

Такое определение и будет использоваться далее по тексту в настоящей работе. Другое принципиально важное понятие получает следующий перевод:

магистраль с контролируемым доступом (controlled access highway) – специально спроектированная для сквозного движения дорога или улица; владельцы или пользователи прилегающих участков не имеют права на доступ или получают право на специальный доступ на основании того, что их участок граничит только с данной контролируемой магистралью.

Регламентирование въездов/выездов на основную проезжую часть и обратно рассматривается по многим позициям. Нормы на размещение примыканий местных проездов, геометрические стан-

дарты их проектирования учитывают количество и характер конфликтных точек, возникающие помехи движению основного транспортного потока, снижение пропускной способности, безопасность движения пешеходов. Существуют классификации примыканий местных проездов, например, классификация штата Айовы имеет следующую градацию [152]:

въезды типа "А": 150 и более автомобилей в час (большие предприятия, торговые центры);

въезды типа "В": 20 – 150 и более автомобилей в час (станции сервиса, малые предприятия);

въезды типа "С": менее 20 автомобилей в час (к жилому дому, на ферму, на участок сельскохозяйственной территории).

В США разработка классификаций городских улиц и дорог в зависимости от особенностей законодательства и административного устройства штата является компетенцией либо Департамента транспорта (DOT), либо соответствующих служб графств и муниципальных органов городов штата. При формировании таких классификаций основой для выбора конкретных технических норм в США служит так называемая "Зеленая книга" ("Green book"). Полное название этого документа, периодически обновляемого и переиздаваемого Американской ассоциацией дорожных и транспортных служащих (AASHTO), – "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets" (буквально "Политика проектирования геометрии дорог и улиц") [97,200]. Рекомендации по методике и процедура разработки были предложены в специальном документе Федеральной дорожной администрации (FHWA Functional Classification Guidelines), созданном в 1989 г., копия текста которого приводится на веб-сайте Департамента транспорта Аризоны [146]

При создании классификаций провинциями и муниципалитетами Канады основой для выбора норм является "Руководство по геометрическим стандартам проектирования дорог Канады –

1986”(Manual of Geometric Design Standards for Canada Roads – 1986), изданное Канадской транспортной ассоциацией (ТАС).

В городские классификации обеих стран в качестве обязательных входят три категории улиц, получающие классификационные описания, близкие к приведенным ниже:

Магистральные улицы (Arterial streets). Обслуживают входящие в город и выходящие из него потоки транспорта, обеспечивают транзитное движение через центральные территории города, связывают важнейшие центры города.

Собирающие улицы (Collector streets). Обеспечивают доступ к жилым, коммерческим и промышленным территориям и движение в пределах этих территорий. Распределяют движение от магистральных улиц через территории к конечным пунктам поездок, собирают движение с местных улиц и передают его на магистральные улицы.

Местные улицы (Local streets). Основная функция – обеспечение непосредственного доступа к земельным участкам и осуществление связи с собирающими и магистральными улицами.

Как правило, классификации дополняются городскими дорогами (freeways, expressways), в некоторых случаях жилыми улицами (residential streets) или улицами промышленных территорий (industrial streets). Часто категорию “магистральные улицы” разделяют на “главные магистральные” (major arterials или principal arterials) и “второстепенные магистральные” (minor arterials), а категорию “собирающие улицы” – соответственно на “главные распределяющие” (major collectors) и “второстепенные собирающие” (minor collectors). Кроме того, в текстах классификаций можно встретить упоминание улиц частных владений (private streets), нормы проектирования которых регламентируются документами зонирования территорий.

В целом классификации и стандарты проектирования подчинены решению важнейшей задачи – получению такого распределе-

ния потоков, при котором движение на большие расстояния обслуживается дорогами высших категорий, а местная сеть лишь обеспечивает обслуживание прилегающих территорий. В соответствии с этим на магистральных дорогах осуществляются ограничение или полный запрет парковки, жесткий контроль так называемого доступа, изоляция от пешеходного и велосипедного движения. Проектные решения местной сети жилых районов предполагают предотвращение транзитного движения; с этой целью вводятся ограничения скорости и применяется успокоение движения. Все это позволяет достигнуть четкой дифференциации элементов УДС по скорости движения. Результаты такой технической и градостроительной политики хорошо отслеживаются по данным как национальной, так и региональной транспортной статистики США.

Следует отметить, что Федеральная дорожная администрация США использует обобщенную классификацию, в соответствии с которой собирает статистику в регионах и анализирует ее на национальном уровне [104,132,210,223]:

Федеральная система (Interstate System). Включает все магистральные дороги (freeway routes), геометрия и конструкции которых спроектированы в соответствии с федеральными нормами (исключение составляют Аляска и Пуэрто-Рико). Представлена дорогами и улицами самых высоких категорий классификации. Обеспечивает высокую скорость и непрерывное движение транспорта при поездках на большие расстояния.

Другие магистрали (Other Arterials). Включают дороги с ограниченным доступом, многополосные и другие важные дороги, дополняющие федеральную систему, которая связывает важнейшие национальные урбанизированные зоны, города, индустриальные центры, обслуживает национальную оборону. Соединена на границах с важнейшими дорогами континентального значения.

Собирающие улицы и дороги (Collectors). Обеспечивают доступ к земельным владениям и движение транспорта в жилых

районах, на коммерческих и промышленных территориях. Связывают местные улицы и дороги с магистральными, обеспечивают меньшую скорость движения, чем магистрали, и обслуживают поездки на меньшие расстояния.

Местная сеть (Locals). Местные улицы и дороги обеспечивают удобный доступ к земельным владениям, но ограничивают движение транспорта.

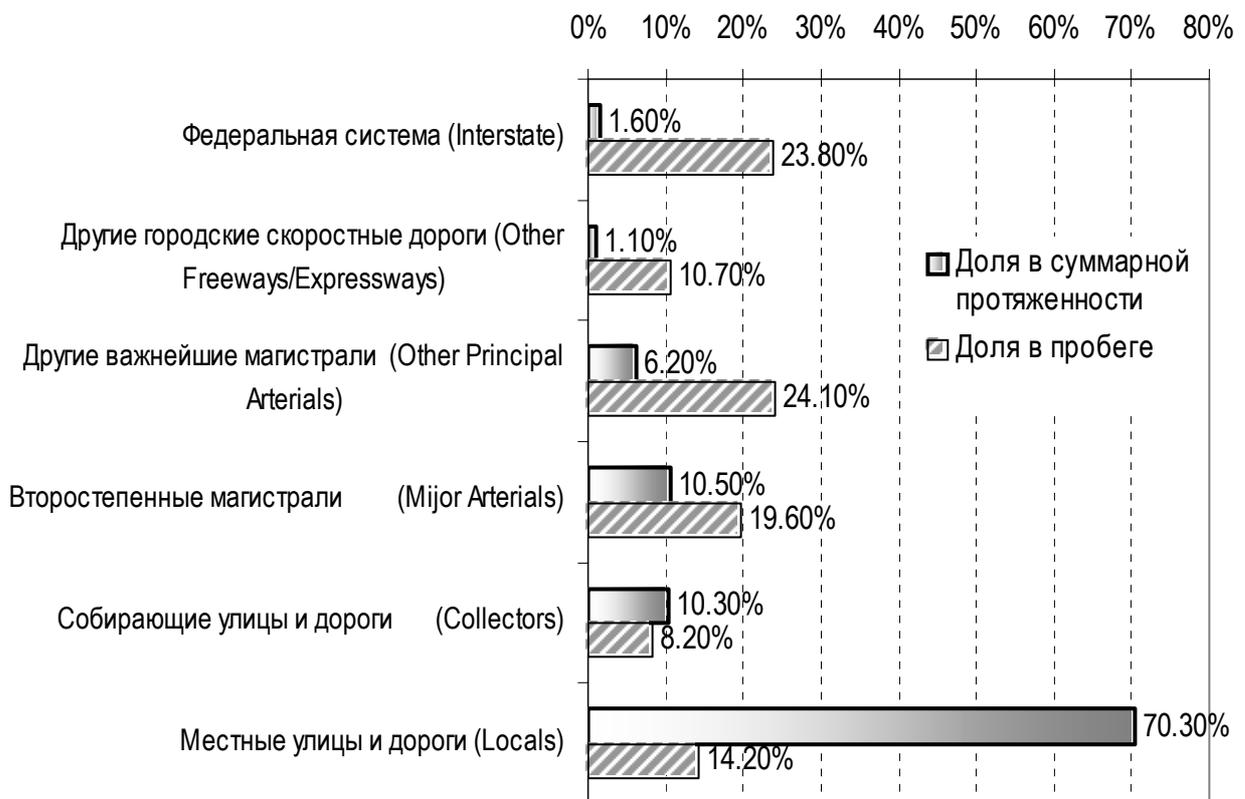


Рис. 2.2. Доли суммарной протяженности и суммарного пробега транспорта по различным категориям улиц и дорог урбанизированных территорий США (2000 г.)

Приведенная выше классификация нужна для объяснения статистики [172], которая характеризует функционирование УДС урбанизированных территорий США (табл. 2.6, рис. 2.2). Городские

скоростные дороги (федеральная система плюс Freeways и Expressways) составляли на 2000 г. всего 2,7 % суммарной протяженности сетей урбанизированных территорий, обслуживали 34,5 % всего пробега. С 1990 г. пробег в пределах городских территорий США возрос на 30,6 %, при этом наибольший рост отмечается именно на дорогах высших категорий: в 1,3 раза больше, чем по всем категориям суммарно, и в 1,75 раза больше, чем на местной сети. Данные по отдельно взятым штатам, например Аризоне (табл. 2.7), показывают еще большую роль магистральных дорог и улиц в функционировании УДС. В городах США с населением более 800 тыс. жителей на скоростные дороги приходится от 30 до 50 % пробега (табл. 2.8). Объяснить такую статистику можно не только наличием развитой сети городских скоростных дорог, но и той функциональной ролью, которая отводится разным элементам УДС.

Таблица 2.6

Распределение пробега автомобильного транспорта по разным элементам УДС урбанизированных территорий США [172]

Категории улиц и дорог	Суммарная протяженность			Годовой пробег		
	Суммарная протяженность, миль	Доля в суммарной протяженности, %	Изменения за 1990–2000 гг., %	Годовой пробег, млн. автомобилей-миль	Доля в пробеге, %	Изменения за 1990–2000 гг., %
Федеральная система (Interstate)	13527	1,6	16,2	397,288	23,8	41,3
Другие городские скоростные дороги (Other Freeways/Expressways)	9195	1,1	18,9	178,105	10,7	38,6
Другие важнейшие магистрали (Other Principal Arterials)	53 554	6,2	2,6	401,237	24,1	18,9
Второстепенные магистрали (Major Arterials)	90 301	10,5	0,3	326,855	19,6	37,5
Собирающие улицы и дороги (Collectors)	88 796	10,3	12,8	137,008	8,2	27,5
Местные улицы и дороги (Locals)	603 991	70,3	15,4	237,239	14,2	23,5
Всего	859 364	100	14,8	1 667,732	100	30,6

Таблица 2.7

Статистические данные городов штата Аризона [146]

Категории улиц и дорог	Доля (%) от	
	суммарной протяженности всей сети	суммарного пробега
Важнейшие магистрали (Principal arterial system)	5 – 10	40 – 65
Важнейшие и второстепенные магистрали в совокупности (Principal arterial plus minor arterial street systems)	15 – 25	65 – 80
Собирающие улицы (Collector street system)	5 – 10	5 – 10
Местные улицы (Local street system)	65 – 80	10 – 30

Таблица. 2.8

Статистические данные урбанизированных территорий США в 2000 г. [104]

Города и агломерации	Население, млн. чел.	Доля пробега, приходящаяся на скоростные дороги, %	Средняя суточная интенсивность на фривеях, авт./сут.
Нью-Йорк	17 089	38,4	89 639
Лос-Анджелес	12 384	45,5	193 875
Чикаго	7 702	30,5	101 167
Филадельфия	4 068	31,8	70 457
Сан-Франциско	4 022	53,1	145 461
Даллас – Форт Уэрт (Ft. Worth)	3 746	42,2	82 872
Сиэтл	1 994	46,7	99 474
Мемфис	919	38,3	86 750

Регламентирование на национальном уровне только общих принципов и технических норм проектирования позволяет муниципалитетам разрабатывать классификации, отвечающие их градостроительной политике.

2.2.2. Примеры классификаций улиц и дорог в США и Канаде

Представлялось интересным рассмотреть контрастные примеры – города с разной численностью населения, находящиеся в разных регионах. Так, в табл. 2.9 приведена с некоторыми сокращениями классификация улиц города Форт-Уэрта, входящего в состав агломерации Далласа [193,195]. По совокупной численности населения в 3,7 млн. жителей агломерация соответствует классу городов, к которым действующий российский Градостроительный кодекс относит Москву и Санкт-Петербург. В данном случае не используется категория “собирающие улицы” (collectors), но хорошо прослеживается принцип распределения поездок разной протяженности по элементам УДС. Очевидно, что разработки классификаций для конкретных городов предоставляют большие возможности применять количественные критерии, в частности данные об интенсивности движения.

В качестве примера типичной классификации улиц и дорог рассмотрим город Юджин [79,195] в штате Орегон (рис. 2.3), который по численности населения можно отнести к классу больших городов действующего российского градостроительного кодекса. Следует отметить очень важный показатель, характеризующий состояние организации дорожного движения и оснащенности УДС техническими средствами регулирования. Население Юджина [122] составляет 140 тыс. жителей, при этом количество регулируемых перекрестков достигает 180; таким образом, уровень оснащенности средствами регулирования превышает один светофорный объект на 1000 жителей.

Примером новой классификации улиц и дорог крупного города является “Система классификации дорог – Согласованный текст” (“Road Classification System – A Consolidated Report”) [124,182], принятая в январе 2000 г. в Торонто (табл. 2.10).

Таблица 2.9

Пример классификации улиц и дорог города Форт-Уэрта [195]

Характеристика	Скоростные дороги (Freeways)	Важнейшие региональные магистрали (Principal Regional Arterials)	Главные магистрали (Major Arterials)	Второстепенные магистрали (Minor Arterials)	Жилые улицы (Residential streets)
Длина поездки	Большая	Большая	Средняя	Меньше 1 мили	Меньше 0,5 мили
Суточная интенсивность движения	60 000 – 200 000	30 000 – 45 000	15 000 – 3500	4000 – 20 000	200 – 4000
Расстояние между улицами одной категории, миль	5 – 6	1 – 3	1 – 2	0,5 – 1	NA
Контроль доступа (Access control)	Полный	Частичный	Частичный	Частичный	Отсутствует
Полоса отвода, футы (Right of Way)	400'	110' – 130'	100' – 110'	80"	40' – 60'
Количество полос движения	4 – 8	6	4	4	2

Примечание. NA – критерий не применяется.

При разработке классификации улиц Торонто пришлось учесть ряд несоответствий “Руководства по геометрическим стандартам проектирования дорог Канады – 1986” транспортным потокам этого города. Так, согласно национальному нормативному документу улицы с суточной интенсивностью движения от 10 000 до 12 000 авт./сут. могут быть отнесены к разным категориям: распределяющая улица промышленных/коммерческих территорий, второстепенная магистральная улица, главная магистральная улица, городская дорога (экспрессвэй). В результате было предложено следующее деление (см. табл. 2.10): улицы с суточной интенсивностью движения 2 500 авт./сут. отнесены к местной сети, с интенсивностью до 8 000 авт./сут. – к категории второстепенных магистральных улиц, а с интенсивностью более 20 000 авт./сут. – к категории главных магистральных улиц.

Таблица 2.10

Критерии классификации городских улиц и дорог Торонто (с января 2000 г.)

Характеристика	Местные улицы (Locas)	Собирающие улицы (Collectors)	Второстепенные магистрали (Minor Arterials)	Главные магистрали (Major Arterials)	Городские дороги (Expressways)
1	2	3	4	5	6
Соотношение функций: обслуживание транспортных потоков – обеспечение доступа к прилегающим земельным участкам	Главная функция – обеспечение доступа к прилегающим земельным участкам	Главная функция – обслуживание транспортных потоков. Обеспечение доступа к прилегающим земельным участкам	Главная функция – обслуживание транспортных потоков. Обеспечение доступа к прилегающим земельным участкам контролируется	Главная функция – обслуживание транспортных потоков. Обеспечение доступа к прилегающим земельным участкам допускается в отдельных случаях	Главная функция – обслуживание транспортных потоков. Обеспечение доступа к земельным участкам отсутствует
Типичное значение суточной интенсивности движения (в обе стороны)	≤ 2500	2500 – 8 000	8000 – 20 000	> 20 000	> 40 000
Минимальное количество полос движения, используемое для движения в час пик.	Одна (улицы одностороннего движения) или две	Одна (улицы одностороннего движения) или две	Две	Четыре	Четыре
Категории улиц, которые могут связывать данную категорию улиц	Местные улицы, распределяющие улицы	Местные улицы, распределяющие улицы, магистральные улицы	Распределяющие улицы, магистральные улицы	Распределяющие улицы, магистральные улицы, городские дороги	Главные магистральные улицы, городские дороги
Характеристики потока (организация движения)	Нерегулируемые перекрестки и переходы	Нерегулируемые и регулируемые перекрестки и переходы	Регулируемые перекрестки и переходы	Регулируемые перекрестки и переходы	Непрерывное движение (развязки в разных уровнях)

1	2	3	4	5	6
Скорость движения, км/ч	40 – 50	40 – 50	40 – 60	50 – 60	80 - 100
Размещение пешеходных тротуаров и дорожек	Допускается с одной и на двух сторонах	На обеих сторонах	На обеих сторонах	На обеих сторонах	Движение пешеходов запрещено
Размещение велосипедных дорожек	Устраивается в случае необходимости		Специальная полоса вдоль бортового камня или специальные велосипедные дорожки		Движение велосипедистов запрещено
Общественный транспорт	Обычно не предусматривается	Разрешен	Предпочтителен	Предпочтителен	Только экспрессные маршруты
Суточный пассажиропоток на общественном маршрутном транспорте	Характеристика не применяется	$\leq 1\ 500$	1 500 – 5 000	$> 5\ 000$	Характеристика не применяется
Ограничения движения грузового автомобильного транспорта	Предпочтительно	Применяются	Обычно не вводятся	Обычно не вводятся	Не вводятся
Типичное расстояние между пунктами регулирования движения, м	0 – 150	215 – 400	215 – 400	215 – 400	Характеристика не применяется
Типичная ширина полосы отвода (Right of Way), м	15 – 22	20 – 27	20 – 30	20 – 45	> 45

Под пунктами регулирования движения (traffic control devices) понимаются нерегулируемые и регулируемые перекрестки и пешеходные переходы.

Изменение значений расчетной скорости движения и верхнего ограничения разрешаемой скорости движения на главных магистральных улицах и экспрессвёях, установленных в классификации (см. табл. 2.10), относится к компетенции муниципальных властей округов Торонто. Поэтому только для части главных магистральных улиц установлены расчетные скорости 70–80 км/ч, для остальных – 50–60 км/ч. Для местной сети может вводиться успокоение движения – ограничение скорости 30 км/ч. Таким образом, значения разрешаемой скорости движения классификации улиц и дорог Торонто несколько ниже принятых в СНиПе 2.07.01 –89 расчетных скоростей движения для нового проектирования (см. табл. 2.4) и совпадают со значениями скорости для случая реконструкции. Гораздо большее различие наблюдается при сопоставлении с МГСН 1.01-99 (см. табл. 2.5); для категорий улиц, на которых осуществляется регулирование движения, оно составляет 20 км/ч.

2.2.3. Программы по совершенствованию УДС в США и Канаде

В приведенных в предыдущем параграфе классификациях преобладают критерии, связанные с движением транспорта, но это не означает, что профессиональные интересы специалистов и муниципальных властей США и Канады ограничиваются только транспортными потоками.

В США издан целый ряд специальных актов, предметом которых являются пешеходное движение и передвижения инвалидов:

Americans with Disabilities Act of 1990 (ADA),
Intermodal Surface Transportation Act of 1991 (ISTEA),
Transportation Equality Act of 21th Century.

Первый из этих актов (ADA) формулирует основные требования к организации передвижений инвалидов и посвящен защите прав и интересов людей с ограниченными физическими возможно-

стями. Это послужило причиной революционных изменений в нормах проектирования уличного благоустройства. ISTEА рассмотрел вопросы финансирования коммуникаций для пешеходов и велосипедистов и указал на необходимость проведения на национальном уровне исследования пешеходного и велосипедного движения, которое было выполнено в 1994 г. Третий из этих актов послужил причиной разработки под эгидой Федеральной дорожной администрации целого ряда специальных руководств. Принимаются программы и на уровне штатов, графств и муниципалитетов, что можно проследить на примерах городов, рассмотренных в предыдущем параграфе.

Типичным примером этой новой тенденции является “Закон Торонто о пешеходах” (Toronto Pedestrian Charter) [204], принятый правительством города 21 мая 2002 г. Преамбула муниципального закона гласит: “Передвижение пешком является древнейшим и наиболее универсальным видом передвижений. Всякое индивидуальное передвижение включает движение пешком, поскольку или состоит только из него, или сочетает его с использованием автомобиля или общественного транспорта.”

Документ содержит 11 пунктов, часть которых связана с проектированием. “Закон” объявляет, что необходимо:

разрабатывать дизайн пешеходной среды как на общественных пространствах, так и на частных территориях, отвечающий требованиям пешеходного движения;

создавать и поддерживать инфраструктуру, обеспечивающую безопасность и удобство при движении пешеходов на улицах и при их пересечении;

создавать благоприятную для пешеходов планировку, отдавая в проектировании предпочтение компактной, многофункциональной среде.

Программы по организации движения пешеходов, улучшению благоустройства и дизайна улиц, реабилитации исторических рай-

онов не являются достоянием только крупных городов и агломераций, они принимаются в разных городах, включая малые.

Например, уже упоминавшийся город Юджин на протяжении целого ряда лет осуществлял муниципальные программы, связанные с проектированием УДС, организацией движения и паркования. Документы по развитию города и его зон (City of Eugene Riverfront Park Study 1986, South Bank Conceptual Study 1994, Ferry Street Corridor Conceptual Study 1995, Eugene Growth Management Study 1998) включают положения о пешеходном движении и общественном транспорте; на них акцентируется внимание особенно в последние годы. Так, отчет о проектных предложениях для района рынка (North End Scoping Group Final Report, 1999) содержит среди прочих следующие пункты [122]:

1. Улицы и общественные пространства (Streets and Public Places).

Общественные пространства, создаваемые в районе рынка, будут безопасными и удобными пешеходными коммуникациями, последовательно связывающими территории. Пешеходное пространство должно позволять пешеходам безопасно пересекать бульвар и удобно достигать ближайшие объекты. Там, где это необходимо, будет вводиться успокоение движения. Широкие тротуары, элементы благоустройства улиц, освещение, посадки деревьев должны создавать благоприятную для пешеходов среду, подчеркивать ландшафт улиц, предназначенных для пешеходов, и поддерживать необходимый уровень посещаемости.

2. Общественный транспорт и паркование (Transit and Parking).

Доступный и удобный общественный транспорт в районе рынка будет обеспечен созданием маршрутов автобусов малой вместимости, сочетающихся с масштабом среды и пешеходным движением и работающих с постоянными интервалами. Паркование будет осуществляться на многоярусных стоянках, в том числе под-

земных; наземные стоянки должны быть ликвидированы. Легковой автомобиль будет лишь одним из элементов ландшафта улицы. Пешеходы, велосипедисты и автобусы получают одинаковый с легковым автомобилем приоритет.

Программа развития центрального района до 2020 г. (Downtown Summit: Planning with 2020 Vision, May 20, 1999) формулирует:

“Центральный район должен быть легко доступен и удобен для перемещений при использовании разных видов передвижения. Улицы необходимо проектировать с учетом их активного использования (для коммерции, торговли, отдыха и т.д.) в равной степени как для движения пешеходов и велосипедистов, так и для движения легкового транспорта и автобусов. Обеспечение и улучшение доступности центра должно быть приоритетной задачей муниципального и частного секторов.”

Следует отметить, что аналогичный документ Eugene Downtown Plan 1984 [122] таких положений еще не содержал и только констатировал, что посещаемость городского центра и, следовательно, транспортные нагрузки будут расти.

2.3. Европейские классификации

2.3.1. Критерии классификации городских улиц и дорог, используемые в европейских странах

Анализ европейских классификаций и основных норм проектирования уже проводился “Комитетом по городским территориям” Мировой дорожной ассоциации (PIARC) [179,180], и в рамках программ Европейской комиссии выполнялся специальный проект ARTISTS [99-101].

Координатором проекта ARTISTS являлся университет шведского города Лунда. Кроме этого университета в работе участвова-

ли семнадцать организаций из восьми европейских стран. Хотя целью проекта была разработка концепции “Устойчивых магистральных улиц” (Sustainable Arterial Streets), в нем содержится подробный анализ европейских норм. Естественно, что европейские классификации по сравнению с действующими североамериканскими отличает бóльшее разнообразие классификационных признаков (табл. 2.11 и 2.12).

Сопоставительный анализ классификаций, используемых только в странах-участницах проекта, дал следующие основные результаты:

количество критериев, используемых для разделения улиц и дорог на категории, – 6 (см. табл. 2.11);

количество критериев, используемых выделения некоторых категорий улиц, – 8 (см. табл. 2.12);

число выявленных в классификациях типов улиц и дорог – 55.

В отчете [99], написанном С. Маршаллом, европейские классификации оценены следующим образом:

существующие классификации базируются на транспортных критериях и критериях организации движения, учитывается соотношение функций “обслуживание движения – обслуживание доступа”;

в целом в классификациях слабо представлен общественный пассажирский транспорт. В будущих классификациях должно учитываться движение пешеходов и велосипедистов, они не должны находиться “...на дне иерархии”;

критерии, связанные с городской и природной средой, занимают последние позиции иерархии. В частности, отсутствие такого критерия, как наличие застройки (build frontage function), может приводить к дорожной классификации, а не градостроительной.

Таблица 2.11

**Основные критерии классификации городских улиц и дорог
в странах–участницах проекта ARTISTS [99]**

Критерий	Комментарий	
Систематически используемые характеристики	1. Скорость (Traffic speed)	проектная скорость или верхнее ограничение скорости
	2. Дальность поездки (Trip length)	дальность поездок / корреспонденций, обслуживаемых улицей
	3. Уровень связи (destination status)	между городами или между соседними районами города
	4. Стратегическая роль (Strategic Role)	уровень, значимость элементов УДС города, соединяемых данной улицей (т.е. связь между элементами одного уровня или разных)
	5. Движение / Доступ (Circulation v Access)	улица предназначена для пропуска транспорта (движения) или для обслуживания прилегающей к улице территории (доступа)
	6. Администрация (Administration)	уровень администрации, в компетенции которой находятся улицы данной категории
Частично используемые характеристики	7. Сетевые функции (Network role)	принадлежность к сети магистральных улиц и дорог или к местной сети
	8. Контроль доступа (Access control)	контроль въезда - выезда, т.е. разрешение или запрещение устройства примыканий местных проездов
	9. Интенсивность движения (Traffic volume)	авт./ч, авт./сут.
	10. Виды движения (Transport mode)	автомобили, общественный транспорт, пешеходы и т.д.
	11. Другие пользователи (Other urban users)	наличие/обслуживание пользователей застройки улицы или территории, прилегающей к улице
	12. Окружающая среда (Environment)	устойчивость окружающей среды
	13. Застройка (Built frontage)	наличие застройки по границе улицы
	14. Ширина улицы /дороги (road width)	ширина отвода

Таблица 2.12

Использование критериев классификации городских улиц и дорог в странах–участницах проекта ARTISTS [99]

Критерий классификации	Классификация, принятая в стране или городе												
	Бельгия - функциональная	Бельгия - административная	Германия	Дания 1991, 2002	Дания – Копенгаген (Генеральный план 2001)	Греция	Венгрия	Португалия	Испания	Швеция – Мальмё	Руководство для жилых территорий DV 32	Лондон – муниципалитет	Округ Camden (Лондон)
											Великобритания		
Скорость (Traffic speed)	S,p	p	p	p	S,p	S,p	S,p	S,p	S,p	S,p	p	p	p
Дальность поездки (Trip length)	S,p	p	p	p	p	S,p	p	S,p	S,p	p	p	p	S,p
Уровень связи (destination status)	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	S,p	p	p
Стратегическая роль (Strategic Role)	S,p	p	S,p	S,p	S,p	p	p	S,p	S,p	S,p	p	p	S,p
Движение / Доступ (Circulation v Access)	p	p	S,p	S,p	p	p	p	S,p	S,p	p	p	p	p
Администрация (Administration)	p	S,p	p	p	p	p	p	p	p	p	S,p	S,p	S,p
Сетевые функции (Network role)	p	p	p	p	p	p	p	S,p	S,p	p	p	p	p
Контроль доступа (Access control)	p	p	p	p	p	S,p	p	S,p	S,p	S,p	p	p	p
Интенсивность движения (Traffic volume))	p	p	p	p	p	S,p	S,p	S,p	S,p	p	p	p	p
Виды движения (Transport mode)	S,p	p	p	p	S,p	p	S,p	S,p	p	p	S,p	p	S,p
Другие пользователи (Other urban users)	S,p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	S,p	p	p
Окружающая среда (Environment)	p	p	p	p	S,p	p	S,p	p	p	p	p	p	p
Застройка (Built frontage)	p	p	S,p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p
Ширина улицы/дороги (road width)	p	p	p	p	p	p	p	S,p	S,p	p	p	p	p

Примечание. S – используется в классификации для разделения улиц на категории;
 p – используется в классификации только как признак определенных категорий улиц.

Для новой классификации участники проекта предложили использовать кроме основных 14 критериев дополнительные, связанные с архитектурно-планировочными характеристиками: название улицы; поперечный профиль улицы; форма застройки; озеленение; характер среды улицы; характер городской среды; пространственная структура; визуальная ось; пространственная интеграция; морфология городской среды; структурная роль улицы; роль улицы как коммуникационного коридора; роль улицы на уровне городского района; использование прилегающих территорий и фронта застройки; наличие центров и т.д. Общее количество критериев достигло 39, однако затем подавляющая часть из них не была включена в предлагаемую в проекте классификацию [99].

2.3.2. Классификации городских улиц и дорог в Великобритании

Причиной внимания к английским классификациям и нормированию скорости движения являются традиционно высокие даже по европейским стандартам показатели безопасности движения этой страны. Отличительной особенностью английских дорожных классификаций является рациональность. При их разработке и утверждении городами и графствами, в компетенции местного законодательства которых находятся правила застройки, акцентируется внимание на категориях улиц, наиболее характерных и важных для данного муниципалитета. Это можно увидеть, сопоставляя классификации Большого Лондона и округа Сити с классификациями малых городов и графств (табл. 2.13 – 2.16).

Классификация городских улиц и дорог Большого Лондона, утвержденная “Стратегическим руководством по планированию Лондона” (Strategic Guidance for London Planning Authorities PPG13) [183], очень проста и выделяет всего три класса связей (см. табл. 2.13).

“Стратегическим руководство ” указывает, что присвоение категорий должно основываться на функциях, которые выполняют дороги при обслуживании движения транспорта и обеспечении доступа к прилегающим территориям. Вместе с тем применяются и количественные критерии. В классификации, используемой в Лондоне, для причисления улицы к одному из классов связей необходимо, чтобы она имела определенное значение интенсивности движения автобусов и грузовых автомобилей.

Стратегические маршруты (Strategic Routes) включают в себя городские скоростные дороги (motorways), имеющие информационно-указательные знаки голубого цвета, важнейшие маршруты (Primary Routs), имеющие информационно-указательные знаки зеленого цвета, и приоритетные красные маршруты (Red Routs). Так как стратегические маршруты находятся в ведении мэрии Большого Лондона, их часто обозначают аббревиатурой TLRN. Термином “красные маршруты” обозначаются улицы с особым режимом движения, на которых в будние дни с 7.00 до 19.00 запрещаются остановки и паркование, что указывается сплошной красной разметкой вдоль бортовых камней. В случае необходимости круглосуточного запрета на остановки и паркование наносится двойная красная линия. Согласно оценкам [125] внедрение красных маршрутов в Лондоне позволило на 6,4 % снизить количество ДТП, на 20 % повысить скорость сообщения транспортных потоков и на 10% – скорость сообщения автобусных маршрутов.

Условием для отнесения магистрали к стратегическим маршрутам является превышение двух из трех указанных значений суточной интенсивности движения:

- 300 автобусов городского и междугороднего сообщения;
- 3000 автомобилей малой грузоподъемности;
- 1000 автомобилей средней и большой грузоподъемности.

Стратегические маршруты в пределах Большого Лондона составляют 5% суммарной протяженности УДС и обслуживают 30 % пробега; кроме того, совместно со скоростными дорогами обслуживают около 50 % пробега тяжелых грузовых автомобилей.

Распределительные дороги Лондона (London Distributor Roads) должны обслуживать поездки между округами и осуществлять связь с графствами, граничащими с территорией Большого Лондона. Хотя с распределительных дорог обеспечивается доступ к прилегающим территориям, обслуживание движения внутри города является их главной функцией. Распределительные дороги составляют 10 % суммарной протяженности УДС и обслуживают 35 % пробега в границах города. Преобладающую часть “Сети приоритетного движения автобусов” (London Bus Priority Network) составляют дороги этой категории. Для отнесения магистрали к распределительным дорогам Лондона необходимо превышение двух из трех значений суточной интенсивности движения:

- 100 автобусов городского и междугороднего сообщения;
- 1000 автомобилей малой грузоподъемности;
- 300 автомобилей средней и большой грузоподъемности.

Местные распределительные и подъездные дороги в округах (Local Distributor and Access Roads). Для отнесения улицы к распределительным дорогам округов (Borough Local Distributor Roads) необходимо превышение двух из трех указанных значений суточной интенсивности движения:

- 30 автобусов городского и междугороднего сообщения;
- 300 автомобилей малой грузоподъемности;
- 1000 автомобилей средней и большой грузоподъемности.

На местных улицах (Access Roads), не включаемых в классификацию, разрешается применять успокоение движения, пешеходное движение имеет приоритет.

Таблица 2.13

Классификация дорог Большого Лондона [183]

Класс связи (Tier)	Описание, существующий статус	Типичное ограничение скорости, миль/ч	Суточная интенсивность, тыс.авт.	Основные транспортные функции	Контроль доступа (въезда – выезда) на дорогу (Access Control)	Особые виды использования дороги	Учет требований пользователей территорий
1	2	3	4	5	6	7	8
Стратегические маршруты (Strategic routes)	Дороги (Motorways) и другие проезжие части с разделительной полосой, предназначенные для движения с высокой скоростью. Доступ ограничен	70	60-150	Привлечение и обслуживание транзитного движения на большие расстояния в Лондоне, в частности грузового и общественного транспорта	Запрещение на устройство новых въездов/выездов и роста движения на существующих въездах/выездах	Исключается движение пешеходов и велосипедистов; там, где необходимо, предусматриваются изолированные устройства для их движения	Стандарты проектирования, эксплуатации подчинены требованиям транспорта *
	Другие главные маршруты движения (проезжие части без разделительной полосы) включая отнесенные к красным (приоритетным) маршрутам	40/60 в центре города 30/40	25-70	Обеспечение Лондона сетью магистральных связей Связь Лондона с национальной дорожной сетью	Допускается примыкание связей следующего уровня, присоединение связей самого низшего уровня допускается при специальном согласовании	В случаях, когда дорога имеет меньшее значение, для обслуживания поездок на большие расстояния допускаются остановки, разгрузка/погрузка вдоль бортового камня, но приоритет имеет обеспечение сквозного движения	Ограничения на проведение дорожных работ, желательное устройство объездов по дорогам низших категорий при проведении работ

1	2	3	4	5	6	7	8
Распределительные дороги Лондона London Distributor Roads	Дороги класса А, не отнесенные к стратегическим маршрутам	30/40	20-40	Должны : привлекать и обслуживать транспорт, пересекающий округа; связывать центры Лондона между собой и с дорожной сетью национального и регионального уровня; привлекать движение грузового транспорта с распределительных дорог округов и местных улиц; обеспечивать удобные условия для движения автобусов	Новая застройка не должна влиять на транспортные характеристики дороги	<p>Мероприятия по улучшению условий движения автобусов и велосипедистов. Сеть приоритетных автобусных маршрутов Лондона основывается на этой категории дорог</p> <p>Разрешается паркование, разгрузка/погрузка вдоль бортового камня не должны влиять на пропускную способность пересечений</p>	<p>Стандарты проектирования, эксплуатации подчинены требованиям транспорта</p> <p>Ограничение паркования в пиковые часы</p>
	Остальные дороги класса А, не отнесенные к стратегическим маршрутам	30/40	10-30	Должны распределять движение внутри округов Лондона. При необходимости имеют связь с распределительными дорогами соседних округов			
Местные распределительные и подъездные дороги	Распределительные дороги округов (Borough Local Distributor Roads), отнесенные к классам В и С (typically Classified B or C roads)	30	5-25	Должны обслуживать границащие с дорогой улицы, соответствовать местному благоустройству	<p>Управление доступом устанавливается на местном уровне</p> <p>Минимальные ограничения на развитие прилегающих территорий. В случае создания крупных объектов предпочтительна организация доступа на распределительные дороги округов</p>	<p>Допускается приоритетное движение маршрутных автобусов. Перегоны дорог могут включать в велосипедную сеть Лондона. Разрешается паркование, разгрузка/погрузка вдоль бортового камня</p>	<p>Транспортные стандарты применяются в отдельных случаях</p>
	Местные подъездные улицы, не включаемые в классификацию (Local access roads typically unclassified roads)	20/30	Меньше 5				

Всего в ведении округов Большого Лондона (32 округа и Сити) находятся 13000 км улиц и дорог, из которых 1200 км отнесены к главным дорогам (Principal Roads) и обозначаются на картах буквой А. На группу дорог А приходится около 30 % пробега автомобильного транспорта в границах Большого Лондона. Распределительные дороги округов, суммарная протяженность которых достигает 1600 км, обозначаются буквами В или С. Особенности этой сети хорошо прослеживаются на графических материалах (рис. 2.4), многочисленные топонимы, включающие road или way, объясняют терминологию классификации. Большинство лондонских магистралей – эволюция старинных дорог, поглощенных городом в ходе его развития.

В 2000 г. в Лондоне погибло 284 человека и 5833 получили серьезные травмы при суммарном пробеге 30 млрд. авт.-км [125]. Таким образом, относительный уровень аварийности одного из крупнейших городов мира составлял 0,95 погибших на 100 млн. авт.-км пробега. К примеру, в 2000 г. в США средний показатель аварийности при совместном учете сети загородных дорог и сети урбанизированных территорий составил 1,52 погибших на 100 млн. авт.-миль (т.е. 0,94 погибших на 100 млн. авт.-км) [172]. Сопоставление статистики ДТП Лондона и двух крупнейших российских городов не требует комментариев – по официальным данным ГИБДД РФ в 2002 г. в Москве погибло 1259 человек, а в Санкт-Петербурге – 685.

Низкие показатели аварийности УДС Лондона можно объяснить в том числе введенными ограничениями скорости (см. табл. 2.13). Ограничения скорости 20–30 миль/ч для местных улиц существенно отличаются от принятых в нашей стране. В частности, в одной из своих статей А.Б. Черепанов [68] высказывает мнение, что расчетная скорость 60 км/ч, принятая в МГСН 1.01-99 для улиц жилой застройки, неоправданно завышена по отношению к СНиПу 2.07.01–89.

Пример Лондона дает основания считать, что в российские нормы и классификации можно внести ряд дополнительных положений: регламентацию уличного паркования, регламентацию обслуживания территорий (т.е. детальные правила устройства и размещения примыканий местных проездов на магистральных улицах и дорогах), условия введения приоритетного движения маршрутного пассажирского транспорта, условия введения успокоения движения. В первую очередь эти дополнения необходимо вводить в классификации и нормы проектирования улиц крупнейших и сверхкрупных городов, УДС которых могут включать несколько разных категорий магистральных дорог и магистральных улиц городского значения.

“План развития Сити” (City of London Unitary Development Plan 2002) разработан и утвержден примерно в то же время, что и новый генеральный план Москвы и нормы проектирования МГСН 1.01- 99, в которых особое внимание уделено историческому центру. Это позволяет сопоставлять их как документы одного поколения.

Классификация, принятая в округе Сити (см. табл. 2.14) [96], имеет незначительные отличия от “лондонской” (см. табл. 2.13). Снижение объемов транзитного движения в округе объявлено одной из стратегических задач, но полное его исключение не рассматривалось, так как на набережной Сити находится несколько мостов через Темзу. В “Плане развития Сити” сформулированы следующие требования к функционированию УДС (п.9.8 гл.9): “Поддерживать иерархию дорог и управление движением, сосредотачивающих транзитное движение на важнейших маршрутах и улучшающих условия местного движения и состояние окружающей среды”. В соответствии с этим предложена сеть магистральных улиц (рис. 2.5, а). Так называемые стратегические маршруты на территории Сити практически отсутствуют.

Функции улиц Сити [96]

Класс связей (Tier)	Категории дорог Сити
Tier – 1	Стратегические дороги (Strategic Roads) должны быть главным классом дорог, используемых для движения всех видов автомобильного транспорта, въезжающего в Лондон и выезжающего из него или передвигающегося в нем на расстояние 10 км и более. Обеспечивают связь с национальной дорожной сетью. Транспортные функции являются доминирующими
Tier – 2	Распределительные дороги Лондона (London Distributor Roads) должны привлекать и обслуживать поездки между округами и движение через территорию округов. Транспортные функции являются доминирующими, но при этом должно осуществляться обслуживание пользователей прилегающих территорий
Tier – 3	Распределительные дороги округов (Borough Distributor Roads) обслуживают поездки внутри округа и с соседними округами. Должны эффективно обеспечивать движения транспорта и предоставлять все виды обслуживания пользователей прилегающих территорий
	<p>Местные распределительные дороги (Local Distributor Roads) обеспечивают местные поездки в границах округа, начинающиеся (заканчивающиеся) в Сити; исключением является движение автобусов и велосипедистов, которое может быть транзитным. Функции обслуживания местных пользователей территории являются доминирующими по отношению к транспортным</p> <p>Местные подъездные дороги (Local Access Roads) обслуживают местных пользователей территории и только связанное с этим местное движение. В отдельных случаях допускается устройство местных автобусных маршрутов</p>

В настоящее время 90% поездок в Сити по трудовым целям осуществляется на общественном транспорте [96]. Стратегия развития предусматривает увеличение пропускной сети общественного транспорта, в частности дальнейшее развитие сети улиц с приоритетным движением автобусов (рис. 2.6).

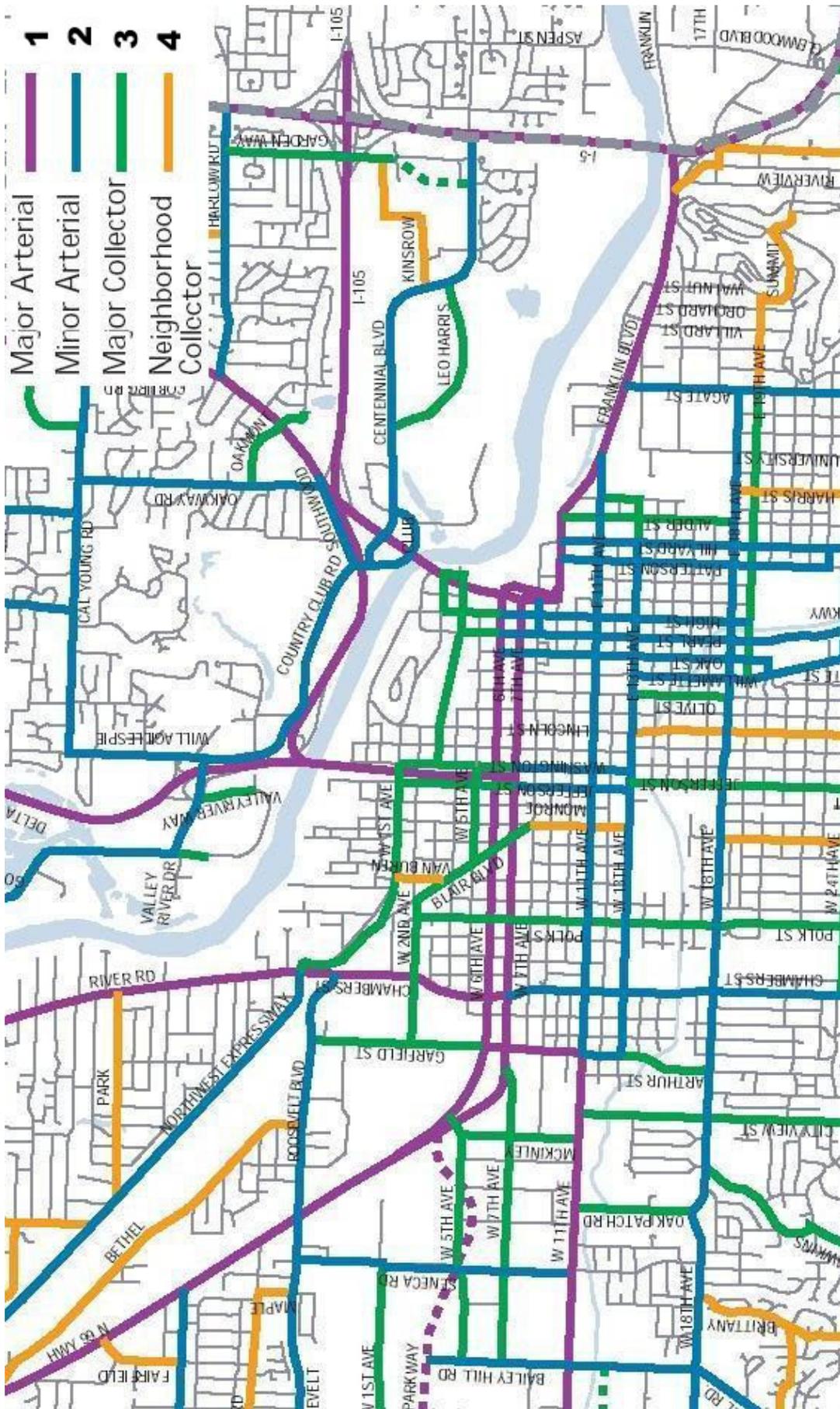


Рис. 2.3. Пример УДС города Юджин в штате Орегон [122]: 1,2 – соответственно главные и второстепенные магистральные улицы; 3,4 – главные собирающие и местные собирающие улицы

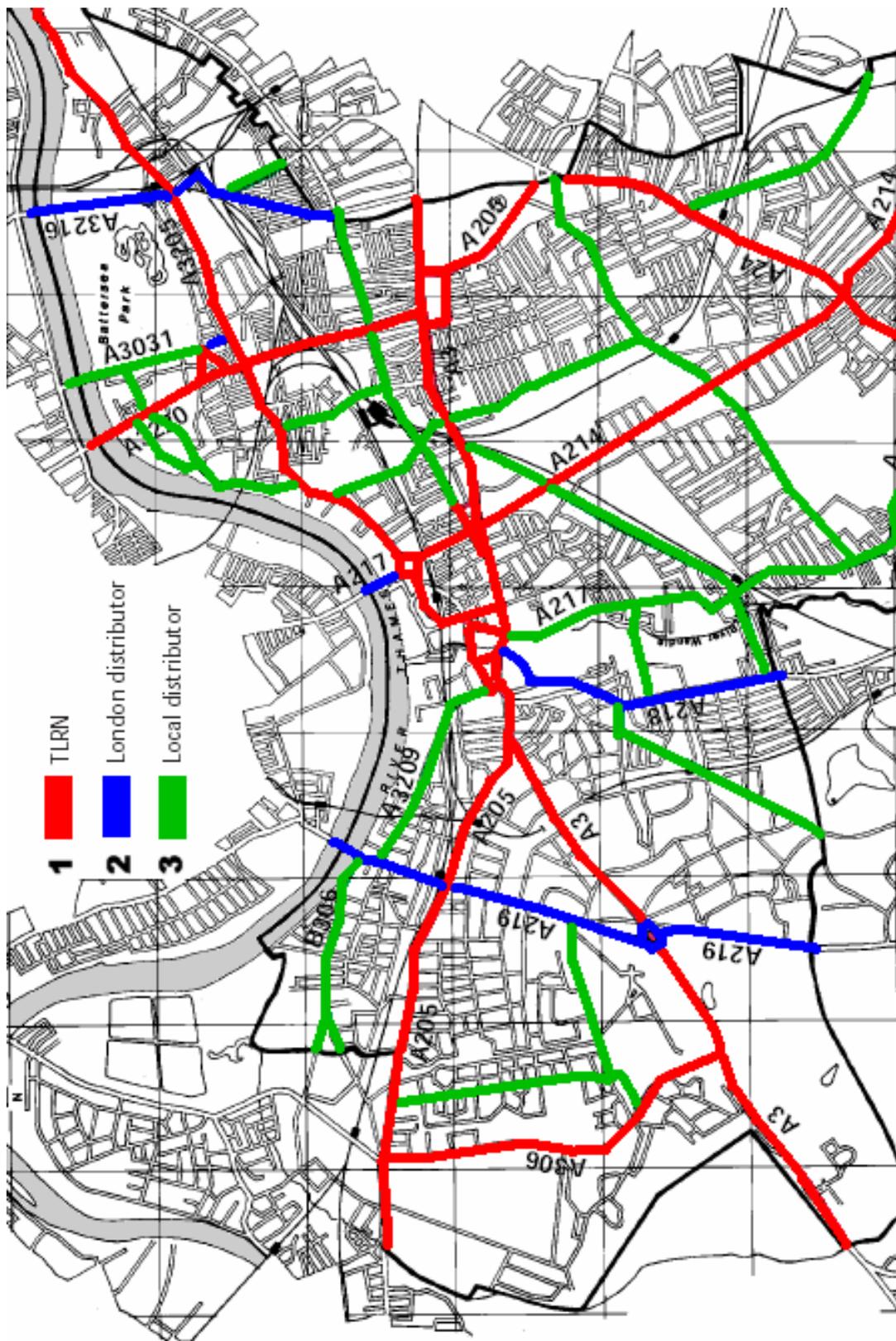
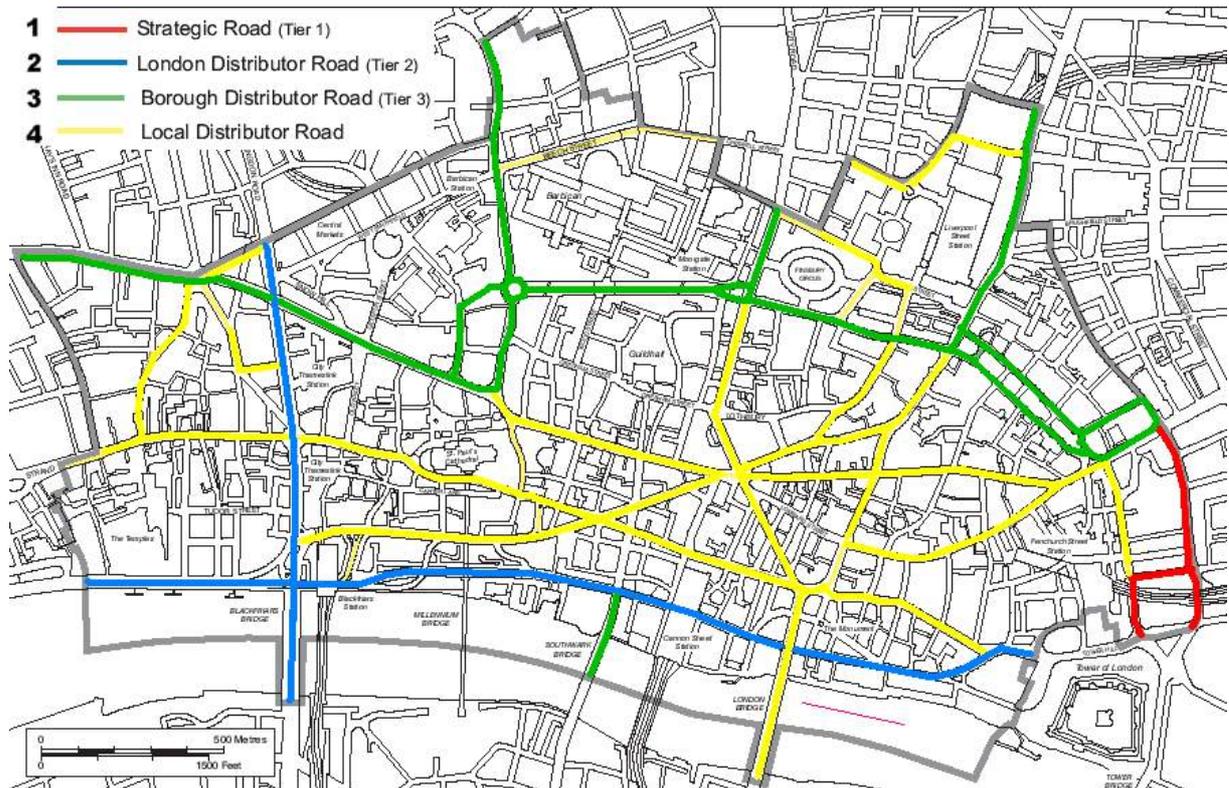


Рис. 2.4. Классификация улиц и дорог Большого Лондона на территории округа Wandsworth (фрагмент) [153]: 1 – стратегические маршруты; 2 – распределительные дороги Лондона; 3 – местные распределительные дороги (округа)

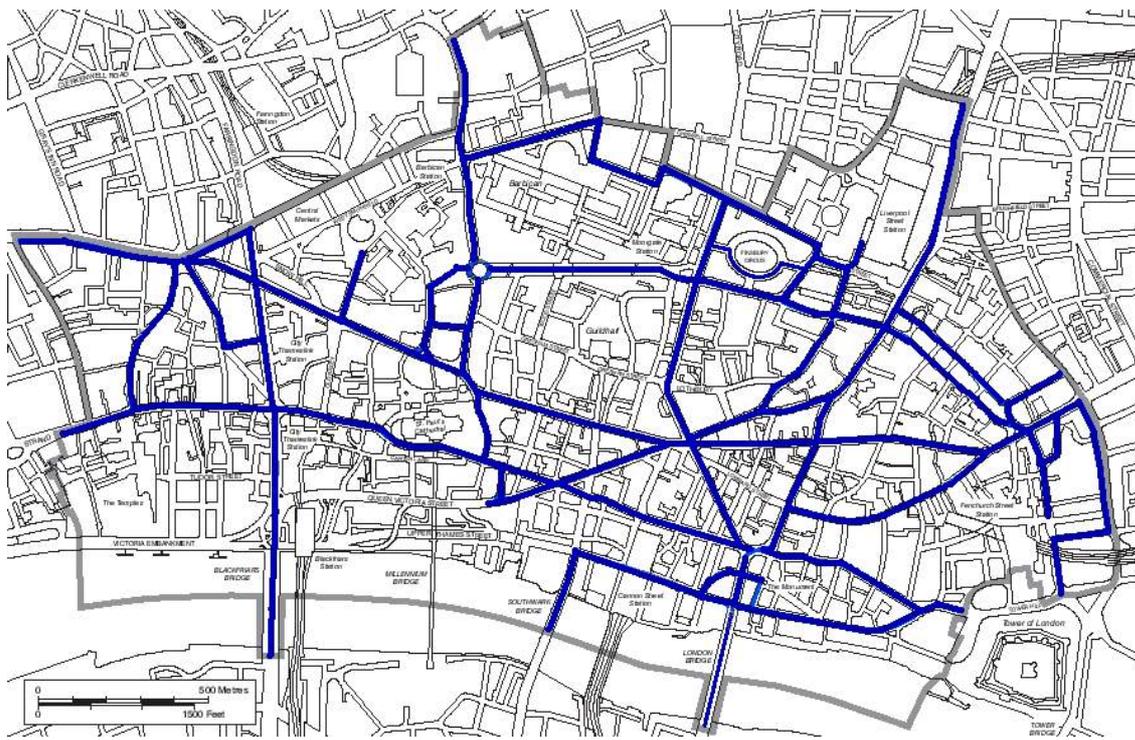


a)



b)

Рис. 2.5. Улицы Сити: *a* – предложения по развитию УДС [96], *б* – Флит-Стрит, относящаяся к категории “распределительные дороги округа”: 1 – стратегические маршруты; 2 – распределительные дороги Лондона; 3 – распределительные дороги округа; 4 – местные распределительные дороги



a)



b)

Рис. 2.6. Улицы Сити с приоритетным движением автобусов: *a* – предложения по развитию сети улиц с приоритетным движением автобусов [96]; *б* – полоса движения автобусов с направлением, противоположным основному транспортному потоку

Классификации дорог Лондона, и особенно Сити, не рассматривают подробно местные улицы, находящиеся в ведении его округов. Это не означает, что в Британии не уделяют внимания местной сети. Достаточно привести несколько примеров классификаций улиц и дорог малых городов и населенных пунктов (см. табл. 2.15 – 2.17 и рис. 2.7):

“Указания по проектированию дорог” (Highway Design Guide) города Йорк (приведены на сайте <http://www.yorktraffic.com/hdg>);

“Указания по проектированию Корнуолла” (Cornwall Design Guide) графства Корнуолл (приведены на сайте <http://www.cornwall.gov.uk/Environment/design/Section2/des2.htm>);

“Указания по проектированию дорог жилых территорий” (Design Guide for Residential Roads) графства Нортхемптоншир (приведены на сайте <http://www2.northamptonshire.gov.uk/council/environment/roads/default.asp>).

Основой для классификаций и норм графств и муниципалитетов так называемых “Местных руководств по проектированию” (Local Design Guides) является документ “Дороги и пешеходные пути жилых территорий” (Design Bulletin 32 “Residential Roads and Footpaths”, сокращенно DB 32). Современная британская градостроительная и проектная политика учитывает достигнутый в малых городах и сельской местности уровень автомобилизации, при котором от 60 до 80 % домовладельцев имеют один или несколько легковых автомобилей. В этой связи особое значение придается безопасности движения, чем обусловлены значения расчетной скорости 20 миль/ч (32 км/ч) и 30 миль/ч (48 км/ч).

Рассмотренные классификации дорог малых городов и графств Англии интересны в качестве примера построения местных УДС для условий индивидуальной застройки, сочетающейся с высоким уровнем автомобилизации.

Таблица 2.15

Примеры классификаций дорог жилых районов малых городов и графств Великобритании

Указания по проектированию дорог (Highway Design Guide), город Йорк *	Указания по проектированию Корнуолла (Cornwall Design Guide), графство Корнуолл **	Указания по проектированию жилых улиц (Design Guide for Residential Roads), графство Нортхемптоншир ***
1	2	3
<p>Местные распределительные дороги (Local Distributors)</p> <p>Обслуживают жилые массивы с количеством домов более 400. Интенсивность движения 500 авт./сут.</p>	<p>Распределительные дороги жилых территорий (Residential Distributor Roads)</p> <p>Устраиваются в больших жилых массивах. Связывают дороги высоких категорий с местной сетью. Допускаются автобусные маршруты</p>	<p>Местные распределительные дороги (Local Distributors)</p> <p>Обслуживает свыше 400 домов</p>
<p>Соединяющие дороги (Transition Roads)</p> <p>Используются в тех случаях, когда нецелесообразно применять местные распределительные дороги. Обслуживают жилые массивы с количеством домов более 100</p>	<p>В классификации отсутствуют</p>	<p>Соединяющие дороги (Linked Access Collectors)</p> <p>Обслуживают 200 – 400 домов</p>
<p>Подъездные дороги жилой территории (Residential Access Roads):</p> <p>Главные подъездные дороги (Major Access Roads)</p> <p>Обслуживают 100 – 400 домов</p>	<p>Подъездные дороги (Access Roads)</p> <p>Главные подъездные дороги (Major Access Roads)</p> <p>Обслуживают до 300 домов. Связывают распределительные дороги жилых территорий застройкой</p>	<p>Подъездные дороги (Access Collectors)</p> <p>Главные подъездные дороги (Major Access Collectors)</p> <p>Обслуживают 60 – 200 домов</p>
<p>Второстепенные подъездные дороги (Mainor Access Roads)</p> <p>Обслуживают до 100 домов. Длина тупика не должна превышать 100 м</p>	<p>Второстепенные подъездные дороги (Mainor Access Roads)</p> <p>Тупиковые длиной не более 100 м, обслуживают до 25 домов. Петлевые длиной не более 300 м, обслуживают до 100 домов</p>	<p>Второстепенные подъездные дороги (Mainor Access Collectors)</p> <p>Обслуживают 21 – 60 домов</p>

1	2	3
Общие проезды (Shared Surface Roads):	Общие проезды (Shared Surface Roads)	Подъезды к домам
Кольцевые и тупиковые проезды (Informal Shared Surfaces) Кольцевые обслуживают не более 50 домов Тупиковые обслуживают не более 25 домов	Проезды (Accessways) Обслуживают до 15 домов, длина не должна превышать 60 м. Ширина проезжей части 4,5 – 6 м	Проезды (Accessways) Обслуживают от 6 до 20 домов
Площадки для паркования (Access Courts)	Застроенные по периметру дворы (Mew Courts) Обеспечивают подъезд и паркование у группы домов. Обслуживают до 15 домов	Подездные площадки (Access Areas) Обслуживают от 6 до 12 домов
Второстепенные проезды (Minor Accessways) Обслуживают не более 5 домов. Длина не должна превышать 25 м	Площадки у групп домов (Housing Squares) Обеспечивают подъезд и паркование у группы домов. Обслуживают до 15 домов	Дворы или застроенные по периметру дворы (Courtyard or Mews) Обслуживают от 6 до 12 домов
Частные проезды (Private Drives) Длина не должна превышать 25 м: Проезды к группе домов (от 2 до 5) (SHARED PRIVATE DRIVE) Проезд к одному дому (SINGLE PRIVATE DRIVE)	В классификации отсутствуют	Частные проезды (Private Drives) Длина не должна превышать 45 м Проезды к группе домов (от 2 до 5) (SHARED PRIVATE DRIVE) Проезд к одному дому (SINGLE PRIVATE DRIVE)

* Highway Design Guide <http://www.yorktraffic.com/hdg>.

** Cornwall Design Guide <http://www.cornwall.gov.uk/Environment/design/Section2/des2.htm>.

*** Design Guide for Residential Roads <http://www2.northamptonshire.gov.uk/council/environ/roads/default.asp>.

Таблица 2.16

Основные нормы проектирования дорог жилых территорий г. Йорк (Великобритания) [119]

Категория дороги	Минимальная ширина проезжей части, м	Минимальный радиус кривой в плане, м	Минимальная ширина тротуара, м	Минимальная ширина обочины, м	Расчетная скорость движения для определения видимости, миль/ч	Максимальный уклон, %	Угол примыкания или пересечения, град.	Минимальное расстояние между примыканиями к дороге, м	
								с одной стороны	с разных сторон
Местная распределительная дорога (Local Distributor)	6,5*	60	2 x 2,0**	2 x 2,0	30	6	90	60	35
Соединяющая дорога (Transition Road)	6,0	60	2 x 2,0**		30	6	90	60	35
Подъездная дорога жилой территории (Residential Access Roads): главная (Major) второстепенная (Mainor)	5,5	20 ³	2 x 2,0**	N/A****	20/30	7	90	30	15
	5,5	20	2 x 2,0**	N/A	20	7	90±10	N/A	N/A
Общие проезды (Shared Surface Roads): петлевые и тупиковые (Informal Shared Surfaces) площадки для парковки (Access Courts) второстепенные проезды (Minor Accessway)	4,5 - 6,5	10	N/A	2 x 2,0	<20	10	90±10	N/A	N/A
	6,5***	10	N/A		<20	10	90±10	N/A	N/A
	4,5	10	N/A	1 x 2,0	<20	10	90±10	N/A	N/A

* При необходимости, например при движении грузового транспорта, ширина проезжей части может быть увеличена до 7,3 м.

** Ширина тротуаров может изменяться, например из соображений ландшафтного проектирования.

*** Включая техническую полосу шириной 2 м.

****N/A – критерий не применяется.

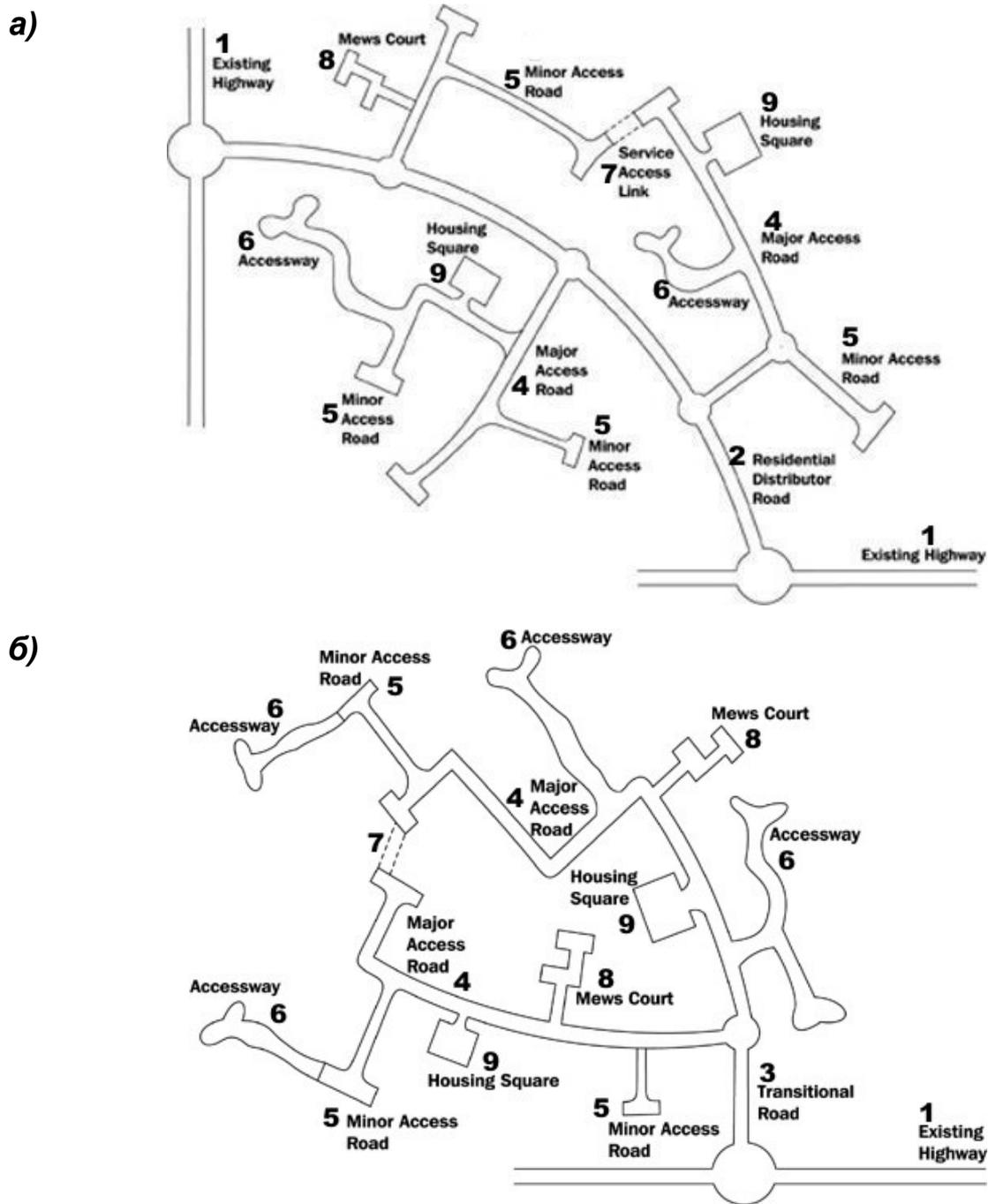
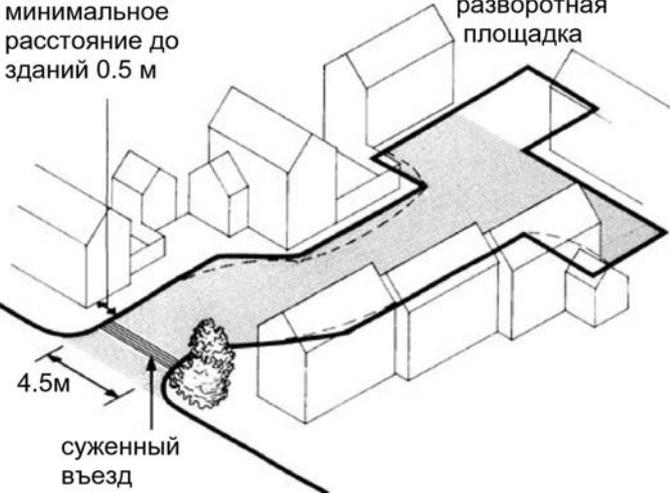


Рис. 2.7. Принцип построения местных улично-дорожных сетей жилых территорий графства Корнуэлл (<http://www.cornwall.gov.uk/Environment/design/figs>): *а* – с использованием распределительной дороги, *б* – с использованием соединяющей дороги: 1 – внешняя дорога; 2 – распределительная дорога; 3 – соединяющая дорога; 4 – главная подъездная дорога; 5 – второстепенная подъездная дорога; 6 – проезд; 7 – технический проезд (пожарные, аварийные службы); 8 – застроенные по периметру дворы; 9 – площадки у групп зданий

Таблица 2.17

Элементы местной УДС в руководстве по проектированию Корнуолла (к табл. 2.16 и рис. 2.7)

Элемент УДС	Компоновка дворов и площадей
<p>Застроенные по периметру дворы (Mew Courts)</p> <p>Обеспечивают подъезд и паркование у группы домов. Обслуживают до 15 домов</p>	 <p>минимальное расстояние до зданий 0.5 м</p> <p>разворотная площадка</p> <p>4.5м</p> <p>суженный въезд</p>
<p>Площадки у групп домов (Housing Squares)</p> <p>Обеспечивают подъезд и паркование у группы домов. Обслуживают до 15 домов</p>	 <p>парковка</p> <p>4.8м</p> <p>2.4м</p> <p>6.0м</p> <p>1.0м</p> <p>4.5м</p>

Английский опыт разработки норм проектирования местных улиц может найти соответствующее применение и в нашей стране, так как жилые массивы с принципиально новым типом застройки – коттеджами – стали российской реалией. Население таких жилых образований отличается высоким уровнем автомобилизации. Однако в Российской Федерации пока единственный нормативный документ (МГСН 1.01- 99) прореагировал на это явление. В частности, для условий застройки коттеджами нормами Москвы предусматривается уровень автомобилизации 700 авт./1000 жителей.

2.4. Предложения по развитию классификации городских улиц и дорог

2.4.1. Североамериканские альтернативные классификации городских улиц и дорог

Дизайн пространства улиц во многом определяет облик жилых районов и позволяет создать их индивидуальный образ. Эффективность – главная причина, по которой проектирование местной УДС стали сводить к двум типам трассирования: “петли” и “тупики” (loops and cul-de-sacs). Такие приемы трассирования позволяют на 16–25 % сократить территорию улиц, т.е. дают более компактные планировочные решения, чем при “традиционной решетке” улиц. Кроме того, “петли” и “тупики” обеспечивают хороший доступ к индивидуальной застройке при высокой безопасности движения, так как исключают транзит. В результате такой стиль проектирования получил популярность в профессиональной среде.

К недостаткам указанной сети улиц и проездов относят резко ухудшающуюся пешеходную доступность. Достоинствами “традиционной решетки”, являются удобство пешеходного движения и легкость ориентации в пространстве.

Критика планировочных решений, основанных на “петлях” и “тупиках”, инициирована в первую очередь архитекторами и сводится к следующим положениям [108,133,138,149,150,161,162]:

бесконечное тиражирование одинаковых местных УДС приводит к однообразию жилых районов и существенно снижает эстетические качества проектов;

плохая пешеходная доступность, чрезмерная зависимость населения от автомобиля.

В первой главе уже отмечалось, что в США до 25 % всех передвижений совершается на расстояние меньше одной мили, при этом 75 % из них – на автомобиле. В исследованиях, выполнявшихся Американским институтом архитекторов (AIA), департаментами

провинции Онтарио, агломерации Портленда (штат Орегон), региона Гамильтон-Вентворс (Region Hamilton-Wentworth) [112], уделено большое внимание пешеходному движению; при этом поддерживается идея многофункциональных улиц и предлагается ряд новых классификаций улиц и дорог, получивших название альтернативных [112].

В классификации, предложенной АИА, насчитывается десять категорий транспортных и пешеходных улиц, среди которых следует отметить бульвары. Под бульварами понимаются улицы, обслуживающие поездки на дальние расстояния с умеренной скоростью движения, при этом разрешается паркование, устраиваются тротуары и зеленые насаждения.

Бульвар как категория улиц введен и в классификациях провинции Онтарио и г. Портленд (штат Орегон) [112]. В первом случае бульвар определяется как широкая улица со смешанными функциями, насыщенная объектами тяготения, с зелеными посадками, включая разделительные полосы. Классификация, разработанная для Портленда, содержит всего пять категорий улиц и дорог. При этом улицы рассматриваются как многофункциональные и обслуживают разное движение, включая пешеходное. Транзитные магистрали (throughways) и дороги имеют исключительно транспортные функции. Бульвары получили целый набор признаков: размещение главных городских центров, движение общественного транспорта, пешеходов, баланс разных транспортных функций, связанных с обслуживанием интенсивно используемых территорий.

В классификации г. Гамильтона [112] одними из основных признаков являются характер и интенсивность использования прилегающих территорий. Классификация имеет много схожих положений с нормами Москвы (МГСН 1.01- 99). Так, например, функциональные признаки и описание магистральных (mobility streets) и традиционных улиц (traditional streets) во многом совпадают с магистралями II класса и магистральными улицами районного значе-

ния центра Москвы, но в канадском документе расчетные скорости значительно ниже, соответственно 50 – 60 и 30 – 40 км/ч.

2.4.2. Классификации городских улиц и дорог Западной Австралии

В градостроительных публикациях [85,161,162,175] наряду с терминами “устойчивое развитие”, “устойчивая среда” стали часто использоваться такие термины, как liveable neighborhood, liveable communities (что в буквальном смысле означает “удобное для жизни окружение”), liveable streets (“удобные для жизни улицы”) и т.д. При обсуждении дальнейшего развития современного градостроительства предметом критики часто является сложившаяся практика проектирования УДС жилых территорий.

В настоящее время термин Liveable Nighborhoods (далее по тексту “комфортная среда”) превратился из предмета дискуссий в объект реальной программы. Комфортная среда объявлена официальной градостроительной политикой Комиссией планирования штата Западная Австралия (Western Australian Planning Commission); публично ее концепция была представлена в феврале 2001 г. [161,162].

Помимо таких задач, как создание удобной среды проживания и привлекательных общественных пространств, сохранение окружающей среды (табл. 2.18), причинами возникновения концепции были и экономические факторы [161,162]. В последние десятилетия в Западной Австралии (прежде всего в столице штата – Перте) сфера услуг создала 95 % новых рабочих мест. На малый бизнес приходится 97 % всех новых фирм, при этом доля предприятий, использующих надомную работу, составляет 21 %. В соответствии с прогнозами к 2010 г. две трети работающих составят частично занятые. Поскольку места приложения труда будут находиться близко к местам проживания, передвижения по бытовым целям (покуп-

ки, сервис) должны будут совершаться на небольшие расстояния. Это позволяет предположить, что изменится структура подвижности населения: произойдет рост доли пешеходных передвижений по всем целям.

Таблица 2.18

Сопоставление характеристик обычного проектирования и концепции “комфортной среды”, предложенной WAPC [162]

Характеристики обычного проектирования (Conventional Planning)	Характеристики проектирования “комфортной среды” (Liaveable Neighbourhoods)
Границы межмагистральных территорий формируются сетью магистральных улиц	Планировочная структура – кластеры, формируемые на основе пешеходной доступности, размещаются вдоль транспортных коридоров
Строгая иерархическая структура УДС, низшим звеном которой являются тупиковые местные проезды (culs-de-sac)	Взаимоувязанная система улиц, образующая подчиненную особенностям района УДС, с качественно спроектированными общественными пространствами в виде фокусов массового тяготения
Трассирование в плане и проектирование выполняются в соответствии с дорожными нормами и нормами застройки	Трассирование в плане, проектирование должны обеспечивать разнообразие земельных участков и выбора типа застройки, создавать благоприятные условия для размещения различных функций в пределах данной площадки с учетом местного контекста
Планировочные решения характеризуются большими территориями или зонами, используемыми только для какой-то одной функции	Функциональное использование и размещение центров обслуживания, интегрируемых с жилой застройкой
Ограниченное внимание интегрированию среды (что означает проектирование дорог преимущественно для автомобильного движения)	Улицы проектируются исходя из требований обеспечения комфортных условий для пешеходов и велосипедистов и функций использования прилегающих территорий

Таблица 2.19

Классификация улиц, предложенная градостроительной комиссией Западной Австралии (WAPC), и функциональная классификация дорог [162]

<p>Типы улиц комфортной среды Liveable Neighbourhoods Street Types</p>	<p>Функциональная классификация улиц Conventional Road Hierarchy. Metropolitan Functional Road Hierarchy, Main Roads 1977</p>
<p>Главные распределяющие (Primary Distributors) Магистральные связи. Допускается устройство регулируемых перекрестков. Максимальная интенсивность движения: 4 полосы движения -- 35 000 авт./сут. 6 полос движения -- 50 000 авт./сут.</p>	<p>Главные распределяющие (Primary Distributors) Обеспечивают региональные и межрегиональные связи. Имеют большую пропускную способность и обеспечивают высокую скорость сообщения. Относятся к числу дорог государственного и регионального значения</p>
<p>Районного значения А (District Distributor Integrator A) Магистральные улицы, имеющие жилую застройку, частые пересечения и примыкания с местными улицами, местные проезды, используемые для паркования. Максимальная интенсивность движения до 50 000 авт./сут.</p>	<p>Распределяющие районного значения А (District Distributors A) Обеспечивают связи между индустриальными, коммерческими и жилыми территориями. Связывают территории с дорогами Primary Distributors. Имеют ограниченный доступ с прилегающей территории</p>
<p>Районного значения В (District Distributor Integrator B) Магистральные улицы, имеющие жилую застройку, частые пересечения и примыкания с местными улицами. Обычно имеют одну полосу движения в каждом из направлений и полосы для уличного паркования. Максимальная интенсивность движения до 20 000 авт./сут.</p>	<p>Распределяющие районного значения В (District Distributors B) Функции аналогичны District Distributors A. Допускается паркование на проезжей части. District Distributors A и B формируют сеть с оптимальным шагом 1,5 км</p>
<p>Улицы местного значения (Neighbourhood connectors) Образуют сеть местных улиц. Распределяют местное движение транспорта, обслуживаются автобусными маршрутами, имеют частые пересечения и примыкания с местными улицами, обеспечивают комфортное пешеходное движение; применяется успокоение движения</p>	<p>Распределяющие местного значения (Local Distributors) Осуществляют обслуживание межмагистральных территорий, формируемых дорогами класса District Distributors (осуществляется движение, связанное только с данной межмагистральной территорией). Не предусматривают транзитное и грузовое движение. Формируют сеть автобусных маршрутов</p>
<p>Проезды (Access streets) Обеспечивают доступ к жилой застройке на участках территории, где являются доминирующими требования окружающей среды. Низкая интенсивность движения транспорта. Обеспечиваются комфортные условия для пешеходов и велосипедистов</p>	<p>Проезды (Access roads) Требования к дизайну имеют приоритет по отношению к транспортным функциям. Должны обеспечиваться удобные условия движения для велосипедистов и пешеходов</p>

Таблица 2.20

Взаимосвязь элементов улиц с задачами градостроительного проектирования и управления дорожным движением [162]

Градостроительное проектирование	Управление дорожным движением
<p><i>План улицы</i></p> <p>Размещение центров массового тяготения общегородского и местного значения на важнейших улицах</p> <p>Размещение застройки в соответствии с ландшафтом</p> 	<p><i>План улицы</i></p> <p>Обеспечивается пропускная способность, возможность транзитного движения. Ограничение транзитного движения на местных улицах достигается параметрами: протяженность, непрямолинейность, пропускная способность</p> <p>Проектирование УДС должно обеспечивать правильное размещение и конфигурацию ее узлов</p> 
<p><i>Поперечный профиль улицы</i></p> <p>Обеспечение приоритетных условий движения пешеходов, инвалидов, велосипедистов, общественного транспорта.</p> <p>Учет характера использования прилегающих территорий и необходимости обеспечения к ним доступа. Соответствующие человеческому масштабу планировка и дизайн. Благоустройство, повышающее привлекательность ландшафта улицы</p> 	<p><i>Поперечный профиль улицы</i></p> <p>Контроль над скоростью движения с помощью элементов проектных поперечных профилей. Правильное соотношение всех элементов поперечного профиля: проезжей части, разделительной полосы, тротуаров и пешеходных дорожек, зеленых насаждений, полос или карманов для паркования и т.д.</p> 
<p><i>Управление движением на перекрестках</i></p> <p>Обеспечение безопасности движения транспорта, пешеходов, велосипедистов, обеспечение удобного доступа к объектам на прилегающих к перекрестку территориях</p> <p>Понимание влияния метода организации движения на перекрестке на компоновку прилегающего пространства и застройки</p> 	<p><i>Управление движением на перекрестках</i></p> <p>Управление конфликтными потоками при условии обеспечения безопасности движения и соблюдения допустимого уровня обслуживания (задержек). Выбор типа пересечения (нерегулируемое, регулируемое, кольцевое) в зависимости от интенсивности и состава движения (магистральная с магистральной улицей; магистральная с местной улицей)</p> 

Взаимодействие видов проектирования

Основными недостатками сложившейся планировочной структуры Перта признаны:

усилившаяся сегрегация территорий, вызванная существующей системой зонирования;

низкая плотность населения;

недостаток мест приложения труда непосредственно в районах проживания и связанные с этим корреспонденции по трудовым целям на большие расстояния;

недостаточность служб сервиса в районах проживания;

очень высокая зависимость от автомобиля;

плохая связанность сети;

недостаточное развитие сети общественного транспорта, неудобная и бедная среда для пешеходного движения.

Изменить ситуацию должны новые принципы проектирования (см. табл. 2.18), основные положения которых отражены в “Руководстве по проектированию комфортной среды” (Liveable Neighbourhoods Community Design Code) [162].

Концепция “комфортной среды” потребовала создать соответствующую новую классификацию улиц (табл. 2.19) и разработать специальное руководство по проектированию [162]. Терминология руководства разрабатывалась с целью указать значимость “...неавтомобильного использования улиц и функционального назначения прилегающих территорий...”. Кроме того, следовало показать различие функций и проектных решений по сравнению со сложившейся проектной практикой (табл. 2.20). Особо следует отметить, что в данном руководстве показана взаимосвязь между градостроительным и техническим проектированием.

Следует отметить, что в советской градостроительной теории и практике планировочные решения жилых территорий, компоновка микрорайонов всегда выполнялись с учетом норм пешеходной доступности.

2.4.3. Классификация городских улиц и дорог, предложенная PIARC

Изменения взглядов на цели ОДД и подходы к их решению учтены и систематизированы в предложениях PIARC по функциональной классификации городских улиц и дорог [179,180]. Эти рекомендации в основном обобщили современные классификации многих стран и аккумулировали опыт проектирования УДС последних десятилетий. Специалисты профильного “Комитета по городским территориям” PIARC значительно расширили понимание функций городских улиц и дорог, к числу которых отнесли [179,180] (перевод автора):

транспортные функции:

функции транзита – пропуск потоков между разными районами города (внутригородской транзит) и внешних транзитных потоков;

функции обеспечения доступности – транспортное обслуживание городских районов (движение в районы и из них);

функции формирования городской среды – формирование городского ландшафта, условия размещения застройки, ориентация;

социальные функции – проживание, работа, совершение покупок, отдых, передвижение пешком и т.д.;

экологические функции – городской микроклимат, воздушная циркуляция и качество воздуха, состояние фауны и флоры, рекреация;

экономические функции – влияние на экономическую ситуацию в городе.

С учетом допустимых сочетаний перечисленных функций была рекомендована классификация городских улиц и дорог, представленная в табл. 2.21 и 2.22. Отметим, что приводится точный перевод таблиц оригинала [179,180], в которых используется термин

“дороги”. Поскольку отличительным признаком улиц является обслуживание прилегающих территорий и застройки (Access), далее по тексту дороги II–VI категорий будут называться улицами.

Специалисты комитета PIARC подчеркивали [179,180], что принципиально важно упростить классификацию городских улиц и дорог, чтобы избежать их разделение на множество категорий. При этом высказывалась идея необходимости “визуальной иерархии” элементов УДС. Технический и архитектурный дизайн, благоустройство улиц должны давать водителю необходимую информацию для ориентации (т.е. для выбора маршрутов движения) и о скоростном режиме движения (табл. 2.23).

В целом предлагаемая классификация содержит ряд принципиально новых положений:

обслуживание транзитного движения автомобильного транспорта возлагается только на городские скоростные дороги (дороги I категории);

для движения автомобильного транспорта предусматривается три группы скоростей, соответствующих I, II и III категориям дорог (70–90, 40–60, 10–30 км/ч). При этом высказывается мнение, что разрешаемая скорость движения на дорогах II категории, как правило, не должна превышать 50 км/ч;

предложена специальная категория улиц только для общественного транспорта, которая прежде всего должна улучшать доступность его маршрутной сети.

В целом разработанная PIARC классификация улиц и дорог отличается от той классификации, которая существует с рядом изменений на протяжении нескольких десятилетий в нашей стране (от СНиПа II-K2-62 до СНиПа 2.07.01-89). Предложения PIARC учитывают распространенный в реальной практике класс многофункциональных улиц, допускают для них разные решения (городские бульвары, дороги II и III категории) и поэтому лучше отвечают условиям реконструкции УДС.

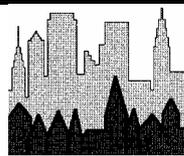
Таблица 2.21

**Классификация городских улиц и дорог,
предлагаемая PIARC [179,180]**

Категория дороги	Назначение	Разрешаемая скорость _____ , Скорость сообщения км/ч	Автомобильный транспорт	Общественный транспорт	Велосипедисты	Пешеходы
I 	Дороги для автомо- бильного транспорта	$\frac{70-90}{40-60}$	High	Low	Low	Low
II 	Дороги для смешанного движения (разделение различных видов движения)	$\frac{40-60}{20-30}$	Medium	Medium	Low	Low
III 	Дороги для смешанного движения (совмещение различ- ных видов движения)	$\frac{10-30}{10}$	Low	Low	Medium	High
IV 	Дороги для обществен- ного транспорта	$\frac{40-60}{20-40}$	Low	High	Low	Low
V 	Дороги для велосипе- дистов	$\frac{20-30}{10-20}$	Low	Low	High	Low
VI 	Дороги для пешеходов	3—5	Low	Low	Low	High

Таблица 2.22

Функции городских улиц и дорог
в соответствии с концепцией PIARC [179,180]

Функции		Категория дороги					
		I	II	III	IV	V	VI
	Транзит						
	Доступ						
	Эстетические						
	Размещение застройки Ориентация						
	Условия проживания						
	Условия работы						
	Передвижения пешком						
	Рекреация						
	Флора / Фауна						
	Микроклимат						



Средний уровень требований



Высокий уровень требований

Концепция дизайна городских улиц и дорог, предлагаемая PIARC [179,180]

Элементы дизайна дорог I категории

Основная функция – транзитное движение, высокая интенсивность движения, большое количество тяжелых автомобилей, дальние поездки всех видов транспорта
 Для плана, продольного профиля используются стандарты проектирования дорог
 Доступ ограничен
 Применяются только развязки в разных уровнях, которые не должны размещаться слишком часто
 Не допускается пересечение пешеходными потоками в одном уровне
 Паркование запрещается. Остановки автобусов только на специальных полосах

**Элементы дизайна улиц II категории**

Сочетаются функции транзитного движения и функции обслуживания прилегающих территорий, разделение в пространстве пользователей улицы (легковые автомобили и общественный транспорт, пешеходы и велосипедисты)
 Проектирование плана и продольного профиля увязывается с архитектурной средой
 Поперечные профили назначаются с учетом всех функций пространства улицы
 Пересечения могут размещаться часто, могут применяться регулируемые перекрестки, средние и малые кольцевые пересечения; устройство развязок в разных уровнях необходимо избегать
 Доступ не ограничивается
 Разрешается паркование на проезжей части
 Важно выделять достаточное пространство для пешеходного движения
 Благоустройство улиц должно тщательно увязываться с застройкой и отвечать эстетическим требованиям



Элементы дизайна улиц III категории

Обслуживание прилегающих территорий (access) и социальные функции являются доминирующими; сочетание движения автомобилей, велосипедистов, пешеходов. Типичный пример “Зон 30 км/ч”.

Улицы этой категории сочетают разные функции: жилье, работа, отдых

Приоритет отдается местным интересам; пешеходы, велосипедисты и автомобильное движение имеют одинаковый приоритет

Ограниченная скорость движения менее 30 км/ч

Пешеходные переходы могут размещаться везде

Необязательно разделять проезжую часть и тротуары бортовым камнем

Особенности благоустройства и дизайна должны поддерживать снижение скорости; для этого могут использоваться широкие пешеходные переходы, сужения проезжей части, криволинейное очертание проезжей части в плане, поочередное размещение парковок на разных сторонах проезжей части. Благоустройство, зеленые насаждения, покрытия разных цветов должны воздействовать на поведение водителей и выбор ими режима движения

Определенные ограничения паркования

Использование специальных строительных материалов, элементов уличного благоустройства (furniture), освещение должно усиливать эстетические решения

Для поддержания благоприятного микроклимата можно интенсивно использовать зеленые насаждения



С технических позиций в классификации PIARC отчетливо сформулированы разделение дорог и улиц по их функциональным признакам и усилена их дифференциация по скорости движения. Следует отметить, что диапазон значений расчетной скорости движения, предлагаемый для улиц (от 50 до 20 км/ч), гораздо ниже используемых в нормах нашей страны.

2.5. Городские бульвары

2.5.1. Концепция городских бульваров

Последние два десятилетия внимание специалистов, особенно европейских, привлекали главные магистральные улицы (major arterials) и связанные с ними вопросы архитектурного и градостроительного проектирования, безопасности и организации движения. Для таких улиц, сочетающих значительные транспортные и пешеходные потоки, концентрацию офисов и деловых учреждений, разнообразие по назначению объекты массового тяготения, наиболее сложной является проблема баланса функций.

В этой связи профильным комитетом по городским территориям PIARC был дополнительно предложен особый вид улиц – городские бульвары [179,180]. Идея бульваров базируется на концепции “пропускной способности окружающей среды”, сформулированной в 1960-е гг. В общем контексте пропускная способность окружающей среды определена как максимальное количество людей (посетителей и жителей), которое может находиться в рассматриваемом месте без нарушения его функций. Применительно к магистральным улицам пропускная способность получила несколько иное определение [179,180] и рассматривается как возможность реализации функций (условия движения, условия проживания и работы, качество городской среды, качество технических проектных решений и т.д.) при ограничении негативных воздействий транс-

порта (ДТП, загрязнение, шум) на окружающую среду. В результате такого подхода возникла концепция, содержащая следующие основные положения [179,180]:

бульвар – магистральная улица, обслуживающая большие транспортные потоки (до 100 000 авт./сут.), но имеющая незначительную разрешенную скорость движения;

в отличие от городских дорог бульвар интегрирован в городскую среду, является ее частью и должен иметь многофункциональное назначение (т.е. допускает совмещение транспортных, социальных, экологических, культурных и других функций);

проектные решения и благоустройство бульвара должны гарантировать баланс транспортных и экологических функций.

Концепция бульвара, предъявляемые к бульварам технические, градостроительные и архитектурные требования задают определенные принципы проектирования этого класса улиц. К чисто техническим аспектам проектирования можно отнести:

разделение разных видов движения (прежде всего транзитного и местного) в пространстве, для чего может применяться устройство параллельных основной проезжей части (основной поток) и местных проездов (местное движение, паркование, обслуживание застройки);

пересечений только в одном уровне (т.е. регулируемых или кольцевых); смешанное движение (состоящее из транзитного и местного) делает ненужным устройство развязок в разных уровнях.

Архитектурные принципы проектирования бульваров выливаются в следующие положения:

Пешеходные тротуары бульваров, обслуживающие разнообразные объекты массового тяготения, должны соответствовать большим объемам пешеходного движения.

Дизайн и архитектурные решения должны подчеркивать приоритет ландшафта улицы над ее транспортными функциями, что будет влиять на поведение водителей и способствовать снижению

скорости движения. В связи с этим необходимо соблюдать определенные пропорции между элементами бульвара. Например, желательно, чтобы ширина центральной проезжей части не превышала трети ширины бульвара, а дополнительные проезжие части проектировались бы как часть ландшафта улицы, что достигается зелеными посадками и дизайном благоустройства.

Особое внимание должно уделяться благоустройству и дизайну тротуаров (материал и рисунок покрытий, освещение и т.д.), подчеркивающих приоритетность пешеходного движения и статус улицы.

В таком контексте технические проектные решения (план, продольные профили, поперечные профили) должны увязываться с архитектурными решениями. Авторы материалов PIARC также высказывают мнение [180, с. 70], что концепция бульвара должна стать связующим звеном "...с прежней европейской градостроительной традицией, предшествовавшей автомобильной цивилизации...".

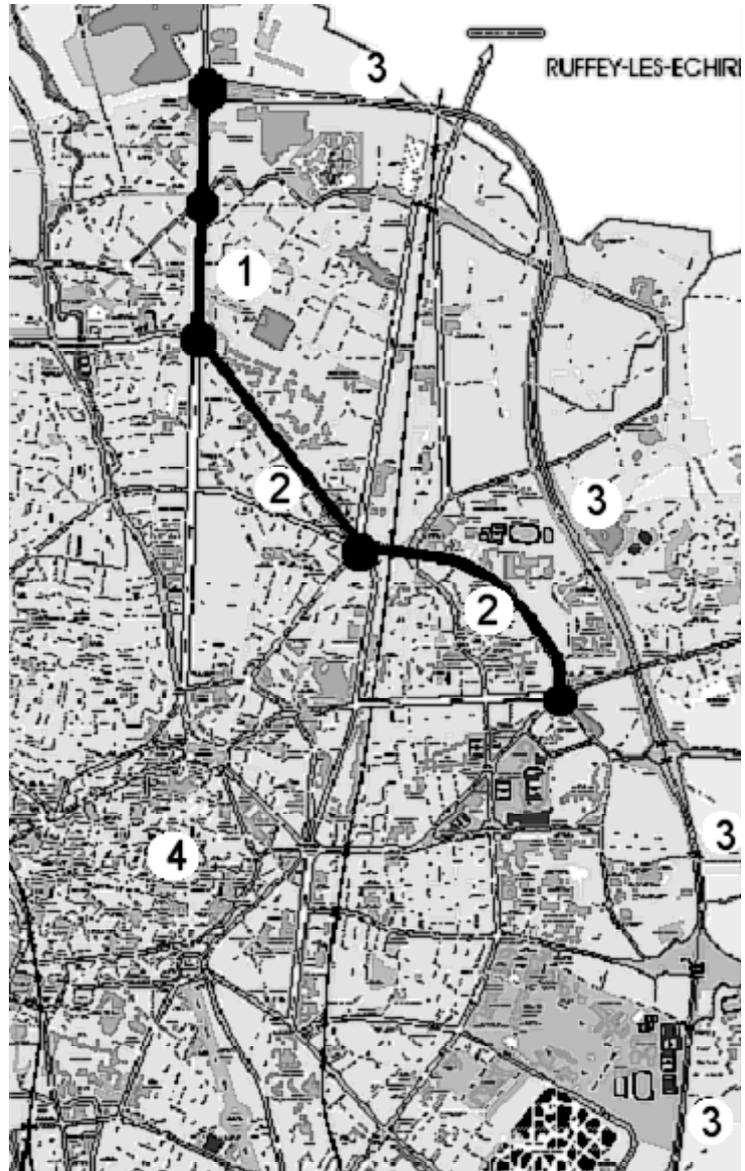
2.5.2. Примеры городских бульваров

Специалисты комитета по городским территориям PIARC в качестве городских бульваров классифицировали ряд осуществленных проектов в городах Европы, США и Австралии. Ограничимся рассмотрением европейских примеров [180].

Дижон. Бульвар **Avenue De Langres**. Идея создания новой магистральной улицы на основе дороги RN74 (ведущей с севера Дижона в направлении Нанси) возникла в 1980-х гг., когда решалась проблема взаимосвязи урбанизированных территорий и внешней дорожной сети (рис. 2.8). Это пример успешного превращения внегородской дороги в городской бульвар.



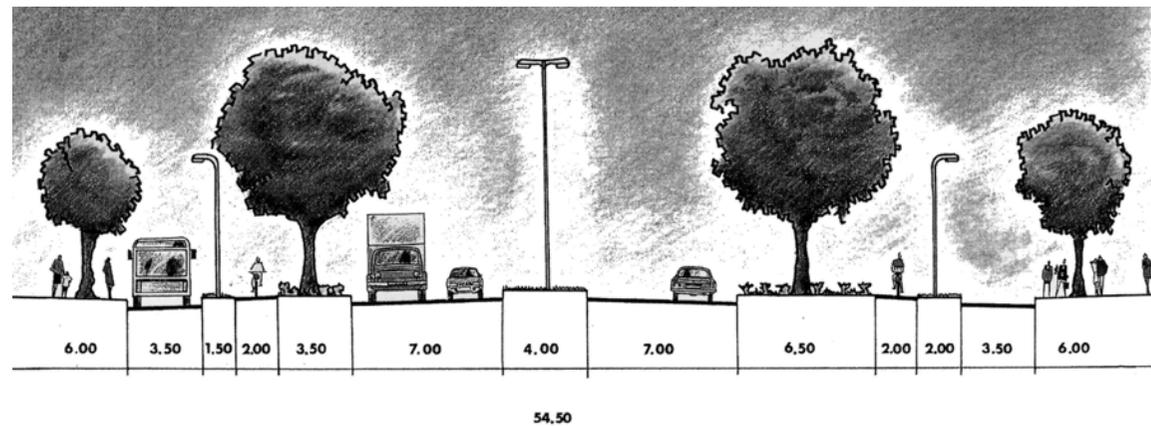
a)



б)

Рис. 2.8. Бульвар Avenue De Langres в Дижоне: *а* – общий вид, *б* – положение на плане города :1 - бульвар Avenue De Langres; 2 – бульвары; 3 – строящаяся скоростная дорога; 4 – исторический центр Дижона

a)



б)

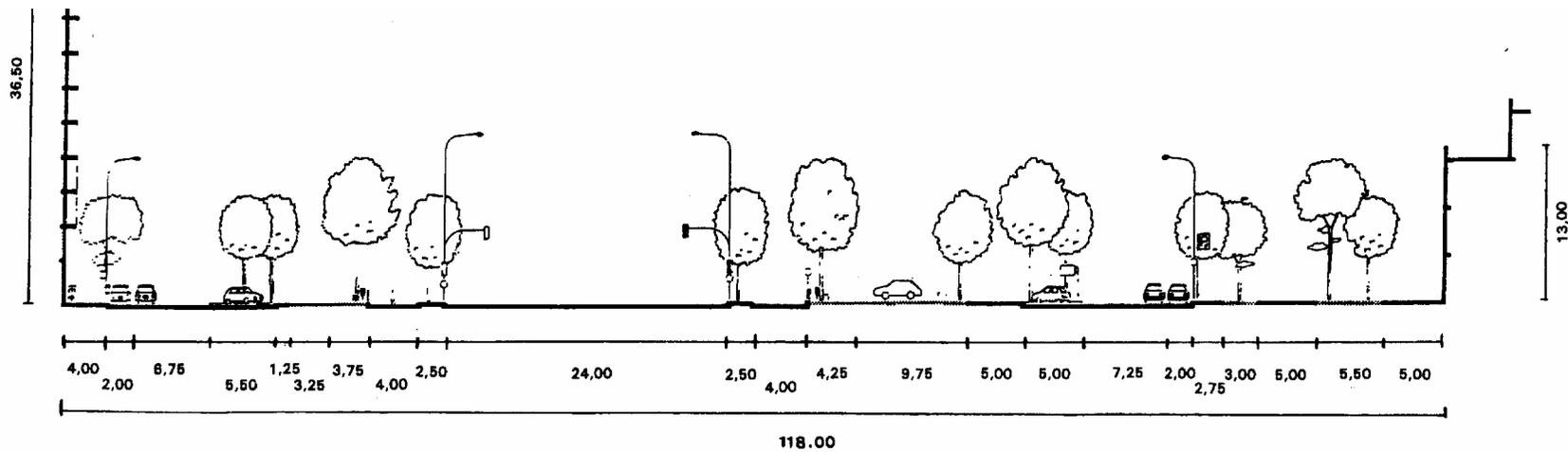


Рис. 2.9. Поперечные профили бульваров: *а* - Avenue De Langres в Дижоне; *б* - Авеню Paseo de La Castellano, Мадрид

Общая ширина бульвара (рис. 2.9, а) была доведена до 55 м; кроме основной проезжей части в состав поперечного вошли проезды для общественного маршрутного транспорта, велосипедные дорожки, широкие пешеходные тротуары. Таким образом, пространство, отводимое озеленению, пешеходам и велосипедистам, составляет 60% поперечного сечения улицы.

Мадрид. Авеню **Paseo de La Castelliano** имеет длину около 3 км, суточная интенсивность движения до 170 000 автомобилей. Общая ширина бульвара составляет 118 м (рис. 2.9, б) центральная проезжая часть имеет разделительную полосу и 6 полос движения (общая ширина 24 м). По обе стороны основной проезжей части устроены обособленные полосы по 2,5 м для движения автобусов. Ширина местных проездов, отделенных от основной проезжей части газонами (газон варьирует от 10 до 20 м), составляет 14,25 м. Большая часть транспортного потока (70 %) использует основную проезжую часть.

Главной задачей являлось максимально возможное уменьшение загрязнения воздушного бассейна, шума и “эффекта разделения” городской территории, вызванных интенсивным движением. Зеленые посадки составляют значительную часть поперечного сечения и служат разделительными полосами между всеми его элементами (основной проезжей частью, автобусными полосами, проездами и тротуарами). Авеню позволила распространить функции городского центра Мадрида на север города и оказалась привлекательной для размещения финансовых и банковских учреждений.

В завершение главы следует отметить общую черту всех новых предлагаемых классификаций и концепции городских бульваров: в них отчетливо прослеживается внимание к улицам как к элементу городской среды, стремление интегрировать их в эту среду; заметны растущие требования к качеству благоустройства и дизайна уличного пространства. Одна из причин этой тенденции – опре-

деленное пресыщение чисто техническими решениями. Поскольку в экономически развитых странах уже сложилась мощная инфраструктура городских дорог, возникает интерес к “традиционным” улицам.

Глава 3. МЕТОДЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ УЛИЧНО - ДОРОЖНЫХ СЕТЕЙ

3.1. Классификации критериев оценки улично-дорожных сетей

Оценка состояния улично-дорожной сети является начальной и обязательной составляющей градостроительного проектирования: генеральных планов (в разделах, связанных с УДС); комплексных транспортных схем (КТС); проектов детальной планировки (ПДП); комплексных схем организации движения (КСОД); проектов организации дорожного движения (ПОД).

Кроме того, должна оцениваться эффективность самих проектных решений. В этой связи критерии и методы оценки составляют один из важнейших разделов методического обеспечения проектирования УДС. Вместе с тем в нашей стране до сих пор не существует общепризнанной методики оценки УДС, включенной в нормативные документы и руководства по проектированию. Более того, анализ публикаций [1,5,14-16,18,21-23,29,30,31,42,51,59,60,63,67,69-71] показывает, что специалисты, занимающиеся градостроительным проектированием, и специалисты в области ОДД используют принципиально разные подходы к решению рассматриваемой задачи.

Проектирование ОДД, которое базируется на теории транспортных потоков, отличают использование разнообразного математического инструментария, детальное моделирование УДС. Поэтому представители этой технической отрасли всегда стремились формализовать оценку проектных решений и их эффективности, уделяли внимание критериям оценки, в частности много работ по данной тематике опубликовал Ю.Д. Шелков [42,69-71].

В градостроительном проектировании на стадиях генерального плана и КТС рассматриваются эскизные решения УДС. Более

детальное проектирование УДС (определение ширины улиц в красных линиях, ширины проезжих частей) выполняется на стадии ПДП, но при этом не проводится детальных расчетов пропускной способности узлов; соответственно оценка УДС имеет формальный характер. Как правило, для оценки проектных решений УДС используются такие показатели, как плотность сети и ориентировочные значения пропускной способности полос движения для улиц различных категорий [19,29,30,63]. Поскольку прогнозирование матрицы корреспонденций и картограммы транспортных потоков входят в состав генерального плана или КТС, то сложившаяся практика выполнения ПДП не предусматривает моделирования транспортных потоков, детальных расчетов УДС.

Совершенно иной подход сформировался в США, где при оценке УДС в качестве основного применяется интегральный критерий – показатель уровня обслуживания (Level of Service, сокращенно LOS). Методика его применения входила во все четыре издания (1950, 1965, 1985, 2000) руководства по оценке пропускной способности Highway Capacity Manual (СНМ) и непрерывно совершенствуется [156,157]. Сфера использования этого критерия охватывает все стадии – планирование, проектирование, эксплуатацию [66,88,109,118,160,168,208]. В настоящее время критерий LOS используется для оценки условий движения как в программах моделирования УДС, так и в узкоспециализированных программах проектирования перекрестков и развязок. О внимании, которое уделяется этому критерию и методикам его применения, свидетельствует следующее:

с 1944 г. в США существует специальный комитет **TRB Committee on Highway Capacity and Quality of Service**, занимающийся разработкой нормативных и методических документов;

показатель уровня обслуживания включен в состав рабочих программ двух комитетов С4 и С10 Мировой дорожной ассоциации PIARC.

Существует два принципиально разных подхода к оценке УДС – использование частных критериев и использование интегральных критериев. Для объективного сопоставления теории и практики оценки УДС на основе интегрального критерия – показателя уровня обслуживания (LOS) – и альтернативной ему системы частных критериев следует хотя бы кратко рассмотреть эти частные критерии.

Критерии оценки УДС строго соответствуют определенным задачам проектирования, их целевым установкам и не могут рассматриваться изолированно от них. В свою очередь, сами взгляды на цели и методы градостроительного проектирования и ОДД, их приоритетность постоянно эволюционируют. Как в научном, так и в практическом плане общей тенденцией развития методов проектирования транспортной планировки городов стало все большее внимание к негативным эффектам, сопутствующим росту уровня автомобилизации.

За последние годы взгляды на цели и методы проектирования транспортных систем городов претерпели революционные изменения. Главными проблемами признаны чрезмерная зависимость населения от индивидуального автомобиля, перегруженность городов, и в особенности их центров, автомобильным транспортом [96,103,108,163,165,177,178,180,183,190,198]. Характерна все большая интеграция ОДД с другими видами транспортного и градостроительного проектирования. Обязательным элементом транспортных проектов является оценка их влияния на городскую среду, экологического и социального эффектов.

Обилие разных задач и ситуаций, с которыми сталкиваются при работе с УДС, приводит к естественной идее использования целого набора частных критериев. Многочисленные критерии оценки качества функционирования УДС рассмотрены за последние три десятилетия во многих публикациях. Поэтому отметим работы, в которых содержится их наиболее подробный анализ

[42,59,66,71,118,176,188,206,208]. Достаточно полное представление о разнообразии частных критериев оценки дает классификация, приведенная в [42] (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Задачи комплексной схемы организации движения (КСОД) и используемые критерии [42]

Задача КСОД	Параметры УДС
1	2
1. Оценка состояния ОДД	1.1. Затраты времени на движение по УДС 1.2. Суммарный пробег ТС по УДС 1.3. Экологические характеристики (транспортный шум, выбросы в атмосферу) 1.4. Конфликтная загрузка УДС 1.5. Устойчивость функционирования УДС
2. Выявление узких мест на УДС	2.1. Скорость сообщения по УДС 2.2. Непрямолинейность транспортных сообщений по УДС 2.3. Экологические характеристики 2.4. Места концентрации ДТП (в результате анализа статистических материалов) 2.5. Устойчивость функционирования УДС (см. параметр 1.5)
3. Назначение сетевых методов ОДД: а) оптимальное распределение транспортных потоков по УДС б) выделение пешеходных зон	3.1. Матрицы корреспонденций 3.2. Маршруты движения по УДС 3.3. Загрузка УДС движением 3.4. Дислокация и характеристики объектов притяжения транспортных потоков 3.5. Пропускная способность магистральных улиц и дорог 3.6. Интенсивность движения пешеходов 3.7. Интенсивность движения ТС в пределах предполагаемой пешеходной зоны 3.8. Обеспеченность местами паркования

1	2
в) внедрение метода “жилая зона” г) запрещение движения грузового транспорта д) обеспечение приоритетных условий движения МПТ	3.9. Объем транзитного движения 3.10. Скорость движения ТС 3.11. Характеристики объектов тяготения ТП – грузополучателей и грузоотправителей 3.12. Интенсивность движения МПТ и ТС 3.13. Скорость сообщения МПТ
е) координация работы светофоров ж) система магистралей с односторонним движением з) организация пропуска транзитного движения и) организация пропуска грузового транспорта	См. параметры 3.9, 3.10 См. параметры 1.2, 3.1 – 3.3, 3.5, 3.10, 3.12 3.14. Интенсивность движения и распределение транзитных потоков См. параметры 3.3, 3.5 3.15. Качественный состав транзитных потоков См. параметры 1.2, 3.1 – 3.3, 3.5, 3.11

Авторы методического руководства [42] предложили определенный набор параметров УДС, которые рассматриваются в рамках той или иной задачи КСОД (см. табл. 3.1). По их мнению формализации и количественному описанию поддаются:

- экономические показатели оценки состояния ОДД;
- показатели безопасности дорожного движения;
- показатели экологической безопасности;
- показатели устойчивости функционирования УДС.

Приведенный выше перечень показателей включает лишь часть критериев, характеризующих УДС. Кроме того, частные критерии оценки можно классифицировать иначе – по видам движения

и элементам УДС, как это сделал ранее В.Е. Peterson [176] (табл. 3.2).

Таблица 3.2

**Критерии оценки состояния ОДД
на отдельных элементах УДС [176]**

Вид движения	Элемент улично-дорожной сети	Критерий оценки
Транспортные средства	Перегон дороги или улицы	Пропускная способность Скорость
	Развязки в разных уровнях	Пропускная способность
	Кольцевые пересечения	Пропускная способность Длина очереди Средняя задержка Суммарная задержка
	Нерегулируемые пересечения	Пропускная способность Длина очереди Доля остановившихся транспортных средств Средняя задержка Суммарная задержка
	Регулируемые пересечения	Пропускная способность Длина очереди Доля остановившихся транспортных средств Средняя задержка Суммарная задержка
	Улично-дорожная сеть	Пропускная способность Время сообщения Количество остановок (при движении по сети) Суммарная задержка
Пешеходное	Тротуары	Пропускная способность Скорость Плотность пешеходного потока
	Нерегулируемые переходы	Средняя задержка Размер очереди (территория, занятая пешеходами)
	Регулируемые переходы	Пропускная способность Средняя задержка Размер очереди (территория, занятая пешеходами)

Следует также отметить важные с позиций понимания специфики рассматриваемого вопроса результаты анализа частных критериев, выполненного ранее при разработке стратегии управления УДС в условиях насыщения [206]. Авторами исследовательского проекта (NCHRP Report 194) специально анализировалось наличие или отсутствие тесной корреляции каждого из рассматриваемых частных критериев с другими критериями. Наличие корреляции позволяет заменять группу показателей одним, т.е. применять его в качестве интегрального критерия, тем самым снижать размерность задачи оценки и упрощать ее. В результате систематизации критериев было предложено их разделение по характеру использования: применяемые только как описатели (дескрипторы); используемые как параметры процесса управления. К числу последних были отнесены средняя и суммарные задержки, длина очереди, длина перегона минус длина очереди.

Альтернативой использованию перечисленных частных критериев (см. табл. 3.1, 3.2) является интегральный критерий – показатель уровня обслуживания, который будет подробно рассмотрен в п. 3.4.

3.2. Частные критерии оценки УДС

3.2.1. Транспортная работа УДС

В ряде публикаций [42,71] транспортная работа УДС показывается как наиболее значимый критерий экономической оценки состояния ОДД. Предложен количественный показатель транспортной работы УДС [42]

$$W = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m N_{ij} t_{ij} l_{ij},$$

где n – число корреспонденций ; m – число маршрутов движения, реализующих корреспонденцию j ; N_{ij} – число транспортных

средств, пользующихся маршрутом i при реализации корреспонденции j , прив.ед./ч; t_{ij} – средние затраты времени на реализацию корреспонденции i при использовании маршрута j , ч; l_{ij} – протяженность маршрута i корреспонденции j , км.

Все параметры, необходимые для оценки транспортной работы, устанавливаются в результате обследований транспортной сети, при этом используется матрица корреспонденций часа максимальной загрузки УДС. Возможны два подхода к решению рассматриваемой задачи:

использование методики оценки матрицы корреспонденций на основе замеров интенсивности движения и регистрации номеров транспортных средств (или как вариант – выборочное анкетирование части водителей с последующим распространением результатов анкетирования на всю генеральную совокупность) в межпиковый период и пересчет матрицы на час пик [24,39,42];

восстановление матрицы корреспонденций непосредственно по данным интенсивности движения в пиковый период, в том числе для случаев, когда какая-либо дополнительная информация о корреспонденциях (частичное анкетирование водителей, матрица корреспонденций на пассажирском транспорте и т.д.) отсутствует.

3.2.2. Показатели экологической безопасности

Показателями экологического состояния окружающей среды, как правило, принимают суммарный выброс окиси углерода и окислов азота за единицу времени, а также эквивалентный уровень транспортного шума на расстоянии 7,5 м от края проезжей части [42]. Допустимую концентрацию токсичных веществ в воздухе (мг/м^3) в результате предлагается определять как разность между предельно допустимой концентрацией (ПДК) и концентрацией токсичных веществ в воздухе от стационарных источников. Оценку массовых выбросов по каждому из токсичных компонентов предла-

гается выполнять по стандартным методикам [42], которые позволяют производить расчеты как для регулируемых пересечений, так и для перегонов городских улиц и дорог.

В настоящее время имеется несколько отечественных программ, позволяющих давать оценку массовых выбросов от автомобильного транспорта как на городских улицах, так и загородных дорогах общего пользования (наиболее полная информация представлена <http://www.infars.ru>):

“МАГИСТРАЛЬ” – программа предназначена для расчета выбросов (оксид углерода, углеводороды, оксиды азота, сажа, соединения свинца) автомобильным транспортом в городских условиях на основе методики, принятой для Москвы в 1997 г.;

“ЭКОЛОГ ПРО” – программа позволяет: оценивать концентрации вредных веществ на различных высотах от уровня земли; учитывать в расчетах различные типы источников выбросов (в том числе автомагистрали), влияние застройки; взаимодействовать с другими программами (“ЭКОЛОГ-ГОРОД”, “АТП ЭКОЛОГ”, “МАГИСТРАЛЬ”, “ПДВ ЭКОЛОГ”, “ЭКОЛОГ”), обеспечивающими статистическую обработку, расчеты рассеивания, картографирование, графический вывод, формирование банков данных;

пакет “CREDO” – использует стандартные методики (методику ОНД-86 или методику, утвержденную федеральным дорожным департаментом Министерства транспорта РФ); позволяет оценивать эмиссию вредных веществ отработавших газов автомобилей транспортного потока и уровень концентрации вредных веществ в придорожном пространстве.

Кроме того, в России сейчас имеются методики и программы для расчета уровня шума и проектирования шумозащитных сооружений [46]. Таким образом, среди частных критериев оценки УДС лучшее методическое и программное обеспечение получила оценка экологической безопасности.

3.2.3. Показатели безопасности дорожного движения

К настоящему времени уже сложилась развитая теория количественной оценки безопасности движения и накоплен опыт разработки методик, соответствующих этой теории:

1. Методы, основанные на данных статистического учета ДТП. Оценка осуществляется по данным фактической аварийности.

2. Вероятностные методы определения возможного количества ДТП, использующие статистические зависимости между зависимой переменной (количеством ДТП) и различными факторами-аргументами, характеризующими условия движения на оцениваемом участке улично-дорожной сети.

3. Методы, основанные на изучении режима и характеристик движения на оцениваемом участке УДС.

4. Метод конфликтных ситуаций.

В нашей стране при оценке безопасности движения в городах предполагается выявлять места концентрации ДТП, получившие название очагов аварийности, или топографических очагов. Под очагом аварийности (топографическим очагом) понимается однородный и ограниченный по длине участок улично-дорожной сети, характеризующийся статистически устойчивым уровнем аварийности. Участки концентрации ДТП определяются на основании данных о ДТП за период не менее чем 3 последних года и показателя относительной аварийности. Очагом ДТП в городах считается участок улично-дорожной сети, не превышающий 400 м, на котором произошло в течение года три и более ДТП. Другой критерий – показатель относительной аварийности Z – рассчитывается по формуле

$$Z = A \cdot 10^6 / (365 \cdot N \cdot L \cdot m),$$

где A – суммарное количество ДТП за последние m лет; N – среднегодовая суточная интенсивность движения за тот же период; L – протяженность участка, км.

Рассмотренных выше показателей достаточно для выполнения оценки текущего состояния безопасности движения. Более проблематична количественная оценка безопасности движения проектных решений КСОД и ПОД, когда должны применяться вероятностные методы определения возможного количества ДТП (т.е. методы прогнозирования количества ДТП).

В России применяются методы оценки вероятного количества ДТП: для дорог общего пользования – линейный график коэффициентов аварийности; для нерегулируемых и кольцевых пересечений – конфликтные точки и их коэффициенты аварийности [4,31]. Однако нет общепринятых методик прогнозирования количества ДТП на регулируемых пересечениях и пешеходных переходах разных типов. Количественную оценку безопасности ОДД в городских условиях предлагалось проводить, используя суммарную конфликтную загрузку УДС R [42]:

$$R = 5 \sum \frac{N_{in} \cdot N_{jn}}{(N_{in} + N_{jn})^2} + 3 \sum \frac{N_{ic} \cdot N_{jc}}{(N_{ic} + N_{jc})^2} + \sum \frac{N_{io} \cdot N_{jo}}{(N_{io} + N_{jo})^2},$$

где N_{in}, N_{jn} – интенсивность движения потоков i и j , образующих конфликтную точку пересечения, ед./сут.; N_{ic}, N_{jc} – интенсивность движения потоков i и j , образующих конфликтную точку слияния потоков, ед./сут.; N_{io}, N_{jo} – интенсивность движения потоков i и j , образующих конфликтную точку ответвления потоков, ед./сут.

Методы оценки безопасности движения пешеходов очень актуальны уже только потому, что в крупных и крупнейших российских городах пешеходы составляют до 60% от общего количества погибших в ДТП. Поэтому существует необходимость проведения исследований и разработки прогнозирования аварийности на пешеходных переходах и регулируемых пересечениях на основе оценки

опасности конфликтных точек и коэффициентов относительной аварийности.

3.2.4. Показатель устойчивости функционирования УДС

Устойчивость УДС определена [42] как свойство не уменьшать свою пропускную способность в результате полного или частичного отказа отдельных ее элементов. Отказы рассматриваются как изменения дорожно-транспортных условий, в результате которых данный элемент УДС частично или полностью исключается из транспортного процесса. В соответствии с приведенными выше определениями устойчивости УДС и отказа элемента УДС причинами отказов указываются ДТП, аварии инженерных коммуникаций, массовые мероприятия и т.д.

Для оценки устойчивости предлагается разделять УДС на элементы, границами которых являются перекрестки, где транспортные потоки могут менять маршруты. Для каждого из элементов определяется коэффициент потерь при полном его отказе k_i , т.е.

$$k_i = (W_{(net-i)} - W_i) / W, \quad (3.1)$$

где $W_{(net-i)}$ – суммарная транспортная работа элементов УДС, которые воспринимают нагрузку элемента i при полном его отказе; W_i – транспортная работа элемента i УДС; W – транспортная работа магистральной УДС.

Показатель устойчивости функционирования УДС предлагается определять как среднее арифметическое коэффициентов потерь, а именно:

$$U_{net} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i, \quad (3.2)$$

где n – число элементов, на которые разбита магистральная УДС.

С рассмотренными выше показателями связывают и возможность определения “узких мест” [42]. К ним предлагается относить

элементы УДС, которые в соответствии с формулами (3.1), (3.2) удовлетворяют условию $k_i > U_{net}$.

Рассмотренные выше определения устойчивости сети и отказов ее элементов вызывают ряд замечаний. Понятие отказа может иметь гораздо более широкое толкование. В частности, в случае светофорного регулирования отказом на обслуживание могут считаться вторичные задержки, т.е. случаи, когда транспортные средства не обслуживаются циклом регулирования, в течение которого они прибыли к перекрестку (т.е. поток превышает пропускную способность). Появление вторичных задержек и рост длины очереди может приводить к сетевым заторам, определение которых приведено ниже (см. п. 3.2.5). Вероятности возникновения так называемого перенасыщения участков УДС, или сетевых заторов, являются одними из наиболее важных критериев оценки устойчивости и имеют ясный физический смысл.

3.2.5. Критерии, основанные на величине задержки и длине очереди

Продолжительность **средней задержки** транспортного средства получила широкое применение в качестве критерия оптимизации управления на отдельном пересечении. Установлено, что средняя задержка тесно коррелирует с такими показателями, как интенсивность движения, длина очереди, суммарная задержка, параметры режима регулирования.

Точность методики расчета величины средней задержки имеет принципиальное значение, так как на основе величины средней задержки оценивается длина очередей и определяется суммарная задержка. В нашей стране для практических расчетов величины средней задержки рекомендуется формула Вебстера, по которой

$$d = \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} - 0,65 \left(\frac{C}{q^2} \right)^{1/3} x^{(2+5\lambda)}, \quad (3.3)$$

где C – длительность цикла, с; λ – относительная эффективная длительность зеленого сигнала; x – коэффициент насыщения; q – интенсивность движения, прив.ед./с.

Входящие в состав формулы (3.3) λ , x и q определяются как

$$\lambda = g/C; \quad x = \frac{Q}{\lambda M} = \frac{gQ}{CM}; \quad q = Q/3600.$$

Здесь g – эффективная длительность зеленого сигнала, с; Q – интенсивность движения, прив.ед./ч; M – поток насыщения, прив.ед./ч.

Под **суммарной задержкой** понимается задержка всех транспортных средств за определенный период в пределах рассматриваемой УДС или ее участка. Суммарная задержка использовалась как критерий качества управления движением Миллером [206]. Показатель тесно коррелирует с длиной очереди, средней задержкой и интенсивностью движения. Суммарная задержка более подходит для экономической оценки эффективности ОДД в масштабах целой УДС или городского района, чем средняя задержка, которая в основном характеризует качество обслуживания отдельно взятого транспортного средства [206].

Максимальной задержкой считается наибольшая задержка одного из транспортных средств за рассматриваемый период. Она тесно коррелирует с величиной входящего на перекресток потока и длиной очереди на подходе к перекрестку. Продолжительность максимальной задержки может использоваться как показатель степени перенасыщения перекрестка, но сама методика ее определения значительно сложнее, чем других видов задержек. В этой связи ее рассматривают главным образом как дескриптор.

Под **длиной очереди** понимается количество транспортных средств в ней или ее протяженность в линейных единицах. Длина

очереди тесно коррелирует со средней и максимальной задержками, интенсивностью движения, параметрами режима регулирования и влияет на такие показатели, как скорость сообщения, количество троганий и торможений в расчете на единицу длины. Ее можно использовать как показатель степени насыщения, сравнивая с длиной очереди, пропускаемой за цикл. При достижении состояния насыщенных потоков, когда задачей управления становится минимизация вероятности возникновения затора, длина очереди и связанные с ней показатели считаются наиболее приемлемыми для управления сетью [206].

С показателем “длина очереди” связано определение понятия “перенасыщенная сеть” [206]. Если очередь транспортных средств у одного перекрестка вызывает образование очередей (т.е. заторы) у соседних пересечений, то такое состояние УДС рассматривается как признак сетевого затора (т.е. перенасыщенной сети).

Длина очереди L , или среднее количество автомобилей в начале основного такта (т.е. в момент включения зеленого сигнала), определяется как большее из двух значений, вычисляемых по формулам [27]

$$L = Nt_r/2 + Nd; \quad L = Nt_r,$$

где t_r – длительность запрещающего сигнала; N – интенсивность движения в данном направлении, авт./с; d – средняя задержка одного транспортного средства, с [см. формулу (3.3)].

Критерием, основанным на длине очереди, является **отношение длины очереди к длине перегона**; при этом за длину перегона принимается расстояние от рассматриваемого перекрестка до предшествующего ему по ходу движения. Еще более информативным показателем считается длина перегона за вычетом длины очереди. В частности, он оценен как наилучший параметр управления в условиях перенасыщения сети [206]. Преимущество рассматриваемых показателей по сравнению с абсолютной длиной очереди заключается в том, что они характеризуют работу перекрестков как

элементов сети, учитывают ее геометрию и позволяют определять участки возникновения сетевых заторов.

3.3. Пропускная способность УДС

3.3.1. Основные подходы к оценке пропускной способности УДС

Оценка пропускной способности отдельных элементов УДС (перегонов, пересечений и развязок различных типов) получила общепринятую терминологию, а методы расчетов подробно освещены в специальной литературе и соответствующих руководствах [13,27,28,3159,60,66,67]. Если выбор критериев уровня обслуживания и оценка пропускной способности отдельных элементов не являются проблемой, то принципиально иная ситуация складывается с оценкой пропускной способности сети.

Сам термин “пропускная способность УДС” давно и широко используется как градостроителями, так и транспортниками, но при этом до сих пор нет его единого определения. Более того, принципиально различаются подходы градостроителей и специалистов в области ОДД. Разное понимание пропускной способности сети привело к принципиально различающимся моделям количественной оценки.

Для отечественной градостроительной практики было характерно использование нормативных показателей плотности УДС в сочетании с определенными ориентировочными значениями пропускной способности магистральных улиц разных категорий [1,18,29,30]. Предполагалось, что соблюдение нормативных значений плотности УДС позволяет обеспечить достаточную пропускную способность. Одни специалисты-градостроители пытались сформулировать количественную оценку пропускной способности УДС на основе показателя ее плотности [18,29], другие авторы и некоторые проектные организации стали использовать показатель

емкости УДС – максимальное количество транспортных средств, которое может находиться на рассматриваемой территории [30,171].

Специалисты в области ОДД чаще всего связывают исчерпание пропускной способности сети с появлением хотя бы одного затора. Очень характерным является определение пропускной способности УДС, предложенное В.Т. Капитановым и Е.Б. Хилажевым [23]. Они понимают ее как “...множество векторов, компонентами которых являются интенсивности транспортных потоков на входах сети. При этом имеется хотя бы одна компонента, минимальное увеличение которой приводит к образованию затора на каком-либо участке УДС”.

Для специалистов в области ОДД характерен интерес к применению различных транспортных моделей, позволяющих прогнозировать возникновение заторов. Кроме того, сложилось направление оценки пропускной способности, использующее теорию графов [21,197,217]. В рамках этого направления пропускная способность сети рассматривается как задача определения минимального разреза сети.

3.3.2. Оценка пропускной способности на основе плотности УДС

Достаточно долго для отечественной градостроительной практики было характерно использование нормативных показателей плотности УДС в сочетании с определенными ориентировочными значениями пропускной способности магистральных улиц разных категорий. Подразумевалось, что соблюдение нормативных значений плотности УДС позволяет обеспечить достаточную пропускную способность.

Плотность УДС определяется как отношение суммарной протяженности улиц и дорог L к размеру территории F , то есть

$$S = L/F.$$

СНиП II-60-75** рекомендовал средний показатель плотности принимать равным 2,2–2,4 км/км². При этом в расчетах в составе КТС и ПДП в зависимости от категорий магистральных улиц и дорог ориентировались на средние значения пропускной способности магистральных улиц 1200–1500 прив.ед./ч. Согласно распространенному мнению эти показатели могут быть увеличены до 3–4 км/км² в центральных зонах городов или уменьшены до 1,5–2 км/км² на городской периферии.

Показатели плотности существующих УДС и их загрузки движением рассматривались в работах А.В.Сигаева, С.А.Ваксмана и ряда других авторов. Как правило, предметом исследований были статистические данные, включавшие следующие показатели: плотность УДС, протяженность улиц и дорог в расчете на одного жителя, количество зарегистрированных транспортных средств на 1 км улиц и дорог, годовой пробег транспортных средств на 1 км улиц и дорог и т.д.

Ряд исследований посвящен установлению связи между показателями плотности и пропускной способности. Так, для центров городов М.Г. Крестмейном [29] предложен относительный показатель пропускной способности λ , являющийся отношением входной мощности магистралей N (авт./ч) к площади центральной части города S (га):

$$\lambda = N/S.$$

По результатам исследований (городов Краснодарского края и республик Северного Кавказа) относительная пропускная способность варьировала в диапазоне 15–32 авт./ч на 1 га, а рекомендуемые значения λ составили 15–30 авт./ч на 1 га.

Несколько отличающуюся методику предложила Д.Р. Гришквичене [18]. Автор оценивала состояние УДС на основе двух показателей:

плотности полос проезжих частей (отношение суммарной протяженности полос движения к территории), км полос/км²;

уровня организации движения (количество приведенных автомобилей, которое может пропустить полоса движения на перегоне или пересечении при условии соблюдения условия безопасности движения).

Существующая полосная плотность магистральных улиц в крупнейших городах Литвы варьировала в пределах 2,4–14,3 км/км². Усредненные значения загрузки магистральных улиц крупнейших городов Литвы и Таллинна составляли в час пик 170–500 прив.ед./ч; при этом для центральных зон городов Литвы было характерно значение 350–490 прив.ед./ч. Соответственно для городов с населением от 100 до 500 тыс. жителей рекомендовались:

в зависимости от категории улиц уровень организации движения от 250 до 1530 прив.ед./ч;

для уровня организации движения 375 прив.ед./ч предлагалась полосная плотность магистральной сети 12–20 км/км².

Важнейший недостаток показателя плотности и его модификаций – отсутствие какой-либо конкретной информации о тех или иных участках УДС. Поэтому к концу 1980-х гг. отношение к показателю плотности УДС меняется. Так, СНиП 2.07.01 – 89 уже не содержит нормы плотности УДС. Позиция его разработчиков, руководствовавшихся тем, что многообразие градостроительных ситуаций требует не усредненных, а индивидуальных решений, достаточно подробно отражена в статьях А.А. Агасьянца [1]. Автор подчеркивал, что сложилась практика учета лишь самых общих требований и рекомендаций, чаще нормативной плотности УДС и формальной классификации улиц и дорог. На его взгляд критериями формирования и развития УДС являются: расчетные пассажиропотоки и затраты времени на транспортные передвижения с трудовыми целями; расчетная скорость движения; пропускная способность; категории улиц и дорог.

Как критерий оценки показатель плотности УДС относится к дескрипторам. Нормирование плотности магистральной улично-дорожной сети необходимо, прежде всего, для обеспечения нормативной доступности линий общественного транспорта.

3.3.3. Емкость УДС

Показатель емкости УДС использовался целым рядом авторов, при этом само понятие емкости УДС получило несколько различающиеся определения. В проектных работах мастерской генерального плана ЛенНИИПроекта (с 1989 г. институт ЛенНИиПИ генерального плана), связанных с оценкой пропускной способности центральных районов Санкт-Петербурга, использовался показатель емкости сети магистральных улиц, предложенный О.Н. Крыловой [30]. Определялась длина колонны транспортных средств L , входящих и выходящих из центральных районов:

$$L = Ndl/100V,$$

где N – количество ТС, входящих и выходящих из центральных районов (пересекающих границы центра); d – динамический габарит автомобиля (рассчитанный для среднего значения скорости сообщения V); l – средняя длина поездки; V – средняя скорость сообщения на УДС центральных районов.

С учетом транзита через городской центр Санкт-Петербурга и поездок только в границах центра длина колонны L оценивалась величиной 474 км. Суммарная протяженность полос движения в центре составляла 1050 км. В соответствии с этим степень использования пропускной способности УДС центра достигала лишь 45% (475км/1050км·100%). Вместе с тем результаты этой оценки не содержат информации о состоянии отдельных участков сети. Уже в период проведения рассматриваемых проектных работ (1986–1987

гг.) в пиковые часы в ряде узлов центральной части Санкт-Петербурга потоки превышали пропускную способность.

Аналогичная модель оценки пропускной способности была предложена для центра Варшавы [171]. Под пропускной способностью территории понималось максимальное количество транспортных средств, которые могут в данный момент двигаться или находиться на стоянках в пределах рассматриваемой территории.

В целом рассмотренные выше показатели плотности и емкости сети являются дескрипторами и дают некоторую общую оценку состояния сети. В случае применения таких оценок информация об исчерпании пропускной способности каким-либо участком УДС отсутствует. В этом главная причина того, что в практике ОДД они не получили применения.

3.3.4. Оценка пропускной способности УДС на основе теории графов

Теория графов имеет много технических приложений, в том числе оценка пропускной способности сетей различной природы (электрических, гидравлических, информационных и т.д.). Традиционно такая оценка основана на понятиях максимального потока и минимального разреза, согласно которым величина максимального потока равна пропускной способности минимального разреза сети. В целом случаи применения теории разрезов для оценки УДС немногочисленны [36,197].

Использование разрезов рассмотрено в ряде исследований, выполненных в университете Осака. Авторами [197] особо подчеркивается, что матрица корреспонденций и распределение потоков конкретной УДС всегда тесно связаны с характеристиками сети (т.е. пропускной способностью ее элементов), размещением крупных объектов массового тяготения, расселением. В этом контексте пропускная способность УДС определяется как максимальный по-

ток при заданных матрице корреспонденций и пропускной способности всех элементов сети (т.е. ребер графа сети). Пропускная способность разреза оценивается суммированием пропускной способности ребер, проходящих через разрез. Величина потока, проходящего через разрез, определяется суммированием потоков, которыми обмениваются расположенные по разные стороны разреза начальные и конечные пункты корреспонденций (рис. 3.1). Процедура оценки предполагает последовательный перебор разрезов с выявлением разреза с наименьшей пропускной способностью или наиболее загруженного разреза.

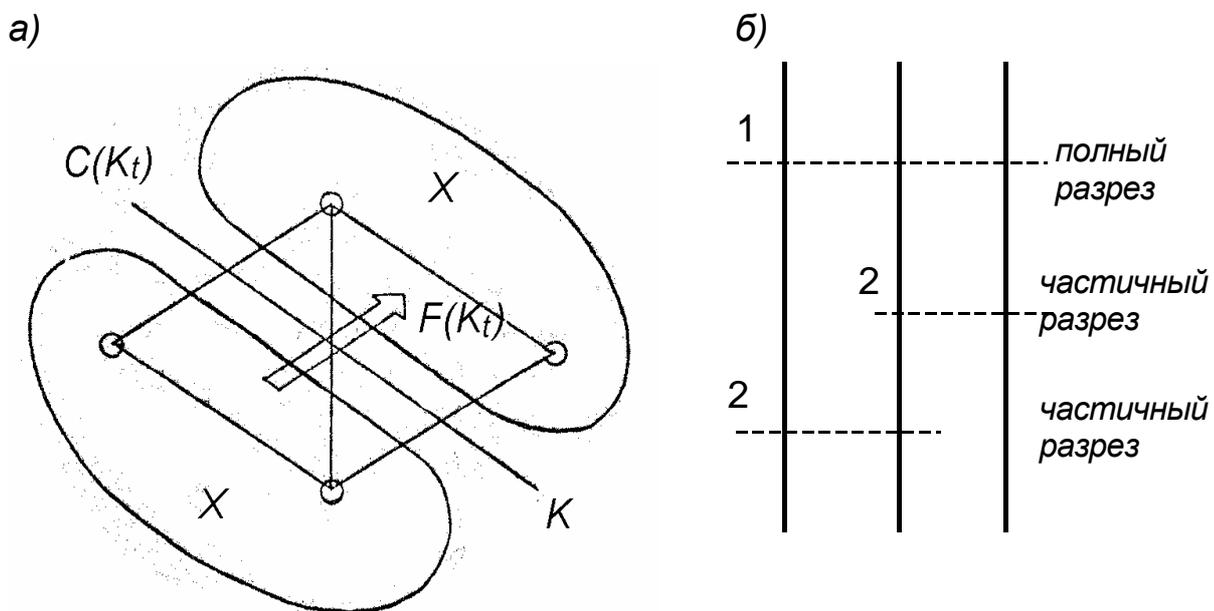


Рис. 3.1. Определение полного (а) и частичных разрезов (б) [197]: 1 – полный разрез; 2 – частичные разрезы ($F(K_t)$ – поток через разрез, $C(K_t)$ – пропускная способность разреза)

Для незначительной по размерам сети не представляется сложным произвести перебор всех ее разрезов, количество которых $n(n-1)/2$, где n – количество вершин графа. Трудоемкость оценки резко возрастает с размером сети. В этой связи японские авторы считают, что с практических позиций целесообразно рассматривать

лишь некоторое количество наиболее важных разрезов сети. Для уменьшения трудоемкости оценки ими предложено понятие “частичного разреза” (см. рис. 3.1).

Пропускная способность частичного разреза и величина потока через него определяются, как и в случае полного разреза. По мнению этих авторов наиболее важным условием применения метода частичных разрезов является заданная исходная матрица корреспонденций. Вторая обязательная составляющая исходных данных – информация о распределении потоков. Японские специалисты предполагали три возможных случая оценки распределения потоков по маршрутам [197]:

1. Заданы пути следования для любого из потоков заданной матрицы корреспонденций.

Распределение всех потоков матрицы корреспонденций определено на основе какой-либо гипотезы (т.е. используется модель распределения потоков).

2. Заданы пути следования для любого из потоков заданной матрицы корреспонденций.

В отличие от первого случая установлено реальное распределение потоков. Для каждой из пар корреспондирующих вершин известны объем корреспонденций и распределение этих корреспонденций по маршрутам на основе исследования сети.

3. Равновероятно использование любого пути следования любым из потоков заданной матрицы корреспонденций.

Предполагается, что потоки могут использовать любой из возможных путей следования, при этом не накладываются ограничения на вероятность выбора того или иного пути.

Отметим, что первый и третий случаи применимы для оценки пропускной способности УДС в перспективе, при предполагаемом росте интенсивности движения. Второй случай более соответствует оценке текущего состояния сети.

В нашей стране идея использовать теорему о максимальном потоке в задачах проектирования УДС рассмотрена в монографии Г.Н. Зубкова [21]. Пропускная способность определяется автором как максимальный поток (количество транспортных средств), который может быть реализован сетью в единицу времени (час и т.д.). Количественной оценкой является максимум функции (максимальный суммарный поток, который обеспечивается сетью относительно всех корреспондирующих пунктов сети одновременно)

$$\max \sum_{i,j} F_{ij}, \quad (3.4)$$

где F_{ij} – поток, который может реализовать сеть между двумя корреспондирующими пунктами сети i и j .

Необходимой исходной информацией служат значения пропускной способности магистральных улиц (т.е. задана пропускная способность ребер ориентированного графа). Наиболее точным представлением результатов является полный набор значений потоков F_{ij} в виде матрицы. Основная трудность такого подхода – трудоемкость перебора всех разрезов графа. Поэтому Г.Н. Зубков предлагал использовать описание ограничений пропускной способности в виде системы линейных неравенств и решать обычную задачу линейного программирования (т.е. каждое ребро и потоки на нем представляются в форме неравенства).

Следует подчеркнуть определенные противоречия между взглядами разных специалистов. Японские авторы [197] отметили применимость методов линейного программирования, но, в отличие от Г.Н. Зубкова, посчитали это пригодным для небольших сетей. Вместе с тем подход к оценке пропускной способности, предложенный Г.Н. Зубковым, легко реализуется путем использования стандартных математических пакетов линейной алгебры, которые позволяют работать с большими матрицами.

3.4. Интегральный критерий оценки – показатель уровня обслуживания

3.4.1. Основные положения концепции показателя уровня обслуживания

Уровень обслуживания (Level of Service, или LOS) заимствован из теории массового обслуживания и используется для оценки условий движения транспортных средств. Основные характеристики системы массового обслуживания (длина очереди в определенный момент времени, продолжительность периода, в течение которого n -е требование ожидает обслуживания, средняя продолжительность пребывания заявки в системе и т.д.) иногда требуют сложных вычислений. Поэтому возникла идея использовать для оценки условий движения транспортных потоков такую простую характеристику, как коэффициент загрузки

$$k = N/P, \quad (3.5)$$

где N – интенсивность поступления требований ; P – интенсивность обслуживания требований.

Другой причиной выбора такого критерия было требование, что критерий должен быть ясным и понятным даже для широкой аудитории, устанавливаться как в результате обследований, так и в результате расчетов.

Показатель получил название “уровень обслуживания” и определяется как “качественная характеристика, которая отражает такие совокупные факторы, как скорость движения, время поездки, свободу маневрирования, безопасность и удобство управления автомобилем” [156]. Приведенная формулировка имеет следующее объяснение: “Цель транспортных мероприятий – обслужить определенное количество требований с приемлемым качеством обслуживания. Это качество представляется пользователем в виде свободы выбора скорости и направления движения. ...Все эти качественные показатели изменяются как некоторая функция отношения ин-

тенсивности движения к пропускной способности обслуживающего транспортного сооружения” [156]. Цитируемые определения почти в неизменном виде содержатся в изданиях руководства по оценке пропускной способности Highway Capacity Manual [117,118] (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Градации уровней обслуживания и уровней удобства [1,59]

Уровень обслуживания	Уровень загрузки	Характеристика условий движения	Уровень удобства	Коэффициент загрузки	Характеристика условий движения
A	<0,1	Свободный поток	A	<0,2	Свободный поток
B	≥0,1	Устойчивый поток	Б	0,2—0,45	Частично связанный поток
C	≥0,3	Устойчивый поток	B	0,45—0,7	Связанный поток
D	≥0,7	Приближающийся к неустойчивому	Г-а	0,7—1,0	Насыщенный поток
E	≥1,0	Неустойчивый поток	Г-б	≥1,0	Плотно насыщенный поток

Уровень обслуживания стал в США основным критерием оценки качества ОДД и был включен в нормативные документы. Первоначально этот критерий был предложен для перегонов дорог и улиц. Разделение на уровни обслуживания преследовало цель транслировать многочисленные параметры, характеризующие функционирование автомобильного транспорта и дорог, в более простую и доступную для понимания шкалу оценки. За основу градации уровней обслуживания был принят коэффициент загрузки – отношение интенсивности движения к пропускной способности [формула (3.5) и табл. 3.3]. В нашей стране этот показатель стал использоваться для оценки условий движения на автомобильных до-

рогах общего пользования [59] и получил название “уровень удобства” (см. табл. 3.3).

Как уже указывалось выше, концепция критерия LOS и методика его применения включаются в состав руководства Highway Capacity Manual. В последнее десятилетие руководство (издание HCM 1985, дополненные переиздания в 1994 и 1997 гг., HCM 2000) претерпело значительные изменения; в него включены показатели LOS почти для всех элементов УДС, рассмотрено качество обслуживания пешеходного и велосипедного движения, качество обслуживания маршрутным пассажирским транспортом.

3.4.2. Формирование системы показателей уровня обслуживания

В настоящее время можно говорить о системе показателей уровня обслуживания [1,59,87,109,118,168,188,203]. В последнем издании HCM 2000 [118] предложены показатели LOS для большинства элементов УДС (табл. 3.4 и 3.5). Естественно, что для каждого вида движения (транспорт, пешеходы и т.д.) и каждого типа элементов УДС (перегоны, перекрестки, тротуары, пешеходные переходы и т.д.) используются свой определенный показатель и соответствующий метод его определения (см. табл. 3.4). Более того, критерии, используемые как индикаторы уровня обслуживания, могут применяться в других видах оценок – экологических и экономических (см. табл. 3.5).

Таким образом, условия движения транспортных средств, пешеходов и других пользователей можно оценивать на различных элементах улично-дорожной сети одним критерием – показателем уровня обслуживания (или уровня удобства).

Таблица 3.4

**Элементы УДС и виды движения, рассматриваемые
в руководстве НСМ 2000 [118]**

Элемент УДС	Показатель уровня обслуживания	Показатель, используемый для расчета скорости сообщения
	Автомобильный транспорт	
Прерываемое движение ¹ :		
Городские улицы	Скорость	Скорость
Регулируемые пересечения	Задержка	Задержка
Нерегулируемые пересечения	То же	То же
Нерегулируемые пересечения с остановкой при движении	— —	— —
Кольцевые пересечения ²	—	— —
Рампы развязок	Задержка	— —
Непрерывное движение ³ :		
Улицы с двухполосными проезжими частями	Скорость, доля времени движения в режиме следования за лидером	Скорость
Улицы с многополосными проезжими частями	Плотность	То же
Городские скоростные дороги:		
Перегоны	То же	Скорость
Ответвление съездов (рамп)	— —	То же
Примыкание съездов (рамп)	— —	— —
Участки переплетения потоков	Скорость	— —
Другие пользователи		
Маршрутный пассажирский транспорт ⁴	—	Скорость
Велосипедисты	Пространство, задержка	Скорость, задержка
Пешеходы	То же	То же

Примечания:

1. Под прерываемым движением понимаются регулируемые и нерегулируемые перекрестки, на которых происходят задержки транспортных средств.
2. Руководство НСМ 2000 не включает метод оценки уровня обслуживания на кольцевых пересечениях.
3. Под непрерывным движением понимаются дороги, имеющие только развязки в разных уровнях.
4. Для оценки уровня обслуживания при поездках на маршрутном пассажирском транспорте используется несколько критериев.

Таблица 3.5

Показатели уровня обслуживания и их связь с другими видами оценок
НСМ 2000 [118]

Элементы УДС и виды движения	Критерии, используемые для оценки уровня обслуживания	Возможности использования критерия для других оценок		
		Состояние воздуха	Уровень шума	Экономическая оценка
Городские улицы	Скорость сообщения	√	√	√
	Время поездки	√	—	√
	Задержка *	√	—	√
Регулируемые пересечения	Задержка *	√	—	√
	Коэффициент загрузки	√	—	√
Нерегулируемые пересечения	Задержка *	√	—	√
	Длина очереди	√	√	√
	Коэффициент загрузки	√	—	√
Движение пешеходов	Пространство	—	—	—
	Задержка	—	—	—
	Скорость	—	—	√
	Коэффициент загрузки	—	—	√
Двухполосные дороги	Доля времени движения в режиме следования за другим автомобилем	—	—	—
	Скорость	√	√	√
Многополосные дороги	Плотность потока	—	—	—
	Скорость	√	√	√
	Коэффициент загрузки	√	—	√
Участки скоростных дорог (freeway facilities)	Плотность потока	—	—	—
	Скорость	—	—	√
	Задержка **	√	√	√
	Продолжительность поездки	—	—	√
Эталонный перегон (Basic Freeway Section)	Плотность потока	—	—	—
	Скорость	√	√	√
	Коэффициент загрузки	—	—	—
Участки переплетения потока	Плотность потока	—	—	—
	Скорость в зоне переплетения	√	√	√
	Скорость вне зоны переплетения	√	√	√
Съезды (рампы) развязок	Плотность потока	—	—	—
	Скорость	√	√	√
Примыкание съездов	Задержка *	√	—	√
Пассажирский маршрутный транспорт	Интервал движения	√	√	√
	Суточная продолжительность работы	√	√	√
	Загрузка салона	√	√	√
	Надежность	√	√	√

* Задержка, вызванная организацией движения.

** Суммарная задержка на съездах данного участка.

В своем первоначальном виде показатель уровня обслуживания являлся инструментом оценки конкретного элемента УДС на основе данных, получаемых в результате обследований и простейших расчетов. Развитие теории транспортных потоков, вычислительной техники, методов моделирования УДС и пакетов программ позволило производить оценку прогнозируемого уровня обслуживания при проектировании. Теперь к сфере применения показателей LOS относят [211]:

анализ на стадии управления и эксплуатации – определение уровня обслуживания при заданных дорожных и транспортных условиях, разработка мероприятий ОДД, проектирование;

анализ на стадии проектирования ОДД – оценка транспортного обслуживания при средне - и долгосрочных прогнозах, определение расчетных параметров транспортных сооружений, обеспечивающих заданное качество обслуживания;

анализ на стадии планирования – оценка качества обслуживания при долгосрочных прогнозах и стратегическом планировании развития транспортных систем.

Поскольку область применения критерия очень широка, в самых общих чертах рассмотрим показатели уровня обслуживания, предложенные для ряда элементов УДС.

3.4.3. Оценка уровня обслуживания на перегонах улиц и дорог

В последнем издании руководства HCM 2000 [118] градация уровней обслуживания для условий непрерывного движения получила некоторые уточнения (см. рис. 3.2 и табл. 3.5), при этом оценка уровня обслуживания при непрерывном движении связана с рядом понятий, определения которых приводятся ниже.

Эталонный перегон (Basic Freeway Section) – перегон многополосной дороги с непрерывным движением, находящийся вне

зон влияния съездов (рамп) развязок и участков переплетения потоков. Эталонный перегон характеризуется следующими основными параметрами:

расстояние между развязками не менее 2 миль;

ширина полос движения не менее 12 футов;

боковой зазор на обочине справа не менее 6 футов;

боковой зазор до ограждений на разделительной полосе не менее 2 футов;

поток состоит только из легковых автомобилей;

плоский рельеф, продольные уклоны не превышают 2%.

Пропускная способность (Capacity) – максимальная устойчивая интенсивность движения в течение 15 мин., которую может обслужить эталонный перегон в преобладающих дорожных условиях, выражается количеством легковых автомобилей в час на полосе.

Объем обслуживания (Service Volume) – максимальная интенсивность движения, которая может быть обслужена дорогой (улицей, пересечением и т.д.) при заданном уровне обслуживания. Понятие “фактический уровень обслуживания” употребляется, когда оцениваются преобладающие дорожные условия, а понятие “расчетный уровень обслуживания” – когда оцениваются проектируемая дорога или ее элемент [118].

Скорость свободного потока (Free Flow Speed) – 1) теоретическая скорость при отсутствии других транспортных средств (при плотности потока, равной нулю); 2) средняя скорость движения автомобилей на перегоне улицы, не имеющей светофорного регулирования, в условиях низкой плотности потока; 3) средняя скорость движения автомобилей на идеальном перегоне многополосной проезжей части в условиях низкой плотности потока.

Коэффициент внутричасовой неравномерности (Peak-hour Factor) – отношение интенсивности движения в час пик к макси-

мальной интенсивности движения в течение 15 мин. в период этого пикового часа.

Использование коэффициента внутричасовой неравномерности PHF вызвано необходимостью уделять внимание пиковым периодам суток, когда УДС работает с максимальными нагрузками. Неравномерность интенсивности движения наблюдается и внутри самих пиковых периодов. Такие короткие промежутки времени с максимальной интенсивностью в час пик могут стать причиной исчерпания пропускной способности. Наиболее распространенная практика состоит в разделении часа пик на 15-минутные интервалы при подсчете интенсивности движения. Наибольшее значение интенсивности принимается за расчетное значение. В соответствии с этим на основе данных обследований коэффициент внутричасовой неравномерности PHF определяется как

$$PHF = \frac{V}{4 \times V_{15}}, \quad (3.6)$$

где V – интенсивность за час пик, прив.ед./ч; V_{15} – максимальное количество автомобилей, прошедших за 15 - минутные интервалы, прив.ед.

Для эталонных перегонов городских дорог с непрерывным движением приняты нижеследующие значения пропускной способности полосы движения (табл. 3.6).

Показателем уровня обслуживания на перегонах дорог с непрерывным движением принята плотность транспортного потока. Рассматриваемый как функция плотности потока и коэффициента загрузки, критерий получил в СНМ 2000 [118] градацию, приведенную в табл. 3.7 и на рис. 3.2.

В соответствии с приведенными выше определениями терминов и данными табл. 3.6 и 3.7 определение показателя LOS выполняется в указанной ниже последовательности [формулы (3.7) – (3.12)].

Таблица 3.7

Границы уровней обслуживания на перегонах дорог в случае непрерывного движения (СНМ 2000) [118]

Уровень обслуживания	Плотность потока	
	прив.ед./миля	прив.ед./км
A	<11	<7
B	11,1 – 18	7,1 – 11
C	18,1 – 26	11,1 – 16
D	26,1 – 35	16,1 – 22
E	35,1 – 45	22,1 – 28
F	>45	>28

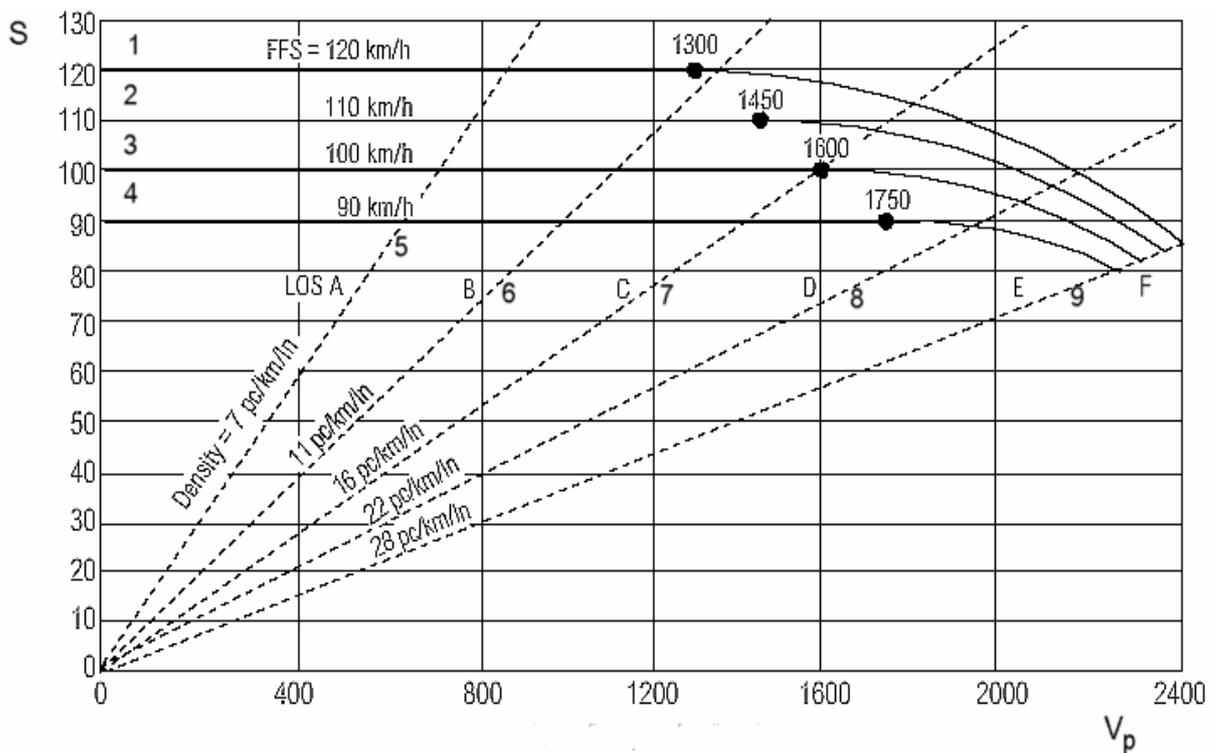


Рис. 3.2. Зависимость средней скорости S от интенсивности V_p [118] (1–4 – скорость свободного движения FFS , км/ч: 1 – 120; 2 – 110; 3 – 100; 4 – 90) и границы уровней обслуживания для непрерывного движения при плотности потока D , прив.ед./км (5 – уровней А – В, $D = 7$; 6 – уровней В – С, $D = 11$; 7 – уровней С – D, $D = 16$; 8 – уровней D – E, $D = 22$; 9 – уровней E – F, $D = 28$)

1. Определяется интенсивность движения v_p в 15-минутный пиковый период по формуле

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV} \times f_P}, \quad (3.7)$$

где V – проектная интенсивность, прив.ед./ч; PHF – коэффициент внутрисуточной неравномерности для перерасчета по формуле (3.6) интенсивности движения в час пик к максимальной за период этого пикового часа, в случае дорог с непрерывным движением изменяется в диапазоне 0,80 – 0,95; N – количество полос движения; f_{HV} – коэффициент, учитывающий наличие грузовых автомобилей и автобусов в потоке,

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad (3.8)$$

(здесь P_T – доля грузовых автомобилей и автобусов в потоке; E_T – коэффициент приведения грузовых автомобилей и автобусов к легковому автомобилю; P_R – доля рекреационных (т.е. перевозящих оборудование для спорта и отдыха) автомобилей в потоке; E_R – коэффициент приведения рекреационных автомобилей к легковому автомобилю); f_P – поправочный коэффициент, учитывающий поведение водителей.

2. Определяется скорость свободного потока FFS как

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_N - f_{ID}, \quad (3.9)$$

где $BFFS$ – типичная скорость в свободных условиях (75 миль/ч – скорость на загородных дорогах, 70 миль/ч – скорость на городских дорогах); f_{LW} – коэффициент, учитывающий ширину полос движения; f_{LC} – коэффициент, учитывающий боковой зазор на обочине до ограждений, сооружений и т.д.; f_N – коэффициент, учитывающий количество полос движения; f_{ID} – коэффициент, учитывающий плотность размещения развязок.

3. Определяется уровень обслуживания. Для этого рассчитывается скорость потока S :

при выполнении условия $V_p \leq (3100 - 15FFS)$

$$S = FFS; \quad (3.10)$$

при условии $(3100 - 15FFS) < V_p \leq (1800 + 5FFS)$

$$S = FFS - \left[\frac{1}{28} (23FFS - 1800) \left(\frac{V_p + 15FFS - 3100}{20FFS - 1300} \right)^{2.6} \right]. \quad (3.11)$$

Плотность потока D (прив.ед./км) рассчитывается как отношение

$$D = \frac{V_p}{S}. \quad (3.12)$$

Определение показателя уровня обслуживания для непрерывного движения выполняется на основе исходных параметров V_p , FFS , D (см. рис. 3.2).

При регулируемом движении оценка уровня обслуживания на городских улицах выполняется на основе расчетов скорости сообщения с учетом задержек на регулируемых и нерегулируемых пересечениях. В соответствии с этим и с учетом классификации улиц (табл. 3.8) предложена градация уровней обслуживания, приведенная в табл. 3.9.

Средняя скорость сообщения (км/ч) на участке улицы (рис. 3.3) определяется как

$$S_A = \frac{3600L}{T_R + d}, \quad (3.13)$$

где L – длина участка, км; T_R – время движения по участку, с; d – задержка, вызванная ОДД, на регулируемом пересечении, с.

Таблица 3.8

Классы городских улиц (СНМ 2000) [118]

Особенности проектирования в зависимости от типа района	Функциональная категория	
	Важнейшие магистрали	Второстепенные магистрали
Скоростные дороги (загородные)	I	—
Пригородные районы	II	II
Районы, промежуточные между городскими и пригородными	II	III или IV
Городские районы	III или IV	IV

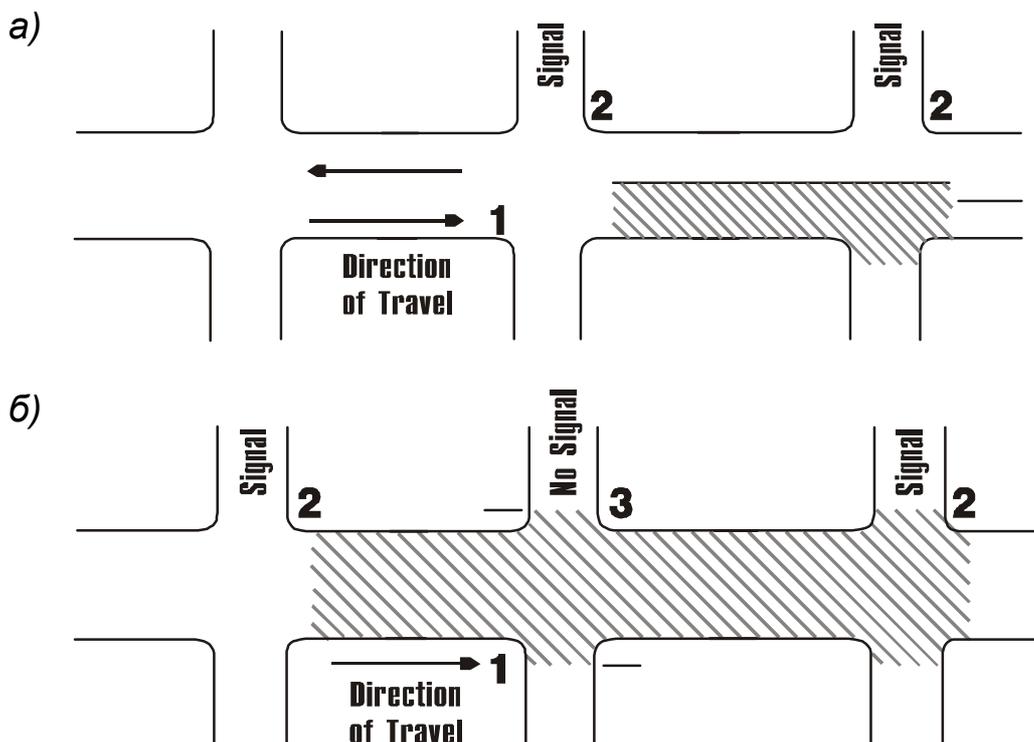


Рис. 3.3. Участок (сегмент) улицы с двухсторонним движением (а) и односторонним (б) при определении уровня обслуживания с использованием формулы (3.13): 1 – направление движения; 2 – регулируемые перекрестки; 3 – нерегулируемый перекресток (участок улицы является главным направлением движения)

Соответственно уровень обслуживания улицы в целом

$$S_A = \sum L / \sum T, \quad (3.14)$$

где $\sum L$ – длина улицы (сумма участка), км; $\sum T$ – суммарное время движения по улице, с;

Для определения задержек, входящих в состав параметров, используемых в формулах (3.13) и (3.14), применяется детальная методика, изложенная еще в руководстве НСМ 1985, в которой также учитывается степень координации движения между соседними перекрестками. Это принципиально важно для расчетов задержек, когда перекрестки нельзя рассматривать как изолированные.

Таблица 3.9

Границы уровней обслуживания на городских улицах с регулируемым движением (СНМ 2000) [118]

Класс городской улицы	Диапазон значений скорости в свободных условиях (FFS), км/ч	Типичное значение FFS, км/ч	Границы уровней обслуживания					
			A	B	C	D	E	F
			Средняя скорость сообщения, км/ч					
I	90 – 70	70	>72	56,1 – 72	40,1 – 56	32,1 – 40	26,1 – 32	≤26
II	70 – 55	70	>59	46,1 – 59	33,1 – 46	26,1 – 33	21,1 – 26	≤21
III	55 – 50	70	>50	39,1 – 50	28,1 – 39	22,1 – 28	17,1 – 22	≤17
IV	55 – 40	70	>41	32,1 – 41	23,1 – 32	18,1 – 23	14,1 – 18	≤14

В соответствии с выбранным индикатором уровня обслуживания (средней скоростью сообщения) условия движения на город-

ских улицах при различных уровнях охарактеризованы в СНМ 2000 следующим образом:

Уровень А. Свободный поток, средняя скорость составляет 90% скорости в свободных условиях *FFS* данного класса улиц. Свободные условия для выполнения маневров. Задержки на регулируемых перекрестках минимальны.

Уровень В. Средняя скорость составляет 70% скорости в свободных условиях *FFS* данного класса улиц. Незначительные помехи движению и выполнению маневров. Задержки на регулируемых перекрестках незначительны.

Уровень С. Стабильный поток, но возможность выполнения маневров и смены полосы движения более затруднены, чем при уровне В. Возрастают очереди у перекрестков. Средняя скорость составляет 50% скорости в свободных условиях *FFS* данного класса улиц.

Уровень Д. При данном уровне незначительное увеличение скорости может вызывать рост задержек и снижение скорости сообщения. Данный уровень наблюдается при плохой координации, не соответствующих потокам параметрах режима регулирования или при сочетании этих причин. Средняя скорость составляет 40% скорости в свободных условиях *FFS* данного класса улиц.

Уровень Е. Характеризуется значительными задержками и снижением скорости сообщения до 33 % скорости в свободных условиях *FFS* данного класса улиц. Причинами такого состояния могут быть комбинации следующих факторов: плохая координация, не соответствующие потокам параметры режима регулирования, высокая плотность размещения регулируемых пересечений, большая интенсивность движения.

Уровень F. Средняя скорость составляет 25–33 % скорости в свободных условиях *FFS* данного класса улиц. Значительные задержки и длина очередей у регулируемых перекрестков.

Таблица 3.10

Допустимые уровни обслуживания, принятые в штате Флорида [109]

Категория дорог		Загородные территории	Территории, которые будут отнесены к городским ¹	Городские территории с населением менее 500 000	Городские территории с населением более 500 000	Дороги, дублирующие важнейшие маршруты пассажирских перевозок	Территории с особым режимом застройки и планировки ²	Улицы, не подлежащие реконструкции ³
Дороги, включенные в план транспортной системы Флориды	Дороги с ограниченным доступом (Limited access)	B	C	C(D)	D(E)	D(E)	D(E)	По условиям эксплуатации ⁵
	Дороги с регулируемым доступом (Controlled access)	B	C	C	D	E	E	То же
Другие магистральные дороги	Многополосные	B	C	D	D	E	Специальные нормы ⁴	По условиям эксплуатации ⁵
	Двухполосные	C	C	D	D	E	Специальные нормы ⁴	То же

Примечания:

1. Территории, которые планируется в течение 20 лет включить в состав урбанизированных территорий.
2. Территории, на которых существуют ограничения, связанные с сохранением исторических и культурных ценностей, природных ландшафтов и проектами реабилитации городских территорий.
3. Дороги, которые функционируют при предельных допустимых уровнях обслуживания, но не будут подвергаться реконструкции в течение 5 ближайших лет.
4. Условия движения должны соответствовать требованиям документа Rule 9J-5.0057 штата Флорида.
5. В городских условиях средний годовой рост интенсивности составляет 10-процентное превышение интенсивности движения предельного уровня обслуживания.

Следует отметить, что в отличие от магистральных улиц и дорог для улиц и дорог с двухполосными проезжими частями предлагается использовать долю времени, при которой осуществляется движение в режиме следования за впереди идущим транспортным средством (т.е. когда водитель вынужден снижать скорость и не может совершить обгон). Таким образом, категории улиц и дорог (многополосные дороги непрерывного движения, улицы и дороги с регулируемым движением, двухполосные проезжие части местных улиц и дорог) оцениваются соответствующими критериями, что демонстрирует гибкость системы показателей уровней обслуживания.

На основе положений СНМ 2000 департаменты транспорта формируют собственные нормативы проектирования и организации движения, вносят в них определенные дополнения. Пример предельных допустимых значений уровня обслуживания, принятых в штате Флорида, приведен в табл. 3.10.

3.4.4. Оценка уровня обслуживания на пересечениях

Средняя задержка, или продолжительность обслуживания, является одним из наиболее часто используемых критериев качества функционирования систем массового обслуживания. Естественно, что показателем уровня обслуживания транспортных средств на регулируемых пересечениях традиционно служит величина средней задержки (табл. 3.11). Кроме того, анкетирование специалистов и водителей показало, что экспертные оценки условий движения на регулируемых перекрестках лучше всего коррелируют с величиной средней задержки [206].

Таблица 3.11

Градации уровней обслуживания для регулируемых пересечений, основанные на величине средней задержки (stopped delay)

Уровень обслуживания	Величина средней задержки, с			
	May A. [211], Tidvell J.E. [196]	Sutaria T., Hampreys J.E. [196]	HCM 1985, 1994	
			Условия движения	Время, с
A	≤15	≤12,6	Задержка отсутствует или мала	≤5
B	≤30	≤30,1	Незначительная длительность цикла регулирования, хорошая координация	5,1 – 15
C	≤40	≤47,7	Возросшая длительность цикла регулирования, достаточно хорошая координация	15,1 – 25
D	≤60	≤65,2	Значительная длительность цикла регулирования, достаточно хорошая координация	25,1 – 40
E	>60	≤82,2	Значительная длительность цикла регулирования, плохая координация	40,1 – 60
F	—	—	Условия движения неприемлемы для большинства водителей, интенсивность на подходах превышает пропускную способность перекрестка	> 60

В руководстве HCM 2000 [118] в качестве показателя уровня обслуживания на регулируемых и нерегулируемых пересечениях используется так называемая задержка, вызванная регулированием (Control Delay). Термин Control Delay имеет следующее определение: задержка, возникающая в результате замедления или остановки и измеряющаяся как разница между затратами времени при движении без регулирования. Объяснение этому термину дает диаграмма расстояние – время (рис. 3.4). В связи с применением нового критерия границы уровней обслуживания на регулируемых пересечениях получили изменения (табл. 3.11 и 3.12). Рассматривае-

мый индикатор уровня обслуживания был использован и для оценки условий движения на второстепенных направлениях нерегулируемых пересечений (табл. 3.14) и участках примыканий съездов развязок. Далее по тексту этот показатель будет называться задержкой, вызванной организацией движения, и обозначаться *ACD* (Average Control Delay).

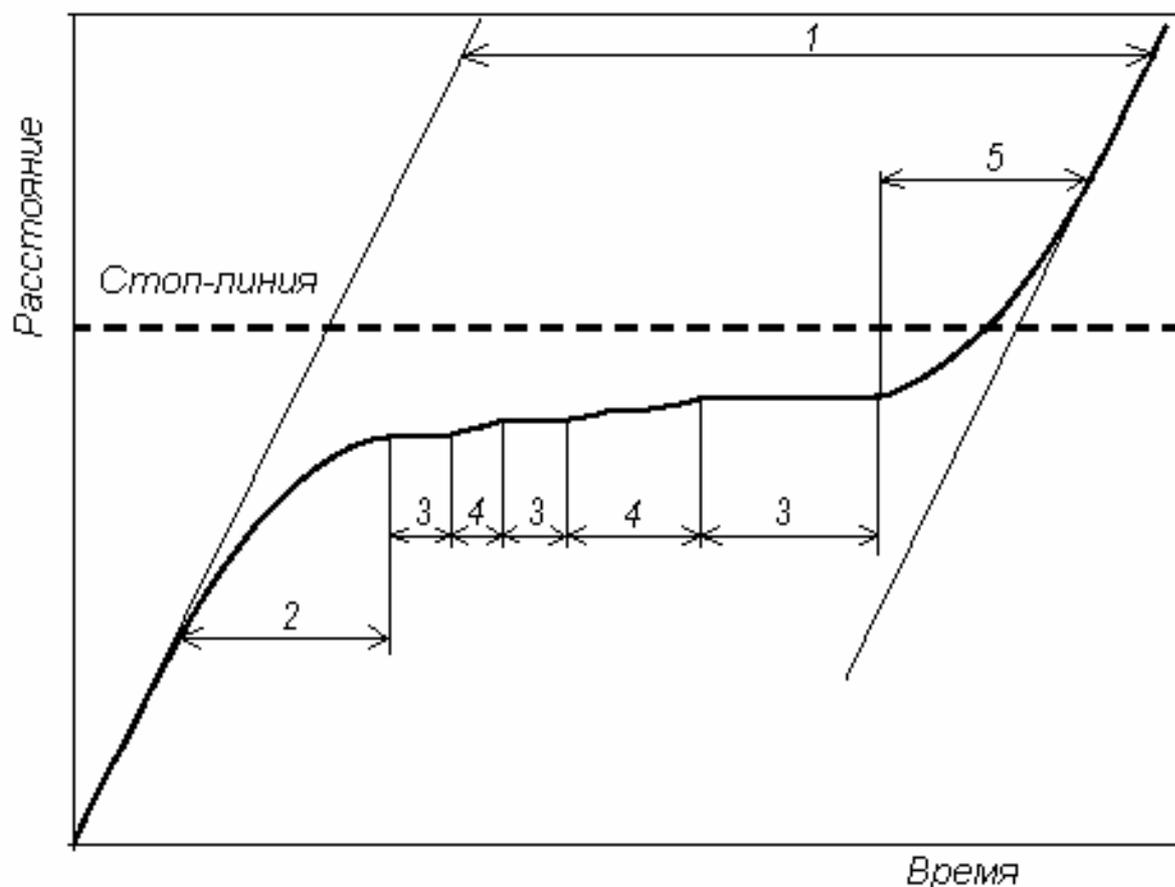


Рис. 3.4. Потери времени, входящие в состав задержки *ACD* (1), вызванной организацией движения на регулируемом пересечении: 2 – торможение (Deceleration delay); 3 – остановки в очереди транспортных средств (Stopped delays); 4 – продвижение в очереди транспортных средств (Queue move-up-delays); 5 – разгон (Acceleration delay)

На нерегулируемых пересечениях условия движения характеризуются задержками, снижением скорости движения второстепенного направления и т.д. Поэтому в случае нерегулируемых пересечений предлагалось использовать разные показатели [159] (см. табл. 3.13). Градация уровней обслуживания для нерегулируемых пересечений, принятая в Руководстве СНМ 2000 [118], приведена в табл. 3.14.

Таблица 3.12

Градация уровней обслуживания для регулируемых пересечений (СНМ 2000) [118]

Уровень обслуживания	Условия движения	Величина средней задержки, вызванной организацией движения (Average Control Delay), с
A	Задержка отсутствует или мала	≤ 10
B	Незначительная длительность цикла регулирования, хорошая координация	10,1 – 20
C	Возросшая длительность цикла регулирования, достаточно хорошая координация	20,1 – 35
D	Значительная длительность цикла регулирования, достаточно хорошая координация	35,1 – 55
E	Значительная длительность цикла регулирования, плохая координация	55,1 – 80
F	Условия движения неприемлемы для большинства водителей, интенсивность на подходах превышает пропускную способность перекрестка	> 80

В Руководстве СНМ 2000 [118] подчеркивается, что уровень обслуживания F на нерегулируемых пересечениях соответствует условиям, когда пропускная способность второстепенного направления не превышает 85 авт./ч.

Таблица 3.13

Предлагавшиеся показатели и градации уровней обслуживания для нерегулируемых пересечений [159]

Уровень-обслуживания	Второстепенные направления движения		
	Величина средней задержки, с	Доля автомобилей, снизивших скорость до 16 км/ч, %	Доля остановившихся автомобилей, %
A	<15	<60	<40
B	<30	<70	<60
C	<40	<80	<70
D	<60	<85	<75
E	>60	>85	>75

Таблица 3.14

Используемая в настоящее время градация уровней обслуживания для нерегулируемых пересечений (СНМ 2000) [118]

Уровень обслуживания	Величина средней задержки, вызванной организацией движения (Average Control Delay), с
A	≤10
B	10,1 – 15
C	15,1 – 25
D	25,1 – 35
E	35,1 – 50
F	> 50

В Руководстве СНМ 2000 [118] градация уровней обслуживания на съездах рассматривается отдельно для проезжих частей съездов и участков примыкания съездов к основному направлению. В первом случае индикатором обслуживания выбрана плотность потока (табл. 3.15). Участки примыканий съездов оцениваются аналогично нерегулируемым пересечениям.

Таблица 3.15

Градации уровней обслуживания для съездов (рамп)
развязок (СНМ 2000) [118]

Уровень обслуживания	Максимальная плотность потока, прив.авт./миля *	Описание
A	≤10	Поворачивающие с основного направления ивливающиеся в него автомобили не создают помех движению на основном направлении
B	>10 – 20	Маневры поворота с основного направления и слияния с ним заметны для водителей, двигающихся в прямом направлении
C	>20 – 28	В зонах влияния съездов снижается средняя скорость, заметно влияние маневров поворота с основного направления и слияния с ним
D	>28 – 35	Все транспортные средства снижают скорость при выполнении поворота с основного направления и слияния с ним
E	>35	Условия, близкие к исчерпанию пропускной способности. Скорость движения меньше 40 миль/ч. Маневры поворота с основного направления и слияния с ним оказывают влияние на всех водителей, двигающихся в зоне съездов развязки
F	**	Условия насыщения. При этом уровне поток превышает пропускную способность основного направления (слияние с основным направлением) и съезда (разветвление потоков)

* Плотность потока измеряется в приведенных (легковых) автомобилях в час на милю на одну полосу.

** Поток превышает пропускную способность.

Сравнение Руководства СНМ 2000 [118] с нормативными советскими, а затем российскими документами и публикациями по-

зволяет сделать следующие выводы. Методы расчета задержек на нерегулируемых пересечениях, примыканиях съездов развязок, кольцевых развязках подробно рассмотрены в работах Е.М. Лобанова, В.В. Сильянова [59,60] и ряда других авторов. Кроме того, имеются нормативные руководства, в которых содержатся подробные методики соответствующих расчетов. Однако в нашей стране не обновляется методическое обеспечение по проектированию регулируемых пересечений (расчетам задержек, очередей транспортных средств, параметров режимов регулирования). В Руководстве НСМ 1985 [117] для определения средней задержки была предложена уточненная зависимость, получившая название североамериканской формулы (North American Equation). Считается, что она дает более точную оценку средней задержки при значениях коэффициента насыщения, близких 1,00 [202]. Кроме того, за последние примерно 15 лет было уделено большое внимание изучению параметров, используемых в расчетах режима регулирования (потoki насыщения в различных условиях, коэффициенты приведения к легковому автомобилю, влияние координации движения на величину средней задержки и т.д.).

3.4.5. Показатель уровня обслуживания пешеходных потоков

Показатель уровня обслуживания получил в дальнейшем распространение и на пешеходное движение. Для описания параметров пешеходного потока воспользовались моделями макроскопической теории транспортного потока. Соответственно на движение пешеходов были перенесены сложившиеся в теории транспортных потоков концепции пропускной способности, соотношений скорости, плотности и интенсивности, а также понятие уровней обслуживания [20,141,150].

Для оценки движения пешеходов на тротуарах применяются аналогии с транспортным потоком на перегонах дорог. Критерием комфорта движения пешеходов и степени загруженности пешеходной коммуникации выбрана плотность пешеходного потока, оцениваемая отношением количества пешеходов к площади этой коммуникации [20,141,150]. Многими авторами отмечено, что именно плотность определяет возможность пешехода избрать желаемые ему темп и траекторию движения, учитывает помехи и даже физические воздействия на пешехода со стороны других участников движения [141,102,108,109]. В соответствии с этим предлагались градации уровней обслуживания (табл. 3.16) пешеходных потоков.

Таблица 3.16

Границы уровней обслуживания пешеходных потоков

Уровень обслуживания	Плотность пешеходного потока, чел./м ²			
	Авторы, библиографические источники			
	Fruin J.J., Benz G.P. [150]*	Da Rios, Rinelli [141]	Weidmann U. [220]	Fruin J.J., Benz G.P. [150]**
A	<0,28	<0,3	<0,10	<0,83
B	0,28-0,46	0,3-0,4	0,10-0,30	0,83-1,11
C	0,46-0,69	0,4-0,7	0,30-0,45	1,11-1,54
D	0,69-1,00	0,7-1,0	0,45-0,60	1,54-3,57
E	1,00-1,85	1,0-2,0	0,60-0,75	3,57-5,50
F	>1,85	>2,0	0,75-1,00	>5,50
G	—	—	1,00-1,50	—
H	—	—	1,50-2,00	—
I	—	—	>2,0	—

* Градация уровней обслуживания для тротуаров.

** Градация уровней обслуживания для пространств, где останавливаются пешеходы.

В Руководстве НСМ 2000 [118] в зависимости от характера пешеходного движения приняты разные градации уровней обслуживания для разных типов пешеходных коммуникаций. В качестве примера приведем два типа коммуникаций (табл. 3.17):

для участков, где осуществляется только движение пешеходов и не предусматривается образование их очередей, показателями уровня обслуживания выбраны пространство, приходящееся на одного пешехода (м^2), и интенсивность движения пешеходов в расчете на полосу движения шириной 1 м (пеш./мин./м);

для участков, где образуются очереди пешеходов, например тротуаров около пешеходных регулируемых переходов, показателем уровня обслуживания выбрано пространство, приходящееся на одного пешехода (м^2).

Таблица 3.17

Предлагаемые границы уровней обслуживания
(НСМ 2000) [118]

Уровень обслуживания	Тротуары, дорожки		Участки с образованием очередей пешеходов
	Пространство, приходящееся на одного пешехода, м^2	Интенсивность движения пешеходов, чел./мин./м	Пространство, приходящееся на одного пешехода, м^2
A	5,6	16	1,2
B	3,71 – 5,6	16,1 – 23	0,9 – 1,19
C	2,21 – 3,7	23,1 – 33	0,6 – 0,89
D	1,41 – 2,2	33,1 – 49	0,3 – 0,59
E	0,75 – 1,41	49,1 - 75	0,2 – 0,29
F	< 0,75	меняется	< 0,2

Если исходить из декларируемого принципа “оценка с позиций пользователя”, то существуют определенные сложности при

оценке уровня обслуживания пешеходов на регулируемых пересечениях и переходах. Субъективная оценка условий движения самими пешеходами во многом определяется продолжительностью ожидания разрешающего сигнала (т.е. продолжительностью задержки), что подтверждается исследованиями [6,51,188].

Многие специалисты предполагают существование психологически приемлемой длительности задержки, или так называемого времени терпеливого ожидания. Ю.Д.Шелков [6] установил значительный рост числа нарушений пешеходами запрещающего сигнала, когда его длительность превышала 38–40 с. На этом основании высказывалось предположение, что время терпеливого ожидания пешеходов на регулируемых переходах составляет в среднем 40 с. Можно совместить продолжительность задержки и плотность пешеходного потока в процедуре определения уровня обслуживания. Например, если уровень обслуживания определяется плотностью пешеходного потока, то при задержке пешеходов дольше 40 с условия движения можно относить к низшему уровню обслуживания.

3.4.6. Показатель уровня обслуживания маршрутным пассажирским транспортом

Показатели LOS были распространены на оценку качества обслуживания перевозок маршрутным пассажирским транспортом и включены в состав Руководства HCM 2000. Несколько ранее такая оценка была рассмотрена в специальном руководстве TCQSM [203,208], кроме того, ряд исследований по этой проблеме выполнен во Флориде [109].

При разработке концепции оценки соблюдался принцип “оценка с позиций пользователя”. В соответствии с этим отбира-

лись критерии, характеризующие все составляющие поездки с использованием пассажирского маршрутного транспорта (табл. 3.18).

Таблица 3.18

**Концепция и показатели качества обслуживания
маршрутного пассажирского транспорта
TCQSM [203], HCM 2000**

Категория оценки	Показатели качества обслуживания и эффективности		
	Остановка общественно-го транспорта	Перегон на маршруте	Система маршрутов пассажирского транспорта
Доступность	Маршрутный интервал Доступность * Заполнение салона	Протяженность работы в часах за сутки Доступность *	Доступность **
Комфорт и удобство пользования	Заполнение салона Обустройство остановок Надежность	Надежность Скорость сообщения Соотношении скоростей сообщения при пользовании маршрутным транспортом и легковым автомобилем	Соотношение скоростей сообщения при пользовании маршрутным транспортом и легковым автомобилем Время поездки Безопасность

* Пешеходная доступность остановок.

** Охват территории зонами пешеходной доступности.

Таблица 3.19

Предлагаемые границы уровней обслуживания по условиям размещения пассажиров в салонах подвижного состава маршрутного пассажирского транспорта

Уровень обслуживания	Автобусы		Рельсовый транспорт		Комментарий
	Пространство в расчете на одного пассажира, м ²	Количество пассажиров, приходящееся на одно сидение	Пространство в расчете на одного пассажира, м ²	Количество пассажиров, приходящееся на одно сидение	
A	>1,20	0,00 – 0,50	1,85	0,00 – 0,50	Пассажиры могут выбирать место в салоне и не садиться рядом друг с другом
B	0,80 – 1,19	0,51 – 0,75	1,30 – 1,85	0,00 – 0,50	Пассажиры могут выбирать место в салоне
C	0,60 – 0,79	0,76 – 1,00	0,95 – 1,29	0,00 – 0,50	Все пассажиры могут сидеть
D	0,50 – 0,59	1,00 – 1,25	0,50 – 0,94	0,00 – 0,50	Уровень загрузки
E	0,40 – 0,49	1,26 – 1,50	0,30 – 0,49	0,00 – 0,50	Максимальная загрузка салона, допускаемая в расчетах провозной способности и выпуска подвижного состава
F	<0,40	>1,50	<0,30	>3,00	Переполнение салона

Сложность рассматриваемой задачи не позволила свести оценку к какому-то одному показателю. К числу факторов, оказывающих влияние на субъективную оценку пользователей, отнесены:

- пешеходная доступность остановок;
- качество пешеходной среды (т.е. удобство пешеходных коммуникаций и особенности их дизайна);
- маршрутное расписание;
- благоустройство остановок;
- затраты времени на поездку;
- стоимость поездки;
- безопасность поездки (безопасность ОДД и персональная безопасность);
- заполнение подвижного состава;
- дизайн подвижного состава;
- надежность (оценивается возможностью сохранять заданные маршрутные интервалы).

В качестве основных критериев оценки уровня обслуживания выбраны величина маршрутного интервала (или обратная характеристика – частота) и показатели заполнения подвижного состава (табл. 3.19). Учет остальных факторов, перечисленных выше, осуществляется поправочными коэффициентами.

Пример разработки показателей уровня обслуживания для пассажирского маршрутного транспорта еще раз доказывает большие потенциальные возможности этого подхода к оценке транспортных систем в целом. Закономерным следствием сложившейся системы показателей должна была быть идея перехода от оценки отдельных видов движения (транспорт, пешеходы, маршрутный пассажирский транспорт и т.д.) к их совместной оценке, рассмотрению их взаимодействия и взаимного влияния. В проводящихся в

настоящее время исследованиях [109] уже рассматривается такая задача.

3.4.7. Дальнейшее развитие показателя уровня обслуживания

Перспективы развития системы показателей обслуживания были сформулированы “Комитетом пропускной способности и качества обслуживания” [211]. К числу вопросов, требующих изучения, отнесены оценка условий движения при достижении пропускной способности (congested conditions) и качество обслуживания транспортных потоков кольцевыми пересечениями.

Принципиально важным направлением развития LOS объявлено [203,211] создание методов оценки (multimodal LOS), рассматривающих совместное движение разных пользователей городской улицы (автомобильного транспорта, пассажирского маршрутного транспорта, велосипедистов и пешеходов). Так как разные виды пользователей взаимодействуют в пространстве городской улицы, важно установить, каким образом изменение уровня обслуживания одного пользователя влияет на уровни обслуживания других. За неимением общепринятого термина в российской литературе для обозначения multimodal LOS переведем его как “комплексная оценка уровня обслуживания”.

Для развития данного направления есть ряд предпосылок, главные из которых – акты Transportation Equity Act for the 21st Century (TEA-21) [199] и Intermodal Surface Transportation Efficiency Act of 1991 (ISTEA). Оба акта утвердили общественный транспорт, движение пешеходов и велосипедистов в качестве обязательных элементов планирования, проектирования и эксплуатации транспортных систем США. Были разработаны показатели LOS для пешеходного и велосипедного движения, в результате чего новое

“Руководство по пропускной способности” (HCM 2000) [118] уже содержит специальные разделы, посвященные этим видам движения. Еще одним шагом является “Руководство по провозной способности и оценке качества обслуживания пассажирским маршрутным транспортом” (TCQSM) [203]. В нем были разработаны соответствующие показатели LOS для оценки качества обслуживания пассажирских перевозок. Таким образом, некоторые компоненты метода интегральной оценки совместного движения разных пользователей уже существуют, и необходимо продолжать дальнейшее его развитие, дополняя недостающими компонентами.

Проводимые транспортным департаментом Флориды (Florida Department of Transportation или FDOT) [211] инициативные исследования по данной тематике уже воплотились в критерии комплексной оценки уровня обслуживания, применяемые на стадии проектирования, методики и программного обеспечения.

Интерес к развитию комплексной оценки уровня обслуживания настолько велик, что весной 2003 г. в рамках Национальной программы исследований США был начат новый проект NCHRP Project 3-70 [211]. Целью исследований является создание методов оценки LOS для автомобильного транспорта, маршрутного пассажирского транспорта, велосипедистов, пешеходов в условиях их взаимного влияния. Задача проекта, который объявлен лишь первой стадией исследований, сформулирована как подготовка дополнительных материалов для новых изданий руководств по пропускной способности HCM и маршрутному транспорту TCQSM.

Уже известна часть основных положений будущей методики комплексной оценки. Так, вместо единого интегрального показателя LOS, оценивающего условия движения сразу всех пользователей пространства улицы, будет применяться система показателей. В этой связи предполагается провести критический анализ практики

применения отдельных критериев LOS и выполнить в полном объеме необходимые исследования взаимного влияния всех видов движения. Объявляется принципиально важным взаимно увязать градации уровней обслуживания разных видов движения, сделать их сопоставимыми. При этом градации и описание уровней будут выполняться “с позиций пользователей” (т.е. водителей автомобилей, пассажиров маршрутного транспорта, пешеходов, двигающихся вдоль улицы).

Еще один аспект развития показателя уровня обслуживания, который обсуждается в публикациях – интеграция этого критерия с методами оценки безопасности движения [211].

Таким образом, в США оценка качества транспортного обслуживания, условий движения при планировании, проектировании и эксплуатации улично-дорожных сетей будет и в дальнейшем базироваться на системе показателей уровней обслуживания.

3.5. Оценка пропускной способности улично-дорожной сети с использованием показателя уровня обслуживания

Использование показателя уровня обслуживания не только позволяет унифицировать критерии оценки УДС, но и принципиально упрощает задачу оценки пропускной способности УДС, которая рассматривалась п.3.3. Если принимать УДС как систему массового обслуживания, то оценку сети и ее отдельных элементов можно свести к двум следующим показателям:

уровень обслуживания – качество обслуживания заявок;

пропускная способность – максимальное количество заявок, которые может обслужить сеть (или ее элемент) при заданном уровне обслуживания.

Определение максимального количества заявок сводится к задаче линейного программирования, в которой целевой функцией является сумма корреспонденций, обслуживаемых сетью, как это предлагалось Г.Н. Зубковым [21]. Если УДС рассматривается в виде ориентированного графа, то суммарные потоки на дугах и пропускные способности дуг формируют линейные ограничения задачи. Линейные ограничения позволяют рассматривать оценку пропускной способности УДС так, как ее формулировали В.Т. Капитанов и Е.Б. Хилажев [23]. Вместо значений пропускной способности дуг в линейных ограничениях могут использоваться максимальные объемы движения, соответствующие заданным уровням обслуживания. В этом случае оценивается максимальное количество корреспонденций, которые может пропустить УДС при заданном качестве обслуживания.

Для оценки распределения потоков обязательным условием является заданная матрица корреспонденций, причем случаи, когда матрица не является фиксированной, получили название эластичного спроса (elastic demand). В рассмотренной выше постановке задачи линейного программирования пока не отражен спрос на обслуживание, который можно учесть дополнительными ограничениями. Современное развитие методов линейного программирования предоставляет возможность рассматривать задачу оценки максимального объема корреспонденций в условиях эластичного спроса даже с учетом существующей матрицы корреспонденций.

За последние примерно 15 лет предложено несколько новых методов решения задач линейной оптимизации и разработано много пакетов программ линейного программирования. Об этом свидетельствуют многочисленные публикации, информационные материалы о теоретических и вычислительных аспектах, алгоритмах и пакетах линейного программирования, предоставляемые целым ря-

дом специализированных веб-сайтов университетов и научных учреждений Европы и Северной Америки, например [74,139]. Очень подробные справочные данные и библиографию, сравнительный анализ программного обеспечения содержит <http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/LP>.

Современные методы линейного программирования, их реализация в виде пакетов и библиотек программ предоставляют возможность эффективных решений задачи со смешанными ограничениями

$$\min \mathbf{c}^T \mathbf{x}, \quad (3.15)$$

при линейных ограничениях

$$\mathbf{A} \mathbf{x} \leq \mathbf{b} \quad (3.16)$$

и двухсторонних ограничениях

$$\mathbf{x}^{lb} \leq \mathbf{x} \leq \mathbf{x}^{ub}, \quad (3.17)$$

где \mathbf{x} – вектор оцениваемых параметров $m \times 1$, $\mathbf{x} \geq 0$; \mathbf{c} – вектор коэффициентов целевой функции $m \times 1$; \mathbf{A} – матрица коэффициентов линейных ограничений $n \times m$; \mathbf{b} – вектор правых частей линейных ограничений $n \times 1$, $\mathbf{b} \geq 0$; \mathbf{x}^{lb} – вектор нижних ограничений параметров $m \times 1$, $\mathbf{x}^{lb} \geq 0$; \mathbf{x}^{ub} – вектор верхних ограничений $m \times 1$, $\mathbf{x}^{ub} \geq 0$.

В настоящее время решение задачи (3.15) при ограничениях (3.16) и (3.17) выполнено, например, в математических пакетах MATLAB (версии 5.1, 5.2, 6,0), MOSEK 2.0. Принципиально важно, что кроме набора ограничений

$$\mathbf{A} \mathbf{x} \leq \mathbf{b}; \quad \mathbf{x} \geq 0; \quad \mathbf{x}^{lb} \leq \mathbf{x} \leq \mathbf{x}^{ub}; \quad \mathbf{x}^{lb} \geq 0; \quad \mathbf{x}^{ub} \geq 0$$

можно вводить вектор начальных значений оцениваемых параметров \mathbf{x}^0 . Это позволяет включать в задачу оценки пропускной способности существующую матрицу корреспонденций, которую можно преобразовать и представить в виде вектора \mathbf{x}^0 размерностью $m \times 1$. Тогда двухсторонние ограничения \mathbf{x}^{lb} и \mathbf{x}^{ub} характеризу-

ют эластичный спрос, другими словами, границы, в которых могут изменяться значения корреспонденций x .

Рассматриваемая задача линейного программирования (3.15)–(3.17) позволяет обобщить и объединить идеи и теоретические положения работ [21, 23, 197], рассмотренных ранее в п. 3.3, и сформулировать оценку пропускной способности УДС в самом общем виде [см. формулу (3.4)]:

N – совокупность вершин графа, описывающего УДС;

M – совокупность начальных и конечных вершин корреспонденций (в литературе по сетевым задачам для таких вершин иногда применяют термины “истоки – стоки”, origin-destination pairs);

t_{ij} – поток из начальной вершины i в конечную вершину j (x_{ij} элемент квадратной матрицы корреспонденций T), $ij \in M$;

p – маршрут следования, $p \in P$;

$x_{ij,p}$ – часть потока из начальной вершины i в конечную вершину j , использующая путь (маршрут) движения p ;

c_{ab} – пропускная способность дуги ab , направленной из вершины a в вершину b , или максимальный объем движения по дуге ab , соответствующий заданному уровню обслуживания; $a, b \in N$;

f_{ab} – интенсивность движения по дуге ab ; $a, b \in N$;

$d_{p,ab} = 1$, если маршрут p проходит через дугу ab , 0 – в остальных случаях.

Предполагается, что кроме значений дуг пропускной способности c_{ab} известны существующие значения f_{ab}^0 , x_{ijp}^0 и t_{ij}^0 . Интенсивности движения f_{ab}^0 устанавливаются в результате обследования УДС, а по их значениям восстанавливается существующая матрица корреспонденций T^0 . При этом распределение потоков по сети x_{ijp}^0 и

корреспонденции t_{ij}^0 , образующие матрицу T^0 , связаны зависимостями:

$$t_{ij}^0 = \sum_p x_{ijp}^0 \quad \text{для всех пар } ij.$$

Связь между существующими значениями интенсивности движения f_{ab}^0 и существующими потоками x_{ijp}^0 задается уравнениями

$$\sum_i \sum_j \sum_p d_{p,ab} x_{ij,p}^0 = f_{ab}^0 \quad \text{для всех пар } ab. \quad (3.18)$$

Значения пропускной способности дуг c_{ab} , являющиеся правыми частями линейных ограничений задачи линейного программирования, необходимо задать в виде вектора-столбца. Это вызывает изменение индексов; соответственно, c_{ab} , f_{ab} и $d_{p,ab}$ будут представлены как c_k , f_k и $d_{p,k}$, где $k = 1, 2, \dots, K$. В результате условие (3.18) получит следующий вид:

$$\sum_i \sum_j \sum_p d_{p,k} x_{ij,p} = f_k \quad \text{для всех } k \in K.$$

Как уже указывалось ранее, в задаче оценки пропускной способности УДС c_k могут задаваться как значения пропускной способности дуг или как максимальные объемы движения, соответствующие заданным уровням обслуживания. Двухсторонние ограничения (3.17), накладываемые на корреспонденции, могут устанавливаться в результате расчетов или экспертных оценок. Поэтому эластичный спрос, характеризующийся двухсторонними ограничениями, назовем гипотезой изменения матрицы корреспонденций. Соответственно пропускная способность УДС определяется авторами как *максимальное количество корреспонденций, которое может обслужить сеть при известных c_k и заданной гипотезе изменения матрицы корреспонденций T* . Пропускная способность оценивается максимумом целевой функции

$$\max \sum_i \sum_j \sum_p x_{ij,p} \quad (3.19)$$

при линейных ограничениях, учитывающих пропускную способность дуг c_k

$$\sum_i \sum_j \sum_p d_{p,k} x_{ij,p} \leq c_k \quad (\text{для всех } k),$$

и условия неотрицательности оцениваемых параметров $x_{ij,p} \geq 0$.

В рассматриваемой задаче оценки пропускной способности (3.19) разные гипотезы изменения матрицы корреспонденций T задаются с использованием:

нижних $x_{ij,p}^{lb}$ и верхних $x_{ij,p}^{ub}$ ограничений для потоков $x_{ij,p}$;

верхних ограничений t_{ij}^{ub} для количества корреспонденций t_{ij} .

1. Изменение потоков с сохранением маршрутов следования.

Задана гипотеза изменения транспортных потоков x_{ijp} в виде нижних x_{ijp}^0 и верхних ограничений x_{ijp}^{ub} . При этом предполагается, что используются прежние пути следования p , часть потоков x_{ijp} изменяется в бóльшую сторону ($x_{ijl} > x_{ijl}^0$), а часть потоков x_{ijp} уменьшается ($x_{ijs} < x_{ijs}^0$). Двухсторонние ограничения имеют вид

$$x_{ijp}^{lb} \leq x_{ijp} \leq x_{ijp}^{ub}.$$

2. Рост части потоков с сохранением маршрутов следования.

Предполагается увеличение части потоков ($x_{ijl} > x_{ijl}^0$) и ($x_{ijs} = x_{ijs}^0$) и сохранение маршрутов следования. В этом случае двухсторонние ограничения можно задать следующим образом:

$$x_{ijl}^0 \leq x_{ijl} \leq x_{ijl}^{ub}, \quad l = 1, 2, \dots, n.$$

$$x_{ijs}^0 \leq x_{ijs} \leq x_{ijs}^0, \quad s = n+1, n+2, \dots, P.$$

3. Рост всех потоков с сохранением маршрутов следования.

Предполагается, что количество корреспонденций изменяется только в бóльшую сторону, и используются прежние пути следования, то есть

$$x_{ijp}^0 \leq x_{ijp} \leq x_{ijp}^{ub},$$

где x_{ijp}^{lb} – нижние ограничения приняты равными существующим потокам x_{ijp}^0 .

4. Изменение потоков и их маршрутов следования.

В этом случае задается гипотеза изменения матрицы корреспонденций T , т.е. накладываются верхние ограничения t_{ij}^{up} для элементов матрицы t_{ij} .

Результатом оценки пропускной способности УДС по формуле (3.19) являются значения потоков $x_{ij,p}^*$, при которых исчерпана пропускная способность одного или нескольких участков УДС, то есть условие $f_k^* = c_k$ для любого $k = 1, 2, \dots, K$. Соответствующие такому состоянию УДС значения корреспонденций t_{ij}^* и интенсивностей движения f_k^* определяются как

$$t_{ij}^* = \sum_p x_{ij,p}^* \quad \text{для всех пар } ij;$$

$$f_k^* = \sum_i \sum_j \sum_p d_{p,k} x_{ij,p}^* \quad \text{для всех } k.$$

Выбор ограничений $x_{ij,p}^{lb}$, $x_{ij,p}^{ub}$ или $t_{ij,p}^{ub}$ базируется на соответствующих начальных исходных данных:

в случае проекта реконструкции УДС с длительным расчетным сроком необходимы оценка матрицы корреспонденций и прогноз распределения потоков (перспективная картограмма интенсивности движения);

в случае проекта реконструкции или ОДД используются известное существующее распределение потоков x_{ijk}^0 , полученное в результате обследований УДС, и восстановленная матрица корреспонденций T^0 .

Глава 4. МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ МАТРИЦ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ ПО ДАННЫМ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ

4.1. Модели оценки матриц корреспонденций по данным интенсивности движения

При выполнении проектов ОДД, реконструкции УДС одним из важнейших видов данных, на основе которых должны приниматься решения, является информация о существующем распределении транспортных потоков. Получить такую информацию можно, решая задачу оценки существующей матрицы корреспонденций, в которой значения корреспонденций представлены в виде потоков транспортных средств. В зарубежной теории и практике проектирования транспортных систем уже с 1970-х гг. уделялось большое внимание методам восстановления этого вида матриц, отнесенным специалистами “Мировой дорожной ассоциации” (PIARC) к числу важнейших инструментов анализа УДС. В Руководстве HCM 2000 [118] также уделено внимание восстановлению существующих матриц корреспонденций (гл. 29 “Corridor analysis”), изложен метод такой оценки применительно к магистральным дорогам и приведен его алгоритм.

В нашей стране в первую очередь получила развитие теория расчетов пассажиропотоков, в том числе были предложены методы оценки существующих матриц корреспонденций на маршрутном пассажирском транспорте [3,39,65]. Собственно методам восстановления матриц корреспонденций в виде потоков транспортных средств было посвящено лишь несколько исследований [22,37], что объяснялось относительно меньшим интересом к проблемам проектирования ОДД и реконструкции УДС. Продолжающийся рост автомобильного парка и объемов движения в российских городах требует совершенствования инструментария проектирования и

оценки УДС. Поэтому представляется интересным рассмотреть возможности решения указанной задачи применительно к российским условиям с учетом прежде всего используемых методов обследования УДС.

Приступая к краткому обзору моделей оценки существующих матриц корреспонденций, следует привести очень важную для понимания сути рассматриваемой задачи цитату из Руководства НСМ 2000 [118]: “Количество элементов матрицы корреспонденций всегда превосходит количество сегментов сети. Цель оценивания состоит не в определении точной матрицы корреспонденций, а в нахождении такой, которая достаточно близка к ней и соответствует данным интенсивности движения” (гл. 29 “Corridor analysis” с. 29-30). Следует пояснить, что под сегментами в оригинальном тексте понимаются дуги графа, которым представлено описание сети.

Поскольку количество зарубежных публикаций по рассматриваемому вопросу очень велико, отметим крупнейшие из них, а также работы, в которых приведены обзоры библиографии [75,77,81-84,86,90,92-94,98,106,108, 111,113,115,158,164,169,191,213-215,217-219,224-227]. По этой тематике наиболее часто публиковались и выступали на конференциях следующие авторы: M. G. H. Bell, D. E. Boyce, E. Cascetta, G. Davis, S. Erlander, C. Fisk, M. Florian, R. Hamerslag, C. Hendrickson, D. O. Jornsten, Y. Iida, J. T. Lundgren, M. J. Maher, S. McNeil, S. Nguyen, N. L. Nihan, T. Sasaki, H. Spiess, J. Van der Zijpp, H. J. Van Zuylen, L. G. Willumsenl, H. Yang.

Один из наиболее полных обзоров моделей восстановления матриц корреспонденций, в котором рассмотрены работы по данной тематике почти за 30 лет, представлен в отчете IIASA [75], в котором предлагается следующая классификация методов оценки существующих матриц корреспонденций:

методы, основанные на моделировании распределения транспортных потоков (traffic modeling based approaches);

статистические методы (statistical interference approaches);

градиентный метод (gradient based solution techniques).

Автор отчета [75] Т. Abrahamson полагает, что в наиболее общем виде модель восстановления существующей матрицы корреспонденций формулируется как

$$\min F(g, v) = \gamma_1 F_1(g, \mathcal{E}) + \gamma_2 F_2(v, \mathcal{E}), \quad (4.1)$$

$$v, g \geq 0; v = \text{assign}(g),$$

где g – восстанавливаемая матрица корреспонденций; g – старая матрица корреспонденций; v – вектор значений наблюдаемых потоков; F_1, F_2 – некоторые меры расстояния, например, евклидова норма, или минимум информации (максимум энтропии); $\text{assign}(g)$ – распределение потоков v по сети, разделяющее матрицу корреспонденций g_{ij} на потоки, следующие разными маршрутами.

В случаях, когда отсутствует “старая” матрица, используют методы, основанные на моделировании распределения потоков. В этих методах наиболее сложным является установление маршрутов, по которым следуют корреспонденции g_{ij} из зоны i в зону j . Такая информация представляется в виде матрицы P , элементы p_{ij}^a которой являются долей корреспонденций между зоной i и зоной j , использующих дугу a :

$$0 \leq p_{ij}^a \leq 1. \quad (4.2)$$

Соответственно интенсивность движения v_a на данной дуге a

$$v_a = \sum_{ij} p_{ij}^a g_{ij}, \quad a \in A. \quad (4.3)$$

В задачах восстановления матриц корреспонденций выделяют два типа распределения потоков:

1. *Пропорциональное распределение.* Потоки v_a и доли p_{ij}^a считаются не зависимыми друг от друга. Значения p_{ij}^a могут задаваться до начала моделирования распределения. Допускается использование принципа “все или ничего” (all-or-nothing), при этом пред-

полагается, что корреспонденции используют пути минимальной стоимости.

2. *Равновесное распределение.* Моделирование выполняется в соответствии с принципами Водропа, т.е. значения p_{ij}^a зависят от величин потоков на всех дугах $p_{ij}^a = p_{ij}^a(v)$ и не могут определяться заранее.

С. Fisk [111] предложил использовать сочетание процедуры моделирования равновесного распределения, аналогичной той, которая применяется в известной программе SATURN, и максимизацию энтропии:

$$\min \sum_{ij} g_{ij} (\ln(g_{ij}) - 1) \quad (4.4)$$

при ограничениях

$$\begin{aligned} C(h) \cdot (f - h) &\geq 0, & \forall f; \\ \sum_k h_{ijk} &= g_{ij}, & \forall i, j; \\ \epsilon_a &= \sum_k p_{ijk}^a h_{ijk}, & \forall a \in A; \\ g_{ij}, h_{ijk} &\geq 0. \end{aligned}$$

Здесь $C(h)$ – цена передвижения по данному пути при интенсивности движения h ; f – вектор потоков, полученных в результате моделирования; p_{ijk}^a – доля корреспонденций из i в j , использующих путь k . Если ребро a не принадлежит пути k , то $p_{ijk}^a = 0$.

Несколько иной подход был предложен К. Jornsten, S. Ngueng [75], а позднее L. LeBlanc, К. Farhangian [75]. Задача восстановления матрицы использует равновесное распределение с ограничениями, аналогичными ограничениям задачи (4.4), и критерий наименьших квадратов (т.е. евклидову норму):

$$\min \sum_{ij} (g_{ij} - \epsilon_{ij})^2. \quad (4.5)$$

Восстановление матрицы корреспонденций с использованием обобщенного метода наименьших квадратов (GLS) предполагает наличие матрицы, полученной в результате оценки \mathfrak{E} и наблюдений потоков v :

$$\mathfrak{E} = g + \eta; \quad (4.6)$$

$$v = v(g) + e, \quad (4.7)$$

где η – ошибка оценки матрицы \mathfrak{E} ; e – ошибка наблюдений значений потоков.

Задача сводится к нахождению матрицы, максимально близкой к “правильной” матрице g , с использованием имеющихся \mathfrak{E} и v . В самом общем виде GLS-оценка

$$\min \left[\frac{1}{2} (\mathfrak{E} - g)' Z^{-1} (\mathfrak{E} - g) + \frac{1}{2} (v - v(g))' W^{-1} (v - v(g)) \right] \quad (4.8)$$

при ограничениях на переменные $g_{ij} \geq 0$,

где Z – вариационно-ковариационная матрица, заданная или оцененная для матрицы g ; W – матрица дисперсий измеренных потоков v .

Для выполнения задачи (4.8) необходимо предварительно задать или оценить Z и W . Матрицу Z определяют разными способами. Например, E. Cascetta [92] для определения ковариаций использовал данные выборочных исследований корреспонденций. Матрицу W часто задают диагональной и даже принимают значения элементов диагонали, равными 1 [92].

Методы восстановления матриц корреспонденций стали объектом внимания специалистов не только в области транспорта, но и в области информационных сетей. Одним из самых новых исследований по данной тематике является опубликованная в июле 2003 г. работа Y. Zhang, M. Roughan, N. Duffield, A. Greenberg [227]. В ней рассматривается возможность оценки корреспонденций по значениям нагрузок элементов сети, передающей информацию. На первом шаге предлагаемого в работе алгоритма [227] осуществляется

предварительная оценка матрицы корреспонденций с использованием гравитационной модели. Применение методов томографии рассматривается авторами как определение корреспонденций по данным нагрузок на элементах сети. На следующем шаге полученная квадратная матрица корреспонденций преобразуется в вектор-столбец, при этом исключаются нулевые элементы. Таким образом, в результате использования гравитационной модели и преобразования получают вектор-столбец $\mathbf{t}_g = (t_{g1}, t_{g2}, \dots, t_{gM})^T$, где t_{gr} – поток корреспондирующей пары вершин r , M – количество ненулевых элементов матрицы корреспонденций. Данные о потоках на ребрах графа представлены вектором-столбцом $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_L)^T$. Здесь x_i – замеры нагрузок на элементах сети; в других терминах x_i – потоки на ребрах графа сети (или дугах, если граф ориентированный). Принадлежность корреспонденций ребрам (дугам) описывается матрицей

$$A_{ir} = \begin{cases} F_{ir}, & \text{если корреспонденция } r \text{ проходит по ребру } i, \\ 0 & \text{в другом случае.} \end{cases}$$

здесь F_{ir} – доля корреспонденции r , проходящей по ребру i .

Определяемый вектор корреспонденций \mathbf{t} образует систему линейных уравнений

$$\mathbf{x} = \mathbf{A} \mathbf{t}, \quad (4.9)$$

которые составляют линейные ограничения задачи наименьших квадратов.

Оценка вектора корреспонденций \mathbf{t} сводится к хорошо известной задаче линейного регрессионного анализа при наличии линейных ограничений [227]. Поскольку в обычной форме регрессионный анализ не содержит ограничений на знак оцениваемых переменных, авторы предусмотрели замену отрицательных значений

значениями 0. Следует отметить, что прием замены отрицательных значений уже осуществлен в функции `nls` для решения задачи наименьших квадратов при условии только положительных значений, входящей в состав библиотеки Optimization Toolbox пакета MATLAB, который использован авторами.

Необходимо подчеркнуть, что в публикациях по информационным сетям [164,227] указывается, что в рассматриваемых задачах количество оцениваемых корреспонденций N (корреспонденции x_i , $i = 1, 2, \dots, N$) значительно превосходит количество дуг K (или ребер, если граф неориентированный), на которых известны нагрузки, т.е. $N \gg K$.

В нашей стране исследования в области восстановления матриц корреспонденций (А.П. Артынов, Г.А. Варепуло, М.Л. Дыдаюк, В.Ш. Крупник, В.С. Огай, В.В. Скалецкий) проводились в основном для маршрутов общественного транспорта [3]. Исключением являются исследования Н.В. Булычевой и С.Л. Сена [39], которые выполнялись в составе комплексной транспортной схемы Ленинграда (ЛенНИИПИгенплана 1987–1989 гг.) с целью установления матрицы грузовых корреспонденций. Математические модели оценки маршрутных матриц корреспонденций классифицируют как основанные на вероятностных методах, основанные на аналитических методах и энтропийные [3].

Кроме теоретических аспектов при выборе модели оценки матриц корреспонденций необходимо учитывать качество исходной информации и возможные способы ее получения.

4.2. Методы обследований интенсивности движения при выполнении оценки матриц корреспонденций

Выполненный выше анализ моделей восстановления матриц корреспонденций позволяет отметить их общую характеристику – наличие в той или иной форме информации о существующем рас-

пределении потоков или о “старой” матрице. В [113,115] подчеркивается, что любая предварительная информация о распределении транспортных потоков (ТП) существенно повышает точность оценки восстановления матрицы корреспонденций. В целом такую предварительную информацию можно классифицировать следующим образом:

данные частичного обследования маршрутов следования, которые распространяются на генеральную совокупность;

“старая” матрица корреспонденций, корректируемая на основе данных интенсивности движения [формулы (4.1),(4.6)–(4.8)];

данные моделирования распределения потоков по УДС, корректируемые с использованием существующих значений интенсивности движения [формулы (4.2)–(4.5),(4.9)].

В зарубежной практике большое количество исследований [83,213] базируется на использовании периферийного оборудования (детекторов), позволяющего собирать подробные данные об интенсивности движения, в том числе в режиме реального времени. Такие данные по необходимости дополняются обследованиями маршрутов следования, анкетированием водителей и т.д. В нашей стране преобладают ручные методы получения исходной информации (подсчет интенсивности движения наблюдателями, анкетирование). Поэтому остановимся лишь на методах обследований, которые применялись, применяются или рекомендуются для применения в нашей стране.

Одним из немногих исследований по восстановлению корреспонденций по значениям потоков транспортных средств (ТС) является работа Н.В. Булычевой и С.Л. Сена [39]. Авторы выполняли построение матрицы потоков грузовых транспортных средств между расчетными транспортными районами. В общих чертах это обследование проводилось следующим образом:

на основании схемы организации движения и данных интенсивности движения назначались пункты учета грузового движения;

в пунктах учета проводился опрос водителей грузовых автомобилей в течение 2–4 ч интенсивного грузового движения, а в ряде пунктов – в течение суток без перерыва;

при опросе фиксировались адреса пунктов отправления и прибытия, марка автомобиля, вид и масса груза;

дополнительно для ряда пунктов учета обследования проводились непрерывно в течение суток.

Результаты выборочного обследования (выборка не менее 5% интенсивности движения грузовых автомобилей) распространялись на всю генеральную совокупность. Далее на основе данных традиционных обследований транспортных потоков (картограммы транспортных потоков, распределения интенсивности по часам суток) и данных опроса получали следующую информацию:

величину суммарной интенсивности движения грузовых автомобилей и распределение по часам суток;

количество грузовых автомобилей, проходящих через определенный учетный пункт за сутки, и распределение их по часам суток в этом учетном пункте;

распределение по направлениям автомобилей, проходящих через определенный учетный пункт за сутки, и распределение их по часам суток в этом учетном пункте по каждому из направлений.

На основе всех этих данных строилась матрица суточных матриц потоков между расчетными районами и оценивались характеристики корреспонденций. Таким образом, предложенная методика предполагает два типа обследований:

1) детальное обследование интенсивности движения для построения картограммы интенсивности движения;

2) анкетирование водителей в определенных учетных пунктах, результаты которого (частичная выборка корреспонденций) распространяются на всю генеральную совокупность корреспонденций.

Несколько позднее, в 1990 г., в нашей стране для проектов организации движения была предложена методика определения матрицы корреспонденций для транспортных потоков [40], которая имеет много общего с методикой [37]:

территория города в пределах административных границ разбивается на учетно-транспортные районы (УТР);

посты учета движения располагают на границах УТР, при этом желательно в качестве границ принимать естественные и искусственные рубежи, затрудняющие движение (реки, железные дороги, незастроенные территории и т.д.);

распределение транспортных потоков по УДС наблюдается в течение времени, равного трехкратной продолжительности движения легкового автомобиля по большому диаметру городской территории, но не менее 2 ч; рекомендуемое время обследований – межпиковые периоды (ориентировочно 13.00—16.00) будних дней;

группа учетчиков регистрирует тип транспортного средства и четыре цифры номерного знака; через каждую минуту столбцы учетных данных подчеркиваются горизонтальной линией, 30-минутные интервалы отмечаются соответствующим временем (13.30, 14.00 и т.д.).

По результатам обследования должны быть сделаны следующие графические материалы [40]:

матрицы основных корреспонденций (отдельно для легковых и грузовых автомобилей);

схемы основных маршрутов транспортных потоков корреспонденций (отдельно для легковых и грузовых автомобилей);

картограмма интенсивности движения по УДС.

Рассмотренные выше методы сбора данных для общей матрицы корреспонденций трудновыполнимы в пиковые периоды для наиболее загруженных участков УДС по следующим причинам:

обследование должно охватывать все виды транспортных средств, исключая маршрутный пассажирский транспорт;

требуется получение данных о пунктах отправления и прибытия, а также детальных сведений о маршруте следования, что увеличивает продолжительность заполнения анкеты;

требуется не создавать помехи движению.

Избежать дополнительных помех движению и задержек транспортных средств, которые должны учитываться в стоимости обследований, можно, если выполнять анкетирование в более благоприятных условиях:

во внепиковый период с распространением результатов на пиковый период;

в пиковый период в учетных пунктах, размещающихся на участках УДС, с низкой интенсивностью движения;

в пиковый период в учетных пунктах на участках УДС с высокой интенсивностью движения, но низким уровнем загрузки.

Характерным примером такого обследования является анкетирование водителей, выполнявшееся в соответствии с распоряжением мэра от 18 октября 1999 г. №1168-РМ “О проведении комплексного обследования условий движения на улично-дорожной сети Москвы”. Опросы проводились с 10.00 до 14.00; при выборе расположения постов руководствовались следующими требованиями:

пост должен располагаться на некотором расстоянии от пересечений так, чтобы ТС еще не могли разогнаться после перекрестка либо уже начали тормозить перед перекрестком;

должно обеспечиваться место для остановленных 3–4 автомобилей (в том числе и грузовых), причем остановленные автомобили не должны затруднять движение ТП и пешеходам; движение учетчиков к опрашиваемому водителю автомобиля должно быть максимально безопасным;

мест опроса для конкретного поста должно быть не менее двух для обоих направлений; на ряде постов должно быть четыре

места опроса (по два для каждой из пересекающихся улиц перекрестка).

4.3. Особенности оценки матрицы корреспонденций с использованием только значений интенсивности движения

При выполнении обследований в соответствии с рассмотренными в предыдущем параграфе требованиями велика вероятность того, что не будет получена репрезентативная информация о маршрутах следования в пиковые периоды на наиболее загруженных участках УДС. Такая информация представляет наибольший интерес для оценки пропускной способности УДС и разработки проектных решений. Поэтому авторы настоящей монографии задались целью разработать метод, пригодный для получения оценок корреспонденций для условий, указанных ниже:

рассматривается детализированная улично-дорожная сеть, включая отдельные потоки по разным направлениям на перекрестках;

исходными данными являются замеры интенсивности движения в отдельных пунктах улично-дорожной сети (т.е. на перекрестках, на перегонах), выполняемые в определенное время в будние дни (например, вечерний час пик 17.00—19.00);

данные об интенсивности движения содержат ошибки, вызванные проведением замеров в разные дни, и ошибки самих подсчетов интенсивности движения.

Можно указать ряд отличительных особенностей сформулированной задачи восстановления матрицы корреспонденций, которые связаны с видом и качеством исходных данных:

детальное рассмотрение улично-дорожной сети в виде ориентированного графа, для каждой дуги которого обследованиями устанавливается значение интенсивности движения;

используются данные обследований только интенсивности движения, которые традиционно применяются в практике ОДД для построения картограмм интенсивности движения (подсчет количества транспортных средств учетных видов с последующим определением приведенной интенсивности движения);

матрицы корреспонденций между выделенными пунктами улично-дорожной сети определяются методами, устойчивыми к выбросам, т.е. с помощью так называемого робастного регрессионного анализа.

Отсутствие предварительной информации о маршрутах движения требует представить исходные данные для оценки матрицы корреспонденций так, чтобы каждая пара взаимно корреспондирующих пунктов связывалась одним маршрутом. Это можно осуществить разделением матрицы корреспонденций участка УДС на группу матриц корреспонденций, каждая из которых будет представлять “отдельный маршрут”. Аналогами являются модель оценки межостановочных корреспонденций отдельного маршрута, хорошо изученная в нашей стране [3], и методика определения существующей матрицы для случая отдельной магистральной дороги, которая приведена в НСМ 2000 [118] и имеет много общего с моделью изолированного маршрута пассажирского транспорта.

В модели изолированного маршрута [3] рассматривается одно из двух направлений движения и используются данные о количестве входящих и выходящих пассажиров на остановочных пунктах (ОП); межостановочная матрица корреспонденций X представляется треугольной матрицей с нулевой диагональю

$$\begin{matrix}
 0 & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1,n} \\
 & 0 & x_{23} & \dots & x_{2,n} \\
 & & & \dots & \dots \\
 & & & & 0 & x_{n-1,n} \\
 & & & & & 0
 \end{matrix} , \tag{4.10}$$

где x_{ij} – количество пассажиров, проехавших между i и j ОП, $x_{ij} \geq 0$, $i \leq j$.

Сумма элементов i строки матрицы (4.10) соответствует количеству пассажиров, вошедших на i ОП, а сумма элементов j столбца матрицы – количеству пассажиров, вышедших на j ОП:

$$a_i = \sum_{j=i}^n x_{ij}; \quad b_j = \sum_{i=1}^j x_{ij}; \quad i, j = 1, \dots, n. \quad (4.11)$$

При этом a_i и b_j удовлетворяют условию

$$\sum_{i=1}^n a_i = \sum_{j=1}^n b_j. \quad (4.12)$$

Для матрицы X , максимизирующей взвешенную энтропию и отвечающей условию

$$H(x) = \sum_{ij} x_{ij} \ln \frac{a_i}{x_{ij}} \rightarrow \max,$$

было получено решение в следующем виде [3]:

$$x_{12} = b_2;$$

$$x_{ij} = \begin{cases} \frac{\left(a_i - \sum_{m=i+1}^{j-1} x_{im} \right) b_j}{C_{j-1}}, & \text{если } C_{i-1} > 0; \\ 0, & \text{если } C_{i-1} = 0; \end{cases} \quad (4.13)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} \frac{a_{j-1} b_j}{C_{j-1}}, & \text{если } C_{i-1} > 0; \\ 0, & \text{если } C_{i-1} = 0; \end{cases}$$

где $C_{j-1} = \sum_{k=1}^{j-2} \left(a_k - \sum_{r=k+1}^{j-1} x_{kr} \right) + a_{j-1}$.

Определенные положения рассмотренной модели оценки межостановочной матрицы корреспонденций изолированного маршрута (4.10)–(4.13) могут быть использованы в модели восстановления матрицы корреспонденций транспортных потоков.

Как уже указывалось выше, УДС разделяется на отдельные “маршруты”, или (как в НСМ 2000 [118]) “направления движения”. Отдельно рассматриваемое направление движения (маршрут) представляется в виде графа (рис. 4.1, 4.3). Соответственно начальными и конечными пунктами корреспонденций являются поворотные потоки на перекрестках, т.е. входящие потоки на улицу или выходящие с нее (см. рис. 4.1). Однако при этом оценка корреспонденций (4.13) уже неприменима.

В данной задаче восстановления матрицы корреспонденций вместо центроидов расчетных транспортных районов используются “нагрузочные” вершины сети (рис. 4.2), которые образуются на границах рассматриваемого участка УДС и в которых начинаются и оканчиваются корреспонденции.

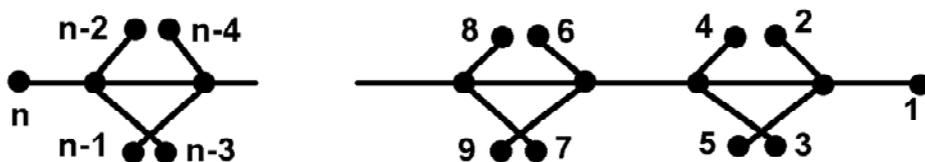


Рис. 4.1. Представление одного из направлений движения на улице или дороге в виде графа для определения матрицы корреспонденций: $1, 2, \dots, n$ - вершины графа, в которых возникают и заканчиваются корреспонденции

Таким образом, рассматриваемое формализованное описание сети сводится к разделению изучаемого участка УДС на графы (см. рис 4.1, 4.3), в которых каждая корреспондирующая пара вершин будет иметь только один соединяющий маршрут, тогда для определения матриц каждого из графов можно использовать распределение поездок по принципу “все или ничего” (all or nothing).

Прием определения матрицы корреспонденций, который можно адаптировать для случая УДС (рис. 4.1 – 4.4), приведен в Руководстве НСМ 2000 [118], в соответствии с которым направле-

ния движения двухсторонней дороги рассматриваются отдельно; соответственно оцениваются две отдельные треугольные матрицы корреспонденций. Исходными данными являются значения интенсивности движения на въездах на магистраль и выездах с нее. Кроме того, для протяженных участков производятся замеры интенсивности движения всех поворотных потоков и на перегонах, эти дополнительные данные используются для аппроксимации.

Значения корреспонденций T_{ij} из точки i в точку j (см. рис. 4.1) определяются как

$$T_{ij} = \left[\frac{T_i \cdot T_j}{\sum_j T_j} \right], \quad (4.14)$$

где T_i – сумма корреспонденций, выходящих из точки i ; T_j – сумма корреспонденций, входящих в точку j .

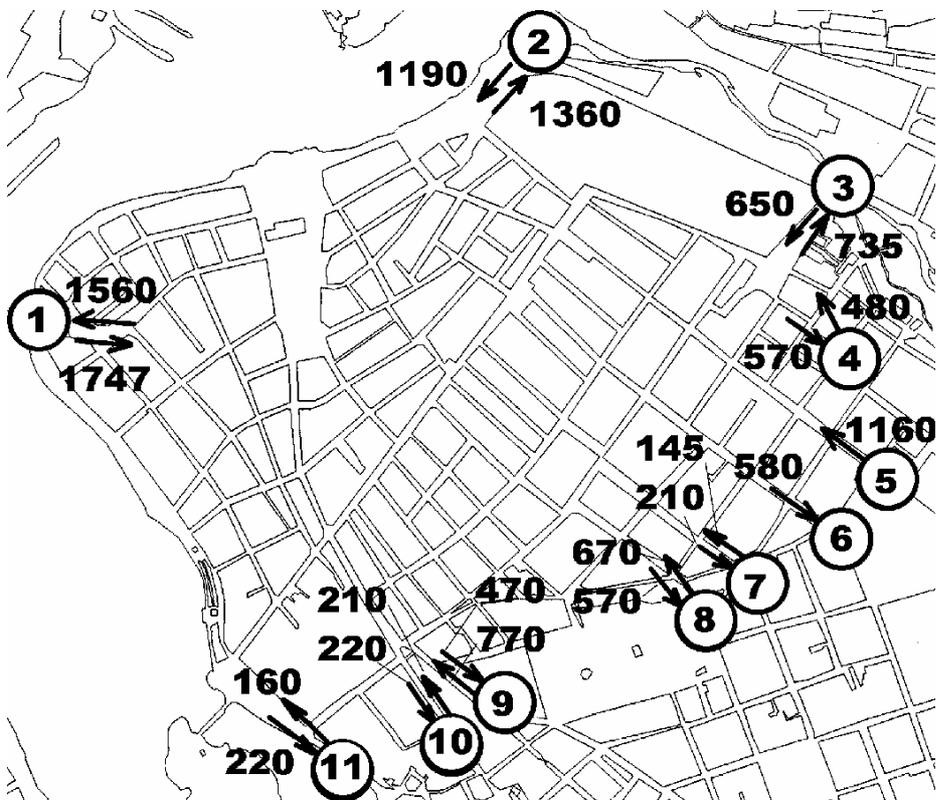


Рис. 4.2. “Загрузочные” вершины матрицы корреспонденций транзитных потоков центра Иркутска и интенсивности движения в вечерний час пик, авт./ч

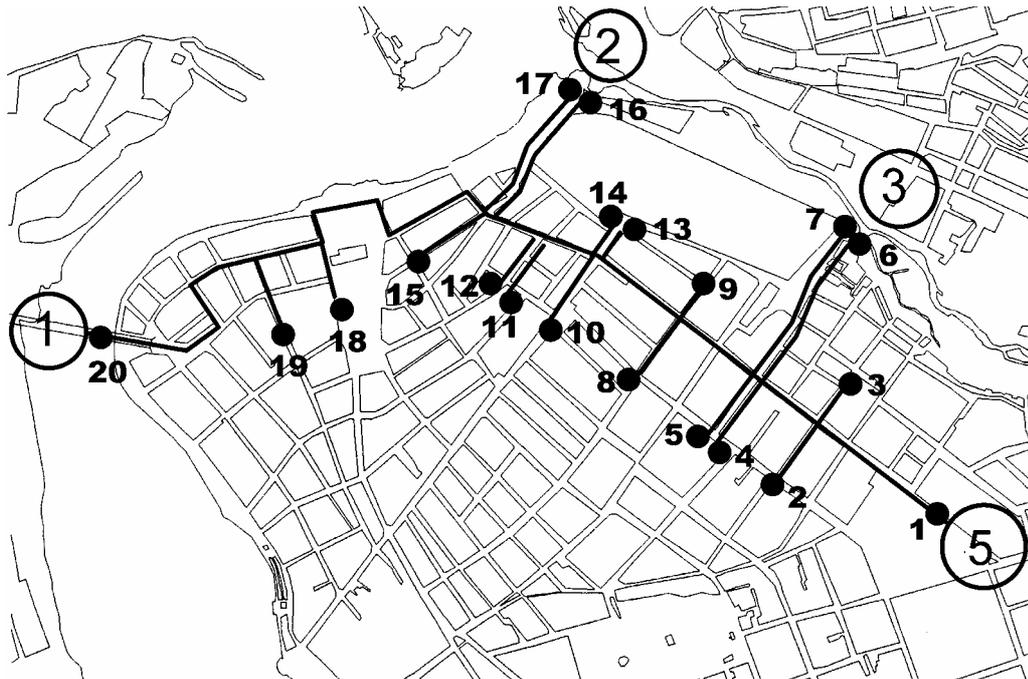


Рис. 4.3. Граф для восстановления матрицы корреспонденций из вершины 1 в вершины 2,3, ..., 20, используемой для определения транзитных потоков из вершины 5 в вершины 1,2,3 (см. рис. 4.2)

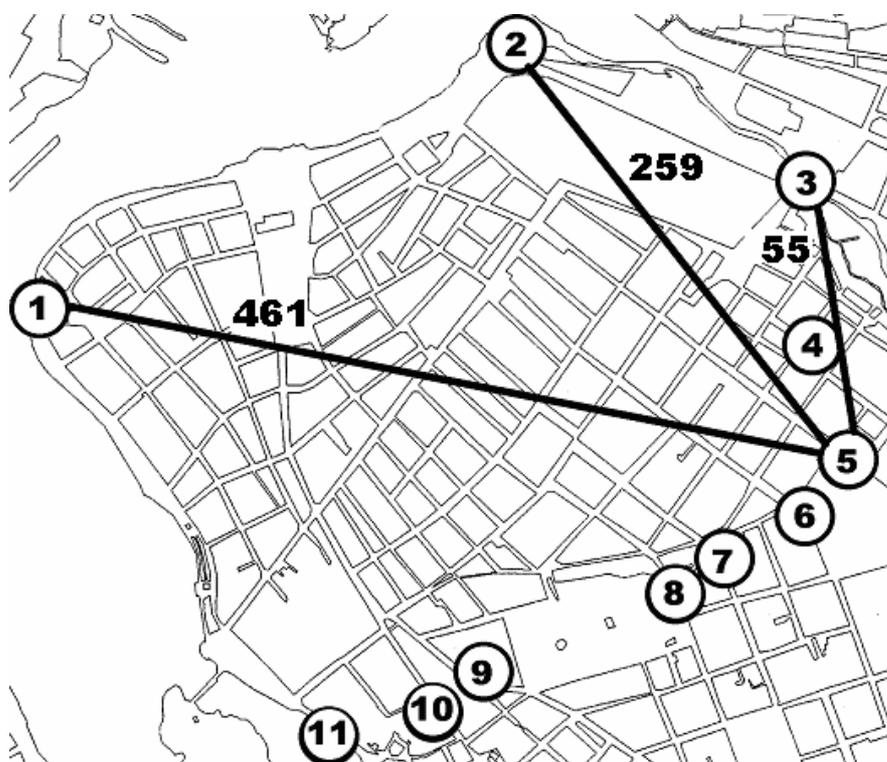


Рис. 4.4. Транзитные потоки из вершины 5 (см. рис. 4.2) в вершины 1,2,3, полученные при оценке матрицы корреспонденций для графа УДС, представленного на рис. 4.3

Поскольку при определении матрицы корреспонденций T ее некоторая часть становится известной из замеров интенсивности, значения остальных элементов матрицы рассчитываются по несколько измененной формуле:

$$T_{ij} = \frac{(T_i - k_i)(T_j - k_j)}{\sum_j (T_j - k_j)}, \quad (4.15)$$

где T_i – сумма корреспонденций, выходящих из точки i ; T_j – сумма корреспонденций, входящих в точку j ; k_i – сумма известных корреспонденций, выходящих из точки i ; k_j – сумма известных корреспонденций, входящих в точку j .

Для участков большей протяженности предложен алгоритм оценки матрицы с применением регрессии. На первом шаге с использованием гравитационной модели (4.14) или (4.15) оценивается матрица корреспонденций T . По результатам оценки определяются значения потоков на участках дороги (на дугах графа), на которых производились замеры интенсивности движения.

Рассчитывается значение целевой функции – суммы квадратов градиентов (отклонений) – как

$$z = \sum_a g(a)^2, \quad (4.16)$$

где $v'(a)$ – значение интенсивности движения по результатам оценки матрицы; $v(a)$ – значение интенсивности движения по результатам обследований; $g(a)$ – ошибка, $g(a) = v'(a) - v(a)$.

На основе значения целевой функции (4.16) определяется точность оценки матрицы T . Например, если задана среднеквадратическая ошибка оценки 100 авт./ч, то для дороги, представленной 10 участками, значение менее 100 000 является признаком достаточной точности оценки матрицы T . Если целевая функция z – сумма квадратов остатков регрессии (4.16) – не достигла порогового значения, ее минимизация рассматривается как задача квадратичного

программирования, решаемая градиентным методом, в результате чего получается новая матрица T' .

Рассмотренный выше метод отличают простота и возможность выполнения оценки только данных интенсивности движения. Вместе с тем в методике, предлагаемой в HCM 2000 [118], вообще не рассматривается качество исходных данных, поскольку она предназначена для оценки магистральных дорог (corridor analysis), когда одновременные данные об интенсивности движения на въездах на магистраль и выездах с нее поступают с периферийного оборудования.

Рассматриваемый в данной работе случай принципиально иной, так как данные интенсивности движения получают в результате обследований УДС. Поскольку исходными данными являются замеры интенсивности движения на отдельных перекрестках УДС, выполняемые в определенное время в будние дни (например, вечерний час пик), то при сведении этих данных в одну выборку возникают расхождения данных на перегонах УДС (рис. 4.5, 4.6).

Расчитанные по данным замеров на смежных перекрестках величины входящего и выходящего потоков имеют разные значения (см. рис. 4.6). Эти ошибки вызваны проведением замеров в разные дни и ошибками самих подсчетов интенсивности движения. Оценка матриц корреспонденций, использующая указанные данные, должна иметь такое важное свойство, как робастность.

Следует отметить, что рассматриваемый вид ошибок (см. рис. 4.6) неизменно возникает в процессе построения картограмм интенсивности движения. В результате сведения в картограмму замеров интенсивности движения, выполненных на смежных пересечениях, получают последовательности перегонов, каждый из которых имеет пару значений интенсивности движения – “входящий” и “выходящий потоки” (см. рис. 4.5). При сведении результатов измерений интенсивности в картограмму возникает необходимость устранения невязки таких данных.

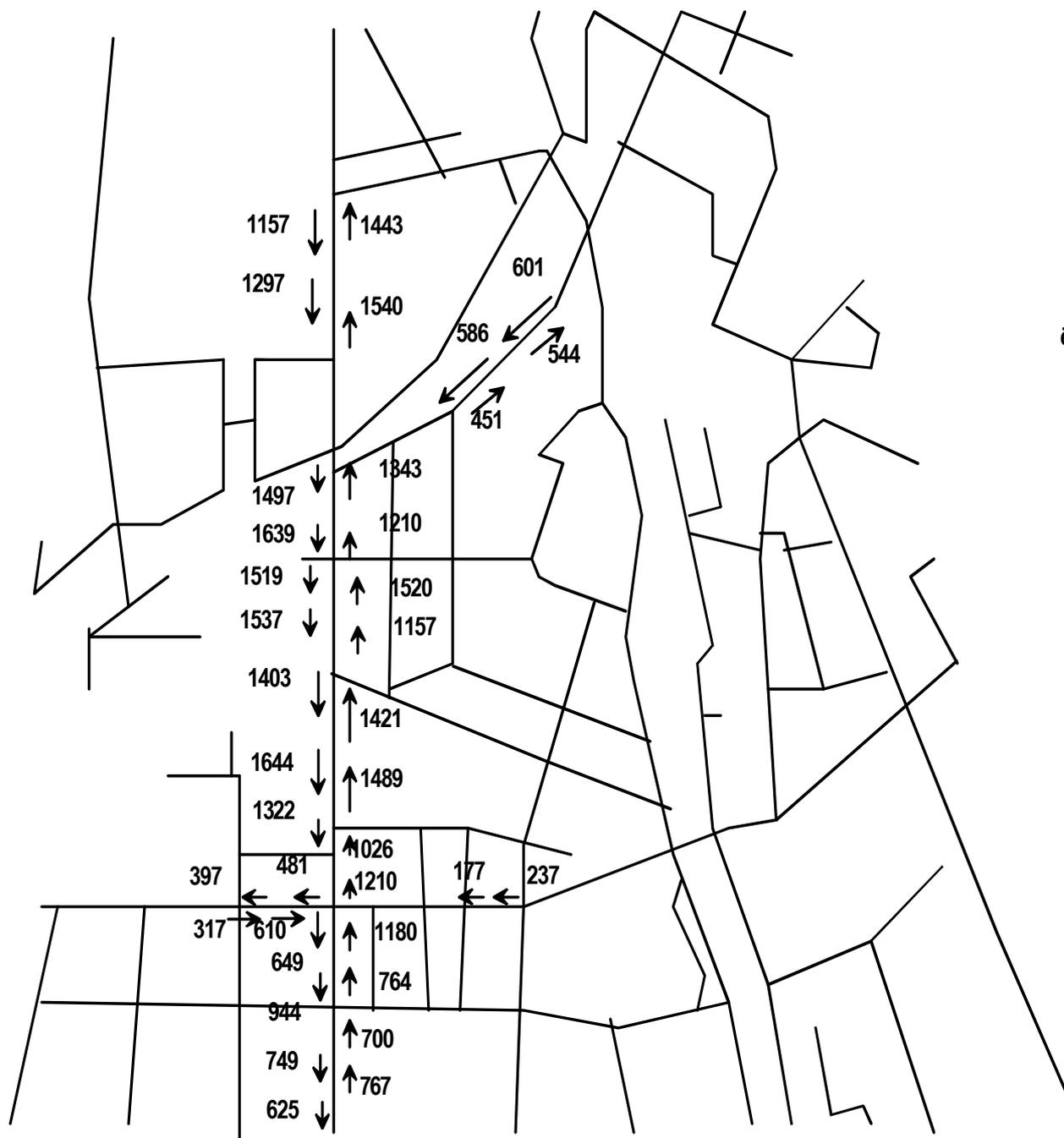


Рис. 4.5. Входящие и выходящие потоки на перегонах Московского проспекта в Санкт-Петербурге по результатам сведения данных обследований за 1986–1987 гг.

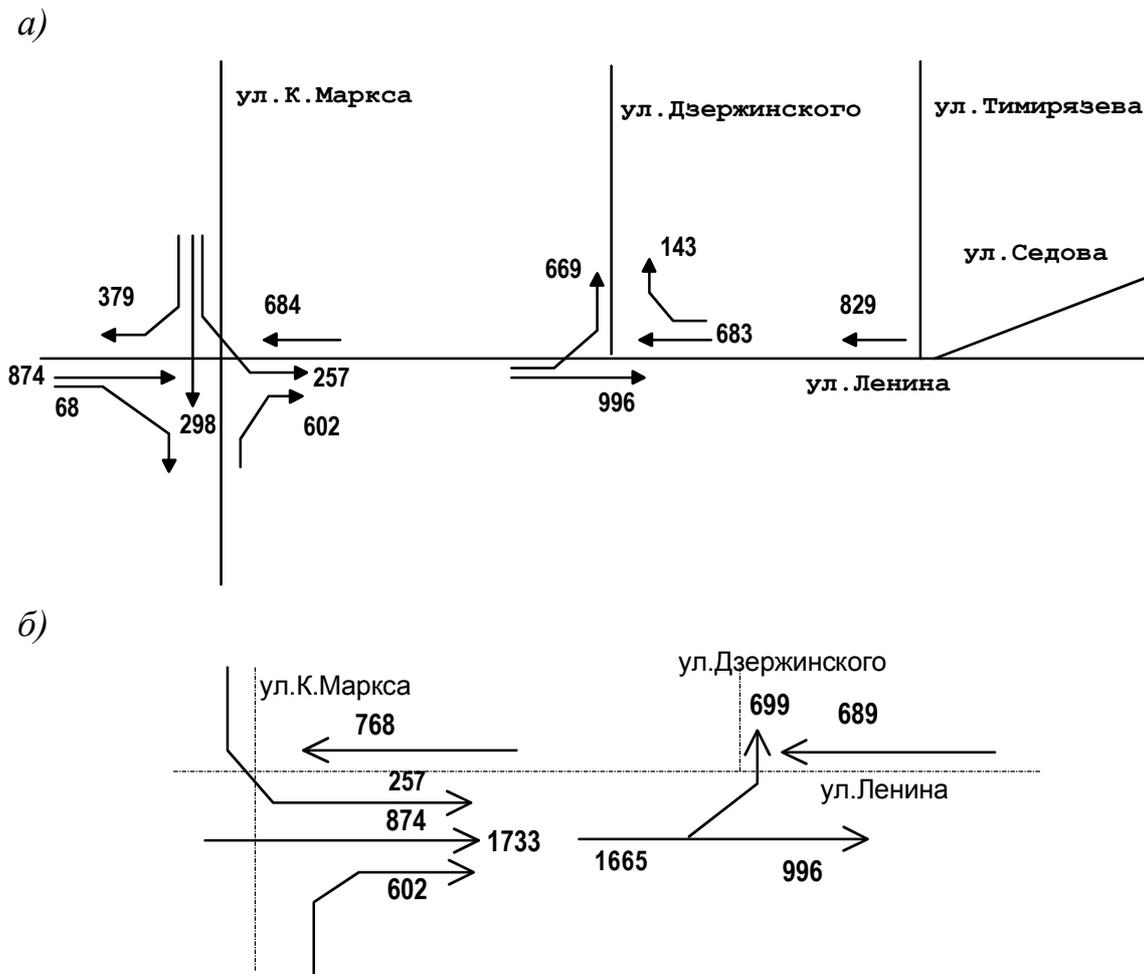


Рис. 4.6. Ошибки, возникающие при сведении данных обследований интенсивности движения на смежных перекрестках: *а* – результаты замеров интенсивности движения (физ.ед./ч) на смежных пересечениях; *б* – расхождения замеров интенсивности на смежных перекрестках, ограничивающих перегон, и получаемые при этом пары значений интенсивности движения – “входящий” и “выходящий” потоки (соответственно на перегоне ул. Ленина между ул. К.Маркса и ул. Дзержинского 1733 – 1665 и 689 – 768)

Хотя построение картограмм является традиционным видом графического представления данных обследований интенсивности движения, процедура анализа возникающих при этом ошибок не рассматривалась в специальной литературе. Поскольку для построения картограмм не предлагались формализованное описание и необходимые для этого статистические оценки, такая работа вы-

полняется проектировщиками субъективно в соответствии с их профессиональными вкусами и опытом.

Таким образом, для оценки матрицы корреспонденций при использовании данных, содержащих ошибки, необходимо иметь:

метод и критерии выявления недопустимых значений ошибок исходных данных;

статистическую процедуру оценки корреспонденций на основе засоренных данных.

На первый взгляд можно утверждать, что рассматриваемой задаче восстановления матрицы корреспонденций наиболее отвечает регрессионное оценивание – обобщенный метод наименьших квадратов (Generalized Least Squares). Вопрос в том, насколько в действительности метод наименьших квадратов (МНК) соответствует такой задаче – оцениванию в случае грубых ошибок исходных данных.

4.4. Модели робастного оценивания матриц корреспонденций

Регрессионный анализ, использующий МНК, основан на предположении, что независимые и зависимая переменные, остатки регрессии $e_i = y_i - \hat{y}_i$ (отклонений наблюдаемых значений y_i от аппроксимирующей регрессии \hat{y}_i) подчинятся нормальному распределению. Как подчеркивается в [18,54], принятие такой гипотезы предполагает, что основная масса отклонений от регрессии сосредоточена на конечном интервале $-3\sigma, 3\sigma$, где σ – стандартное отклонение нормального распределения. Соответственно вероятность больших отклонений считается очень малой. В результате оценка МНК очень чувствительна к так называемым выбросам (т.е. грубым ошибкам исходных данных) и реагирует на них.

Сформулированная задача регрессионного оценивания корреспонденций требует применения статистических процедур, устойчи-

вых к выбросам. Робастные (от английского *robust*), или устойчивые, регрессионные методы достаточно подробно рассмотрены в работах российских авторов [18,61,64]. Главное общее свойство таких оценок заключается в том, что они малочувствительны к выбросам, но менее эффективны в случаях, когда вероятность выбросов мала [16].

Несколько видов робастных оценок было изучено П. Хьюбером [16]. Он предложил для оценки параметров регрессии вместо суммы квадратов отклонений регрессии e_i

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \theta)^2 \quad (4.17)$$

использовать минимизацию суммы

$$\sum_{i=1}^n \rho(y_i - \theta), \quad (4.18)$$

где ρ – некоторая выпуклая функция.

Значения θ , минимизирующие функцию (4.18), в специальной литературе называют М-оценкой. Е.З. Демиденко [18] отмечает, что М-оценку можно рассматривать как оценку метода максимального правдоподобия. Частным случаем оценок Хьюбера является функция $\rho(x) = |x|^v$, $1 \leq v < 2$, что предполагает минимизацию

$$\sum_{i=1}^n |e_i|^v = \sum_{i=1}^n |y_i - \theta|^v. \quad (4.19)$$

Оценки (4.19) предложено называть L_v -оценками [18]. Устойчивость такой аппроксимации по сравнению с МНК (4.17) вызвана тем, что большие отклонения $(y_i - \theta)$ меньше влияют на целевую функцию. Поэтому показатель степени v интерпретируется некоторыми авторами как фильтр выбросов [18]. При $v=1$ оценка (4.19) сводится к минимизации суммы абсолютных значений отклонений (модулей), то есть

$$\sum_{i=1}^n |e_i| = \sum_{i=1}^n |y_i - \theta|. \quad (4.20)$$

что соответствует взвешенному МНК со значениями весовых коэффициентов w_i , которые могут определяться на основе предыдущих итераций.

С учетом вводимых обозначений задачи оценки корреспонденций нормальные уравнения ВВП (4.21) получают в матричной форме следующий вид:

$$A'WAx = A'WY, \quad (4.23)$$

где x – оцениваемый вектор значений корреспонденций размерности $m \times 1$; A – матрица независимых переменных, которыми являются значения долей потоков на ребрах графа улично-дорожной сети; значения a_{ij} изменяются от 0 до 1; размерность матрицы $n \times m$; y – вектор значений интенсивности движения на дугах улично-дорожной сети размерности $n \times 1$; W – вектор весов, преобразованный в диагональную матрицу размерности $n \times n$.

С учетом вектора остатков e размерности $n \times 1$ имеем следующие векторы и матрицы:

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{bmatrix},$$

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_m \end{bmatrix}, \quad e = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \dots \\ e_n \end{bmatrix}, \quad W = \begin{bmatrix} w_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & w_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & w_n \end{bmatrix}.$$

Оценки корреспонденций методом ВВП в матричной форме выразятся как

$$x = (A'WA)^{-1}A'WY, \quad (4.24)$$

где $W = \text{diag}[w_1, w_2, \dots, w_n]$ заменяет матрицу V^{-1} обобщенного метода наименьших квадратов, имеющего в зарубежной литературе название оценки Эйткена

$$x = (A' V^{-1} A)^{-1} A' V^{-1} Y. \quad (4.25)$$

Использование ВВП [формулы (4.22) – (4.24)] для оценки корреспонденций x соответствует минимизации суммы

$$\sum_{i=1}^n w_i e_i^2 = \sum_{i=1}^n w_i \left(y_i - \sum_{j=1}^m x_j a_{ij} \right)^2, \quad (4.26)$$

где a_{ij} – значения доли потока j на дуге i графа УДС; y_i – значение интенсивности движения по дуге графа УДС ; e_i – остатки регрессии.

Как уже указывалось выше, частным случаем L_ν -оценки ($\nu = 1$) является метод наименьших модулей (МНМ), сводящийся к минимизации суммы абсолютных модулей отклонений [см. формулу (4.20)]:

$$\sum_{i=1}^n |e_i| = \sum_{i=1}^n \left| y_i - \sum_{j=1}^m x_j a_{ij} \right|, \quad (4.27)$$

которая при использовании весовых коэффициентов имеет вид

$$\sum_{i=1}^n w_i |e_i| = \sum_{i=1}^n w_i \left| y_i - \sum_{j=1}^m x_j a_{ij} \right|. \quad (4.28)$$

Минимизация выражений (4.27) и (4.28) выполняется как задача линейного программирования. В отличие от регрессионного анализа, в котором оцениваемые переменные могут иметь как положительные, так и отрицательные значения, в линейном программировании на оцениваемые параметры налагаются ограничения по знаку. Для снятия такого ограничения предлагается переход к решению двойственной задачи линейного программирования [39]. В рассматриваемой задаче восстановления матрицы корреспонденций оцениваемые корреспонденции имеют только положительные значения, знакопеременными являются остатки регрессии $e_i = y_i -$

$\sum x_j a_{ij}$. Сумма абсолютных значений ошибок e_i будет целевой функцией задачи линейного программирования. Применение аппарата линейного программирования в частном случае заметно упрощается по сравнению с регрессионным анализом в общем случае. Применение МНМ потребует лишь введения дополнительных переменных, позволяющих включить остатки регрессии в состав целевой функции линейного программирования.

С учетом введения фиктивных переменных оценка матрицы корреспонденций будет сводиться к определению вектора-столбца параметров [44]

$$(x_1, x_2, \dots, x_m, g_1, h_1, g_2, h_2, \dots, g_n, h_n),$$

минимизирующего линейную функцию

$$\sum_{i=1}^n (g_i + h_i), \quad (4.29)$$

или с учетом весовых коэффициентов

$$\sum_{i=1}^n w_i (g_i + h_i), \quad (4.30)$$

где $g_i = \max(0, e_i)$, $h_i = \min(-e_i, 0)$.

Линейные ограничения задач (4.29) и (4.30) формулируются в виде равенств

$$A \mathbf{x} + \mathbf{g} - \mathbf{h} = \mathbf{y}. \quad (4.31)$$

Ограничения на знак переменных и весовых коэффициентов следующие:

$$x \geq 0, g \geq 0, h \geq 0, w \geq 0. \quad (4.32)$$

Далее вектор-столбец оцениваемых параметров $(x_1, x_2, \dots, x_m, g_1, h_1, g_2, h_2, \dots, g_n, h_n)$ размерностью $(m+2n) \times 1$ удобнее рассматривать как $(x_1, x_2, \dots, x_m, x_{m+1}, \dots, x_{m+2n})$. В матричной форме задачи (4.29) и (4.30), кроме вектора-столбца оцениваемых параметров, представлены векторами

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix}, \quad w = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix}$$

и измененной добавлением фиктивных переменных матрицей A_2 размерности $n \times (m+2n)$

$$A_2 = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} & 1 & -1 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} & 0 & 0 & 1 & -1 & \dots & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (4.33)$$

или

$$A_2 = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} & 1 & 0 & \dots & 0 & -1 & 0 & \dots & 0 \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 & -1 & \dots & 0 \\ \dots & 0 \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & -1 \end{bmatrix}. \quad (4.34)$$

При этом выражение (4.34) проще, чем выражение (4.33), применять для формирования вектора x (используется MATLAB):

```
e = y - a*x; % current vector of errors
for i=1:n
    if e(i)>=0
        x(m+i)= e(i);
        x(m+n+i)=0;
    else
        x(m+i)=0;
        x(m+n+i)= abs(e(i));
    end
end
```

и формирования самой матрицы A_2 :

```
A2=A+repmat(eye(n),1,2)
```

В соответствии с процедурой вектор ошибок e определяется с учетом результатов оценки вектора корреспонденций x на преды-

дущей итерации. В зависимости от знака ошибки e_i задаются элементы вектора \mathbf{x}^2 , начиная с индекса $m+1$. Таким образом, задачи (4.29) и (4.30) формулируются в следующем виде:

$$\min \sum_{i=m+1}^{m+2n} x_i, \quad (4.35)$$

$$\min \sum_{i=m+1}^{m+2n} w_i x_i. \quad (4.36)$$

при этом ограничения (4.31) и (4.32) меняются на условия

$$A2 \mathbf{x}^2 = \mathbf{y}; \quad x \geq 0, w \geq 0.$$

Для применения рассмотренных выше методов ВВП [см. формулу (4.24)] и МНМ [выражения (4.35), (4.36)] оценки матрицы корреспонденций необходимо использовать некоторое начальное значение оцениваемых параметров x_{ij}^0 .

Вектор начальных оценок корреспонденций \mathbf{x}^0 можно получить на основе какой-либо предварительной обработки данных интенсивности движения. При выборе метода предварительной оценки корреспонденций можно учитывать, что в ПДП, проектах ОДД и реконструкции УДС объектом проектирования часто являются ограниченные по размерам фрагменты УДС. Влияние расстояния на распределение корреспонденций в выделяемых участках сетей не имеет такого значения, как в случаях больших сетей (генеральный план, КТС, КСОД города в целом). В этой связи в рассматриваемых задачах допустимо предположение, что корреспонденции между “нагрузочными” вершинами пропорциональны входящим и выходящим потокам этих вершин. В соответствии с этим для оценки начальных значений корреспонденций автором использовалась простейшая форма гравитационной модели

$$x_{ij}^0 = a_i b_j A_i B_j, \quad (4.37)$$

где x_{ij}^0 – количество транспортных средств, следующих из вершины i в вершину j ; a_i – интенсивность движения из i ; b_j – интенсивность движения j ; A_i, B_j – коэффициенты балансировки по столбцам и строкам матрицы.

Использование формулы (4.37) не исключает возможности учета влияния факторов расстояния или времени на распределение корреспонденций. В случаях, когда сеть, для которой проводится оценка матрицы, занимает значительную территорию (город в целом или городские районы крупных и крупнейших городов), вместо упрощенной гравитационной модели следует использовать гравитационную модель общего вида:

$$x_{ij}^0 = a_i b_j A_i B_j f(c_{ij}). \quad (4.38)$$

Функция распределения поездок $f(c_{ij})$ входит в состав стандартных исходных данных для прогнозирования матрицы корреспонденций в составе генерального плана или КТС. Поэтому при предварительном применении модели (4.38) для получения начального приближения x^0 дополнительно требуются лишь использованные ранее данные прогнозирования матрицы корреспонденций в составе действующих генерального плана или КТС.

4.5. Предварительная оценка исходных данных и выявление грубых ошибок

Предварительная обработка данных должна включать оценку их точности в целом и процедуру выявления недопустимых грубых ошибок. Для этих целей автором предлагается формализованное описание УДС в следующем виде (рис. 4.7):

входящие на перегон $F(in)_i$ и выходящие $F(out)_i$ с перегона потоки образуют пары, при этом на перегонах с односторонним движением получается одна пара сравниваемых значений, а на перегонах с двухсторонним движением – две;

данные замеров интенсивности движения образуют матрицу размерностью $n \times 2$, где n – количество пар сравниваемых значений $V(out)_i, V(in)_i$;

для статистической оценки качества выборок значений интенсивности движения и выявления выбросов используются значения разностей пар, то есть

$$d_i = V(out)_i - V(in)_i. \quad (4.39)$$

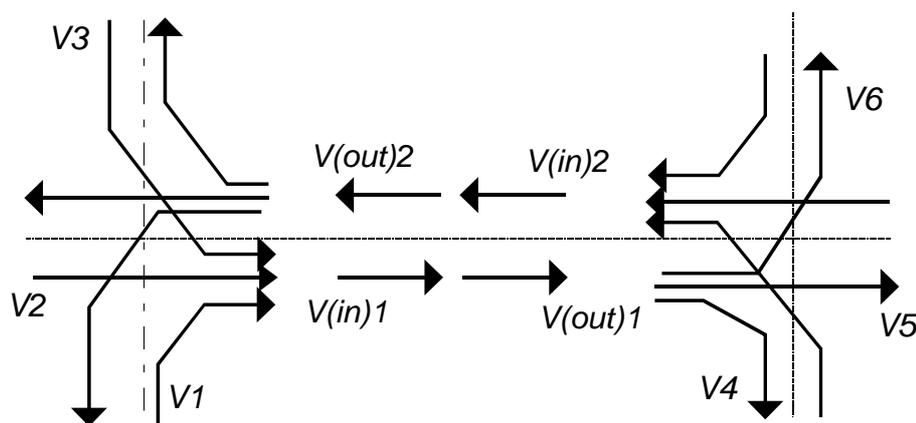


Рис. 4.7. Представление перегона улицы в модели оценки ошибок подсчетов интенсивности движения: $V(in)_1, V(in)_2$ – входящие на перегон потоки; $V(out)_1, V(out)_2$ – выходящие с перегона потоки; $V1, V2, V3$ – потоки, полученные в результате замеров на предыдущем перекрестке и образующие поток $V(in)_1$; $V4, V5, V6$ – потоки, полученные в результате замеров на следующем перекрестке и образующие поток $V(out)_1$; $d_1 = V(out)_1 - V(in)_1$ – ошибка подсчетов интенсивности движения на перегоне для 1-го из направлений движения

Таким образом, сравниваются две выборки, одна из которых состоит из значений интенсивности движения потоков, входящих на перегоны $V(in)_i$; вторая – выходящих $V(out)_i$, где $i = 1, 2, \dots, n$, n – количество пар потоков данной сети. Поскольку этот случай можно рассматривать как сравнение двух n -мерных векторов, то формально перечень мер или критериев близости двух выборок очень широк (евклидова норма, расстояние Махолобиса, коэффициент

корреляции, критерий Стьюдента и т.д.). Вместе с тем свойства выборок случайных величин $V(in)$ и $V(out)$ требуют применения определенных статистических критериев.

Такие характеристики УДС, как значения интенсивности движения ТС, интенсивности движения пешеходов, имеют, как правило, распределение с так называемой положительной асимметрией, у которого мода \tilde{x} находится левее среднего значения \bar{x} . Это подтверждают результаты обследований как отдельных участков УДС, так и магистральной УДС целого города (рис. 4.8 и табл. 4.1).

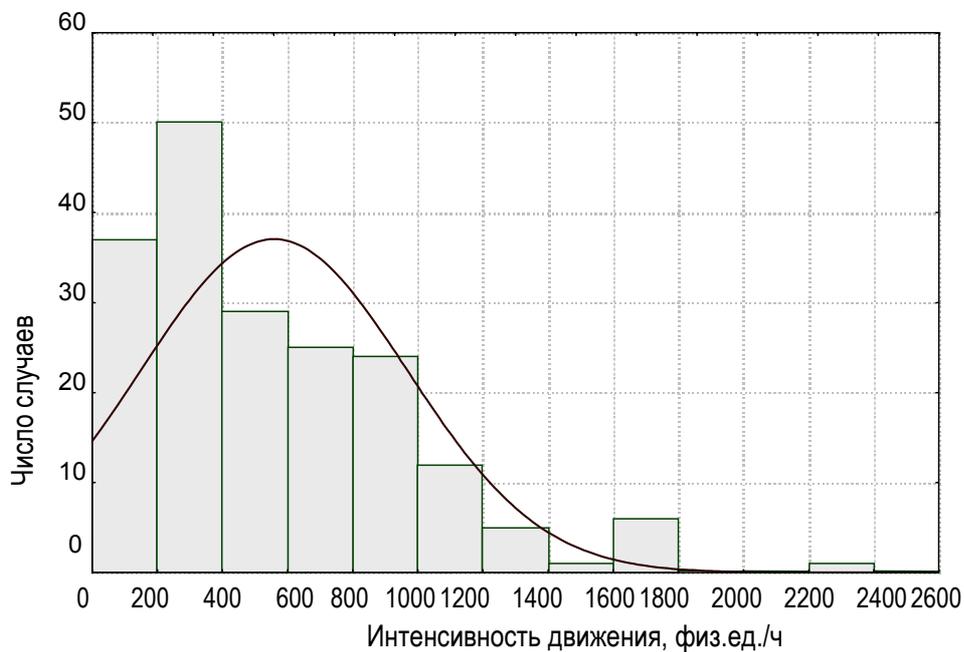


Рис. 4.8. Гистограмма значений интенсивности движения (физ.ед./ч) на перегонах УДС Иркутска (1995 г.) и попытка аппроксимации нормальным распределением

Таблица 4.1

Статистика распределения значений интенсивности движения на перегонах УДС Иркутска (1995 г.)

Статистика	Значение статистики	Статистика	Значение статистики
Минимальное значение	46	Мода \tilde{x}	464,5000
Максимальное значение	2276	Среднее \bar{x}	558,5368
Вариационный размах	2230		

Предложенное ранее формализованное описание УДС (см. рис. 4.7) позволяет применять метод парных сравнений, который не требует нормального распределения $V(out)_i$ и $V(in)_i$ и основан на процедуре, использующей разности пар (4.39). В общих чертах суть этого метода заключается в оценке близости двух упорядоченных выборок, элементы которых образуют пары. Оценка корректности использования данных интенсивности движения сводится к проверке гипотезы, что связанные выборки $V(out)_i$ и $V(in)_i$ принадлежат к одной генеральной совокупности.

Поэтому для предварительной оценки качества данных предлагается использовать проверку значимости среднего разности пар с применением t -критерия Стьюдента, который признается в статистической литературе оптимальным критерием метода парных сравнений [20]. Проверка статистической значимости разности пар проводится по формуле

$$\epsilon = \frac{\bar{d}}{S_d} = \frac{(\sum d_i)/n}{\sqrt{\frac{\sum d_i^2 - (\sum d_i)^2/n}{n(n-1)}}}, \quad (4.40)$$

при этом число степеней свободы для критерия Стьюдента $\nu = n - 1$.

Проверяется нуль-гипотеза $\mu_d=0$ (где μ_d – истинное среднее значение разности пар), которая принимается, если рассчитанное значение критерия Стьюдента t меньше критического или равно ему $t_{(n;\alpha)}$. Как отмечается в специальной литературе [20], проверка связанных выборок с помощью t -критерия не имеет строгих допущений; переменные могут значительно отклоняться от нормального распределения; достаточно, чтобы их разности распределялись по нормальному закону.

Кроме проверки близости выборок (4.40) представлялось необходимым оценивать ошибки наблюдений с использованием тех показателей, которые будут в дальнейшем применяться для оценки

ошибок, возникающих при восстановлении матриц корреспонденций. С этой целью были выбраны следующие показатели:

средняя ошибка

$$\bar{d} = \sum_i d_i / n; \quad (4.41)$$

средняя абсолютная ошибка

$$\bar{d}_{abs} = \sum_i |d_i| / n; \quad (4.42)$$

отношение средней абсолютной ошибки к среднему значению интенсивности движения на перегоне в одном направлении

$$E = \bar{d}_{abs} / \bar{V}. \quad (4.43)$$

Показатели “средняя абсолютная ошибка” (4.42) и “отношение средней абсолютной ошибки к среднему значению корреспонденций” (4.43) часто используются для оценки точности восстановления матриц корреспонденций [113,115]. Кроме того, показатель \bar{d}_{abs} аналогичен такому критерию, как среднее абсолютное отклонение (САО) от среднего значения [20]

$$CAO = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n},$$

который рекомендуют применять в случаях загрязненных выборок малого объема.

Для анализа качества обследований интенсивности движения и ошибок, возникающих при сведении таких данных в одну выборку, автором использовались материалы обследований:

Санкт-Петербурга в 1977–1978 и 1985–1988 гг.;

Иркутска в 1995 г. и центральной части Иркутска в 1998 г.

При выполнении этого анализа предстояло доказать с формальных позиций корректность использования для восстановления матриц корреспонденций данных разных замеров интенсивности движения, сводимых в одну выборку (см. рис. 4.5 и 4.6). Оценка проводилась с использованием статистик, представленных в табл. 4.2. Как показали результаты анализа (табл. 4.3), средняя ошибка \bar{d}

[формула (4.41)] не несет объективной информации о точности исходных данных; значительно информативнее статистики \bar{d}_{abs} и \bar{d}_{abs}/\bar{V} .

В соответствии с имевшимися у авторов данными максимальные абсолютные значения ошибок достигают 450 – 470 авт./ч (в одном направлении). Диапазон значений средней абсолютной ошибки составил $\bar{d}_{abs}=53,8 - 190,6$, а значений отношения \bar{d}_{abs}/\bar{V} – от 0,082 до 0,391 (см. табл.4.4). Средняя абсолютная ошибка составила 115,3 авт./ч, то есть 19% интенсивности движения.

Проведенный статистический анализ материалов различных обследований показывает, что сведение замеров интенсивности движения в единые выборки для оценки матриц корреспонденций является корректным с позиций статистики. Все рассмотренные в данной работе выборки входящих и выходящих потоков оценены как относящиеся к одним и тем же генеральным совокупностям. Коэффициенты корреляции между выборками $V(out)_i$ и $V(in)_i$, как правило, превышали значение 0,9.

Анализ качества исходных данных был необходим еще с позиций определения требований к точности оценки матрицы корреспонденций, которые должны применяться на практике. Признаком сходимости итерационной оценки можно будет принять абсолютные величины погрешности вычислений корреспонденций

$$|e_i| = \left| x_i^n - x_i^{n-1} \right|, \quad (4.44)$$

где x_i^n – оценка i корреспонденции на n -итерации; x_i^{n-1} – оценка i корреспонденции на предыдущей $n-1$ -итерации.

Значения допустимой невязки оценок корреспонденций (4.44), получаемые при последовательных итерациях, должны назначаться с учетом качества реальных исходных данных. Данные табл. 4.3 и 4.4 позволяют утверждать, что для практических целей допустима точность оценки матрицы корреспонденций, при которой невязка может составлять 10–20 авт./ч.

Таблица 4.2

Точность обследований интенсивности движения
в Иркутске в 1995 г.

Количество перегонов		114
Сравнение выборок $V(out)$ и $V(in)$		
<p>Диаграмма разброса значений входящих $V(out)_i$ и выходящих $V(in)_i$ потоков</p>		
Средние значения	$\bar{V}(out)$	625,912
	$\bar{V}(in)$	629,096
Значение критерия Стьюдента	Вычисленное t	0,266
	Критическое $t_{(113;0.05)}$	1,984
	Статистическая надежность	0,821
Коэффициент корреляции R		0,927
Анализ ошибок $d_i = V(out)_i - V(in)_i$		
Интенсивность движения на перегонах в одном направлении V , физ.ед./ч	максимальная V_{max}	1799,00
	средняя V	627,5044
	минимальная V_{min}	21,000
Средняя ошибка \bar{d}		3.1842
Абсолютная ошибка \bar{d}_{abs}	максимальная d_{abs}^{max}	478,000
	средняя \bar{d}_{abs}	102,693
	минимальная d_{abs}^{min}	0,000
Отношение \bar{d}_{abs}/\bar{V}		0,614

Таблица 4.3

Показатели точности обследований интенсивности движения

Фрагмент сети, год обследования	Средняя ошибка \bar{d}	Средняя абсолютная ошибка \bar{d}_{abs}	Отношение средней абсолютной ошибки к средней интенсивности \bar{d}_{abs}/\bar{V}
Санкт-Петербург			
Невский пр., 1977	5,5	116,1	0,276
Московский пр., 1977	-20,4	60,4	0,082
Октябрьский (Адмиралтейский) р-н, 1979	14,4	59,2	0,085
Невский р-н, 1978 – 1979	4,2	114,9	0,273
Невский р-н, 1984 – 1985	-12,9	142,7	0,391
Кировский р-н, 1984 – 1985	-7,4	53,8	0,223
Наб. Фонтанки, 1985	-24,5	78,3	0,105
Московский пр., 1987	-36,3	190,6	0,176
Московский р-н, 1987	29,4	141,6	0,185
Иркутск			
Ул. Ленина, 1995	67,4	141,7	0,155
Ул. К. Маркса, 1995	-15,3	178,2	0,224
Центр Иркутска, 1995	-41,	134,5	0,234
Ул. Сергеева – Маяковского, 1995 16.00-17.00	4,8	105,9	0,119
Ул. Сергеева – Маяковского, 1995 17.00-18.00	18,4	108,9	0,117
УДС Иркутска в целом, 1995	3,2	102,7	0,164

Таблица 4.4

Средние показатели точности обследований интенсивности движения

Оценки	Среднее значение	Доверительный интервал		Значение	
		-95,0%	+95,0%	минимальное	максимальное
\bar{d}_{abs}	115,3	92,5	138,1	53,8	190,6
\bar{d}_{abs}/\bar{V}	0,187	0,140	0,234	0,082	0,391

Правила исключения выделяющихся одного или нескольких наблюдений давно рассматриваются в статистике и предложено

большое количество критериев отбраковки. В литературе, посвященной робастным оценкам, рекомендован ряд процедур исключения резко выделяющихся наблюдений, основанных на использовании критериев Смирнова-Граббса, Граббса, Титьена-Мура и т.д. [18,20,54,61,64]. Подчеркивается, что по сравнению с другими критериями отбраковки они имеют высокую мощность.

Процедура, базирующаяся на применении критерия Смирнова-Граббса, в рассматриваемом случае сводится к определению статистики T_i , то есть

$$T_i = \frac{d_i - \bar{d}}{S_d}, \quad (4.45)$$

где $\bar{d} = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{n}$ – среднее значение ошибки; $S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n-1}}$ – среднеквадратическое отклонение; n – количество наблюдений (то есть пар).

Отбраковка наблюдения производится, если при заданной значимости α расчетное значение T превосходит критическое T_α .

Одна из часто предлагаемых при выполнении регрессионного анализа процедур исключения наблюдений, содержащих грубые ошибки, использует так называемые студентизированные остатки, то есть нормированные отклонения [18,54]. В рассматриваемом случае эта статистика рассчитывается в соответствии с формулой

$$\epsilon = \frac{d}{S_d} = \frac{d}{\sqrt{\frac{\sum d_i^2 - (\sum d_i)^2/n}{n(n-1)}}}. \quad (4.46)$$

Согласно этому методу парами, содержащими грубые ошибки, считаются такие, у которых z превосходит некоторое заранее заданное значение z_α . Первоначально предполагалось, что при тестировании рассматриваемой процедуры для отбраковки будут ис-

пользоваться уровнем значимости $\alpha = 5\%$ и соответствующее ему $z_{0,05} = 1,960$ [20].

Тестирование критериев выявления грубых ошибок позволяет утверждать, что предпочтительнее применение статистики z (нормированного отклонения). Критерий Смирнова – Граббса (4.45) оказался мало чувствительным к ошибкам в рассматриваемых автором данным. Лишь однажды при анализе ошибок данных обследований интенсивности движения в Иркутске в 1994 – 1995 гг. был отмечен случай, когда у одного из наблюдений вычисленное значение T превышало критическое.

В дальнейшем для выявления грубых ошибок авторы использовали нормированное отклонение z [формула (4.46)]. Следует отметить, что использование уровня значимости $\alpha = 5\%$ не всегда обеспечивало эффективность процедур выявления грубых ошибок. Особенностью исходных данных, которые исследовал автор, являлось то, что при принятии доверительной вероятности $\beta = 95\%$ (соответственно уровень значимости $\alpha = 5\%$) они лишь в редких случаях классифицировались как содержащие грубые ошибки. Результаты тестов позволяют рекомендовать задаваться доверительной вероятностью β в зависимости от объема выборки:

сеть до 50 перегонов, $\beta = 80\%$;

сеть более 50 перегонов, $\beta = 90\%$.

4.6. Результаты тестирования методов робастного оценивания матриц корреспонденций

Тестирование методов робастной оценки матриц корреспонденций выполнялось с использованием библиотек операций с матрицами и оптимизации пакета MATLAB.

Следует сразу отметить, что метод вариационно- взвешенных приближений (ВВП) [см. формулу (4.24)], который при использо-

вании пакета MATLAB реализуется в матрично-векторной форме как $x = \text{inv}(A' * W * A) * A' * W * Y$, явился не пригодным для решения рассматриваемой задачи.

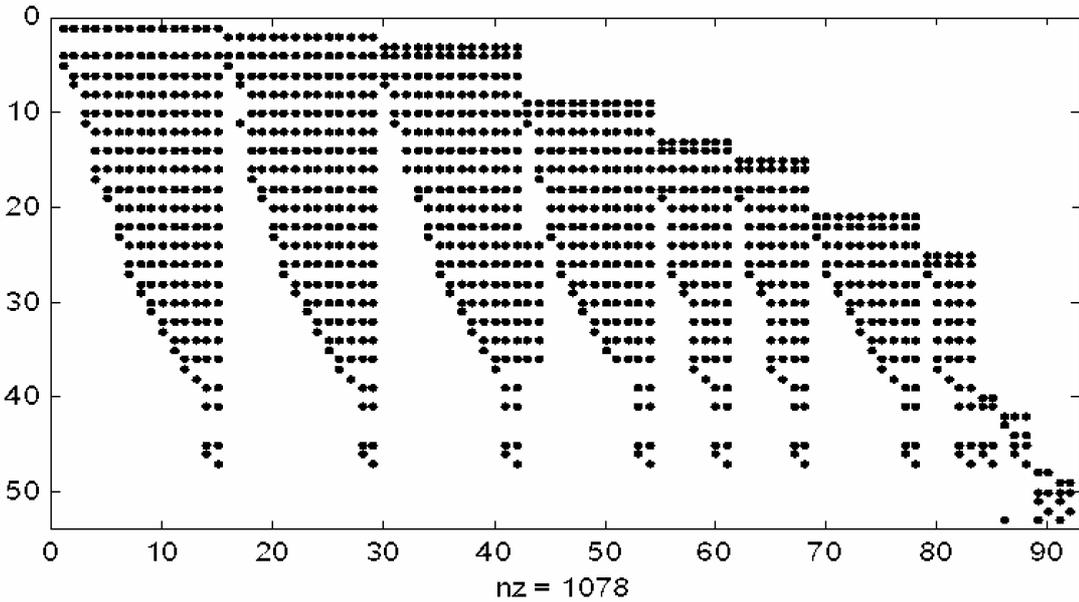


Рис. 4.9. Структура матрицы инцидентности для графа, отображающего улицу одностороннего движения (ул. К. Маркса в Иркутске)

Как указывалось ранее, при оценке матриц корреспонденций предлагается рассматривать отдельно каждое из направлений движения (см. рис. 4.1 и 4.3), что позволяет использовать распределение потоков “все или ничего”. Но при этом получаются матрицы A инцидентности с коллинеарными столбцами, что можно показать на реальном примере (рис. 4.9). Получение матриц инцидентности со структурой, аналогичной структуре матрицы, показанной на рис. 4.9, будет неизбежным в случаях, когда оцениваются матрицы корреспонденций “вдоль маршрута движения”. Исходные матрицы инцидентности, построенные для реальных УДС, получаются разреженными и плохо обусловленными из-за наличия коррелированных столбцов и строк. Плохая обусловленность матрицы A приводит к тому, что небольшие изменения ее элементов, в свою очередь, при-

водят к значительным ошибкам матричных вычислений и вектора оценок $\mathbf{x} = (A'WA)^{-1} A'WY$.

В этой связи можно утверждать, что матрицы инцидентностей, которые необходимо использовать в задаче (4.24), будут иметь плохую обусловленность. Соответственно, те методы регрессионного анализа, которые используют нормальные уравнения (4.21) или операции вычисления обратных матриц [см. формулы (4.24),(4.25)], не пригодны для оценки корреспонденций “вдоль маршрутов движения”.

Тестирование вариантов метода наименьших модулей (МНМ) выполнялось с помощью библиотеки Optimization Toolbox пакета MATLAB. Минимизация целевых функций (4.35) и (4.36) рассматривается как задача линейного программирования со смешанными ограничениями, в которой целевая функция

$$\min \mathbf{w}^T \mathbf{x} \quad (4.47)$$

линейные ограничения

$$A2 \mathbf{x} = \mathbf{y}, \quad (4.48)$$

при этом матрица $A2$ получается на основе матрицы инцидентности A [см. формулу (4.35)]; двухсторонние ограничения

$$\mathbf{x}^{lb} \leq \mathbf{x} \leq \mathbf{x}^{ub}. \quad (4.49)$$

Поэтому исходные данные включали:

A – матрицу инцидентности ранга $n \times m$, задающую принадлежность корреспонденций дугам графа сети (ее элементы a_{ij} имеют значение 0 или 1); если корреспонденция j проходит по дуге i , то $a_{ij} = 1$, в противном случае $a_{ij} = 0$, где $i = 1, 2, \dots, n$, n – количество дуг графа УДС, на которых задана интенсивность движения, $j = 1, 2, \dots, m$, m – количество оцениваемых корреспонденций.

\mathbf{y} – вектор-столбец значений интенсивности движения на дугах сети;

$\mathbf{x}0$ – начальное приближение значений корреспонденций – исходный вектор-столбец значений, который может быть задан:

в виде старой матрицы корреспонденций, преобразованной в вектор;

значениями корреспонденций, полученными в результате экспертной оценки;

в виде существующей матрицы корреспонденций, восстановленной с гравитационной модели;

lb – коэффициент, задающий нижние допустимые значения корреспонденций x^{lb} , $x^{lb} = x lb$;

ub – коэффициент, задающий верхние допустимые значения корреспонденций, x^{ub} , $x^{ub} = x ub$;

div – коэффициент, задающий верхние допустимые значения искусственных переменных x^{ub} , $x^{ub}_i = x_i / div$;

v – показатель степени весовых коэффициентов $w_i = |e_i|^{v-2}$.

Соответственно, выходные данные включали следующие векторы-столбцы:

x – восстановленные значения корреспонденций;

b – значения интенсивности движения на дугах, рассчитанные на основе восстановленных корреспонденций $b = Ax$;

e – остатки (ошибки) регрессии – разность между наблюдаемыми и рассчитанными значениями интенсивности движения на дугах $e = y - Ax$.

Двухсторонние ограничения задачи линейного программирования (4.49) могут использоваться как средство управления сходимостью итераций и точности оценки. Получаемый в результате решения задачи линейного программирования (4.47) – (4.49) вектор-столбец x^2 размером $m+2n$ состоит из корреспонденций x , которые составляют его элементы x_1, x_2, \dots, x_m , и из искусственных переменных $x_{m+1}, x_{m+2}, \dots, x_{m+2n}$, одновременно являющихся той частью вектора x^2 , которая входит в состав целевой функции (4.47). Поэтому значения вектора нижних ограничений принимаются $x^{lb}_i = 0$, а векторы верхних ограничений x^{ub} назначаются:

$x_i^{ub} = k x_i$, $k > 1$, где x_i – значение, полученное на предыдущей итерации;

$x_{m+j}^{ub} = (1/div) x_j$ и $x_{m+n+j}^{ub} = (1/div) x_j$, где x_j – модуль остатка регрессии e_j , полученный на предыдущей итерации, div – коэффициент, $div > 1$.

Тестирование вариантов метода наименьших модулей (МНМ) было выполнено авторами на основе следующих данных:

искусственные данные без ошибок;

искусственные данные с внесенными грубыми ошибками;

данные реальных обследований.

Задачей первого этапа тестирования являлась оценка точности методов. Поэтому тест выполнялся по следующей схеме:

задавались искусственная матрица корреспонденций x , преобразованная в вектор, и соответствующие этой матрице точные значения интенсивности движения на дугах графа $y = A x$;

проводилось восстановление матрицы корреспонденций и выполнялась оценка точности этого восстановления с применением целого ряда статистик.

Оценка точности включала:

парное сравнение заданных x_i и оцененных x_i значений корреспонденций с использованием статистик

$$d_i = x_i - \hat{x}_i; \quad \bar{d} = \sum_i d_i / m; \quad \bar{d}_{abs} = \sum_i |d_i| / m; \quad D = \bar{d}_{abs} / \bar{x}; \quad (4.50)$$

парное сравнение заданных y_i и оцененных y_i значений потоков на дугах (т.е. анализ остатков регрессии $e = y - A^*x$) с использованием статистик

$$e_i = y_i - \hat{y}_i; \quad \bar{e} = \sum_i e_i / n; \quad \bar{e}_{abs} = \sum_i |e_i| / n; \quad E = \bar{e}_{abs} / \bar{y}. \quad (4.51)$$

Задачей второго этапа тестирования вариантов МНМ являлась оценка их сходимости при наличии грубых ошибок. Представляет-

ся, что наиболее точно исследовать сформулированную задачу можно при проведении численного эксперимента, когда:

задаются точные значения корреспонденций x_i и потоков y_i , соответствующих этим корреспонденциям, т.е. $y = A x$;

задаются ошибки исходных данных (т.е. значения y_i^* с внесенными ошибками);

восстанавливается матрица корреспонденций x_i при заданных с ошибками значениях потоков y_i^* ;

восстановленные значения корреспонденций x_i сравниваются с заданными точными значениями x_i с использованием статистик (4.50);

Проводимый в такой форме численный эксперимент позволит установить:

влияние ошибок исходных данных (т.е. значений интенсивности движения) на сходимость простого МНМ и взвешенного МНМ;

точность восстановления матрицы корреспонденций при использовании простого МНМ и взвешенного МНМ в случае ошибок исходных данных;

предельные допустимые значения ошибок исходных данных, позволяющие выполнять восстановление матрицы корреспонденций.

На третьем этапе тестирования выполнялось сравнение простого и взвешенного МНМ на примерах реальных данных с целью:

установить влияние верхних и нижних ограничений оцениваемых переменных на сходимость и точность оценки;

сравнить сходимость и точность простого и взвешенного МНМ при одних и тех же верхних и нижних ограничениях оцениваемых переменных.

На последнем этапе тестирования точность восстановления корреспонденций уже оценивалась только парным сравнением за-

данных y_i и оцененных y_i значений потоков на дугах (т.е. анализом остатков регрессии $e = y - A*x$) с использованием статистик (4.51).

Тестирование вариантов МНМ показало, что метод отличается хорошей устойчивостью при плохо обусловленных матрицах и матрицах неполного ранга. Это особенно важно для практического использования метода, поскольку позволяет применять его для случаев, когда число ненулевых элементов матрицы корреспонденций (т.е. количество оцениваемых корреспонденций) превышает количество дуг графа УДС, на которых известны значения интенсивности движения.

По результатам тестирования с применением искусственных загрязненных данных и реальных данных простой МНМ имеет более высокую скорость схождения по сравнению со взвешенным МНМ. В частности, это можно показать в виде графика “итерации – остатки регрессии” (рис. 4.10); нулевой итерацией (шаг 0) принимается определение вектора x_0 с использованием гравитационной модели (4.37).

Анализ ошибок оценки корреспонденций и потоков, невязок оценок корреспонденций по итерациям показал, что необходимая для практических задач точность обеспечивается на 2-й итерации. В ряде случаев тестов сильного загрязнения увеличение числа итераций приводило к снижению качества оценки. Поэтому для практических целей можно рекомендовать процедуру восстановления матрицы всего из двух итераций с использованием простого или комбинированного МНМ (взвешенный МНМ на 2-й итерации).

Примером могут служить результаты тестов, выполнявшихся для участка УДС на подходах к мосту в Иркутске (рис. 4.11 – 4.14, табл. 4.5 – 4.7), для которого в дальнейшем были оценены матрицы корреспонденций и распределения потоков по реальным данным. Графики на рис. 4.12 – 4.14 показывают, как изменялись оценки корреспонденций и потоков по итерациям.

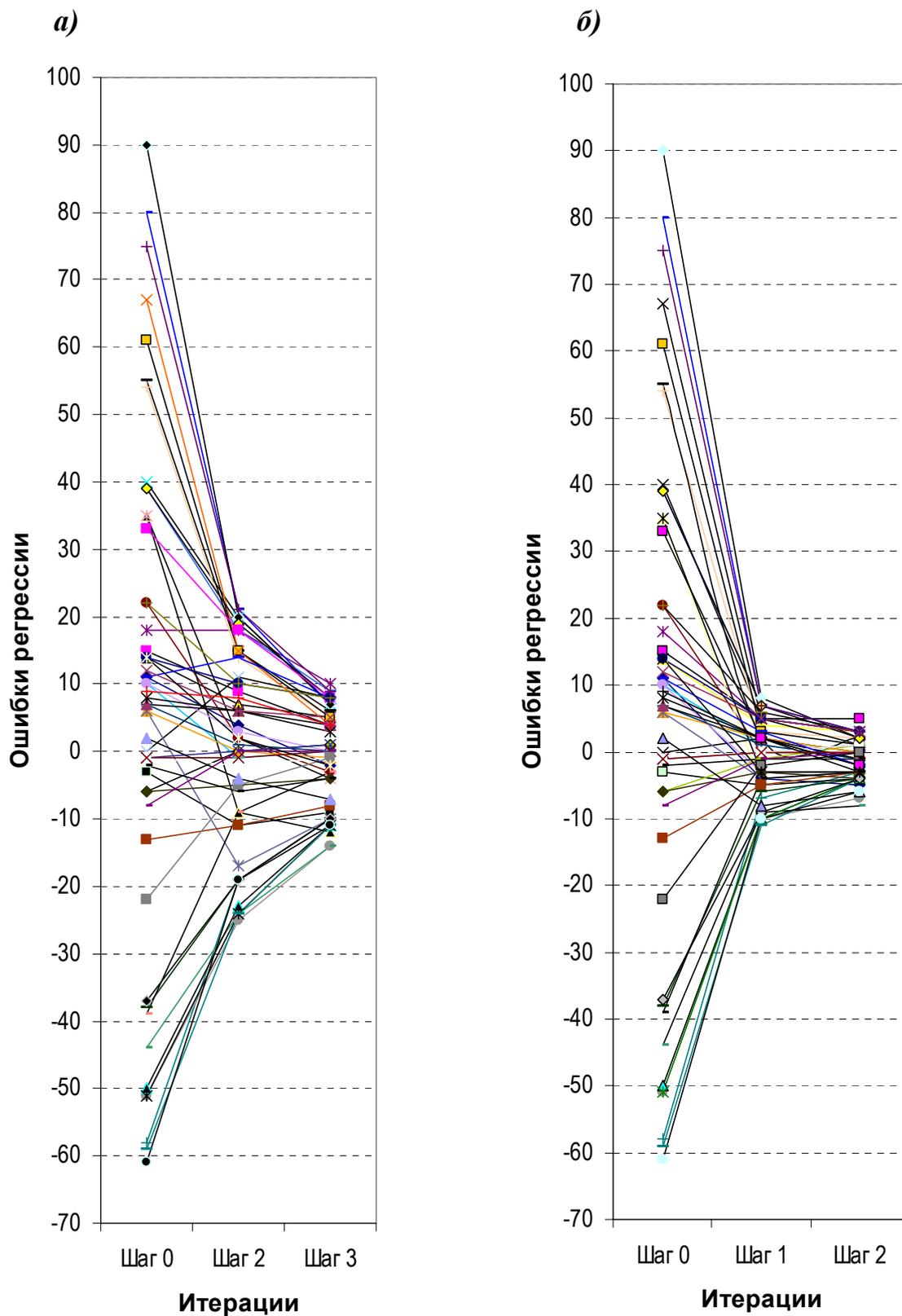


Рис. 4.10. Ошибки $e_i = y_i - \hat{x}_i$ (остатки регрессии) на 0-й – 2-й итерациях: *а* – взвешенный МНМ; *б* – сочетание итераций (1-я – простой МНМ, 2-я – взвешенный МНМ)

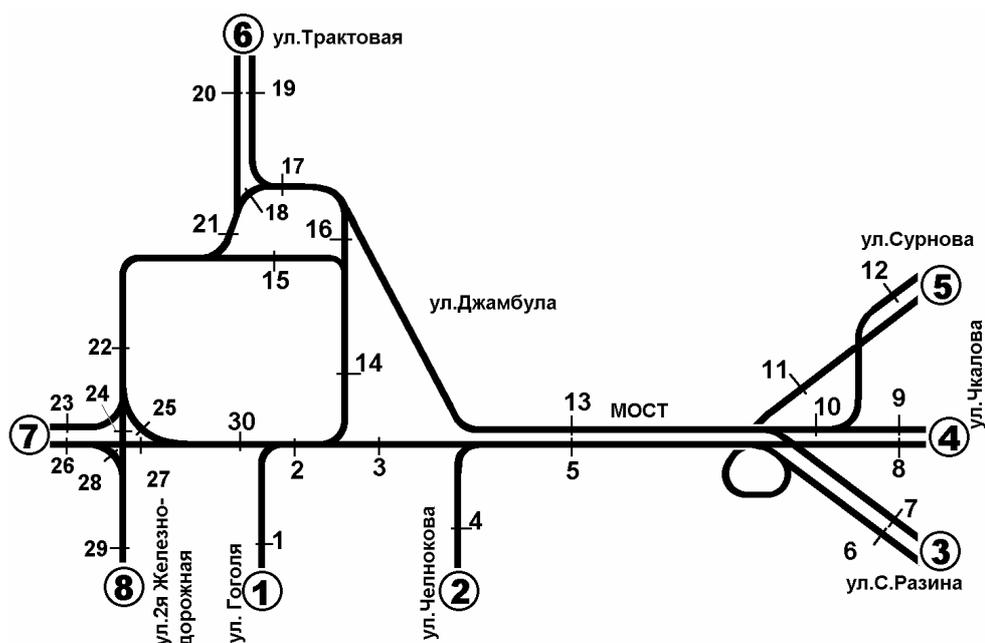


Рис. 4.11. Улично-дорожная сеть лево- и правобережных подходов к старому мосту через Ангару в Иркутске:

①, ②, ..., ⑤ – “нагрузочные” вершины (истoki – стоки);
 1, 2, ..., 30 – дуги, включенные в матрицу инцидентности A

Хотя предлагаемый метод восстановления матриц ориентирован на загрязненные данные, он дает высокие показатели точности при хорошем качестве исходных данных, получаемых в результате специальных обследований интенсивности движения. В данном контексте под специальным обследованием понимается выполнение замеров интенсивности движения на исследуемом участке УДС за короткий период времени, что снижает вероятность возникновения грубых ошибок. В качестве примера можно привести результаты оценки матрицы корреспонденций на ул. К.Маркса в центре Иркутска (рис.4.15, табл. 4.8) по данным обследований 1998 г., выполненных за неделю. Использование процедуры восстановления матрицы простого и комбинированного МНМ (на 2-й итерации используется взвешенный МНМ) дало среднюю абсолютную ошибку соответственно 3,2 и 2,7 авт./ч. С учетом показателей точности восстановления матриц, приводимых в других исследованиях [113,115], этот результат можно оценивать как очень хороший.

Таблица 4.5

Парный анализ заданных и восстановленных значений потоков при оценке точности восстановления матрицы корреспонденций с использованием простого МНМ

Дуга (см. рис.4.11)	Значение потока на дуге		Оценка потоков					
	точное	с ошибкой	Итерации					
			0	1	2	3	4	5
Y1	730	767	749	805	822	822	822	822
Y2	2000	2005	2263	2022	2054	2054	2054	2054
Y3	1520	1469	1342	1424	1508	1508	1508	1508
Y4	550	511	499	535	493	493	493	493
Y5	2070	1980	1961	1959	2001	2001	2001	2001
Y6	940	695	712	688	702	702	702	702
Y7	320	241	236	208	269	270	271	271
Y8	190	219	225	212	226	226	226	226
Y9	230	238	231	235	204	203	203	203
Y10	1430	1525	1246	1489	1457	1455	1455	1455
Y11	940	1066	1092	1059	1073	1073	1073	1073
Y12	1200	1287	1256	1254	1253	1252	1252	1252
Y13	1750	1766	1579	1697	1726	1725	1726	1726
Y14	480	536	609	598	546	546	546	546
Y15	150	161	159	24	164	164	164	164
Y16	330	375	428	574	382	382	382	382
Y17	2080	2141	2316	2271	2108	2107	2108	2108
Y18	1220	1113	1053	1339	1254	1259	1262	1262
Y19	860	1028	638	932	854	848	846	846
Y20	1240	1252	1222	1093	1177	1174	1173	1173
Y21	2460	2365	2297	2432	2431	2433	2435	2435
Y22	2610	2526	2390	2456	2595	2597	2599	2599
Y23	900	966	990	794	838	834	833	833
Y24	1050	871	1363	1075	1143	1152	1155	1155
Y25	660	689	588	587	614	611	611	611
Y26	830	707	689	717	691	691	690	690
Y27	610	549	580	630	618	621	621	621
Y28	220	158	249	87	73	70	69	69
Y29	1270	1029	1053	1162	1216	1222	1224	1224
Y30	1270	1238	1105	1217	1232	1232	1232	1232
Корреляция R	0,989	0,975	0,986	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994
Средняя ошибка \bar{e}	21,233	33,000	17,833	12,867	12,767	12,767	12,467	12,467
Стандартное отклонение S_e	18,065	27,840	20,679	14,053	14,191	14,254	14,254	14,254
Средняя абсолютная \bar{e}_{abs}	77,967	128,333	94,167	58,867	59,633	59,800	59,800	59,800
t -критерий Стьюдента:								
критическое значение	$t_{(29;0,05)} = 2,045$							
вычисленное значение	1,175	1,185	0,862	0,916	0,900	0,875	0,875	0,875

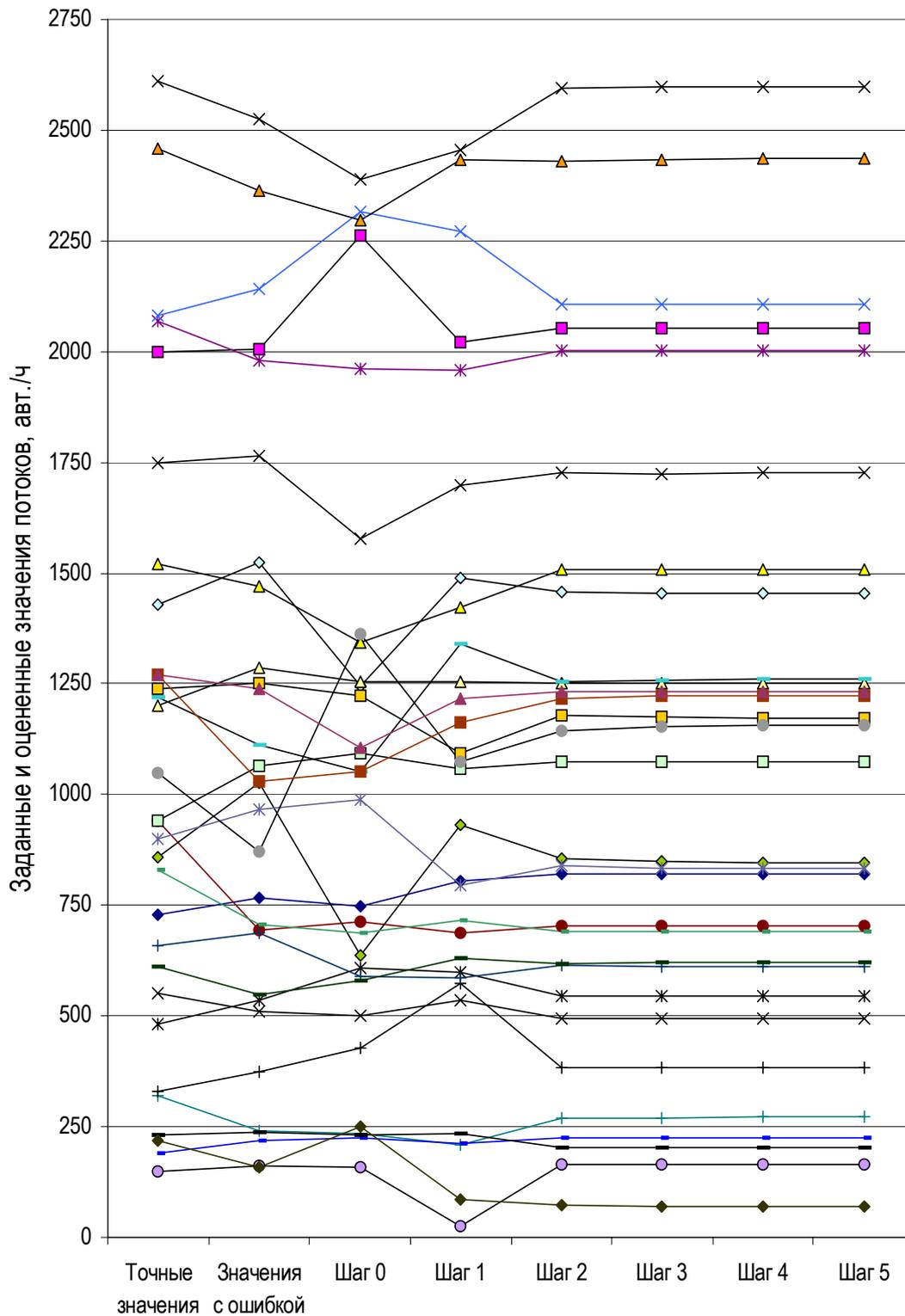


Рис. 4.12. Точные значения потоков, значения потоков с внесенными ошибками и восстановленные значения потоков по итерациям при использовании простого МНМ (см. табл. 4.5)

Таблица 4.6

Оценка точности восстановления матрицы корреспонденций
на основе парного анализа заданных
и восстановленных значений корреспонденций

Точные значения корреспонденций		Оценка корреспонденций					
		Итерации					
		0	1	2	3	4	5
X1	190	143	157	160	160	160	160
X2	40	45	59	62	62	62	62
X3	190	221	235	238	238	238	238
X4	160	197	198	198	198	198	198
X5	150	161	164	164	164	164	164
X6	250	179	174	173	173	173	173
X7	50	57	52	51	51	51	51
X8	250	275	270	269	269	269	269
X9	100	89	50	42	40	40	40
X10	90	73	62	60	60	60	60
X11	130	79	152	167	170	171	171
X12	70	88	32	21	19	18	18
X13	70	72	44	38	37	37	37
X14	90	78	134	145	147	148	148
X15	360	476	420	409	407	406	406
X16	350	390	362	356	355	355	355
X17	490	421	477	488	490	491	491
X18	300	242	221	217	216	216	216
X19	60	76	55	51	50	50	50
X20	300	371	350	346	345	345	345
X21	240	270	228	220	218	217	217
X22	340	293	335	343	345	345	345
X23	200	131	149	152	153	153	153
X24	40	41	59	62	63	63	63
X25	200	199	217	220	221	221	221
X26	170	178	183	184	184	184	184
X27	220	158	87	73	70	69	69
Корреляция R		0,929	0,932	0,924	0,922	0,921	0,921
Средняя ошибка \bar{d}		3,593	6,444	7,974	7,222	7,259	7,259
Стандартное отклонение $S_{\bar{d}}$		45,481	44,702	47,750	48,456	48,670	48,670
Средняя абсолютная ошибка \bar{d}_{abs}		116,000	133,000	147,000	150,000	151,000	151,000
t -критерий Стьюдента:							
критическое значение				$t_{(26;0,05)} = 2,056$			
вычисленное значение		0,410	0,749	0,770	0,774	0,775	0,775

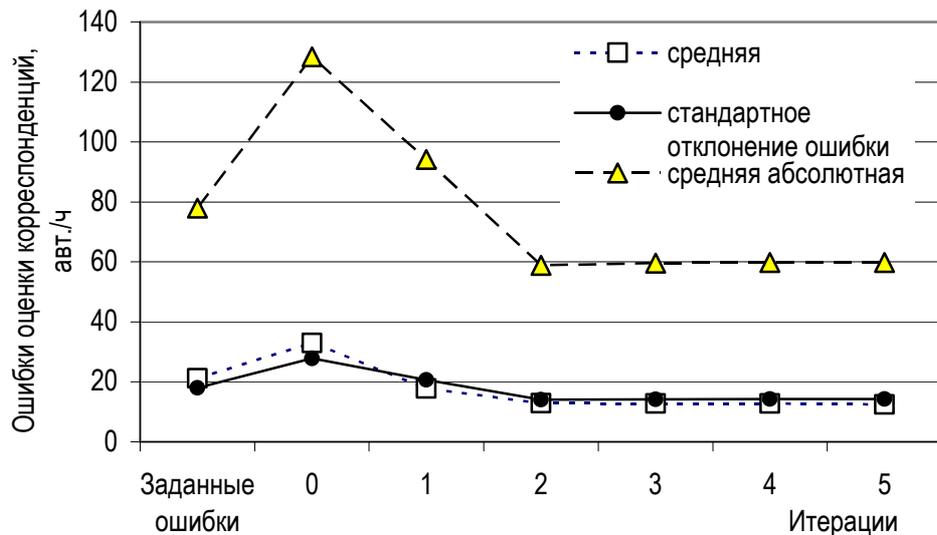


Рис. 4.14. Оценка точности восстановления матрицы корреспонденций с использованием простого МНМ (к табл. 4.7, 4.8). Изменение ошибок восстановления значений потоков (остатков регрессии) по итерациям:

средняя $\bar{e} = (\sum e_i)/n$, где $e_i = y_i - \hat{x}_i$;

стандартное отклонение $S_{\bar{e}} = \sqrt{\frac{\sum e_i^2 - (\sum e_i)^2/n}{n(n-1)}}$;

средняя абсолютная $\bar{e}_{abs} = (\sum |e_i|)/n$

Таблица 4.7

Ошибки восстановления значений потоков
(см. табл. 4.5 и рис. 4.12, 4.14)

Итера- ция	Ошибки			Абсолютные ошибки		
	минималъ- ная	средняя \bar{e}	макси- мальная	минималъ- ная	средняя \bar{e}_{abs}	максималъ- ная
0	-313,00	33,000	228,00	1,00	128,333	313,00
1	-244,00	17,833	252,00	5,00	94,167	252,00
2	-133,00	12,867	238,00	6,00	58,867	238,00
3	-133,00	12,767	238,00	11,00	59,633	238,00
4	-133,00	12,467	238,00	11,00	59,800	238,00
5	-133,00	12,467	238,00	11,00	59,800	238,00
Внесенные ошибки						
	-168	21,333	245	5	77,967	245

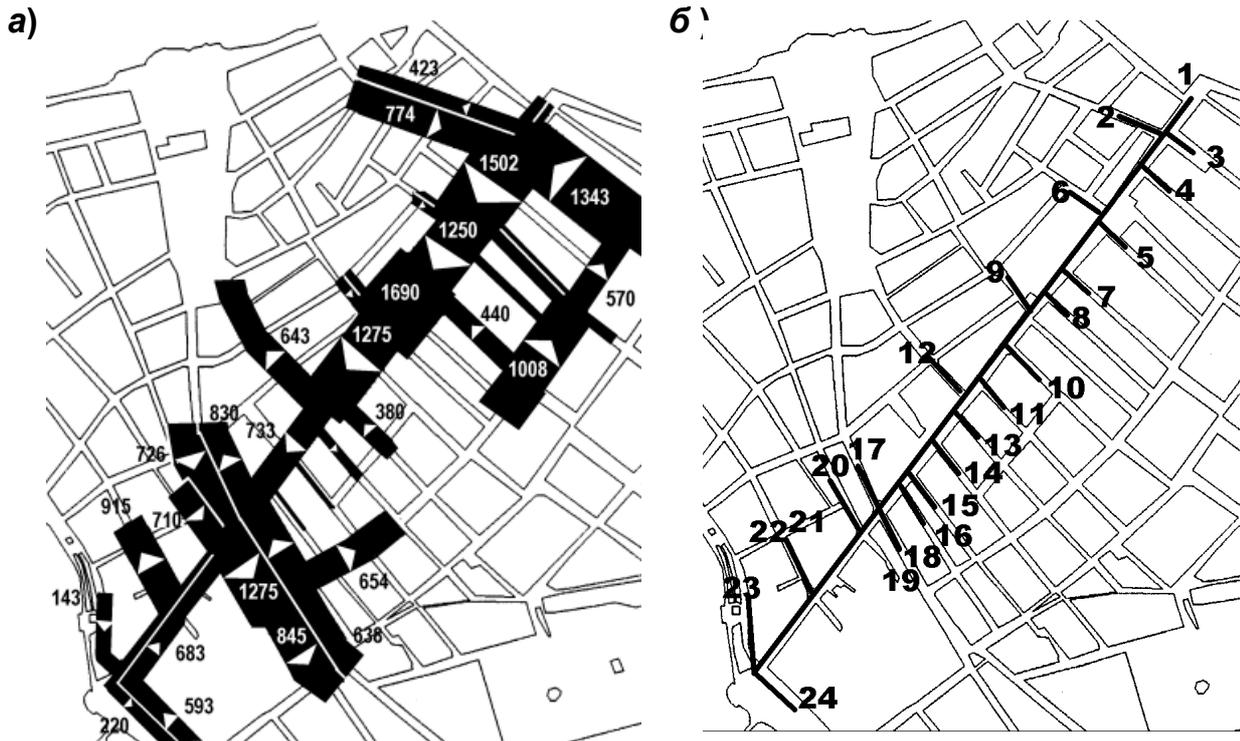


Рис.4.15. Картограмма интенсивности движения в районе ул. К.Маркса (центр Иркутска) в вечерний час пик (а) и корреспондирующие вершины (б)

Таблица 4.8

Сравнение точности восстановления значений потоков с использованием взвешенного МНМ, простого МНМ и их комбинации

МНМ	Шаг	Ошибка			Абсолютная ошибка	
		минимальная	максимальная	средняя \bar{e}	максимальная	средняя \bar{e}_{abs}
Взвешенный	0	-61	90	6,981132	90	27,77358
	1	-25	21	0,716981	25	11,16981
	2	-14	10	-0,54717	14	5,981132
Простой	0	-61	90	6,981132	90	27,77358
	1	-11	8	-0,622641	11	4,433962
	2	-10	4	-1,995600	8	3,188679
Комбинация	0	-61	90	6,981132	90	27,77358
	1	-11	8	-0,622641	11	4,433962
	2	-8	5	-1	8	2,698113

Тестирование показало, что наибольший эффект на качество восстановления корреспонденций и значений потоков оказывают двухсторонние ограничения (4.49) корреспонденций x_i $i=1,2,\dots,m$ и искусственных переменных x_i , $i=m+1,m+2,\dots,m+2n$. В соответствии с результатами тестирования рекомендуются следующие значения ограничений:

нижние ограничения оцениваемых переменных $x_i^{lb}=kx_i$, $k=0$;

верхние ограничения оцениваемых переменных $x_i^{ub}=kx_i$, $k \geq 2$;

нижние ограничения искусственных переменных $x_i^{lb}=0$, $i=m+1,m+2,\dots,m+2n$;

верхние ограничения искусственных переменных $x_{m+j}^{ub} = (1/div) x_j$ и $x_{m+n+j}^{ub} = (1/div) x_j$ рассчитывать для $div \geq 30$, где x_j – модуль остатка регрессии e_j , полученный на предыдущей итерации, n – количество дуг графа УДС, на которых заданы значения интенсивности движения; $j=1,2,\dots,n$.

Поскольку при восстановлении корреспонденций получаемые значения коэффициента корреляции очень высокие, предлагается следующее сочетание критериев, более чувствительных к результатам регрессионного анализа [см. формулы (4.40) и (4.51)]:

критерий Стьюдента для парного сравнения исходных и оцененных значений потоков;

средняя абсолютная разность пар замеренных и оцененных значений потоков \bar{e}_{abs} ;

отношение средней абсолютной ошибки к среднему значению интенсивности движения на перегоне в одном направлении E .

В настоящее время имеется большое количество математических пакетов, которые можно использовать для решения рассмотренной в данной главе задачи [74,139,144]. Выбор пакета MATLAB для решения задачи восстановления матриц корреспонденций вызван и тем, что:

пакет ориентирован на выполнение операций с векторами и матрицами, в том числе разряженными матрицами;

пакет применяется для решения сетевых задач [227], в том числе на его основе осуществляется разработка приложений для транспортных задач, например, программа **DelftOD Version 2.0** (Nanne J. van der Zijpp, Delft University of Technology <http://www.delftod.tudelft.nl>);

пакет достаточно известен и распространен в нашей стране, имеет сопровождение [144].

Предложенный метод полностью основан на применении стандартных математических библиотек, не требует специальных профессиональных знаний в области программирования, поэтому прост и доступен для использования. В дальнейшем авторы предполагают рассмотреть возможности применения метода робастного восстановления корреспонденций пассажирских (межостановочных матриц корреспонденций) и пешеходных потоков.

Библиографический список

1. *Агасьянц А.А.* Основные предпосылки повышения эффективности улично-дорожной сети // Совершенствование транспортных систем городов: Тез. сообщений Всесоюз. науч.-техн. сем. – Суздаль, 9 – 11 ноября 1989. – М.: ЦНИИП градостроительства, 1989. – С. 20 – 23.

2. Автомобильный транспорт России. <http://online.russiantransport.om/us/ocums/n/auto/jan03/iru1.html>

3. *Артынов А.П., Скалецкий И.И.* Автоматизация процессов планирования и управления транспортными системами. – М.: Транспорт, 1981. – 280 с.

4. *Бабков В.Ф.* Дорожные условия и безопасность движения: Учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1993. – 271 с.

5. *Брайловский Н.О., Грановский Б.И.* Моделирование транспортных систем. – М.: Транспорт, 1978. – 125 с.

6. *Буга П.Г., Шелков Ю.Д.* Организация пешеходного движения в городах. – М.: Высш. школа, 1980. – 232 с.

7. *Буренскене М.Ч., Ушпалите Р. Р.* Моделирование транспортной инфраструктуры с использованием информационных систем // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния. Мат–лы и тез. докл. IX междунар. науч.-практ. конф. – Екатеринбург: Комвакс АМБ, 2003. – С. 120 – 124.

8. *Ваксман С.А.* Социально-экономические проблемы прогнозирования массового пассажирского транспорта в городах. – Екатеринбург: УрГЭУ, 1996. – 289 с.

9. *Ваксман С.А., Головырских М.А.* Информационная система общественного транспорта города // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния:

Мат–лы и тез. докл. IX междунар. науч.-практ. конф. – Екатеринбург: Комвакс АМБ, 2003. – С. 79 – 83.

10. *Ваксман С.А., Швец В.Л.* Надежность прогнозирования транспортных систем городов //Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов: Тез. докл. III Свердловской конф. – Свердловск, СИНХ, 1990. – С.25 – 28.

11. *Ваксман С.А., Швец В.Л.* Оценка точности прогнозирования развития транспортных систем городов в рамках КТС // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов: Тез. докл. III Свердловской конф. – Свердловск: СИНХ, 1990. – С.42–47.

12. *Виллеми А.* Стратегия развития общественного транспорта Таллинна. //Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния: Мат-лы и тез. докл. IX междунар. науч.-практ. конф. – Екатеринбург: Комвакс АМБ, 2003. – С. 83 – 86.

13. *Врубель Ю.А.* О потоке насыщения /Белорус. политех. ин-т. – Минск, 1988. – 7 с. – Рук. деп. в ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР, № 663. – ат 89.

14. *Глик Ф.Г.* Методы прогнозирования загрузки сети магистральных городов //Схемы и проекты организации движения в городах в условиях самоуправления территорий: Тез. докл. науч.-практ. семинара. – Свердловск: Комвакс, 1991. – С. 24-27.

15. *Глик Ф.Г.* Обследование транспортных потоков и прогнозирование нагрузки сети городских улиц и дорог //Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов: Мат-лы IV междунар. науч.-практ. конф. – Екатеринбург: Комвакс, 1998. – С.59–61.

16. *Глухарева Т.А., Горбанев Р.В.* Организация движения грузовых автомобилей в городах. – М.: Транспорт, 1989. – 125 с.

17. *Горбанев Р.В., Ваксман С.А., Глухарева Т.А.* Проблемы загрузки сети магистральных улиц и дорог больших городов автомо-

бильным транспортом: Проблемы больших городов. – М.: ГОС-ИНИТИ, 1979. – Вып. №21. – 27 с.

18. *Гришкявичене Д.Р.* Критерий полосности и уровня организации движения при оценке пропускной способности улично-дорожных сетей городов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1980. – 22 с.

19. *Демиденко Е.З.* Линейная и нелинейная регрессия. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 302 с.

20. *Закс Л.* Статистическое оценивание. – М.: Статистика, 1976. – 598 с.

21. *Зубков Г.Н.* Применение моделей и методов структурного анализа систем в градостроительстве. – М.: Стройиздат, 1984. – 152 с.

22. *Зырянов В.В.* Критерии оценки условий движения и модели транспортных потоков. – Кемерово: Кузбас. политех. ин-т, 1993. – 164 с.

23. *Капитанов В.Т., Хилажев Е.Б.* Управление транспортными потоками в городах. – М.: Транспорт, 1985. – 94 с.

24. *Киселева О.Н., Сена С.Л., Федоров В.П.* Определение матрицы существующих грузовых корреспонденций на основе обследований на магистральной сети //Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов: Тез. докл. 2-ой обл. эконом. конф. – Свердловск, 1988. – С. 95 – 98.

25. *Клибавичус А.Ю.* Проектирование комплексных транспортных схем в условиях ограниченного финансирования //Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния: Мат-лы и тез. докл. IX междунар. науч.-практ. конф. – Екатеринбург: Комвакс АМБ, 2003. – С. 116 – 119.

26. *Красников А.Н.* Обоснование протяженности магистралей с непрерывным движением //Социально-экономические проблемы

развития транспортных систем городов: Тез. докл. 2-ой обл. эконом. конф. -Свердловск, 1988. – С. 104 – 106.

27. *Кременец Ю.А.* Технические средства регулирования дорожного движения. – М.: Транспорт, 1981. — 252 с.

28. *Кременец Ю.А.* Технические средства организации дорожного движения. – М.: Транспорт, 1990. – 255 с.

29. *Крейстмейн М.Г.* Исследование систем магистральных улиц центров крупных городов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1980. – 17 с.

30. *Крылова О.Н.* Методы расчета емкости сети магистральных улиц и автостоянок в центральном районе крупного города (на примере Ленинграда): Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Л., 1978. – 20 с.

31. *Лобанов Е.М.* Транспортная планировка городов. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.

32. МГСН 1.01- 99. Нормы и правила проектирования планировки и застройки г. Москвы (часть 3). <http://www.gvozdik.ru/documents/room00059/default.asp>

33. *Михайлов А.Ю.* Оценка транспортных корреспонденций в центральной части Иркутска //Город: прошлое, настоящее, будущее: Сб. науч. труд. – Иркутск: ИрГТУ, 2000. – С. 291 – 294.

34. *Михайлов А.Ю., Головных И.М.* Робастное оценивание матриц корреспонденций на основе данных интенсивности движения //Вестн. стипендиатов DAAD. – Иркутск: ИрГТУ, 2001. – С. 31 – 42.

35. *Михайлов А.Ю., Головных И.М.* Модель оценки пропускной способности УДС //Вест. стипендиатов DAAD. – Иркутск: ИрГТУ, 2002. – С. 5 – 8.

36. *Михайлов А.Ю., Головных И.М.* Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей //Вест. стипендиатов DAAD. – Иркутск: ИрГТУ, 2002. – С. 9 – 15.

37. *Михайлов А.Ю., Фадеев Д.С., Головных И.М.* К вопросу организации паркирования в центральной исторической части Иркут-

ска //Вест. стипендиатов DAAD. – Иркутск: ИрГТУ, 2002. – С. 16 – 25.

38. *Муртаф Б.* Современное линейное программирование. – М.: Мир, 1984. – 224 с.

39. *Мягков В.Н., Пальчиков Н.С., Федоров В.П.* Математическое обеспечение градостроительного проектирования. – Л.: Наука, 1989. – 144 с.

40. Нормы проектирования планировки и застройки Москвы. ВСН 2-85. – М.: Стройиздат, 1986. – 192 с.

41. О городской целевой программе использования альтернативных видов моторного топлива на автомобильном транспорте города на 2002-2004 годы: Постановление правительства Москвы от 12 марта 2002 г. N 170. <http://www.stroi.ru/nrmdocs/detailtext.asp>

42. Организация дорожного движения в городах: Методическое пособие /Под общ. ред. Ю.Д. Шелкова. – М.: НИЦ ГАИ МВД России, 1995. – 143 с.

43. *Пашков В.И.* Динамика автомобильного парка России: Перспективы российских автомобилестроителей //Экономика и производство. – 1999. – №2. <http://www4.mte.ru/www/toim.nsf>

44. *Петрович М.Л.* Регрессионный анализ и его математическое обеспечение на ЕС ЭВМ: Практическое руководство. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 199 с.

45. *Пухлак И., Антонов Д.* Проблемы политики паркования в Таллинне //Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния: Мат-лы и тез. док. IX междунар. научн.-прак. конф. – Екатеринбург: Комвакс АМБ, 2003. – С. 138 – 143.

46. *Поспелов П.И., Пуркин В.И.* Защита от шума при проектировании автомобильных дорог. – М.: МАДИ, 1985. – 119 с.

47. Прогноз изменения парка автомобилей России //Российский рынок автомобилей. <http://www.retail.ru/biblio/good73.htm>

48. Развитие улично-дорожной сети г. Москвы. [http:// www.mosarchinform.ru/genplan/transport/](http://www.mosarchinform.ru/genplan/transport/)

49. *Рейцен Е.А., Хейло М.Э.* Рациональные методы организации дорожного движения в больших городах // Проблемы больших городов. – М.: МГЦНТИ, 1988, вып. – №26. – 24 с.

50. Рекомендации по проектированию улиц и дорог городов и сельских поселений. – М.: ЦНИИП градостроительства Минстроя России, 1994. – 88 с.

51. *Романов А.Г.* Дорожное движение в городах: закономерности и тенденции. – М.: Транспорт, 1984. – 80 с.

52. Руководство по проектированию городских улиц и дорог. – М.: Стройиздат, 1980. – 222 с.

53. Руководство по регулированию дорожного движения в городах. – М.: Стройиздат, 1974. – 97 с.

54. *Сербер Д.* Линейный регрессионный анализ. – М.: Мир, 1980. – 456 с.

55. *Сигаев А.В.* Автотранспорт и планировка городов. – М.: Стройиздат, 1972. – 234 с.

56. *Сигаев А.В.* Грузовые магистрали города. – М.: Высшая школа, 1975. – 254 с.

57. *Сигаев А.В.* Проектирование улично-дорожной сети. – М.: Стройиздат, 1978. – 263 с.

58. *Сигаев А.В.* Планировочные и транспортные проблемы городских агломерации. – М.: Стройиздат, 1978. – 263 с.

59. *Сильянов В.В.* Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. – М.: Транспорт, 1977. – 303 с.

60. *Сильянов В.В., Лобанов Е.М., Ситников Ю.М., Сапегин Л.Н.* Пропускная способность автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1972. – 152 с.

61. *Смоляк С.А., Титаренко Б.П.* Устойчивые методы оценивания: Статистическая обработка неоднородных совокупностей. – М.: Статистика, 1980. – 208 с.

62. СНиП 2.07.01 – 89. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. – М.: ЦНТИ Госстроя СССР, 1989. – 56 с.

63. *Ставничий Ю.А.* Транспортные системы городов. – М.: Стройиздат, 1990. – 224 с.

64. *Титаренко Б.П.* Устойчивые оценки параметров регрессионных моделей // Алгоритмическое и программное обеспечение многомерного статистического анализа: Уч. зап. по статистике. – М.: Наука, 1980. – Т.36. – С. 137–138.

65. *Федоров В.П.* Математическая модель формирования пассажиро- потоков // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. – 1974. – №4. – С. 17 – 26.

66. *Хейт Ф.* Математическая теория транспортных потоков. – М.: Транспорт, 1966. – 286 с.

67. *Хомяк Я.В.* Организация дорожного движения. – Киев: Высшая школа, 1986. – 276 с.

68. *Черепанов А.Б.* Краткое историческое обозрение норм проектирования транспортных систем городов. Ч 1. Улично-дорожная сеть // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния: Мат-лы и тез. док. IX междунар. научн.-прак. конф. – Екатеринбург: Комвакс АМБ, 2003. – С. 148 – 157.

69. *Шелков Ю.Д.* О разработке заданий на проектирование организации дорожного движения в городах: Методическое пособие. – М.: ВНИИЦБД МВД СССР, 1991. – 20 с.

70. *Шелков Ю.Д., Романов А.Г.* Методические рекомендации по регулированию пешеходного движения. – М.: ВНИИБД МВД СССР, 1977. – 53 с.

71.Шелков Ю.Д., Шештокас В.В. Методический подход к оценке работоспособности городской улично-дорожной сети //Тр. ВНИИБД МВД СССР. – М., 1979. – Вып.4. – С.20 – 23.

72.*Шештокас В.В.* Город и транспорт. – М.: Стройиздат, 1984. – 176 с.

73.*Шештокас В.В., Самойлов Д.С.* Конфликтные ситуации и безопасность движения в городах. – М.: Транспорт, 1987. – 207 с.

74.2001 Liniar programming software survey. <http://lionhrtpub.com/orms/surveys/LP/LP-survey.html>

75.*Abrahamson T.* Estimation of Origin-Destination Matrices Using Traffic Counts – A Literature Survey // IIASA Interim Report IR-98-021/May, 1998. – 27 p.

76.Access management manual. http://www.dot.state.oh.us/planning/AccessMgmt/Manual_Default.htm

77.*Aldrin M.* Traffic volume estimation from short-period traffic counts //Traffic Eng. and Contr., 1998. – Vol 39. – N 12. – P. 656 – 659.

78.An Analysis of Factors Contributing to “Walking Along Roadway” Crashes: Research Study and Guidelines for Sidewalks and Walkways //Report NO. FHWA-RD-01-101, February, 2002. – 50 p.

79.Arterial and Collector Street Design Elements. <http://www.ci.eugene.or.us/pw/trans/ACSP/41-76.pdf>

80.Basic Freeway Section and Ideal Freeway Conditions. <http://www.webs1.uidaho.edu/niattlabmanual/Chapters/capacityandlos/theoryandconcepts/BasicFreewaySectionAndIdealConditions.htm>

81.*Bell M. G. H.* The Estimation of an Origin-Destination Matrix from Traffic Counts //Transportation Science, 1983. – Vol.17(2). – P.198 – 217.

82.*Bell, M. G. H.* Variances and Covariances for Origin-Destination Flows When Estimated by Log-Linear Models //Transportation Research, 1985. – Vol. 19B. – N 6. – P. 497–507.

83. *Bell, M. G. H.* The Real Time Estimation of Origin-Destination Flows in the Presence of Platoon Dispersion // *Transportation Research*, 1991. – Vol. 25(B). – P. 115–125.

84. *Bell M.G., Grosso S.* The Path Flow Estimator as a network observer // *Traffic Eng. and Contr.*, 1998. – Vol 39. – N 10. – P. 540 – 549.

85. *Better Streets, Better Places: Delivering Sustainable Residential Environments*

http://www.odpm.gov.uk/stellent/groups/odpm_planning/documents/pdf/odpm_plan_pdf_023006.pdf

86. *Brenninger-Gothe M., Jornsten K. O., Lundgren J. T.* Estimation of Origin-Destination Matrix from Traffic Counts Using Multiobjective Programming Formulations // *Transportation Research*, 1989. – Vol. 23(B) –N 4. – P. 257–265.

87. *Canadian Capacity Guide for Signalized Intersection/ Second Edition.* Editor: S. Teply /Institute of Transportation Engineers. Washington, DC, USA, June 1995. – 115 p.

88. *Capacity Analysis of Pedestrian and Bicyclist Facilities.* <http://www.tfhrc.gov/safety/pedbike/research/current.htm#6>.

89. *Capacity and quality of service of two-lane highways.* Final Report Prepared for NCHRP, TRB, National Research Council. Midwest Research Institute, University of California-Berkeley, MRI Project No. 104215, November 1999. – 180 p.

90. *Carey M., Hendrickson C., Siddharthan K.* A Method for Direct Estimation of Origin/Destination Trip Matrices // *Transportation Science*, 1981. – Vol. 15 (1). – P. 32 – 49.

91. *Carrol P.S.* Classification of driving exposure // *Accident Ana. And Prev.*, 1973. – Vol. 5. – N 2. – P. 81 – 94.

92. *Cascetta E.* Estimation of Trip Matrices from Traffic Counts and Survey Data: A Generalised Least Squares Estimator // *Transportation Research*, 1984. – Vol.18 (B). – N 4/5. – P.289–299.

93. *Cascetta, E., and S. Nguyen.* A Unified Framework for Estimating or Updating Origin/Destination Matrices from Traffic Counts // *Transportation Research*, 1988. – Vol. 22(B). – N 6. – P. 437–455.

94. *Cascetta E., Inaudi D., and Marquis G.* Dynamic Estimators of Origin-Destination Matrices Using Traffic Counts // *Transportation Science*, 1993. – Vol. 27. – N 4. – P. 363–373.

95. *Chapman R.A.* The concept of exposure // *Accident Anal. and Prev.*, 1973. – Vol.5. – N2. – P. 95–110.

96. City of London Unitary Development Plan 2002 Chapter 9: Transport and Movement 2002 – P. 99–136. Available: http://www.cityoflondon.gov.uk/our_services/development_planning/planning/pdf/udp_ch9_transportation.pdf

97. Comparison 1990/95-2001 Green Book. <http://www.wsdot.wa.gov/TA/Operations/LAG/GreenBKcomparenotice.html>

98. *Cremer, M., Keller H.* A New Class of Dynamic Methods for the Identification of Origin-Destination Flows // *Transportation Research-B*, 1987. – Vol. 21(B). – N 2. – P. 117–132.

99. D1. A First Theoretical Approach to Classification of Arterial Streets. Prepared by Stephen Marshall, Univ. of Westminster. http://www.tft.lth.se/artists/deliverD1_1.htm

100. D1.2. A First Theoretical Approach to Sustainability Concepts and assessment Tools. Prepared by Ian Plowright, Univ. of Westminster. http://www.tft.lth.se/artists/publ/D1_2.pdf

101. D1.2. – appendix. Approach of the Sustainability Concept – Internal Discussion Paper Prepared by D'Ieteren Emmanuel, Morelle Sylvaine, Hecq Walter Centre for Economic and Social Studies on the Environment .Université Libre de Bruxelles. http://www.tft.lth.se/artists/publ/D1_2app2.pdf

102. *Da Rios G., Rinelli S.* Sulle teorie dei flussi di traffico applicate al moto pedonale // *Rivista della Strada*, 1979. – N 460 – 461. – P.997 – 990.

103. *De Palma A., Nesterov Y.* Optimization Formulations and Statitic Equilibrium in Congested Transportation Networks. Universite de Cergy – Pontoise, Universite Catholique de Louvain, FNRS Suisse support, July, 1998. – 28 p.

104. Daily Travel & Highway Capacity 1999: US Urbanized Areas over 1,000,000. <http://www.publicpurpose.com/hwy-tti99travel.htm>

105. Distribution of Vehicles by Share <http://www.fhwa.dot.gov/ohim/onh00/bar6.htm>

106. *Dowling R.C., May A.D.* Comparison of small – area OD estimation techniques //Transp. Res. Rec., 1985. – N1045. – P.9 – 15.

107. *Engwicht D.* 'Second generation traffic-calming project' (strategies and devices that cost less, can be applied city-wide quickly, and don't alienating motorists). http://www.lesstraffic.com/Traffic_Calming_2.doc

108. *Ewing R.* Pedestrian and transitfriendly design. Joint Center for Environmental and Urban Problems. Florida Atlantic University/ Florida International University. March 1996. – 103 p.

109. FDOT Quality/Level of Service Handbook. <http://www11.myflorida.com/planning/systems/sm/los/default.htm>

110. Federal-Aid Highway Program Guidance on High Occupancy Vehicle (HOV) Lanes. <http://www.fhwa.dot.gov/operations/hovguide01.htm>

111. *Fisk C. S.* Trip matrix Estimation from Link traffic Counts: The Congested Network Case //Transportation Research, 1989. – Vol.23 (B). – P. 331–336.

112. *Forbs G.* Urban Roadway Classification //Urban Street symposium. Conference Proceedings. TRB Circular E-C019, Dallas, Texas, June 28–30, 1999. – 8 p. <http://www.mackblackwell.org/research/finals/arc9012/urbanroadway.pdf>

113. *Geva I., Hauer E., Landau U.* Maximum – likelihood and bayesian methods for the estimation of origin – destination flows //Transp. Res. Rec., 1983. – N944. – P.101 – 105.

114. *Grammenos F., Tasker-Brown J.* Residential Street Pattern Design for Healthy Liveable Communities. <http://www.greenroofs.ca/nua/ip/ip02.htm>
115. *Gur Y.* Estimation trip tables from traffic counts: comparative evaluation of available techniques // *Transp. Res. Rec.*, 1983. – N944. – P.113 – 117.
116. *Hedrickson C., McNeil S.* Estimation Matrices with constrained regression. *Transp. Res. Rec.*, 1984. – N976. – P.25 – 32.
117. Highway Capacity Manual (HCM) Glossary of Traffic Terms. <http://www.aattraffic.com/HCMGlossary.htm>
118. Highway Capacity Manual 2000. – Transportation Research Board, National Research Council. – Washington, D.C., USA, 2000. – 1134 p.
119. Highway Design Guide. <http://www.yorktraffic.com/hdg>
120. http://www.bts.gov/publications/journal_of_transportation_statistics
121. <http://www.carfree.com>
122. <http://www.ci.eugene.or.us>
123. http://www.cityoflondon.gov.uk/living_environment/sustainability/transport.htm
124. www.city.toronto.on.ca/transportation/road_class.htm
125. http://www.cityoflondon.gov.uk/our_services/highways_transport/transport.htm
126. <http://www.dot.state.ga.us/DOT/plan-prog/planning/studies/hov>
127. <http://www.dot.state.oh.us/planning/AccessMgmt/accessdefault.htm>
128. <http://www.fhwa.dot.gov/environment/calmsite.htm>
129. <http://www.fhwa.dot.gov/environment/flex>
130. <http://www.fhwa.dot.gov/environment/tcalm>
131. <http://www.fhwa.dot.gov/legsregs/directives/policy/hovmemgd.htm>

132. [http://www.fhwa.dot.gov/Traffic Congestion.htm](http://www.fhwa.dot.gov/Traffic%20Congestion.htm)
133. <http://www.greenroofs.ca/nua>
134. <http://www.hovworld.com>
135. <http://www.ite.org/traffic/tcstate.htm>
136. <http://www.leicester.gov.uk/departments/> Leicester City Council – Work starts on traffic calming.htm
137. <http://www.logistic.ru/news/2002/9/4/23/2401.html>
138. <http://www.newurbanism.org>
139. <http://www.optimization-online.org>
140. <http://www.publicpurpose.com>
141. <http://www.pedbikeimages.org>
142. <http://www.planning.detr.gov.uk/consult/ppg13/index.htm>
143. [http://www.pps.org/downtownnyc /Traffic Calming.htm](http://www.pps.org/downtownnyc/Traffic%20Calming.htm)
144. <http://www.softline.ru>
145. <http://www.trafficcalming.org>
146. <http://tpd.az.gov/gis/fclass/index.html>
147. <http://www.transtat.dft.gov.uk>
148. <http://www.urban-advantage.com>
149. <http://www.walkable.org>
150. <http://www.walkinginfo.org>
151. <http://www.wsdot.wa.gov/hov>
152. Iowa Statewide Urban Design Standards Manual. Chapter 5: Roadway Design. Section 5: Access Management. [http://www.iowasudas.org /designs / ch5sec5.pdf](http://www.iowasudas.org/designs/ch5sec5.pdf)
153. Interim local implementation plan 2002/2003. Wandsworth Council , Technical Services Department, The Town Hall, Wandsworth High Street. – London SW18 2PU, Wandsworth Council 2001. – 200 p.
154. Irkutsk city administration support for transportation and city master plan modernization./ Commission of the European Communities, EU BISTRO TASIC Programme, Final report Project № BIS/99/108/023. – 238 p.

155. *Kari J. Sane* ENTIRE Documents; Updated 9.12.1998 City of Helsinki, Traffic Planning Division Short Introduction to the Bus Priority Functions used in Helsinki <http://www.hel.fi/ksv/entire/repPriorityFunctions.htm>

156. *Kittelson W. K.* Historical Overview of the Committee on Highway Capacity and Quality of Service //Transportation Research Circular E-C018: 4th International Symposium on Highway Capacity. – USA, Kittelson and Associates. Inc. – 12 p. http://nationalacademies.Org/trb/publications/ec018/01_63.pdf

157. *Kittelson W.* Overview of the year 2000 edition of the highway capacity manual. October 2000. <http://www.a3a10.gati.org/ppt/HCM2000overview.pdf>

158. *Lam W.H.K., Lo H.P., Zhang N.* Estimation of an origin-destination matrix with random link choice proportions: a statistical approach // Transportation Research, 1996. – Vol. 30(B). – P. 309-324.

159. *Lee C.E., Savur V.S.* Analysis of Intersection Capacity and Level of Service by Simulation //Transp. Res. Rec., 1979. – N699. – P.34 – 41.

160. Level of Service Criteria. http://www.webs1.uidaho.edu/niatt_labmanual/Chapters/capacityandlos/theoryandconcepts/LOSCriteria.htm

161. Liveable neighbourhoods. edition 2, 2000. a western australian government sustainable cities initiative http://www.planning.wa.gov.au/publications/liveable/LN_ed2.pdf

162. Liveable Neighbourhoods. Street Layout, Design and Traffic Management Guidelines. Western Australian Planning Commission. JUNE 2000 – 59 p <http://www.planning.wa.gov.au/publications/liveable/LNTMG.pdf>

163. Leeds University Institute of Transport Studies Traffic-Calming information: http://www.its.leeds.ac.uk/primavera/p_calming.html

164. *Medina A., Taft N., Salamatian K, Bhattacharyya S., Diot C.* Traffic Matrix Estimation: Existing Techniques and New Directions. SIGCOMM'02, August 19-23, 2002. – 15 p. Available: http://gaia.cs.umass.edu/measurement/traffic_matrix_estimation.pdf
165. Millenium book. IFR, Paris, 2001. – 174 p.
166. Mode of Transport to Work in Great Britain: 1998. <http://www.publicpurpose.com/ut-index.htm>
167. *Muller P., Skopil G., Topp., H.* Strassenraum und Verkehrsvertag- lichkeit //Stasse und Verhehr., 1991. – N 5. – P. 270 – 280.
168. Multimodal Level of Service Analysis For Urban Streets. National Cooperative Highway Research. Project 3-70, FY 2003: <http://www4.trb.org/trb/crp.nsf/All+Projects/NCHRP+3-70>
169. *Nguyen, S., Morello, E., Pallottino, S.* Discrete time dynamic estimation model for passenger origin-destination matrices on transit networks // Transportation Research, 1988. – Vol. 22(B). – N4. – P. 251–260.
170. *Old P., Foster N., Payne A.* Using Microsoft Access to develop trip matrices //Traffic Eng. and Contr., 1998. – Vol. 39. – N 10. – P. 551 – 553.
171. *Olszewski P., Suchorevsky W.* Traffic capacity of the city center //Traffic Eng. and Contr., Vol. 28. – N6. – P. 336 – 343, 339 – 343, 348.
172. Our Nation's Highways – 2000. Selected Facts and Figures. Publication No. FHWA-PL-01-1012. <http://www.fhwa.dot.gov/ohim/onh00/onh.htm>
173. Oxfordshire County Council. Best practice guides. No.3 Bus priority http://www.oxfordshire.gov.uk/index/environment_and_travel/travel/centre_of_excellence.htm
174. Pedestrian Facilities Users Guide: Providing Safety and Mobility //Publication No. FHWA-RD-01-102 March 2002. – 164 p.

175. *Peck S.* 12 Features of Sustainable Community Development: Social, Economic and Environmental Benefits and Two Case Studies. Sustainable Communities Consultancy. [http:// www.greenroofs.ca / nua/nua.html](http://www.greenroofs.ca/nua/nua.html)

176. *Peterson B.E.* Calculation of capacity, queue length and delay in traffic facilities //Traffic Eng. and Contr., 1977. – Vol.18. – N 6. – P. 310 – 312.

177. PIARC: Priority for public transport and other high occupancy vehicles (HOV) on urban roads. Reference : 10.07.B Routes/ Roads special issue II-1995. –P. 1 – 51.

178. PIARC: Reduction of car traffic in city centers. Reference : 10.01.B, Routes/ Roads 1990. – P. 1 – 48.

179. PIARC: The urban road network design. / Reference : 10.04.B, Routes/ Roads 1991. – P. 45 – 84.

180. PIARC : Urban road design and architecture / Reference : 10.08.B, Routes/Roads special issue II-1995. – P. 51 – 126.

181. PIARC: XXth World Road Congress. Montreal, 3 – 9 September. / Transportation and Urban Space Planning. / National Reports. 20.22.E – 1995. – 487 p.

182. Road classification system – A consolidated report. [http://www.city.toronto.on.ca/ transportation/pdf/classqualifications.pdf](http://www.city.toronto.on.ca/transportation/pdf/classqualifications.pdf)

183. RPG3 : Strategic guidance for London planning. [www.london.gov.uk/ planning/downloads/rpg3.rtf](http://www.london.gov.uk/planning/downloads/rpg3.rtf)

184. *Prinz D.* Stadtebau: Band 1: Stadtebauliches Entwerfen. Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart-Berlin-Koln, 1995. – 224 s.

185. *Richardson W.Y.* The design of town centers? Particular reference to vehicle and pedestrian traffic circulation //Proc. 100th Conf., Edinburgh, 1973. Inst/Munic. Eng., London, 1973. – P.45 – 50, 64 – 75.

186. *Sasaki T., Asakura Y., Kawasaki M.* A road network design model considering node capacity //Mem. Fac. Eng., Kyoto Univ., 1987. – Vol. 49. – N 1. – P. 1 – 20.

187. SEA Streets Design Details. [http:// www.ci.seattle.wa/ util/ SEAstreets/ design.htm](http://www.ci.seattle.wa/util/SEAstreets/design.htm).

188. *Sevenirate P.N., Morrall J.F.* Level of servis on pedestrian facility // Transp. Qurt., 1985. –Vol.39. – N1. – P.109–123.

189. Slower Speeds Initiative: <http://www.slower-speeds.org.uk>

190. Speed Management in Urban Areas. A framework for the planning and evaluation process. //Danish Road Directorate. Report no. 168. Publisher: The Danish Road Directorate, Herrmann & Fischer A/S, January 1999. – 41 p.

191. *Spiess H.* A gradient approach for the O-D matrix adjustment problem. / EMME/2 Support Center, Haldenstrasse 16, CH-2558, Aegerten, Switzerland, May 1990. [http://www.spiess.ch/ emme2/ demadj/ demadj.html](http://www.spiess.ch/emme2/demadj/demadj.html) или [http://www.spiess.ch/ emme2/ archive/ post-script/ demadj.pdf](http://www.spiess.ch/emme2/archive/post-script/demadj.pdf)

192. *Steed S.* Naturalized Streetscapes: a Case Study of Crouwn Street, Vancouver. 17 p. [http:// www.sustainability.ca/ index.cfm?MIId=350](http://www.sustainability.ca/index.cfm?MIId=350)

193. Street characteristics. [http:// www ci.fort-worth.tx.us/ tpw/ mtp/ street_chac.asp](http://www.ci.fort-worth.tx.us/tpw/mtp/street_chac.asp)

194. Street Classification. [http://www.ci.eugene.or.us/pw/ trans/ ACSP/ 27_40.pdf](http://www.ci.eugene.or.us/pw/trans/ACSP/27_40.pdf)

195. Street functional classifications. [http:// www ci. fort-worth. tx. us / tpw/ mtp/ street_funct.asp](http://www.ci.fort-worth.tx.us/tpw/mtp/street_funct.asp)

196. *Sutaria T.C., Haynes I.* Relation of Signalized Intersection Level of Service to Failure Rate and Average Individual Delay //Highway Res. Rec., 1970. – N 321. – P. 107 – 113.

197. *Takashi Nishimura, Yasuo Hino, Jun Kawanishi* Analysis of the Road Network Capacity and Intensive by Cut Theory with Partial Cut// Mem. Fac. Eng. Osaka Univ., 1990. –Vol. 32. – P. 87 – 95 .

198. *Taylor Brian D.* Rethinking Traffic Congestion. // Institute of Transportation Studies University of California, Los Angeles, ACCESS, 2002. – N 21. – 9 p.

199. TEA-21 – Transportation Equity Act for the 21st Century.
<http://www.fhwa.dot.gov/tea21/sumcov.htm>
200. Technical Corrections for AASHTO 2001 Green Book.
<http://www.transportation.org/download/GreenBookErrata.pdf>
201. The AIA's Principles for Livable Communities.
<http://www.aia.org/livable/principles.asp>
202. The Effects of Traffic Calming Measures on Pedestrian and Motorist Behavior /Report No. FHWA-RD-00-104 August 2001. – 30 p.
203. The Transit Capacity and Quality of Service Manual, First Edition. http://gulliver.trb.org/publications/tcrp/tcrp_webdoc_6-e.pdf
204. Toronto Pedestrian Charter Adopted by Toronto City Council, May 21, 2002 2p. Available: <http://www.city.toronto.on.ca/pedestrian/pdf/charter.pdf>
205. Traffic Calming Programs. <http://www.trafficcalming.org/programs.html>
206. Traffic control in oversaturated street networks // NCRHP report N194, 1978. – 152 p.
207. Traffic Speeds in English Urban Areas: 2002 <http://www.transtat.dft.gov.uk>
208. Transit Capacity and Quality of Service Manual. Transit Cooperative Research Program Web Document No. 6. TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1999. Available: <http://www4.nationalacademies.org/trb/crp.nsf/all+projects/tcrp+a15>.
209. Traffic management and parking guidance for london. <http://www.go-london.gov.uk/localregionalgov/downloads/newguide.rtf>
210. Traffic Volumes & Highway Capacity Lane Miles per Capita. <http://www.publicpurpose.com/hwy-tti99travel.htm>
211. TRB A310A <http://www.a3a10.gati.org>
212. *Tsuna Sasaki, Yasuo Yaskura, Masaashi Kawasaki* A Road Network Design Model Considering Node Capacity //Mem. Fac. Eng. Kyoto Univ., 1987. –Vol. 49. – N 1. – 20 p.

213. *Van der Zijpp N.* A comparison of methods for dynamic origin-destination matrix estimation. Ph.D. thesis., Faculty of Civil Engineering, Delft University of Technology (P.O.Box 5048 2600 GA Delft NL), 1995. – 177 p.

214. *Van Zuylen H.J., Branston D.M.* Consistent link flow estimation from counts // *Transportation Research*, 1982. – Vol. 16(B). – P. 473–476.

215. *Van Zuylen H.J., Willumsen L.G.* The most likely trip matrix estimated from traffic counts // *Transportation Research*, 1980. – Vol.14(B) – P. 281–293.

216. Vehicle Registrations <http://www.fhwa.dot.gov/ohim/onh00/line2.htm>

217. *Watling, D.P.* Maximum Likelihood Estimation of an Origin-Destination Matrix from a Partial Registration Plate Survey // *Transportation Research*, 1994. – Vol. 28(B). – N4. – P. 289–314.

218. *Watling D.P., Maher M.H.* A Graphical Procedure for Analysing Partial Registration-plate Data // *Traffic Eng. and Contr.*, 1988. – Vol. 29. – P. 515–519.

219. *Watling, D.P., Maher M.J.* A Statistical Procedure for Estimating A Mean Origin-Destination Matrix from a Partial Registration Plate Survey // *Transportation Research*, 1992. – Vol. 26(B). – N3. – P. 171–193.

220. *Weidmann U.* Transporttechnik der Fussgänger // *Strasse und Verkehr*. 1992. – N 3. – C. 161 – 169.

221. *Willumsen L. G.* Simplified Transport Models Based on Traffic Counts // *Transportation*, 1981. – N10. – P. 257–278.

222. Urban transport strategy review. experiences from Germany and Zurich. // Final report. Deutsche gesellschaft für technische zusammenarbeit, (GTZ) GMBH, ESCHBORN, Division 44 Environmental management, water, energy, transport. Postfach 5180, 65726 Eschborn. January 2001. – 78 p.

223. US Urbanized Areas: Traffic Congestion: 1990-1999. [http://www. publicpurpose. com/ hwy-tti9099tti.htm](http://www.publicpurpose.com/hwy-tti9099tti.htm)

224. *Yang, H.* Heuristic algorithms for the bilevel Origin-Destination matrix estimation problem. // *Transportation Research*, 1995. – Vol.29(B). – P. 231–242.

225. *Yang H, Sasaki T., Iida Y., Asakura Y.* Estimation of Origin-Destination Matrices from Link Traffic Counts on Congested Networks // *Transportation Research*, 1992. – Vol.26(B). – P.417–434.

226. *Yang, H., Iida, Y., Sasaki, T.* The Equilibrium-Based Origin-Destination Matrix Estimation Problem // *Transportation Research*, 1994. – Vol.28(B). – P. 23–33.

227. *Yin Zhang, Roughan M., Duffield N., Greenberg A.* Fast Accurate Computation of LargeScale IP Traffic Matrices from Link Loads // *SIGMETRICS'03*, 2003. – June 10. – 12 p. Available: [http://www. re-search. att.com](http://www.research.att.com)