«СОГЛАСОВАНО»

Заместитель Министра транспорта Российской Федерации

_____ Н.А. Асаул

«13» 07 2017 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения

Использование программных продуктов математического моделирования транспортных потоков при оценке эффективности проектных решений в сфере организации дорожного движения

«ОДОБРЕНО»

Научно-технический совет открытого акционерного общества «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта»

Протокол № 2 от 25.04.2017

«ОДОБРЕНО»

Секция «Государственная политика в области автомобильного и городского пассажирского транспорта» Научно-технического совета Министерства транспорта Российской Федерации

Протокол № 54 от 09.12.2016

Москва 2017

gost.e-ecolog.ru

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
по использованию программных продуктов математического моделирования транспортных потоков при оценке эффективности проектных решений в сфере организации дорожного движения

1 Область применения

1.1 В настоящих Методических рекомендациях приведены основные положения по применению методов и программных продуктов математического моделирования транспортных потоков при разработке проектов организации дорожного движения (ОДД) и комплексных схем организации дорожного движения (КСОД).

1.2 Настоящие Методические рекомендации могут быть использованы в органах управления дорожным хозяйством субъектов Российской Федерации и муниципальных образований, дорожно-эксплуатационных организациях и предприятиях, проектных и научных организациях.

2 Нормативные ссылки

В настоящем методическом документе использованы ссылки на следующие документы:

ГОСТ Р 50597-93 Автомобильные дороги и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности движения.

ГОСТ Р 52289-2004 Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств.

ГОСТ Р 52291-2004 Технические средства организации дорожного движения. Светофоры дорожные. Общие технические требования.

ГОСТ Р 52398-2005 Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования.

ОДМ 218.4.005-2010 Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах. – М., 2011.

ОДМ 218.6.003-2011 Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах. – М.,2011.

ОДМ 218.2.020-2012 Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог – М.,2012.

ОДМ 218.2.032-2013 «Методические рекомендации по учету движения транспортных средств на автомобильных дорогах».

Р 851 Руководство по прогнозированию интенсивности движения на автомобильных дорогах – М., 2003.

СТО АВТОДОР 2.2-2013 «Рекомендации по прогнозированию интенсивности дорожного движения на платных участках автомобильных дорог государственной компании «Автодор» и доходов от их эксплуатации» – М., 2013.

Приказ Министерства транспорта «Об утверждении Правил подготовки проектов и схем организации дорожного движения» от 17.04.2015 № 43.

3 Термины, определения и обозначения

3.1 В настоящих Рекомендациях использованы следующие термины и определения:

Транспортная модель - комплекс математических моделей и программных средств, предназначенный для оценки параметров перемещения пассажирских и грузовых потоков по транспортным и маршрутным сетям некоторой территории.

Точность модели - величина отклонения значений выходных данных модели от реально измеренных значений этих параметров. Определяется качеством калибровки модели.

Класс точности модели - это обобщенная характеристика, определяемая пределами допускаемых погрешностей модели, а также степенью детализации описания объекта моделирования (транспортного потока).

Верификация модели (Verification) - это проверка правильности ввода исходных данных, геометрии УДС, параметров ОДД, определяющих зависимостей (функций) и т.п.

Калибровка модели (Calibration) - это настройка различных параметров модели с целью минимизировать расхождение данных обследований и результатов моделирования.

Валидация модели (Validation) - это сравнение результатов моделирования и реальной ситуации с использованием набора независимых данных не участвующих в калибровке для оценки работоспособности модели и возможности ее использования для прогнозов.

Комплексная схема организации дорожного движения (КСОДД) - проектная документация по организации дорожного движения, формирующая набор комплексных решений по ОДД на территории одного или нескольких муниципальных образований либо их частей, с населением более 10 тыс. жителей, представляет собой целостную систему технически, экономически и экологически обоснованных мер организационного характера, взаимоувязанных с документами территориального планирования и документацией по планировке территории.

Проект организации дорожного движения (ПОД) - проектная документация, содержащая инженерно-технические, технологические, конструктивные и иные решения и мероприятия по организации дорожного движения, детализирующая мероприятия КСОДД, или самостоятельный документ по ОДД без предварительной разработки КСОДД.

Базовая модель или субмодель - математическая модель, описывающая один из аспектов поведения водителей, либо взаимосвязь каких-либо величин.

Модель базового периода - модель конкретного объекта УДС, построенная в программном комплексе, откалиброванная по реальным данным и отражающая условия движения в период проведения натурных обследований.

Интенсивность движения - количество транспортных средств, проходящее в единицу времени через определенное сечение дороги.

Корреспонденция - вещественный обмен, происходящий от элемента i к элементу j транспортной системы в полном цикле законченного процесса перемещения. Таким образом, корреспонденция характеризуется вектором, имеющим координаты начальной и конечной точек и величину нагрузки в

количестве пассажиров или объеме груза. При наложении на транспортную сеть корреспонденция получает еще одну характеристику: протяженность.

Маршрутная сеть - совокупность транспортных связей, по которым осуществляются маршрутные перевозки пассажирским транспортом.

Транспортное планирование - комплекс транспортных, планировочных, строительных и природоохранных мероприятий, направленных на обеспечение требуемых потребностей в перемещениях населения и экономики рассматриваемого региона.

Транспортная сеть - подмножество транспортных связей, по которым осуществляются перевозки определенного вида или движение определенного типа транспортных средств. Например, при перевозках пассажиров транспортная сеть может включать помимо маршрутной сети автобусов линии метрополитена, железной дороги и т.п.

Транспортная система в наиболее общем случае - это образующая связанное целое совокупность работников, транспортных средств и оборудования, элементов транспортной инфраструктуры и инфраструктуры субъектов перевозки включая систему управления, направленная на эффективное перемещение грузов и пассажиров.

Транспортное районирование - это способ агрегирования индивидуальных потребностей пользователей при использовании транспортной сети в некую общность по определенным параметрам (пункты отправления или прибытия, маршрут, вид транспорта и т.п.) для целей моделирования.

Модель формирования спроса (Trip generation model) - начальный этап стандартной 4 - шаговой модели расчета транспортных потоков. В качестве исходных данных используются данные демографической и социально-экономической статистики по районам. Для каждого слоя спроса рассчитываются суммарные объемы отправления и прибытия. Они являются исходными данными для этапа расчета матриц корреспонденций.

Данные по районам (Land use statistics) - социально- экономические характеристики транспортных районов, которые используются в качестве исходных данных на этапе генерации движения в стандартной 4 - шаговой модели, в результате которого рассчитываются общие объемы отправления и прибытия для каждого транспортного района. В состав данных по районам обычно включают численность населения, численность рабочих мест по видам деятельности, численность учебных мест на территории данного транспортного района и др.

Отрезок (Link) - элемент транспортного графа, представляющий участок автомобильной дороги, линии внеуличного транспорта, водного пути и т. д. Каждый отрезок характеризуется рядом геометрических параметров (длина, число полос и др.) и динамических параметров (скорость свободного движения, максимальная разрешенная скорость, пропускная способность), а также признаками разрешения или запрета для движения транспортных средств разных типов.

Коннектор (Connector) - специальная дуга транспортного графа, которая связывает условный центр района с узлом транспортной сети.

Кордонный транспортный район (Cordon traffic zone) - фиктивный транспортный район, расположенный на границе области моделирования.

Кордонные районы играют роль источников и целей корреспонденций между внутренними районами области моделирования и «внешним миром», а также транзитных корреспонденций через область моделирования.

Матрица корреспонденций (Trip matrix) - матрица, элементами которой являются значения количества передвижений между каждой парой транспортных районов. Матрицы корреспонденций можно детализировать по видам транспорта, длительности анализируемого интервала времени и причинам поездки (слоям передвижений) .

Матрица обобщенных цен (Skim matrix) - матрица, элементами которой являются обобщенные цены передвижения между всеми парами транспортных районов. Используются при расчете и расщеплении матриц корреспонденций по видам транспорта.

Распределение по видам транспорта (Mode choice model) - третий этап стандартной 4 - шаговой модели расчёта транспортных потоков. Основано на вероятностных моделях дискретного выбора (Probit - или Logit - модель, модель бинарного, множественного или ранжированного выбора, «гнездовая» модель и т. д.).

Обобщенная цена передвижения (Generalized cost) - агрегированная количественная оценка трудности передвижения, включающая в себя затраченное время, денежные затраты, оценку комфортности и другие показатели. Является основным инструментом моделирования транспортного поведения пользователей транспортной сети. Используется для сравнения альтернативных путей и способов передвижения.

Подвижность (Mobility) - характеристика транспортного поведения населения, определяющее среднее количество передвижений, совершаемых в течение фиксированного промежутка времени с теми или иными целями. Близко к понятиям степени притяжения и создания.

Полезность/ Функция полезности (Utility function) - функция, оценивающая вероятность выбора способа передвижения (вида транспорта) на этапе модального расщепления, а также вероятность совершения поездки при расчете матриц корреспонденций (эквивалентна функции тяготения гравитационной модели).

Равновесное распределение (User Equilibrium Assignment) – распределение автомобильных корреспонденций в сети автодорог, удовлетворяющее условию Вардропа: «Ни один участник движения не может изменить свой путь с тем, чтобы уменьшить обобщенную цену своего пути». Предположение о том, что распределение автомобильных потоков в каждый момент времени является приближенно равновесным лежит в основе моделирования загрузки транспортных сетей.

Распределение корреспонденций по сети (Assignment model) – четвёртый, завершающий этап стандартной 4 - шаговой модели расчёта транспортных потоков. Стандартный алгоритм распределения автомобильных корреспонденций основан на поиске равновесного распределения. Для распределения пассажирских корреспонденций в системе общественного транспорта применяются иные алгоритмы. Распределение осуществляется сразу для нескольких видов транспорта с учетом вклада всех видов в общую загрузку улиц и дорог.

Расчет корреспонденций (Trip distribution model) - второй этап стандартной 4 - шаговой модели расчёта транспортных потоков. Результатом расчёта являются матрицы корреспонденций, детализированные по слоям спроса, но без разделения по видам транспорта.

Слой спроса (Demand stratum) - класс перемещений, имеющих общую причину и совершаемых участниками движения, которые характеризуются однородностью транспортного поведения. Для каждого слоя спроса рассчитываются отдельная матрица корреспонденций (а также объемы прибытия и отправления) .

Стоимость времени (Value of Time) - коэффициент, равный денежному эквиваленту затраченного на передвижения времени. Используется для приведения времени и денежных трат к одному масштабу и вычисления на этой основе обобщенной цены передвижения. В модели распределения корреспонденций по сети используется для определения готовности платить за использование платного участка при условии экономии времени.

Сценарий (Scenario) - набор модификаций модели базового года для расчета различных вариантов прогноза интенсивности движения в транспортной модели.

Транспортное предложение (Traffic supply) - совокупность данных составляющих описание транспортной сети. В общем случае включает описание всех характеристик сети автомобильных дорог и системы общественного пассажирского транспорта

Транспортные районы (Traffic zones) - элементарные единицы пространственной структуры области моделирования. Транспортные районы играют роль источников и целей всех передвижений в транспортной системе. В транспортном графе описываются с помощью специальных узлов**:** центроидов.

Транспортный спрос (Traffic demand) - совокупность данных о последовательности решений, принимаемых участниками движения по поводу совершения передвижений, используемого вида транспорта и конкретного маршрута передвижения, а также формирующихся в результате этих решений корреспонденций и транспортных потоков в сети. Выражение «модель спроса» является синонимом выражения «модель прогноза транспортных потоков».

Узел (Node) - элемент транспортного графа, представляющий перекресток, развязку, примыкание автомобильной дороги, станцию внеуличного транспорта и д.

Функция задержки / VDF (Volume-Delay Function) / CR-функция (Capacity restraint function) - математическая функция, характеризующая зависимость времени движения по отрезку от его коэффициента загрузки. Один из наиболее популярных в практике транспортного моделирования вариантов функции**:** так называемая BPR функция, рекомендованная Бюро дорог общего пользования США (Bureau of Public Roads).

Центроид (Centroid) - специальный узел транспортного графа, являющийся модельным образом транспортного района. Центроиды соединяются с обычными узлами сети специальными дугами-связями и играют роль начальных и конечных узлов всех расчетных путей по графу.

3.2 В настоящих Методических рекомендациях использованы следующие сокращения и обозначения:

АСУДД: автоматизированная система управления дорожным движением;

БДД: безопасность дорожного движения;

ГПТ: городской пассажирский транспорт (пассажирский транспорт общего пользования);

ИТ: индивидуальный транспорт;

КСОДД: комплексная схема организации дорожного движения;

ОДД: организация дорожного движения;

ПОД: проект организации движения;

УДС: улично-дорожная сеть;

СПО: специализированное программное обеспечение;

4 Общие положения по применению моделирования транспортных потоков

4.1 Транспортное моделирование представляет собой наиболее точный на сегодняшний день инструмент оценки решений по развитию транспортной системы и совершенствованию ОДД. Инструмент моделирования предъявляет повышенные требования к качеству исходных данных, допускает относительно широкий набор альтернатив в выборе технологий моделирования, предоставляет значительное количество настраиваемых параметров и коэффициентов, а также показателей качества функционирования. В таких условиях построение транспортной модели становится наукоемким и во многом творческим процессом. От качества разработки и компетентности в использовании этого инструмента может зависеть эффективность капиталовложений в транспортную инфраструктуру. Все это налагает огромную ответственность на специалиста по моделированию и предъявляет высокие требования к уровню его квалификации. Неквалифицированное применение инструментов моделирования транспортных потоков не только сводит на нет все их преимущества, но и может привести к принятию неверных решений, что помимо финансовых потерь дискредитирует сам метод моделирования и снижает уровень доверия к нему.

4.2 Транспортная модель призвана повысить обоснованность управленческих решений на стратегическом, тактическом и оперативном уровнях управления дорожным движением.

Стратегический уровень моделирования охватывает весь регион моделирования с внешними связями. Его главная задача – отображение и прогнозирование баланса между спросом на транспортные услуги и возможностями его удовлетворения различными видами транспорта. Данные об экономическом и социально-экономическом развитии региона позволяют прогнозировать возможное изменение качества транспортного обслуживания бизнеса и населения и на этом основании принимать стратегические решения о развитии тех или иных видов транспорта, транспортных терминалов и реализации крупных строительных проектов в жилищной и промышленной сферах.

Моделирование на тактическом уровне обеспечивает обоснованное принятие решений по модернизации транспортной сети, совершенствованию ОДД, а также позволяет выполнять оценку последствий от закрытия отдельных участков для выполнения ремонтных работ, массовых мероприятий и т.д.

На оперативном уровне основное внимание уделяется детальному анализу пропускной способности отдельных транспортных связей и пересечений, а также влиянию режимов регулирования в АСУДД и ИТС, в том числе в режиме онлайн, когда модель включена в контур управления.

4.3 Согласно приказу Министерства транспорта [1] основными целями и задачами разработки документации по ОДД являются:

1. обеспечение безопасности дорожного движения;
2. упорядочение и улучшение условий дорожного движения транспортных средств и пешеходов;
3. организация пропуска прогнозируемого потока транспортных средств и пешеходов;
4. повышение пропускной способности дорог и эффективности их использования;
5. организация транспортного обслуживания новых или реконструируемых объектов (отдельного объекта или группы объектов) капитального строительства различного функционального назначения;
6. снижение экономических потерь при осуществлении дорожного движения транспортных средств и пешеходов;
7. снижение негативного воздействия от автомобильного транспорта на окружающую среду.

4.4 Исходя из указанных целей, выбираемые для решения задач проектирования ОДД модели должны быть способны:

- осуществлять оценку уровня потенциальной опасности на объекте проектирования при принятых решениях по организации и управлению движением;
- рассчитывать интенсивность движения различных категорий участников движения и уровень загрузки элементов улично-дорожной сети, параметры, характеризующие условия движения;
- определять параметры, характеризующие уровень транспортного обслуживания отдельных территорий и/или объектов (прежде всего время сообщения при перемещении до рассматриваемой территории и/или объекта из заданных точек);
- определять параметры, необходимые для расчета экономических потерь при осуществлении дорожного движения транспортных средств и пешеходов, а также оценки воздействия от автомобильного транспорта на окружающую среду.

4.5 Применение математических моделей при разработке ПОД возможно на следующих стадиях:

1. Получение исходных данных для решения задач проекта;
2. Вариантное моделирование для оперативной оценки эффективности принимаемых решений;
3. Анализ эффективности принятых решений на завершающей стадии работ или в процессе аудита проектных решений.

4.6 Обобщенная номенклатура задач для моделирования при разработке ПОД, КСОДД и проектной документации для АСУДД приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Обобщенная номенклатура задач для моделирования при разработке ПОД, КСОДД и проектной документации для АСУДД

№	*Объект*	*Задача*	*Примечание*
Разработка КСОДД			
1	Сеть дорог и (или) их участков в границах одного или нескольких муниципальных образований либо их частей, имеющих общую границу, с общей численностью населения свыше 10 тысяч жителей. Сеть дорог и (или) их участков в границах субъекта Российской Федерации	Построение матрицы пассажирских корреспонденций на объекте, включая зону тяготения	
		Построение матрицы грузовых корреспонденций по типам грузов и сводной на объекте, включая зону тяготения	
		Прогнозирование транспортных потоков на УДС объекта и в зоне его тяготения с выделением легковых, грузовых автомобилей и наземного пассажирского транспорта общего пользования	Должна осуществляться оценка основных параметров условий движения по элементам УДС (скорость движения, уровень загрузки, затраты времени и т.д.) при прогнозируемых потоках
		Прогнозирование пассажирских потоков на сети пассажирского транспорта общего пользования объекта и в зоне его тяготения	
		Прогнозирование пешеходных потоков на тротуарах и пешеходных дорожках УДС объекта	
		Прогнозирование велосипедных потоков на УДС объекта	
		Прогнозирование изменения потоков различных участников движения на УДС объекта при различных вариантах ОДД	Должна осуществляться оценка изменения основных параметров условий движения по элементам УДС (скорость движения, уровень загрузки, затраты времени и т.д.) при различных вариантах ОДД
		Оценка уровня негативного воздействия транспорта на окружающую среду на объекте при рассматриваемых вариантах	
Разработка ПОД			
Для площадных объектов			
2	Сеть улиц или дорог и (или) их участков **выделенного элемента планировочной структуры территорий** (территории одного или нескольких	Прогнозирование транспортных потоков на УДС объекта и в зоне его тяготения с выделением легковых, грузовых автомобилей и наземного пассажирского транспорта общего пользования	Должна осуществляться оценка основных параметров условий движения по элементам УДС (скорость движения, уровень загрузки, затраты времени и т.д.) и уровня безопасности движения (потенциальной аварийности) на объекте
		Прогнозирование пешеходных потоков на тротуарах и пешеходных дорожках УДС объекта	
		Прогнозирование велосипедных потоков на УДС объекта	
		Прогнозирование изменения	Должна осуществляться оценка

№	*Объект*	*Задача*	*Примечание*
	муниципальных образований либо их частей, имеющих общую границу, с общей численностью населения до 10 тысяч жителей, микрорайона, квартала) на период эксплуатации улиц или дорог или их участков с целью	потоков различных участников движения на УДС объекта при различных вариантах ОДД	изменения основных параметров условий движения по элементам УДС (скорость движения, уровень загрузки, затраты времени и т.д.) и уровня безопасности движения (потенциальной аварийности) при различных вариантах ОДД
		Оценка уровня негативного воздействия транспорта на окружающую среду на объекте при рассматриваемых вариантах	
3	Сеть улиц или дорог и (или) их участков в **зоне тяготения объекта промышленно-гражданского строительства** на период эксплуатации	Прогнозирование транспортных потоков на УДС в зоне тяготения объекта капитального строительства с выделением легковых, грузовых автомобилей и наземного пассажирского транспорта общего пользования	Должна осуществляться оценка основных параметров условий движения по элементам УДС (скорость движения, уровень загрузки, затраты времени и т.д.) и уровня безопасности движения (потенциальной аварийности) на объекте
		Прогнозирование пешеходных потоков на тротуарах и пешеходных дорожках УДС в зоне тяготения объекта капитального строительства	
		Прогнозирование велосипедных потоков на УДС в зоне тяготения объекта капитального строительства	
		Прогнозирование изменения потоков различных участников движения на УДС в зоне тяготения объекта капитального строительства при различных вариантах ОДД	Должна осуществляться оценка изменения основных параметров условий движения по элементам УДС (скорость движения, уровень загрузки, затраты времени и т.д.) и уровня безопасности движения (потенциальной аварийности) при различных вариантах ОДД
		Оценка уровня негативного воздействия транспорта на окружающую среду на объекте при рассматриваемых вариантах	
4	Улица или дорога или их участки на период эксплуатации	Прогнозирование транспортных потоков на УДС объекта и в зоне его тяготения с выделением легковых, грузовых автомобилей и наземного пассажирского транспорта общего пользования	Должна осуществляться оценка основных параметров условий движения по элементам УДС (скорость движения, уровень загрузки, затраты времени и т.д.) и уровня безопасности движения (потенциальной аварийности) на объекте
		Прогнозирование пешеходных потоков на тротуарах и пешеходных	

№	Объект	Задача	Примечание
		дорожках УДС объекта	
		Прогнозирование велосипедных потоков на УДС объекта	
		Прогнозирование изменения потоков различных участников движения на УДС объекта при различных вариантах ОДД	Должна осуществляться оценка изменения основных параметров условий движения по элементам УДС (скорость движения, уровень загрузки, затраты времени и т.д.) и уровня безопасности движения (потенциальной аварийности) при различных вариантах ОДД
		Оценка уровня негативного воздействия транспорта на окружающую среду на объекте при рассматриваемых вариантах	
		Оценка уровня безопасности движения (потенциальной аварийности) при различных вариантах ОДД	
5	Улица или дорога или их участки на период введения временных ограничений или прекращении движения транспортных средств и пешеходов, в связи с проведением работ по строительству, реконструкции, капитальному ремонту и ремонту дорог; проведением строительных, ремонтных и иных подобных работ, влияющих на движение транспортных средств и пешеходов, в том числе при строительстве, реконструкции и ремонте объектов инженерной	Прогнозирование изменения потоков различных участников движения на УДС на объекте и в зоне его тяготения при ограничении или прекращении движения транспортных средств и пешеходов на объекте	Должна осуществляться оценка изменения основных параметров условий движения по элементам УДС (скорость движения, уровень загрузки, затраты времени и т.д.) и уровня безопасности движения (потенциальной аварийности) при различных вариантах ОДД
		Прогнозирование транспортных потоков на УДС объекта и в зоне его тяготения с выделением легковых, грузовых автомобилей и наземного пассажирского транспорта общего пользования	Должна осуществляться оценка основных параметров условий движения по элементам УДС (скорость движения, уровень загрузки, затраты времени и т.д.) и уровня безопасности движения (потенциальной аварийности) на объекте и в зоне его тяготения (маршрутах объезда)
		Прогнозирование пассажирских потоков на сети пассажирского транспорта общего пользования объекта и в зоне его тяготения (маршрутах объезда)	
		Прогнозирование пешеходных потоков на тротуарах и пешеходных дорожках УДС объекта и в зоне его тяготения (маршрутах обхода)	
		Прогнозирование велосипедных потоков на УДС объекта и в зоне его тяготения (маршрутах объезда)	
		Оценка уровня безопасности движения (потенциальной аварийности) на маршрутах объезда объекта	

№	Объект	Задача	Примечание
	инфраструктуры, объектов капитального строительства различного функционального назначения (отдельного объекта или группы объектов застройки)		
6	Улицы или дороги или их участки на период введения временных ограничений или прекращении движения транспортных средств в связи с проведением публичных и массовых мероприятий, проводимых как непосредственно на сети дорог, так и для мероприятий, проводимых на объектах вне сети дорог (концерты, международные и национальные спортивные соревнования и иные подобные мероприятия)	Прогнозирование изменения потоков различных участников движения на УДС на объекте и в зоне его тяготения при ограничении или прекращении движения транспортных средств и пешеходов на объекте	Должна осуществляться оценка изменения основных параметров условий движения по элементам УДС (скорость движения, уровень загрузки, затраты времени и т.д.) и уровня безопасности движения (потенциальной аварийности) при различных вариантах ОДД
		Прогнозирование транспортных потоков на УДС объекта и в зоне его тяготения с выделением легковых, грузовых автомобилей и наземного пассажирского транспорта общего пользования	Должна осуществляться оценка основных параметров условий движения по элементам УДС (скорость движения, уровень загрузки, затраты времени и т.д.) и уровня безопасности движения (потенциальной аварийности) на объекте и в зоне его тяготения (маршрутах объезда)
		Прогнозирование пассажирских потоков на сети пассажирского транспорта общего пользования объекта и в зоне его тяготения (маршрутах объезда)	
		Прогнозирование пассажирских потоков при организации доставки участников мероприятий и движения специальных транспортных средств (при проведении публичных и массовых мероприятий)	
		Прогнозирование пешеходных потоков на тротуарах и пешеходных дорожках УДС объекта и в зоне его тяготения (маршрутах обхода)	
		Прогнозирование велосипедных потоков на УДС объекта и в зоне его тяготения (маршрутах объезда)	
		Оценка уровня безопасности движения (потенциальной аварийности) на маршрутах объезда объекта	
Разработка проектной документации для АСУДД			
7	Отдельный светофорный	Расчет режимов регулирования на светофорном объекте по заданному	

№	*Объект*	*Задача*	*Примечание*
	объект	критерию оптимизации (минимизации задержек и т.п.)	
		Имитация движения транспортных средств и пешеходов на участке улицы (дороги), обслуживаемом светофорным объектом	Должна осуществляться оценка изменения основных параметров условий движения в зоне управления объекта (скорость движения, уровень загрузки, затраты времени и т.д.)
		Оценка уровня безопасности движения (потенциальной аварийности) в зоне управления объекта	
8	Комплекс светофорных объектов расположенных на одной магистрали	Расчет режимов регулирования на светофорных объектах по заданному критерию оптимизации (минимизации задержек и т.п.)	
		Координация работы светофорных объектов на магистрали	
		Имитация движения транспортных средств и пешеходов на рассматриваемом участке магистрали	Должна осуществляться оценка изменения основных параметров условий движения в зоне управления объекта (скорость движения, уровень загрузки, затраты времени и т.д.)
		Оценка уровня безопасности движения (потенциальной аварийности) в зоне управления каждого светофорного объекта	
	Комплекс светофорных объектов расположенных в определенной зоне УДС	Расчет режимов регулирования на светофорных объектах по заданному критерию оптимизации (минимизации задержек и т.п.)	
		Координация работы светофорных объектов в зоне проектирования	
		Имитация движения транспортных средств и пешеходов на УДС в зоне проектирования	Должна осуществляться оценка изменения основных параметров условий движения в зоне управления объекта (скорость движения, уровень загрузки, затраты времени и т.д.)
		Оценка уровня безопасности движения (потенциальной аварийности) в зоне управления каждого светофорного объекта	
9	Комплекс светофорных объектов	Прогнозирование транспортных потоков в режиме онлайн с расчетом режимов регулирования	

№	*Объект*	*Задача*	*Примечание*
	расположенных в определенной зоне УДС, работающих в режиме адаптивного управления	на светофорных объектах	
		Оценка уровня безопасности движения (потенциальной аварийности) в зоне управления каждого светофорного объекта	

4.7 Применяемые технологии моделирования должны учитывать особенности поставленных задач, а выходные данные должны позволять оценивать степень достижения указанных целей. Транспортная модель, в зависимости от масштаба задач, может охватывать территорию от целого региона до отдельного перекрестка на нижнем уровне. Уровень детализации и класс точности модели должны соответствовать цели, для которой модель предназначена. В зависимости от необходимой степени детализации описания потоков и точности получаемых параметров выбирается соответствующий класс модели. Классификация методов моделирования и описание базовых принципов моделирования транспортных потоков представлены в Приложении А.

5 Рекомендации по использованию моделирования при разработке ПОД

5.1 Общая методология построения и работы с транспортными моделями

5.1.1 Методология в целом включает в себя следующие шаги:

- предварительный анализ и выбор СПО для моделирования;
- сбор и подготовка исходных данных для построения модели;
- ввод полученных данных в модель;
- верификация модели;
- калибровка модели;
- валидация модели;
- выполнение экспериментов, интерпретация и анализ результатов;
- прогнозирование и построение модели перспективной ситуации (при необходимости);
- формирование отчетных материалов;
- сопровождение модели, актуализация данных (при необходимости).

Указанная последовательность действий представлена в виде блок-схемы на рисунке 1.

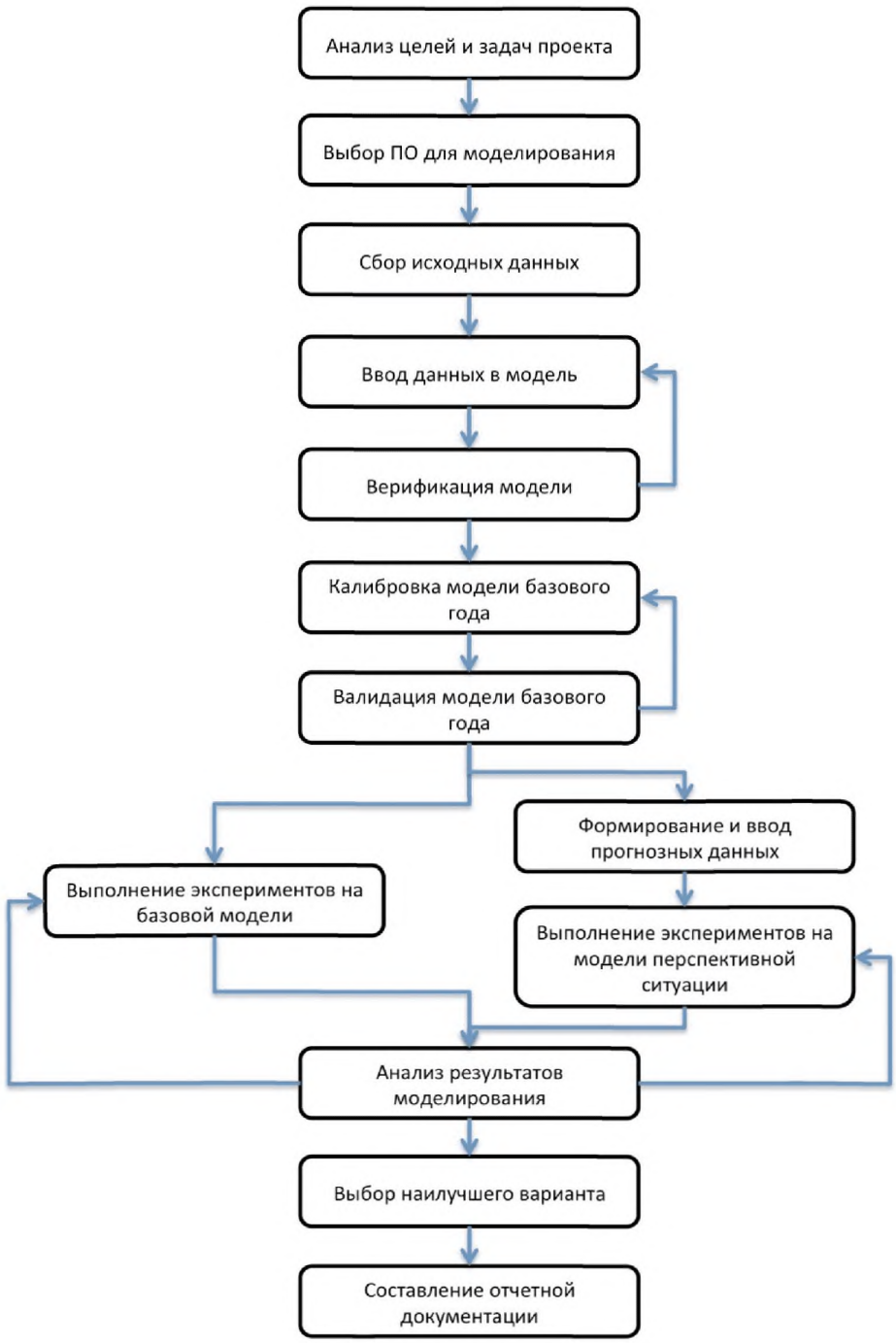

Рисунок 1 – Блок-схема процесса построения модели участка УДС

5.1.2 Представленная последовательность действий в большей степени актуальна для имитационных моделей любых типов. Использование аналитических моделей предполагает выполнение прямых расчетов по одной или нескольким заранее известным зависимостям, и в этом случае основной задачей требующей внимания является сбор качественных исходных данных.

5.2 Предварительный анализ и выбор СПО для моделирования

5.2.1 На этапе предварительного анализа следует четко обозначить цели и задачи разрабатываемого проекта организации движения. Необходимо провести предварительный анализ имеющейся информации по следующим направлениям:

- анализ динамики изменения показателей функционирования объекта и определение возможных причин изменений;
- выявление наиболее проблемных участков, узлов, сегментов и перегонов, элементов обустройства, технических средств регулирования в том числе с точки зрения влияния на устойчивое функционирование сети в целом;
- ранжирование проблемных элементов сети в зависимости от уровней обслуживания, задержек, и других показателей;
- предварительный прогноз развития ситуации с дорожным движением на рассматриваемом участке с учетом темпов роста автомобилизации, существующих планов развития территории и транспортной инфраструктуры на краткосрочный и среднесрочный период;
- выработка предварительных рекомендаций по совершенствованию ОДД на рассматриваемом участке, увеличению его пропускной способности, снижению величины задержек, повышению безопасности и т.д.

5.2.2 После выработки предварительных рекомендаций следует оценить необходимость применения методов моделирования для их анализа и выбора окончательного проектного решения по ОДД.

Оценивать необходимость моделирования следует по характеру прорабатываемых мероприятий в составе каждого конкретного ПОД. В таблице 2 приведены возможные мероприятия согласно «Правилам подготовки проектов и схем организации дорожного движения» (Утверждены приказом Минтранса России от 17.03.2015 № 43) и необходимость применения моделирования для их анализа.

Таблица 2 – Необходимость применения моделирования

N п/п	**Предложения по проектным решениям ПОД**	**Необходимость моделирования**
Разработка ПОД на период эксплуатации		
1	Организация движения транспортных средств и пешеходов	Требуется
2	Обустройство отдельных участков, пересечений или примыканий, в том числе по устройству местных расширений проезжей части, дополнительных полос для движения, заездных карманов, обустройству въездов и выездов с прилегающих территорий на дороги, поперечным профилям участков дорог, размещению искусственных сооружений	Требуется
3	Определение местоположения и обустройства наземных (нерегулируемых и регулируемых) и внеуличных (надземных, подземных) пешеходных переходов и их обустройству, обеспечению беспрепятственного передвижения инвалидов	Требуется
4	Обеспечение маршрутов безопасного движения детей к образовательным организациям	На усмотрение специалиста
5	Организация движения велосипедистов, размещению объектов инфраструктуры для такого движения (велосипедные и	Требуется

	велопешеходные дорожки, велосипедные полосы, места для стоянки велосипедов)	
6	Выработка решений по организации скоростного режима движения транспортных средств, включая введение зональных ограничений на скоростной режим движения	Требуется
7	Организация движения маршрутных транспортных средств, обустройству остановочных пунктов маршрутных транспортных средств	Требуется
8	Организация движения грузовых транспортных средств	На усмотрение специалиста
9	Организация пропуска или введение ограничений на движение транзитных транспортных средств	На усмотрение специалиста
10	Выработка решений по организации реверсивного движения (при дополнительном обосновании)	Требуется
11	Выработка решений по размещению и обустройству парковок (парковочных мест)	На усмотрение специалиста
12	Выработка решений по организации движения транспортных средств и пешеходов на железнодорожных переездах (при наличии)	Требуется
13	Выработка решений по размещению дорожных знаков, выполненных в соответствии с действующими стандартами Российской Федерации, и дорожных знаков индивидуального проектирования (с проработкой эскизов)	Не требуется.
14	Выработка решений по нанесению дорожной разметки	Не требуется.
15	Выработка решений по организации работы светофорных объектов, включая корректировку режимов их работы, введение светофорного регулирования на пересечениях, примыканиях и участках дорог	Требуется
16	Выработка решений по координации работы светофорных объектов (при дополнительном обосновании)	Требуется
17	Выработка решений по введению АСУДД на регулируемых перекрестках, пешеходных переходах и (или) привязке к действующей АСУДД	Требуется
18	Расстановка работающих в автоматическом режиме средств фото- и видеофиксации нарушений правил дорожного движения	На усмотрение специалиста
19	Выработка решений по размещению искусственных неровностей	На усмотрение специалиста
20	Выработка решений по устройству транспортных и пешеходных ограждений, направляющих устройств, островков безопасности	На усмотрение специалиста
21	Выработка решений по проведению демонтажных работ существующих ТСОДД или их переносу (при необходимости)	Не требуется
22	Выработка решений по размещению специализированных стоянок для задержанных транспортных средств	Не требуется
Разработка ПОДД на период введения временных ограничений		
1	Обоснование перечня дорог, участков дорог, на которых планируется ввести временные ограничения или прекращение движения транспортных средств и пешеходов (далее - места введения ограничений), срока и способа введения таких ограничений или прекращения движения	Требуется
2	Организация маршрутов объезда мест введения ограничений	Требуется
3	Организация доставки участников мероприятий и движения специальных транспортных средств (при проведении публичных и	Требуется

	массовых мероприятий)	
4	Организация движения транспортных средств на территории, прилегающей к местам введения ограничений, организации движения транспортных средств при проведении работ, связанных с занятием (перекрытием) проезжей части	Требуется
5	Организация движения пешеходов на территории, прилегающей к местам введения ограничений, с соблюдением нормативных требований по минимальной ширине путей движения пешеходов, их освещенности, обеспечения зон видимости, размещению пешеходных галерей, временных наземных регулируемых и (или) нерегулируемых пешеходных переходов	На усмотрение специалиста
6	Организация движения маршрутных транспортных средств, проходящих в местах введения ограничений, с обозначением остановочных пунктов указанных транспортных средств	На усмотрение специалиста
7	Организация информационного обеспечения участников движения при введении временных ограничений или прекращения движения транспортных средств и пешеходов, размещению информационных щитов	На усмотрение специалиста
8	Расстановка временных ТСОДД (дорожных знаков, дорожной разметки; светофоров, транспортных и пешеходных ограждений направляющих устройств) (при необходимости)	Не требуется
9	Проведение демонтажных работ существующих ТСОДД, их переносу или временному изъятию (при необходимости)	Не требуется
10	Организация подъезда грузовых автомобилей и строительной техники, въезда таких транспортных средств на территорию участка производства работ (строительную площадку) и выезда с него, организации движения транспортных средств и пешеходов на территории участка производства работ (строительной площадке), а также размещению строительного ограждения с сигнальным освещением (при проведении строительных, ремонтных и иных подобных работ)	На усмотрение специалиста

Если применение моделирования является обоснованным, следующим шагом следует на основании целей и задач всего проекта четко обозначить цели применения моделирования. В зависимости от намеченных целей следует спланировать состав работ и сформулировать задачи модельного эксперимента. Для поставленных задач, с учетом ряда прочих особенностей проекта, следует подобрать наиболее подходящие методы моделирования и программное обеспечение.

5.2.3 При выборе метода моделирования в первую очередь следует учитывать нетехнические особенности конкретного проекта и внешние обстоятельства, такие как:

- выделенный объем финансирования;
- установленные сроки выполнения работ;
- размер рассматриваемой зоны;
- наличие специалистов по конкретному СПО;
- доступность исходных данных и т.д.

Одним из ключевых факторов является наличие и возможность сбора необходимых исходных данных. Необходимо четко понимать до начала работ какой перечень исходных данных потребуется для построения качественной модели при

том или ином подходе. Если по каким-либо причинам отсутствует возможность получить необходимые данные для детального моделирования, следует рассмотреть возможность использования более простых моделей или пересмотреть условия выполнения данного проекта.

Факторами, влияющими на эффективность разработки проектов ОДД, являются:

- точность данных;
- объём данных;
- состав данных.

Выбор моделей (или модели), осуществляется по фактору класса точности с учетом требуемого объема и состава данных, по принципу необходимости и достаточности.

Для целей определения решаемых задач, их специфики, применяемых методов и моделей в задачах по организации дорожного движения и управления им объекты классифицируются по следующим признакам:

- масштаб и форма объекта;
- время действия разрабатываемых решений;
- функциональное назначение объекта;
- тип территории прохождения объекта;
- наличие систем управления движением на объекте;
- состав участников движения для которых разрабатываются решения по организации движения;
- направления деятельности по организации дорожного движения.

Разделение объектов по признакам приведено в таблице 3.

Таблица 3 – Классификация объектов

№	Масштаб и форма	Время действия	Функциональное назначение	Тип территории	Системы управления движением	Состав участников движения	Направления деятельности по ОДД
1	Площадные	На период эксплуатации объекта	Объекты улично-дорожной сети	Дороги вне населенных пунктов	С наличием систем управления	Все участники движения	Формирование сети одностороннего движения
2	Линейные	На долгосрочную перспективу	Объекты промышленно-гражданского строительства	УДС населенных пунктов	Без систем управления	Выборочный перечень участников	Размещение парковок
3	Точечные	На краткосрочный период					Информационное ориентирование
4							…

Применение математических моделей при разработке ПОД возможно на следующих стадиях:

1. Получение исходных данных для решения задач проекта;
2. Вариантное моделирование для оперативной оценки эффективности принимаемых решений;
3. Анализ эффективности принятых решений на завершающей стадии работ или в процессе аудита проектных решений.

С учетом особенностей математических методов различных классов моделей, их применимость к обозначенным стадиям определяется по таблице 4.

Таблица 4

Класс математической модели		**Стадия выполнения работ**		
		Получение исходных данных	Вариантное проектирование	Анализ эффективности, Аудит проектных решений
Макро	**Аналитическая**	+	+	
	Имитационная	+	+	
Мезо	**Аналитическая**	+	+	+
	Имитационная	+	+	+
Микро	**Аналитическая**		+	+
	Имитационная		+	+

По классам точности модели классифицируются согласно таблице 5.

Таблица 5

Классификация моделей	**Макро**	**Мезо**	**Микро**
Аналитическая	Низкий	Средний	Высокий
Имитационная	Средний	Высокий	Очень высокий

Данные классы точности однозначно описывают требования к применению моделей в разрезе классификации ПОД и позволяют определить матрицу точности (таблица 6).

Таблица 6 – Матрица точности методов моделирования

№	**Масштаб и форма**	**Время действия**	**Функциональное назначение**	**Тип территории**	**Системы управления движением**	**Состав участников движения**
1	Площадные	На период эксплуатации объекта	Объекты улично-дорожной сети	Дороги вне населенных пунктов	С наличием систем управления	Все участники движения
2	Линейные	На долгосрочную перспективу	Объекты промышленно-гражданского строительства	УДС населенных пунктов	Без систем управления	Выборочный перечень участников
3	Точечные	На краткосрочный период				

Признак направления деятельности в сфере организации движения влияет исключительно на объем и состав данных для проектирования.

Для определения требований к применению моделей применено деление задач ПОД на следующие виды:

- получение исходных данных;
- вариантное проектирование и анализ эффективности.

В процессе оценки ПОД необходимо определить принадлежность объекта к признакам классификации ПОД и выявить максимальный и минимальный требуемые классы точности модели.

В качестве модели для подготовки исходных данных может использоваться модель с наименьшим из определенных классов точности или более высокого класса точности при необходимости по факторам объема и состава данных.

В качестве модели для вариантного проектирования и анализа эффективности ПОД может использоваться модель с наибольшим из определённых классов точности или более высокого класса точности при необходимости по факторам объема и состава данных.

Определение необходимых и достаточных классов моделей осуществляется следующим образом:

1. Определение класса модели для подготовки исходных данных для ПОД:

1.1.Определение класса объекта ПОД в соответствии с перечнем признаков классификации ПОД;

1.2.Определение наименьшего требуемого класса точности модели;

1.3.Выбор типа модели соответствующего наименьшему классу точности (допускается применение моделей более высокого класса точности).

2. Определение класса модели для вариантного проектирования в рамках ПОД или оценки эффективности принимаемых решений:

2.1.Определение класса объекта ПОД в соответствии с перечнем признаков классификации ПОД;

2.2.Определение наибольшего требуемого класса точности модели;

2.3.Выбор типа модели соответствующего наибольшему классу точности (допускается применение моделей более высокой точности).

К применению моделей с целью подготовки исходных данных предъявляются следующие требования:

- подготовка исходных данных для ПОД может выполняться только на моделях, прошедших процессы калибровки и валидации или сценариях, построенных на их основании;
- в качестве исходных данных для ПОД подразумевается получение из моделей:
    - спроса на передвижения тем или иным видом транспорта в рассматриваемом направлении;
    - матриц корреспонденций в границах проектирования;
    - интенсивностей движения транспортных потоков в узлах, на поворотах и на перегонах (с разбивкой по составу потока).

Материалы моделирования следует предоставлять в соответствии с требованиями к данным, получаемым из моделей:

- подготовка данных для вариантного проектирования и анализа эффективности ПОД может выполняться только на моделях, прошедших процессы калибровки и валидации, или сценариях, построенных на их основании;
- в качестве данных для принятия решений в процессе проектирования и анализа эффективности следует использовать различные показатели и их комбинации в зависимости от поставленных задач;
- материалы моделирования следует предоставлять в соответствии с требованиями к данным, получаемым из моделей.

На стадии вариантного проектирования и анализа эффективности ПОД при прочих равных условиях применение микромоделирования будет предпочтительным при наличии следующих факторов:

- пересечения со сложной конфигурацией;
- уровень загрузки 0,8 и более;
- чувствительность системы к перераспределению потоков во времени и пространстве;
- наличие светофорного регулирования с вызывными фазами, приоритетным пропуском или координированным управлением;
- участки, где необходимо учесть взаимодействие между отдельными ТС (участки переплетения, слияния потоков и т.д.);
- близко расположенные пересечения и участки, где длина очереди часто превышает длину перегона;
- необходимость анализа стратегий работы АСУДД и других подсистем ИТС;
- необходимость анализа взаимодействия транспортных и пешеходных или велосипедных потоков;
- необходимость анализа движения категорий ТС с различным поведением;
- необходимость анализа решений по динамическому управлению схемой ОДД (запрет парковки, реверсивное движение и т.п.);
- необходимость анализа условий приоритетного пропуска транспорта общего пользования;
- необходимость наглядной визуализации движения потоков.

Примеры определения требуемого класса модели приведены в приложении Б.

5.2.4 Рекомендации по выбору специализированного программного обеспечения.

Рынок программного обеспечения для транспортного моделирования динамично развивается, поэтому не представляется возможным дать рекомендации по выбору конкретных программных продуктов. При выборе СПО для постоянного использования или для выполнения конкретного проекта необходимо учитывать следующие факторы технического и нетехнического характера.

Нетехнические факторы:

- уровень экспертности команды;
- качество работы службы поддержки разработчика СПО;
- качество документации к СПО;
- доступность курсов по обучению;
- степень прозрачности структуры и принципов работы СПО;

- опыт применения конкретного СПО;
- отзывы других пользователей;
- стоимость лицензии/аренды СПО.

Технические факторы:

- ограничения по размеру сети;
- возможность параллельных (мультипроцессорных) вычислений;
- «зрелость» СПО (наличие ошибок в работе);
- способность СПО моделировать сеть в требуемом масштабе;
- способность СПО учитывать ключевые особенности данного проекта;
- достоверность моделей поведения водителей;
- детальность описания поведения водителей;
- значения калибровочных параметров по умолчанию;
- возможности визуализации, форматы входных и выходных данных;
- удобство пользовательского интерфейса;
- совместимость с другим СПО (возможности импорта/экспорта данных);
- возможная продолжительность периода моделирования.

5.2.5 Исходя из поставленных целей, особенностей проекта и выбранного СПО следует сформировать перечень необходимых исходных данных, определить источники данных, для полевых изысканий определить технологии, места и периоды проведения замеров.

5.3 Сбор и подготовка исходных данных для построения модели

5.3.1 Целью этапа сбора данных является подготовка полного набора качественных исходных данных, необходимых для построения модели. Качество и точность исходных данных играет решающую роль в достоверности результатов моделирования.

Входными данными для данного этапа являются:

- необходимые типы исходных данных;
- выбранные технологии проведения замеров;
- расположение мест проведения замеров;
- временной промежуток замеров;
- прочие источники данных.

На выходе данного этапа должен быть получен полный набор необходимых исходных данных, собранных с соблюдением всех требований к установленной точности.

5.3.2 Рекомендуется, чтобы интервал проведения обследований для микроимитационного исследования покрывал период от возникновения заторов до их рассасывания.

5.3.3 Замеры на исследуемой территории должны по возможности проводиться одновременно для получения согласованных значений. В случае нехватки ресурсов допускается проводить замеры в различные дни и согласовывать полученные результаты по данным контрольных автоматических замеров суточной динамики транспортных потоков.

5.3.4 Необходимо убедиться в том, что условия движения в дни проведения обследований одинаковые и отсутствует влияние таких факторов как:

- погодные условия;
- ремонтные работы;
- ДТП;
- массовые мероприятия.

Для минимизации разброса в получаемых значениях следует проводить обследования в наиболее репрезентативные периоды, избегая праздничных дней, дней школьных каникул, периода отпусков и прочих нетипичных периодов.

К таким репрезентативным периодам относятся будние дни с понедельника по четверг в следующие месяцы:

- март и апрель, исключая Пасхальную неделю;
- вторая половина мая;
- весь июнь;
- вторая половина сентября;
- весь октябрь и ноябрь.

Аналогичные периоды устойчивых значений интенсивностей транспортных потоков, характерные для местных условий, можно определить на основе статистики данных автоматического учета.

5.3.5 Для построения и калибровки базовой модели должны использоваться наборы данных наиболее близкие к полученным средним значениям по результатам анализа данных автоматического учета.

5.3.6 Рекомендуется чтобы специалист по моделированию, который будет разрабатывать и проводить калибровку модели данного участка, лично выезжал на объект для выявления особенностей его функционирования. Простое визуальное наблюдение может выявить особенности и определить дополнительные калибровочные параметры, которые не получить из результатов подсчета и методом “плавающего автомобиля”.

5.3.7 Основными типами исходных (входных) данных, необходимых для построения модели, существующей ситуации при разработке ПОД являются:

- транспортные:
  - для построения и калибровки модели;
  - для валидации модели;
  - данные на перспективу;
- инфраструктурные:
  - геометрические параметры;
  - характеристики ОДД;
  - параметры регулирования, в т.ч. параметры подсистем ИТС;
  - параметры работы ТОП;
  - параметры на перспективу;
- вспомогательные, специфические для каждого ПО.

Транспортные данные для построения модели включают в себя:

- интенсивности движения транспортных потоков по перегонам и по направлениям движения на перекрестках рассматриваемого участка УДС, полученные путем замеров, как правило, с разбивкой на интервалы по 5-15 мин;
- матрица корреспонденций транспортных потоков на данном участке (из вышестоящей модели или полученная другими методами);

- состав потока по типам ТС;
- интенсивность пешеходных потоков;
- интенсивность велосипедных потоков.

Калибровочные параметры:

- значения фактической пропускной способности (потока насыщения) на подходах к регулируемым перекресткам;
- скорость движения на контрольных участках (средние значения и дисперсия);
- время движения между контрольными точками;
- длины очередей перед стоп-линиями;

5.3.8 Транспортные данные и калибровочные параметры собираются для каждого периода анализа. Количество периодов анализа определяется исходя из задач проекта.

5.3.8.1 Пропускная способность и потоки насыщения имеют ключевое значение при калибровке, поскольку именно они определяют момент возникновения заторовых ситуаций. Методика замера потока насыщения на регулируемых перекрестках изложена, например, в ОДМ 218.003-2011 «Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах» (приложение В).

5.3.8.2 Замеры скорости движения целесообразно осуществлять с помощью специального оборудования, при его отсутствии можно воспользоваться методом измерения времени проезда небольшого контрольного участка (например, 50-100м).

Измерения методом “плавающего автомобиля” рекомендуются для оценки времени движения и задержек на 2-3 маршрутах, проходящих более чем через 80% территории моделирования, а также на произвольных участках, наиболее критичных для целей данного проекта.

Более достоверная оценка задержек на перекрестках может быть проведена, например, путем измерения числа остановившихся автомобилей и продолжительности их простоя. Методики натурного определения задержек также изложены в специальной литературе.

5.3.8.3 Данные для валидации модели также состоят из интенсивностей движения, скоростей движения, длин очередей и т.д., они должны быть собраны независимо от исходных данных по проекту в другой период времени. Для валидации базовой модели целесообразно использовать данные с максимальными значениями нагрузки.

5.3.8.4 Данные на перспективу включают прогнозные значения параметров транспортной нагрузки. Такие данные могут быть получены из различных источников (вышестоящей макромодели, методом факторов роста и др.).

5.3.9 Инфраструктурные данные.

5.3.9.1 Геометрические параметры могут быть получены из имеющейся проектной документации (например, чертежей в AutoCAD), спутниковой или аэрофотосъемки, а также путем непосредственных замеров.

Геометрические параметры включают в себя:

- число полос (с учетом фактического использования);
- ширина полос;
- длина перегонов;

- длина участков уширений;
- радиусы закруглений (с учетом их влияния на скорость движения);
- продольные уклоны;
- параметры тротуаров и велосипедных дорожек;
- конфигурации пересечений (в т.ч. пешеходных переходов и пересечений с велодорожками).

5.3.9.2 Характеристики ОДД включают в себя:

- наличие запретов отдельных маневров;
- распределение направлений движения по полосам;
- наличие выделенных полос (для отдельных видов транспорта);
- локальные ограничения скорости;
- наличие искусственных неровностей;
- наличие или запрет парковки вдоль проезжей части;
- ограничение маневров перестроения;
- наличие запретов движения отдельных типов транспортных средств.

5.3.9.3 Параметры регулирования включают в себя:

- места дислокации периферийного оборудования (светофоры, детекторы, ЗПИ, ТПИ и т.д.);
- режимы светофорного регулирования (число фаз, порядок их чередования, длительности цикла, основных и промежуточных тактов);
- параметры адаптивного управления;
- расположение и тип детекторов транспорта;
- параметры координированного управления;
- алгоритмы работы систем управления знаками переменной информации;
- алгоритмы работы систем информирования и навигации;
- прочие алгоритмы работы магистральных и сетевых АСУДД и подсистем ИТС.

5.3.9.4 Параметры работы ТОП:

- маршруты движения ТОП;
- расположение остановочных пунктов;
- интервал или расписание движения;
- время пассажирообмена на остановочных пунктах;
- тип и характеристики подвижного состава.

5.3.9.5 Инфраструктурные параметры на перспективу включают в себя данные по предполагаемым изменениям в структуре УДС, схеме ОДД, конфигурации развязок, систем управления и т.д.

5.3.10 Кроме перечисленных данных используются данные, которые описывают параметры ТС и поведение водителей, а также специфические для каждого конкретного программного продукта данные. К таким данным относятся:

- длина автомобилей (в виде распределения или среднего значения и отклонений);
- распределение желаемой скорости движения;
- средние и максимальные величины ускорения и замедления;
- параметры вредных выбросов по типам ТС и режимам движения;

- специфические параметры настройки моделей поведения (следования за лидером, смены полосы, выбора промежутка).

5.3.11 Требования к точности входных данных для построения модели должны определяться необходимой целесообразностью, которая зависит от приемлемой погрешности результатов моделирования и от затрат на повышение точности входных данных. Перечисленные выше входные параметры для построения модели можно разделить на детерминированные и стохастические. К детерминированным относятся неизменные, однозначно определенные параметры, такие как геометрические размеры, параметры ОДД, режимы регулирования, параметры работы ТОП. Точность таких параметров не зависит от времени затраченного на их получение или количества замеров, и соответственно должна составлять 100 %. Любое несоответствие параметров такого типа относится к разряду ошибок ввода, а не погрешности при сборе данных.

К стохастическим параметрам относятся в основном параметры транспортных потоков, такие как интенсивность, скорость, состав, а также производные от них параметры условий движения – время движения, длины очередей, фактическая пропускная способность и др. Значения таких параметров могут колебаться в значительных пределах изо дня в день, что затрудняет их точное определение. Для проведения качественной оценки необходимы усредненные значения параметров такого типа. Рекомендуется выполнять не менее 3-х замеров параметров стохастического типа. Далее следует оценить разброс полученных значений. Если отклонение от среднего составляет более 20 %, необходимо провести дополнительные замеры. Количество замеров следует определять на основе методов статистики (аналогично методике изложенной в п.5.8).

5.4 Применение макромоделирования при разработке ПОД

5.4.1 Применение математических макромоделей при разработке ПОД наиболее применимо на стадии получения исходных данных для решения задач проекта. На стадиях вариантного моделирование и анализа эффективности принятых решений макромодель не позволяет получить достаточную степень детализации рекомендуемых параметров оценки решений по ОДД, однако дает возможность оценить перераспределение потоков на более обширной территории, которое может возникнуть вследствие принимаемых решений.

5.4.2 При наличии актуальной макромодели территории, на которой выполняется ПОД, ее использование для получения исходных данных и оценки перераспределения потоков является обязательным.

5.4.3 При отсутствии макромодели необходимость ее построения для анализа решений ПОД на локальном уровне оценивается индивидуально для каждого случая.

5.4.5 При построении макромодели следует руководствоваться рекомендациями, изложенными в разделе 6 настоящего документа.

5.5 Построение микро(мезо)модели участка УДС

5.5.1 В процессе начального построения микро- или мезомодели можно выделить следующие этапы:

1. Импорт растровой или векторной основы, содержащей данные о геометрии сети (аэрофотоснимки, чертежи CAD), масштабирование при необходимости;
2. Актуализация шаблонов категорий дорог;
3. Нанесение отрезков и узлов на подоснову;
4. Корректировка атрибутов отрезков;
5. Ввод атрибутов и особенностей узлов (тип управления, параметры управления, распределение по полосам, расположение стоп-линий, уширения и т.п.);
6. Ввод пунктов образования/поглощения потоков (центроидов) и присоединение их к отрезкам сети;
7. Ввод типов ТС и матриц корреспонденций;
8. Проверка значений глобальных параметров (параметры ТС, состав потока, и др.).

5.5.2 Как правило, при построении модели УДС в качестве основы используется графическая подложка. Наличие качественной подложки повышает наглядность представления модели и упрощает процесс ввода геометрических данных. Наилучшим вариантом графической подложки является актуальный спутниковый или аэрофотоснимок высокой детализации. Для более детального ввода геометрических параметров, особенно при моделировании проектируемых решений, целесообразно использовать векторные чертежи из CAD приложений. Такие чертежи позволяют нанести элементы УДС с максимальной точностью (до нескольких сантиметров). Кроме того, в качестве подложки могут быть использованы слои из ГИС приложений, а также любые растровые картографические изображения. Произвольные изображения после импортирования в модель, как правило, требуют масштабирования.

5.5.3 После загрузки и масштабирования подложки на нее наносятся элементы УДС. Однако перед непосредственно нанесением элементов следует проверить параметры различных категорий улиц, которые представлены в программном продукте по умолчанию. Заранее определенные параметры для различных категорий улиц, такие как разрешенная скорость, ширина полосы, функция стоимости проезда и другие, позволят упростить процесс настройки параметров элементов УДС.

Детальную информацию о вводе параметров УДС и ОДД следует искать в руководствах к конкретным программным продуктам.

5.5.4 Большинство программных продуктов предоставляет возможность ввода транспортной нагрузки двумя способами: с помощью матриц корреспонденций и с помощью входящих потоков и распределения в узлах. Для предотвращения возможных ошибок во всех случаях рекомендуется использовать способ задания транспортной нагрузки с помощью матриц корреспонденций.

5.5.4.1 Для формирования матрицы корреспонденций в первую очередь нужно определить точки образования/поглощения потоков, они могут быть представлены входными и выходными отрезками или специальными объектами – центроидами. В случае наличия центроидов необходимо присоединить их к отрезкам сети. Каждый центроид представляет собой абстрактную точку генерации и поглощения потоков, например, квартал жилой застройки. Доступ из квартала на УДС может осуществляться из нескольких выездов, тогда центроид присоединяется к этим выездам с помощью специальных соединителей. Если среди выездов существует

явная неравномерность, можно задать процентное соотношение, либо позволить модели выбирать наиболее удобный выезд. Настройка этого распределения может играть существенную роль в адекватности модели.

5.5.4.2 Далее следует определить используемые типы транспортных средств. Как правило, деление происходит на этапе подготовки и используется на этапе сбора исходных данных (легковые, грузовые по грузоподъемности, автобусы по вместимости и т.д.). Однако для детального моделирования может происходить более подробное деление, например, деление легковых автомобилей по степени агрессивности вождения и соблюдения ПДД.

5.5.4.3 При наличии вышестоящей макромодели окружающей территории матрица корреспонденций для локального проекта должна быть получена из этой модели.

5.5.4.4 В случае отсутствия вышестоящей макромодели необходимо оценить локальную матрицу корреспонденций. Наиболее достоверным методом оценки такой матрицы является фиксация государственных регистрационных номеров автомобилей на участках входа/выхода в рассматриваемую зону. Метод анализа номеров должен быть использован при отсутствии какой-либо информации о матрице корреспонденций на рассматриваемом участке.

5.5.4.5 Если имеются данные о структуре матрицы корреспонденций из прошлых обследований, для получения актуальной матрицы может быть использован метод восстановления матриц корреспонденций по данным учета на сечениях и перекрестках.

5.5.4.6 Матрицы корреспонденций для каждого класса ТС и каждого временного периода составляются в соответствии с выбранными методами на основе собранных исходных данных.

5.6 Верификация модели

5.6.1 После первоначального ввода исходных данных, прежде чем перейти к этапу калибровки, необходимо осуществить проверку правильности работы модели и введенной информации, этот процесс называется верификацией. От качества ввода и первоначальной настройки модели существенным образом зависит не только трудоемкость дальнейшей калибровки и валидации, но и возможность их выполнения в принципе.

Целью данного этапа является подтверждение корректности ввода данных по следующим аспектам:

- отсутствие ошибок непосредственно при вводе численных параметров;
- корректность базовых настроек и соотношений элементов модели;
- учет специфических факторов.

5.6.2 В части проверки ошибок ввода необходимо удостовериться, что введенные значения таких параметров, как разрешенная скорость, объем движения между пунктами отправления/назначения, длительность фаз, параметры ТС и других численных параметров соответствуют собранным исходным данным. Характерными ошибками на этом этапе могут быть простые опечатки, например, лишний ноль, или неправильный выбор поля для ввода значения.

Рекомендуется, чтобы этапы первичного ввода данных и верификации выполнялись разными специалистами. Верификацию должен проводить более опытный специалист, предпочтительно тот, который будет заниматься калибровкой модели.

5.6.3 Проверку корректности базовых настроек и соотношений элементов модели следует проводить по каждому элементу отдельно:

5.6.3.1 Глобальные параметры.

К глобальным параметрам можно отнести шаг моделирования, время реакции водителей, тип используемой разновидности модели поведения и др. Различные программные продукты имеют свои параметры такого типа.

5.6.3.2 Общая структура графа УДС и схема ОДД.

В ходе верификации следует проверить правильность ввода элементов УДС и их основных параметров, таких как:

- фактическое число полос;
- разрешенные направления;
- разрешенные скорости;
- уклоны;
- геометрия пересечений.

5.6.3.3 Параметры ТС.

Следует уточнить используемый в данном проекте состав типов транспортных средств, а также параметры этих типов, такие как, длина, ускорение, замедление и т.д.

5.6.3.4 Параметры поведения водителей.

На этапе проверки следует обоснованно выбрать начальные параметры поведения водителей, такие как, средняя временная дистанция, агрессивность вождения, настройки модели смены полос, доля нарушителей скоростного режима, доля водителей плохо знакомых с рассматриваемым участком УДС и т.д.

5.6.3.5 Параметры пересечений.

Для нерегулируемых пересечений следует проверить значения параметров модели выбора безопасного промежутка. Они будут зависеть от видимости, геометрии пересечения, типа ТС, уровня загрузки. Качество настройки модели выбора промежутка может играть значительную роль в воспроизведении пропускной способности сети.

Следует проверить как работают интенсивные поворотные потоки, со скольких рядов фактически осуществляется поворот, сколько автомобилей помещается в зоне накопления и как они влияют на движение в других направлениях. Также следует проверить поведение водителей на перекрестках где возможны блокировки второстепенных направлений из-за перегрузки.

На регулируемых пересечениях следует тщательно проверить настройки параметров регулирования, такие как, пофазный разъезд, длительность цикла, основных и промежуточных тактов, параметры адаптивного и координированного управления. Параметры регулирования следует сверить с имеющейся документацией и с результатами обследований. Ключевой параметр, который должен максимально соответствовать реальности – это поток насыщения в сечении стоп-линии. Следует тщательно проверить влияние на поток насыщения таких

факторов как траектория движения, уклоны, видимость, состав потока, ширина полос, помехи со стороны пешеходов, велосипедистов, остановок ТОП и т.д. На подходах к перекресткам следует проверить участки, где происходит смена полос для совершения последующих маневров.

5.6.3.6 Особенности взаимодействия различных участников движения.

Следует проверить насколько достоверно воспроизводится взаимодействие транспортного потока с пешеходами, с велосипедистами и с транспортом общего пользования. Взаимодействие с пешеходами происходит в основном на перекрестках. Следует явно моделировать такое взаимодействие только там, где это оказывает существенное влияние на условия движения, например, помехи при совершении поворотов, нерегулируемые переходы с высокой интенсивностью пешеходов, регулируемые пересечения с вызывной пешеходной фазой.

Необходимо проверить как происходит движение транспорта общего пользования, особенно в зоне остановочных пунктов. Внимание следует обращать на такие вопросы как фактическое расписание движения, особенности маневрирования, время посадки/высадки пассажиров, скорость движения и т.д. При наличии выделенных полос и приоритетного пропуска, необходимо проверить их работу. Особое внимание необходимо уделить остановкам трамвая с высадкой пассажиров на проезжую часть и выезду автобусов из локальных уширений.

5.6.3.7 Параметры нагрузки.

Помимо контроля правильности ввода численных значений параметров транспортной нагрузки необходимо проверить следующие моменты: состав потока по типам ТС, распределение спроса по времени (интервалы 5-15 мин), корректность манипуляций над матрицами корреспонденций (при необходимости).

5.6.3.8 Параметры модели выбора маршрута.

В случае если рассматриваемый участок УДС имеет возможности движения автомобилей по разным маршрутам и это распределение может повлиять на результаты, необходимо уделить особое внимание выбору и настройке модели выбора маршрута. На этапе верификации необходимо проверить следующие аспекты:

- обоснованность выбранной модели распределения потоков по маршрутам;
- выбор базовых настроек этой модели;
- способ формирования функции стоимости проезда;
- параметры отрезков, влияющие на выбор маршрута.

5.6.4 Рекомендуется использовать следующие методы выявления ошибок ввода:

1. Проверка правильности ввода атрибутов отрезков путем цветового выделения. Цветовое отображение позволит быстро определить отрезки с неправильными атрибутами;

2. Запуск модели с небольшой загрузкой (менее 50 % от пиковой) для поиска возможных ошибок. Если при невысокой нагрузке образовываются заторы, то вероятно это из-за ошибок;

3. Проследить несколько траекторий движения ТС по ключевым маршрутам. Отследить непредвиденные торможения и смену полос;

4. Запуск модели с 50% загрузкой и выше для анализа реализуемости спроса. Следует проверить весь ли спрос входит в сеть, и какой процент выходит.

5.6.5 На выходе этапа верификации модель должна гарантировать отсутствие ошибок ввода и правильность настройки основных элементов и их соотношений, т.е. должна быть полностью готова к калибровке.

5.7 Калибровка модели

5.7.1 Калибровка – один из важнейших этапов построения модели любого типа. Целью этапа калибровки является настройка модели таким образом, чтобы выходные параметры модели в достаточной степени соответствовали реально наблюдаемым значениям.

Современные программные комплексы имитационного микро и мезомоделирования включают в себя набор различных субмоделей, каждая из которых имеет свои настройки. Задача этапа калибровки – определить такое сочетание значений параметров, при котором достигается выбранная степень соответствия по ключевым выходным параметрам.

Проведение калибровки модели — это наиболее трудоемкий этап, его выполнение требует наивысшей квалификации специалиста по моделированию.

5.7.2 На входе этапа калибровки должна быть тщательно проверенная (верифицированная) модель, в которой отсутствуют какие-либо ошибки ввода и выбраны обоснованные начальные настройки и параметры.

5.7.3 Учитывая значительное число настраиваемых параметров необходимо придерживаться определенной стратегии, т.е. правил и последовательности действий.

5.7.3.1 Прежде чем приступать к калибровке конкретной модели локального участка, следует убедиться, что параметры базовых моделей поведения, используемых в данном продукте, настроены таким образом, чтобы максимально соответствовать местным особенностям. В общем случае не рекомендуется использовать установленные по умолчанию параметры базовых моделей поведения в процессе калибровки локальных моделей.

5.7.3.2 Для выбора значений начальных параметров рекомендуется воспользоваться данными имеющихся исследований местных особенностей дорожного движения или провести такие исследования. Типы таких параметров могут варьироваться в зависимости от конкретного СПО, основными являются:

- время реакции водителей;
- значения ускорений и замедлений;
- временная дистанция (headway);
- дистанция в очереди;
- степень соблюдения ограничений скорости;
- доля водителей, использующих навигаторы;
- и др.

5.7.3.3 Все множество параметров, доступных для калибровки, следует разделить на две категории:

1. Параметры, значения которых не вызывают сомнений в достоверности и могут быть исключены из процесса калибровки.

2. Параметры, в значениях которых специалист не уверен и считает необходимым их настройку.

5.7.3.4 Трудоемкость дальнейшего процесса калибровки и качество полученной модели во многом зависит на данном шаге от квалификации и опыта специалиста. С точки зрения трудоемкости следует сделать вторую группу параметров как можно меньше, при этом необходимо такое количество параметров, чтобы сохранить гибкость настройки и не нанести ущерба качеству итоговой модели.

5.7.3.5 После выбора параметров, которые подлежат настройке, их следует разделить на те, которые оказывают непосредственное влияние на пропускную способность (например, временная дистанция), и те, которые оказывают влияние на количественное распределение транспортных потоков (например, параметры выбора маршрута).

5.7.3.6 Параметры, оказывающие влияние на пропускную способность, калибруются первыми при неизменных параметрах спроса, а затем наоборот. Внутри этих групп параметры делятся на глобальные, которые оказывают влияние на всю модель, и локальные, влияющие на поведение на отдельных отрезках и узлах. В первую очередь калибруются глобальные параметры, затем при необходимости настраиваются локальные.

5.7.3.7 Таким образом, можно сформулировать следующую последовательность действий калибровки локальной модели:

Шаг 1. Провести проверку правильности ввода исходных данных, выбрать перечень и значения параметров, не подлежащих калибровке. Этап анализа ошибок ввода является крайне важным, нельзя допустить того, чтобы процесс калибровки заключался в компенсации ошибок ввода.

Шаг 2. Выполнить начальный процесс калибровки с настройкой параметров, влияющих на пропускную способность и добиться удовлетворительного соответствия с наблюдаемыми в реальности значениями. В первую очередь калибруются глобальные параметры, затем локальные. На данном этапе параметры, влияющие на спрос, не меняются, но допускается искусственно увеличивать нагрузку, чтобы оценить пропускную способность. Данный этап также имеет важное значение, поскольку пропускная способность оказывает прямое влияние на показатели работы сети.

Шаг 3. Выполнить второй этап калибровки с фиксированными значениями параметров, полученных на предыдущем шаге. Изменяются только параметры, влияющие на распределение потоков. В первую очередь калибруются глобальные параметры, затем локальные.

Шаг 4. Оценка общих показателей модели на предмет соответствия реальным значениям (время движения, длины очередей и др.). Допускается минимальная настройка локальных параметров обоих типов при необходимости.

5.7.4 Калибровка пропускной способности.

5.7.4.1 Задачей калибровки пропускной способности является поиск такого набора параметров, при котором наблюдается максимальное соответствие модельных значений с замеренными значениями пропускной способности

5.7.4.2 Выбор мест для измерения пропускной способности зависит от

существующих условий движения на рассматриваемой территории. Для нерегулируемых участков это места где можно наблюдать устойчивые очереди хотя бы в течение 10-15 минут. Пропускная способность определяется как интенсивность разъезда этой очереди. Для получения необходимых результатов следует провести в каждой точке несколько замеров, вычислить среднее и привести к часовым значениям.

5.7.4.3 На перекрестках со светофорным регулированием для измерения потока насыщения достаточно наличия очереди из 10 автомобилей (см. существующие методики [2,3]).

5.7.4.4 Для качественной оценки на данном этапе рекомендуется выбирать для анализа около 20-30 % перекрестков рассматриваемой сети, но не менее 3-4. Участки, выбранные для оценки пропускной способности, по возможности должны быть изолированы друг от друга, т.е. не следует выбирать, например, последовательные перекрестки одной магистрали.

Имитационные микромодели не имеют явного выходного параметра «пропускная способность». Можно только замерить, сколько автомобилей прошло через определенное сечение. Измерения пропускной способности в модели проводятся аналогично реальным участкам с учетом функционала конкретного программного продукта.

5.7.4.5 Основными глобальными параметрами для калибровки пропускной способности являются временная дистанция между автомобилями и время реакция водителей (или их эквиваленты).

5.7.4.6 Если после настройки глобальных параметров остаются участки с неудовлетворительным соответствием модельных и реальных данных, следует провести калибровку локальных параметров. Поскольку пропускная способность является ключевым параметром, удовлетворительным считается расхождение менее 3 %.

Настройка локальных параметров позволяет учесть влияние таких факторов как помехи от припаркованных автомобилей, состояние покрытия, условия видимости, узкая обочина и т.п., которые не задаются в явном виде и не входят в состав исходных данных. Однако следует изменять эти параметры минимальным образом и при веском обосновании, особенно если в дальнейшем анализе ожидаются изменения в характере нагрузки на эти участки.

5.7.4.7 Категорически не допускается понижать разрешенную скорость движения на секции для воспроизведения движения при заторе.

5.7.5 Калибровка спроса.

5.7.5.1 В качестве основных калибровочных параметров на данном этапе будут использоваться:

- объем нагрузки;
- ее распределение во времени;
- параметры осведомленности водителей;
- функции стоимости проезда по отрезкам;
- скорости свободного движения;
- параметры выбора маршрута и т.д.

В свою очередь основным критерием качества калибровки на данном этапе будет являться совпадение модельных и наблюдаемых интенсивностей движения на участках и поворотах.

5.7.5.2 Глобальными параметрами будут являться параметры моделей выбора маршрута, функции стоимости, параметры категорий улиц. Для локальной настройки будут использоваться те же параметры, но для каждого отдельного участка.

5.7.5.3 Ниже приведены примеры влияния различных параметров, наиболее часто встречающихся в программных комплексах микромоделирования, на показатели функционирования модели. Параметры в целях калибровки можно классифицировать по трем группам согласно степени их влияния на выходные результаты имитации:

- глобальные параметры;
- параметры секции;
- параметры типа транспортных средств.

Глобальные параметры.

Глобальные параметры влияют на все автомобили независимо от их типа при движении в любом месте сети, например:

- время реакции влияет на:
  - пропускную способность секции (меньшее время реакции – большая пропускная способность секции);
  - пропускную способность пересечений и примыканий (меньшее время реакции – большая пропускная способность);
- время реакции при остановке влияет на:
  - пропускную способность секции (меньшее время реакции при остановке – большая пропускная способность секции);
  - параметры очереди (большее время реакции при остановке – большие длина очереди и время остановки);
- скорости образования и рассеивания очередей влияют на:
  - поведение в желтых зонах (зоны внутри перекрестка, где запрещена остановка);
  - статистику очередей;
- параметры модели следования (количество автомобилей, расстояние, максимальный разброс скорости) влияют на:
  - степень плавности трафика;
  - ситуации слияния потоков;
- параметры модели смены полосы (проценты обгона и возврата) влияют на:
  - распределение потока по полосам;
  - параметры потоков на магистралях;
- выбор модели слияния потоков позволяет:
  - уменьшить пропускную способность примыкания;
  - увеличить пропускную способность примыкания;
  - сократить количество автомобилей, достигающих полной остановки к концу полосы разгона.

Параметры секции.

Параметры секции влияют на все автомобили независимо от их типа при движении по определенной секции сети. Вот некоторые примеры:

- ограничение скорости влияет на:
  - среднюю скорость (большая разрешенная скорость – большая средняя скорость на секции);
  - среднее время проезда (большая разрешенная скорость – меньшее среднее время проезда по секции);
- скорость на повороте влияет на:
  - пропускную способность поворота (большая скорость – большая пропускная способность);
  - время проезда (большая скорость – меньшее время проезда);
  - среднюю скорость (большая скорость на повороте – большая средняя скорость);
- расстояние видимости влияет на:
  - поведение при выполнении предписаний уступить дорогу;
- дистанции до зоны смены полосы влияют на:
  - распределение по полосам перед перекрестками;
  - ситуации блокирования;
- дистанция на примыкании влияет на:
  - пропускную способность примыкания;
  - использование крайней правой полосы.

Параметры типов транспортных средств .

Параметры типов транспортных средств влияют на автомобили определенного типа независимо от их местоположения в сети, например:

- максимальная желаемая скорость, максимальное ускорение, нормальное и максимальное торможение, принятие ограничения скорости влияют на:
  - скорость, время проезда, рассеивание очереди, возможность смены полосы и пр.;
- минимальная дистанция между автомобилями влияет на:
  - пропускную способность (меньшая дистанция – большая пропускная способность);
  - длину очереди (меньшая дистанция – меньшая длина очереди);
- время на выполнение предписания уступить дорогу влияет на:
  - пропускную способность подъезда к перекрестку и примыкания;
  - блокирование возможности смены полосы;
- выполнение предписаний влияет на:
  - использование новых маршрутов.

Оценка общих показателей.

5.7.6 На последней стадии калибровки оцениваются основные показатели работы модели в целом и сравниваются с собранными в результате обследований. К таким показателям относятся, например, времена проезда между контрольными точками, замеренные методом плавающего автомобиля, поведение очередей, их средняя длина, продолжительность и характер формирования, замеренные задержки и т.п.

В случае существенных расхождений на данном этапе допускается небольшая подстройка параметров модели в пределах 10-15 %. Необходимость в более существенных корректировках говорит о некачественно выполненных предыдущих шагах калибровки.

Конечная цель калибровки модели – компромисс между усилиями, затраченными на калибровку, и точностью воспроизведения моделью реальной ситуации. В качестве критериев для завершения калибровки имитационных микромоделей рекомендуется применять следующие значения основных показателей (таблица 7).

Таблица 7 – Критерии качества калибровки имитационных микромоделей

Критерии и показатели	**Приемлемые значения**
Интенсивности потоков (авт/ч), разница между смоделированными и наблюдаемыми На отдельных отрезках До 15%, для потока от 700 авт/ч до 2700 авт/ч До 100 авт/ч для потока до 700 авт/ч До 400 авт/ч для потока более 2700 авт/ч	 > 85% случаев > 85% случаев > 85% случаев
В целом по сети до 5% GEH статистика – на отдельных отрезках GEH < 5 GEH статистика – в целом по сети GEH < 4	 > 85% случаев
Времена движения, разница между смоделированными и наблюдаемыми До 15% (или 1 минуты, в зависимости, что больше)	 > 85% случаев
Потоки насыщения в сечении стоп-линий, разница между смоделированными и наблюдаемыми Не более 3%	 100% случаев
Длины очередей, разница между смоделированными и наблюдаемыми Для сравнения рекомендуется брать 95 % квантиль	На усмотрение специалиста
Визуальная оценка поведения потоков	На усмотрение специалиста

GEH статистика (критерий Хейверса) – это эмпирически полученная формула, представляет собой частный случай хи-квадрат теста и вычисляется по формуле (1).

$$GEH = \sqrt{\frac{(V-C)^2}{(V+C)/2}}, \quad (1)$$

где V – смоделированные значения;

C – замеренные значения.

Значение GEH статистики менее чем 5 для 85 % случаев считается приемлемым в практике моделирования.

5.7.7 Рекомендации по визуальной оценке.

Анимированное представление результатов моделирования дает возможность увидеть особенности поведения водителей и сравнить их с реально наблюдаемым.

Проводить визуальную оценку рекомендуется на сложных участках, где наблюдаются скопления автомобилей.

Если наблюдаемое поведение потоков кажется нереалистичным следует выяснить причину такого поведения. Среди причин могут быть следующие:

1. Ошибка в ожиданиях. Следует проверить, как фактически ведут себя потоки в данном месте в рассматриваемый временной период, прежде чем решить, что поведение водителей в модели действительно нереалистично. Вполне возможно, что ожидания относительно поведения потоков не соответствуют реальной ситуации. Построение модели по топографической основе не дает гарантии точного воспроизводства поведения потоков. Только обследование на местности и именно в тот период, который предстоит смоделировать, может помочь оценить особенности поведения водителей и учесть их при моделировании.

2. Ошибки ввода. Следует проверить модель на наличие очевидных и скрытых ошибок ввода данных, которые могут вызвать наблюдаемые несоответствия. Во многих случаях такие ошибки могут быть вызваны недостаточным пониманием значения некоторых параметров, которые присущи конкретным программным продуктам.

3. Ошибки визуального отображения. Иногда нереалистичное поведение транспортных средств может быть вызвано внутренними ограничениями графического «движка» программного продукта, при этом математические алгоритмы работают верно, и численные результаты не снижают своей точности.

4. Неточности базовых моделей поведения. Некоторые визуальные несоответствия в поведении водителей могут быть вызваны допущениями, сделанными в ходе разработки базовых моделей поведения.

5.7.8 Для оценки адекватности и качества транспортных моделей как на этапе калибровки, так и при валидации используют общепринятые статистические критерии, которые позволяют быстро оценивать основные качественные параметры созданных моделей (формулы 2 – 6).

Оценка проводится по следующим параметрам.

Средняя абсолютная ошибка: среднее отклонение абсолютных значений (разница между наблюдаемым и рассчитанным значением)

$$(\delta_a) = \frac{1}{N} \cdot \sum abs(Z_i - U_i) \tag{2}$$

где Z – наблюдаемое значение, U – значение, полученное из модели, N – количество точек наблюдения.

Средняя относительная ошибка: среднее отклонение абсолютных значений в %:

$$(\delta_p) = \frac{\sum abs(Z_i - U_i)}{\sum Z_i} \cdot 100\% \tag{3}$$

где Z – наблюдаемое значение, U – значение, полученное из модели, N – количество точек наблюдения.

Абсолютное значение RMSE (root of mean squared error): среднеквадратическое отклонение:

$$(\vartheta_a) = \left[\sum_{i=1}^{N} (Z_i - U_i)^2 \Big/ N \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

где Z – наблюдаемое значение, U – значение, полученное из модели, N – количество точек наблюдения.

Относительное значение RMSE: относительное среднеквадратическое отклонение:

$$(\vartheta_з) = \frac{\vartheta_a}{\sum Z_i / N} = \frac{\sqrt{\sum (Z_i - U_i)^2 / (N - I)}}{\sum Z_i / N} \quad (5)$$

где Z – наблюдаемое значение, U – значение, полученное из модели, N – количество точек наблюдения.

Коэффициент корреляции:

$$r = \frac{\sum (Z_i - \overline{Z}) \cdot (U_i - \overline{U})}{\sqrt{\sum (Z_i - \overline{Z})^2 \cdot \sum (U_i - \overline{U})^2}}$$
$$\overline{Z} = \frac{1}{N} \cdot \sum Z_i \quad , \quad \overline{U} = \frac{1}{N} \cdot \sum U_i \quad (6)$$

где Z – наблюдаемое значение, U – значение, полученное из модели, N – количество точек наблюдения.

Из перечисленных критериев рекомендуемые значения могут иметь только относительные показатели и коэффициент корреляции. В отечественной практике в настоящее время еще не выработаны четкие значения данных критериев, при которых модель считается достоверной. Значения критериев сильно зависят от задачи применения моделирования, используемого метода и типа проекта. В качестве ориентировочных значений можно рекомендовать следующие: относительные показатели не более 10% в целом по моделируемой сети и не более 5% для локальных участков, коэффициент корреляции не менее 0,9.

5.7.9 На выходе этапа калибровки должна быть получена модель с достаточной точностью воспроизводящая параметры работы и условия движения на исследуемом участке, которые были получены при проведении обследования.

5.7.5.10 Процесс калибровки должен быть подробно задокументирован в соответствующем разделе общего отчета о построении модели.

5.8 Валидация модели

5.8.1 Целью этапа валидации модели является определение того факта, что модель пригодна для проведения экспериментального анализа объекта исследования.

5.8.2 Входными данными для этапа валидации является откалиброванные модели и набор независимых данных той же номенклатуры, что и для проведения калибровки.

Валидация имитационной модели основывается на сравнительном анализе наблюдаемых выходных характеристик реальной системы и итоговых данных,

получаемых в результате выполнения имитационных экспериментов над компьютерной моделью.

5.8.3 Сравнение показателей работы модели и реальных данных следует выполнять с помощью статистических критериев, приведенных в разделе 5.7 настоящего ОДМ.

5.8.4 Трудоемкость этапа валидации зависит от качества и методики проведения калибровки модели. При этом ключевую роль играет не степень полученной сходимости, а выбранные параметры для настройки. Хорошая сходимость результатов моделирования с реальными данными в результате калибровки может быть достигнута при различных сочетаниях параметров элементов модели, и такой результат не гарантирует, что модель останется адекватной при другом наборе исходных данных. Таким образом, на этапе валидации может потребоваться несколько итераций повторной калибровки модели. Все произведенные изменения должны быть отражены в отчете о построении модели. Итоговое решение о достоверности модели принимается ответственным специалистом исполнителя по результатам обсуждения с заинтересованными сторонами.

5.8.5 После проведения валидации рекомендуется согласовать и зафиксировать отдельным актом с заинтересованными сторонами, что модель построена верно и пригодна для дальнейшего использования. При необходимости может быть проведена независимая экспертиза (аудит) модели.

5.8.6 Этапы калибровки и валидации моделей предъявляют наивысшие требования к квалификации и опытности специалиста по моделированию.

5.8.7 На выходе этапа валидации должна быть получена итоговая модель, которая на основании проведенного анализа считается пригодной для дальнейших экспериментов.

5.9 Выполнение экспериментов, интерпретация и анализ результатов

5.9.1 Целью данного этапа является всесторонняя оценка предлагаемых проектных решений на основе результатов моделирования, а также выработка предложений по их корректировке. Для достижения поставленной цели на данном этапе необходимо решить следующие задачи:

- внести изменения в модель согласно разработанным планам мероприятий;
- провести серию экспериментов;
- обработать полученные результаты и сравнить с базовым сценарием или между собой;
- разработать предложения по корректировке мероприятий (при необходимости);
- выбрать окончательный вариант состава мероприятий.

Входными данными для этого этапа являются:

- модель, прошедшая калибровку и валидацию и признанная годной для проведения оценки;
- проектные решения по предлагаемым мероприятиям;
- задачи, поставленные перед специалистами по моделированию.

5.9.2 Как только модель прошла валидацию необходимо сделать резервную копию модели и начинать проводить оценку мероприятий только при ее наличии.

5.9.3 Для обеспечения качественной оценки рассматриваемых решений по ОДД следует придерживаться положений теории планирования эксперимента в части выбора числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью.

Определение числа прогонов представляет собой итеративный процесс. Сначала необходимо оценить величину стандартного отклонения исследуемого параметра по результатам нескольких (4-5) прогонов модели. Затем рассчитывается необходимое число прогонов при выбранной величине доверительного интервала и доверительной вероятности. Далее выполняется полученное количество прогонов, снова оценивается стандартное отклонение и рассчитывается число прогонов. Если число прогонов больше полученного ранее, то процесс повторяется, если меньше или равно, то полученные результаты признаются статистически значимыми. Если количество необходимых прогонов получается слишком большим необходимо пересмотреть выбранные величины доверительного интервала и доверительной вероятности.

Оценка дисперсии производится по формуле (7) на основании нескольких прогонов модели.

$$\sigma = s^2 = \frac{\sum(x-\bar{x})^2}{N-1}, \tag{7}$$

где s – стандартное отклонение;

x – измеряемая переменная;

$\bar{x}$ – среднее значение переменной;

N – число прогонов модели.

Выбор доверительного интервала исходя из требуемого уровня точности результатов, который зависит от целей использования результатов моделирования.

Доверительную вероятность (достоверность) рекомендуется принимать на уровне 95%.

Расчет требуемого количества прогонов производится по формуле (8).

$$n = \frac{t_\alpha^2 \sigma_a^2}{\varepsilon^2}, \tag{8}$$

где n - необходимое число прогонов модели;

α - уровень достоверности (например, 0,95);

t_α - значение функции Лапласа (для α = 0,95 t_α = 1,96);

σ_a - дисперсия параметра a;

ε - требуемая точность.

В целом, основными показателями для оценки выходных параметров являются среднее значение и стандартное отклонение. На их основе могут определяться доверительные интервалы и доверительные вероятности, а также тестироваться различные гипотезы.

Также полезным статистическим инструментом является оценка квантили 95% вероятности. Квантиль – это значение случайной величины с заданной доверительной вероятностью. Его, например, можно использовать для оценки

вероятности превышения длиной очереди длины перегона или зоны накопления. За основу берутся среднее значение и стандартное отклонение, полученные из серии прогонов модели, и оценивается насколько длинной может быть очередь с 95% вероятностью. При этом принимается допущение, что величина очереди имеет нормальное распределение. Тогда максимальная длина очереди с вероятность 95% не превысит значения, полученного по формуле (9).

$$95\%a = m + 1.64 \cdot s, \quad (9)$$

где 95%a – значение переменной a, которое с 95% вероятностью не будет превышено;

m – максимальное наблюдаемое значение переменной a;

s – стандартное отклонение переменной a.

5.9.4 Для получения качественных выходных данных при микромоделировании должны соблюдаться следующие условия:

1. Должен присутствовать достаточный период «прогрева» модели, не включенный в период сбора статистики (как правило, рекомендуется период равный двойному времени проезда по наиболее длинному маршруту в сети);

2. Все участки, где возникают заторы, должны находиться внутри зоны моделирования;

3. Период моделирования должен включать моменты образования и рассасывания заторов;

4. Не должно быть участков, где появляются виртуальные очереди, т.е. автомобили не имеют возможности попасть в сеть.

5.9.5 Статистические показатели, подлежащие сбору и выводу, могут выбираться на нескольких уровнях агрегирования: для системы в целом, для каждой секции, каждого поворота или каждого статистического потока (набора последовательных секций), определяемого пользователем. В модели, основанной на маршрутах, может быть также получена информация по источникам, целям или парам источник – цель. Если моделируется движение транспорта общего пользования, система может предоставить статистику по каждому маршруту ГПТ.

Статистические данные также могут предоставляться в двух временных контекстах:

- глобально – от начала и до конца имитационного эксперимента;
- на периодической основе – в течение определенных периодов времени, задаваемых пользователем.

Статистическими данными уровня всей системы могут быть:

- средний поток – среднее количество автомобилей в час, проходящих по системе в продолжение периода имитации, авт./ч. Подсчет ведется, когда автомобили покидают пределы сети через секции выезда.
- плотность – среднее количество автомобилей на километр дороги в пределах сети, авт./км.
- средняя скорость – средняя скорость по всем автомобилям, покинувшим систему, км/ч.
- гармоническая средняя скорость – гармоническая средняя скорость по всем автомобилям, покинувшим систему, км/ч.

- время движения – среднее время, необходимое автомобилю для преодоления километра дороги в пределах сети, с.
- время задержки – среднее время задержки в расчете на автомобиль и километр дороги. Представляет разность между ожидаемым временем движения (требуемым для проезда по системе при идеальных условиях) и фактическим временем движения, с.
- время остановки – среднее время пребывания в состоянии остановки в расчете на автомобиль и километр дороги, с.
- количество остановок – среднее число совершенных остановок в расчете на автомобиль и километр дороги, ед.
- общее пройденное расстояние – количество километров, пройденных всеми автомобилями в пределах сети, км.
- общее время движения – общее время, затраченное всеми автомобилями на проезд в пределах сети, с.
- потребление топлива – общее количество литров топлива, потребленных всеми автомобилями в пределах сети, л.
- выброс загрязняющих веществ – общее количество килограммов загрязняющего вещества каждого типа, выброшенных в атмосферу всеми автомобилями в пределах сети, кг.

Статистические данные уровня секции/поворота собираются, когда автомобиль покидает секцию (завершает маневр поворота) и въезжает на следующую секцию. На уровне секции/поворота статистическими данными могут быть:

- средний поток – среднее количество автомобилей в час, проходящих по секции в продолжение периода имитации, авт./ч.
- плотность – среднее количество автомобилей на километр секции, авт./км.
- средняя скорость – средняя скорость по всем автомобилям, проехавшим секцию км/ч.
- гармоническая средняя скорость – гармоническая средняя скорость по всем автомобилям, проехавшим секцию км/ч.
- время движения – среднее время, необходимое автомобилю для преодоления секции, с.
- время задержки – среднее время задержки в расчете на автомобиль. Представляет разность между ожидаемым временем движения (требуемым для проезда по секции при идеальных условиях) и временем движения, с.
- время остановки – среднее время пребывания в состоянии остановки в расчете на автомобиль в пределах секции, с.
- количество остановок – среднее число совершенных остановок в расчете на автомобиль в пределах секции, ед.
- средняя длина очереди – средняя длина очереди на секции, выраженная количеством автомобилей в расчете на полосу, авт.
- максимальная длина очереди – максимальная длина очереди на секции, выраженная количеством автомобилей в расчете на полосу, авт.
- общее время движения – общее время, затраченное всеми автомобилями на проезд в пределах секции, с.

- потребление топлива – общее количество литров топлива, потребленных всеми автомобилями в пределах секции, л.

- выброс загрязняющих веществ – общее количество килограммов загрязняющего вещества каждого типа, выброшенных в атмосферу всеми автомобилями в пределах секции, кг.

5.9.6 Перечисленные показатели являются типовым набором данных, получаемых стандартными средствами программных продуктов. Для оценки качества разрабатываемых ПОД следует использовать рекомендации, изложенные в ОДМ «Методические рекомендации по оценке качества организации дорожного движения (ОДД)»

5.9.7 Результатом этапа проведения экспериментов с моделью являются наборы статистических показателей качества функционирования рассматриваемых вариантов схем ОДД, которые могут быть использованы для выработки рекомендаций по корректировке предложенных решений или для обоснования внедрения какого-либо из вариантов.

5.10 Прогнозирование и построение модели перспективной ситуации

5.10.1 После того как модель прошла калибровку и валидацию, считается также, что она пригодна не только для оценки решений в текущих условиях, но и для анализа решений на перспективу. Как правило, горизонты перспективного анализа находятся в пределах от 5 до 30 лет. Однако необходимо учитывать ряд особенностей, которые могут повлиять на качество результатов.

5.10.2 Рекомендуется осуществлять прогноз уровня транспортной нагрузки на перспективу с использованием вышестоящей макромодели транспортного спроса. В случае отсутствия такой модели можно использовать экстраполяционные модели, основанные на существующих тенденциях с учетом перспектив изменения структуры спроса. Подобные методы широко описаны в специальной литературе (метод Фратара, метод факторов роста и др.).

5.10.3 Независимо от того какой метод применяется для выполнения прогноза, необходимо тщательно оценить адекватность полученных прогнозных значений нагрузки с точки зрения возможности физически прибыть в зону моделирования. Для этого рекомендуется выполнение следующих действий:

Шаг 1. Определение «узких мест» на подходах к зоне моделирования.

Следует определить критические «узкие места» на дорогах, ведущих в рассматриваемую зону. В таких местах при росте нагрузки заторы будут появляться в первую очередь. Наличие «узких мест» на входах в рассматриваемую зону может сдерживать фактический объем движения, который будет в нее попадать, несмотря на прогнозные значения. Кроме того, оказать влияние могут и «узкие места» на выходах из зоны, не давая свободно ее покидать. В таком случае рекомендуется включить такие участки в зону моделирования.

Шаг 2. Оценить избыточный объем нагрузки, который физически не сможет пройти через «узкие места» на подходах к зоне моделирования.

Шаг 3. Пересчитать параметры нагрузки на входных и внутренних участках зоны моделирования.

5.10.4 Любой транспортный прогноз основывается на некоторых допущениях о характере роста подвижности населения, параметров землепользования и застройки, других объектов инфраструктуры и т.д. Поэтому принятие на его основе каких-либо решений сопряжено с риском. Для снижения уровня риска рекомендуется проводить моделирование для нагрузки на 10-15 % больше и меньше спрогнозированной. Это позволит оценить чувствительность параметров работы системы к изменению нагрузки и выбрать оптимальные решения.

5.10.5 При внесении изменений в структуру УДС следует максимально сохранять участки, где были откалиброваны такие параметры как скорости движения, использование полос, потоки насыщения, особенности поведения водителей, параметры стоимости проезда по участкам и др. Также на участках не подвергавшихся изменениям не следует без крайней необходимости изменять параметры, полученные в ходе калибровки.

5.10.6 При создании модели перспективного периода следует тщательно проанализировать и учесть возможные изменения в рамках других проектов, которые могут оказать влияние на рассматриваемый участок.

5.10.7 После внесения основных изменений в конфигурацию УДС следует запустить модель с перспективным спросом и проанализировать на наличие неоправданно высоких задержек. Если будут выявлены участки с чрезмерно высокими задержками, следует рассмотреть возможность применения очевидных решений по совершенствованию ОДД.

Особое внимание следует уделить настройке параметров светофорного регулирования. Оставаясь нетронутыми при анализе прогнозной ситуации, они могут негативно повлиять на достоверность результатов. Режимы регулирования могут быть подстроены под перспективную нагрузку, но без изменения минимальных длительностей фаз для пешеходов и длительности промежуточных тактов.

5.10.8 Все изменения должны быть подробно описаны в отчетной документации. В исключительных случаях, при сохранении неоправданно высоких задержек и отсутствии вышестоящей макромодели, допускается обоснование снижения нагрузки за счет перераспределения потоков на маршруты, выходящие за пределы границ зоны моделирования, но не более чем на 10%. Необходимость в больших корректировках говорит о неправильно определенных границах зоны моделирования.

При наличии макромодели должны быть проведены дополнительные расчеты перераспределения перспективных потоков с учетом фактической пропускной способностью, полученной в микромодели.

5.10.9 Расчет перспективного спроса — это наиболее ответственный этап при использовании микромоделирования для прогнозирования и оценки каких-либо решений в будущем. Работу модели с перспективным спросом невозможно откалибровать по аналогии с моделью базового периода, поэтому возникают затруднения с оценкой адекватности этих моделей. Для снижения рисков такого рода рекомендуется:

- использовать прозрачную методологию получения прогнозного спроса в части сделанных допущений, используемых алгоритмов и т.д.;

- четко различать и выделять фоновые потоки и потоки, возникающие в результате мероприятий непосредственно в рассматриваемой зоне для исключения двойного учета;
- выполнить тесты на чувствительность модели к изменению нагрузки вокруг спрогнозированных значений.

5.10.10 Методы расчета перспективного спроса

Если спрос базового года был получен из вышестоящей макромодели, то эту модель целесообразно использовать и для получения прогнозного спроса. Однако, как правило, матрицы корреспонденций из макромодели подвергаются существенным корректировкам и детализации при их использовании в построении микромодели базового года. Поэтому при использовании прогнозных данных из вышестоящей модели необходимо тщательно проанализировать какие изменения следует внести в матрицу модели базового периода. При этом следует учитывать, что изменение в абсолютных величинах может привести к отрицательным значениям в ячейках матрицы, а относительное изменение в процентах не повлияет на нулевые значения.

Наиболее простым методом оценки перспективной матрицы является метод факторов роста. Он может иметь несколько разновидностей:

- общий фактор роста, применяемый ко всем корреспонденциям;
- частные факторы для каждой зоны;
- частные факторы для каждой корреспонденции.

Главное достоинство этого метода – его простота и прозрачность, при этом основным недостатком является невозможность учесть перераспределение потоков вне зоны моделирования. Поэтому при использовании данного метода следует тщательно выбирать границы зоны моделирования и обращать особое внимание на вероятность перераспределения потоков вне этих границ и его возможное влияние на результаты моделирования.

5.10.11 Рекомендуется тщательно документировать весь процесс расчета прогнозного спроса для возможности его проверки заинтересованными сторонами.

5.11 Рекомендации по составлению отчетной документации

5.11.1 Моделирование транспортных потоков, в особенности на микроуровне является во многом творческой работой и содержит значительное количество допущений и гипотез, принимаемых специалистом в процессе построения модели. Каждое подобное решение специалиста должно быть убедительно обосновано и задокументировано. Все этапы построения модели следует как можно более подробно описать в отчетных материалах для возможности внешней проверки. Для удобства проведения проверки модели любой из заинтересованных сторон необходимо разработать требования к форме и содержанию заключения, представляемого по результатам выполнения моделирования.

5.11.2 По результатам проведения моделирования в рамках разработки ПОД, рекомендуется составлять отчет следующего содержания:

- номер и дата составления отчета;
- основание для проведения моделирования;
- наименование улицы/дороги/сети дорог/УДС/локального объекта;

- протяженность улицы/дороги/сети дорог/УДС/локального объекта;
- сроки проведения транспортного обследования;
- ответственное лицо за проведение обследования, должность, Ф.И.О.;
- результаты обследования;
- обоснование выбора СПО;
- отчет о построении модели существующей ситуации, включая калибровку и валидацию;
- перечень исследуемых мероприятий по ОДД;
- план проведения модельных экспериментов;
- результаты моделирования;
- предложения по корректировке предлагаемых мероприятий;
- итоговые выводы по результатам моделирования;
- дополнительные сведения.

В соответствующих разделах отчета следует привести следующую информацию:

- описание проблемы, которая будет исследоваться;
- обоснование необходимости применения моделирования;
- описание роли и места данного проекта;
- формулировка целей и задач проекта;
- описание территории проектирования;
- обоснование выбора метода моделирования;
- обоснование границ зоны моделирования;
- обоснование периода моделирования;
- определение перечня учитываемых в модели видов транспорта;
- составление перечня исходных данных и описание процесса их получения;
- описание перечня вариантов и сценариев, которые будут исследоваться;
- обоснование и выбор показателей эффективности работы участка;
- оценка необходимости дополнительной обработки результатов;
- описание источника получения матрицы корреспонденций;
- обоснование разбиения матрицы на временные периоды;
- описание процесса доработки матриц корреспонденций;
- обоснование выбора СПО;
- описание процесса построения модели;
- описание метода проверки правильности ввода;
- выбор показателей для проведения калибровки;
- обоснование уровня точности при проведении калибровки модели;
- документирование процесса калибровки модели;
- документирование процесса валидации модели;
- обоснование метода определения прогнозного уровня спроса;
- описание процесса анализа чувствительности модели;
- описание плана экспериментов;
- описание необходимости корректировки ОДД в модели перспективного периода;
- анализ результатов экспериментов (графики, диаграммы, таблицы и т.д.);
- дополнительная обработка результатов;

- описание сценариев отчетных видеороликов;
- выводы и рекомендации по результатам моделирования.

5.11.3 Для наглядного представления результатов моделирования могут быть использованы видеоролики с записью имитации движения транспортных потоков. Как правило, современные программные комплексы предоставляют такую возможность. Для записи видеоролика рекомендуется использовать репликацию модели с показателями наиболее близкими к средним значениям. Сценарии роликов выбираются на усмотрение специалистов исходя из целей, задач и особенностей конкретного проекта. Рекомендуется заранее согласовывать такие сценарии с заинтересованными сторонами.

5.12 Оценка безопасности движения с использованием моделирования

Анализ возможностей программных продуктов показал, что практически все представленные на рынке программные продукты, использующие технологию микромоделирования транспортных потоков, имеют весьма ограниченные способности в оценке безопасности дорожного движения.

На данном этапе развития возможностей программных продуктов по моделированию рекомендуется проводить оценку безопасности движения традиционными статистическими, аналитическими и экспертными (аудит БДД) методами, по методике изложенной в [5], а также в [2].

5.13 Рекомендации по моделированию пешеходных и велосипедных потоков

5.13.1 При разработке ПОД рекомендуется использовать программные продукты для моделирования пешеходных потоков на основе модели социальных сил (Social Force Model).

5.13.2 Моделирование пешеходного движения целесообразно проводить в следующих случаях:

1. На участках УДС с пешеходными переходами в одном уровне, где пешеходное движение оказывает существенные помехи движению транспорта (правые повороты, нерегулируемые переходы), но сами пешеходы не испытывают затруднений в движении. Интенсивность движения пешеходов в сечении одного перехода составляет от 150 до 1000 чел/ч. В данном случае основной целью моделирования пешеходных потоков является количественная оценка их влияния на движение транспортных потоков, оценка условий движения самих пешеходов не производится. Для учета этого влияния достаточно смоделировать пешеходное движение в пределах рассматриваемого перекрестка или только на отдельных переходах. Для данной задачи допускается моделировать движение пешеходов по аналогии с автомобилями.
2. На участках УДС с пешеходными переходами в одном уровне, где осуществляется регулярное интенсивное пешеходное движение (более 1000 чел/ч.), например, вблизи крупных объектов тяготения (станции метро, вокзалы, торговые центры, пересадочные узлы, пешеходные зоны и т.д.). В данном случае моделирование используется как для оценки условий движения самих пешеходов, так и их взаимодействия с транспортными потоками. Целесообразно моделировать

полные пути движения пешеходов в пределах зоны моделирования. Использование упрощенных моделей движения пешеходов не рекомендуется.

3. На путях движения пешеходов от/к объектам проведения массовых мероприятий в дни их проведения (стадионы, концертные залы, крупные площади и т.д.). Основной задачей в этом случае является оценка условий движения пешеходных потоков высокой плотности и интенсивности для разработки временных схем ОДД и оценки необходимости ограничений движения автомобильного транспорта.

5.13.3 Моделирование движения пешеходов на внутренних территориях вокзалов, аэропортов, пересадочных узлов и т.д. не относится к задачам разработки ПОД, однако может выполняться совместно с участками, где необходима разработка ПОД.

5.13.4 Явное моделирование движения велосипедных потоков рекомендуется проводить при интенсивности их движения в одном направлении более 200 вел./ч. Однако, в связи с недостаточным уровнем развития методов моделирования велосипедных потоков, необходимость и особенности их моделирования при разработке ПОД определяются специалистом отдельно в каждом конкретном случае.

6 Рекомендации по использованию моделирования при разработке КСОДД

6.1 Методы моделирования при разработке КСОДД

6.1.1 В качестве основного инструмента для анализа и оценки решений при разработке КСОДД следует использовать подход макромоделирования транспортных потоков. В общем случае разработка модели полного цикла, включая модели формирования спроса, в рамках КСОДД является нецелесообразной. Транспортная модель полного цикла должна быть разработана до начала проектирования КСОДД.

6.1.2 В случае если численность населения исследуемой территории не превышает 100 тыс. чел, для целей разработки КСОДД возможно построение упрощенной транспортной модели без детального анализа формирования спроса.

6.1.3 Рекомендуется использовать модели с динамическим (с шагом не более 15 мин) моделированием процесса загрузки сети для возможности оценки времени возникновения заторов и учета влияния перегрузки на распределение потоков.

6.1.4 Для распределения потоков по сети также могут использоваться мезомодели транспортных потоков, локальные узлы и конкретные решения могут прорабатываться с помощью микромоделирования, а также узкоспециализированных продуктов по расчету параметров отдельных элементов инфраструктуры и режимов регулирования.

6.1.5 В общем случае для анализа интегральных показателей работы всей сети при разработке КСОДД достаточно использования макромодели, однако при наличии ресурсов вся сеть может быть смоделирована на мезо или микроуровне. При наличии ресурсов для разработки КСОДД рекомендуется строить комплексную транспортную модель в программных продуктах, позволяющих совместно использовать все уровни моделирования на едином описании транспортной сети.

6.2 Исходные данные для моделирования

6.2.1 Основными типами исходных (входных) данных, необходимых для построения макромодели существующей ситуации при разработке КСОДД являются:

- транспортные:
  - для построения и калибровки модели;
  - для валидации модели;
  - данные на перспективу;
- инфраструктурные:
  - основные геометрические параметры (структура графа УДС);
  - характеристики ОДД;
  - параметры регулирования;
  - значения расчетной пропускной способности для всех категорий улиц и дорог;
  - параметры работы ТОП;
  - параметры на перспективу;
- вспомогательные, специфические для каждого ПО.

6.2.2 Транспортные данные для построения модели включают в себя:

- интенсивности движения транспортных потоков по определенному перечню перегонов и по направлениям движения на ключевых перекрестках, полученные путем замеров, как правило, с разбивкой на интервалы по 15 мин;
- состав потока по типам ТС;
- коэффициенты приведения к легковому автомобилю;
- данные о годовой, недельной и суточной неравномерности движения.

6.2.3 Коэффициенты приведения к легковому автомобилю рекомендуется принимать в соответствии с ОДМ 218.2.020-2012. «Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог».

6.2.4 В качестве калибровочных параметров используются значения замеренных интенсивностей на перегонах и перекрестках, а также времена проезда между ключевыми пунктами генерации и поглощения потоков.

6.2.5 Граф УДС и основные данные по ОДД могут быть импортированы в модель из имеющихся ГИС-приложений или введены вручную с помощью графического редактора с использованием качественной растровой подложки.

6.2.6 Геометрические параметры включают в себя:

- число полос движения;
- длина перегонов.

6.2.7 Характеристики ОДД включают в себя:

- наличие запретов отдельных маневров;
- наличие выделенных полос (для отдельных видов транспорта);
- локальные ограничения скорости;
- наличие запретов движения отдельных типов транспортных средств.

6.2.8 Параметры регулирования включают в себя режимы светофорного регулирования (число фаз, порядок их чередования, длительности цикла, основных и промежуточных тактов).

6.2.9 Параметры работы ТОП:

- маршруты движения ТОП;
- расположение остановочных пунктов;
- интервал или расписание движения;
- время пассажирообмена на остановочных пунктах;
- тип подвижного состава и его вместимость.

6.2.10 Инфраструктурные параметры на перспективу включают в себя данные по предполагаемым изменениям в структуре УДС, схеме ОДД, конфигурации развязок, систем управления и т.д.

6.2.11 Транспортные данные на перспективу включают прогнозные значения параметров транспортной нагрузки. Такие данные на этапе разработки КСОДД должны быть получены в ходе анализа существующих стратегий и программ развития рассматриваемой территории.

6.2.12 Характерные для зарубежной практики требования к точности входных данных по интенсивности движения транспортных потоков составляют ± 5 % для данных автоматического учета и ± 10 % для данных полученных визуальным наблюдением с уровнем доверия 95 %.

6.3 Построение макромодели для разработки КСОДД

6.3.1 При построении макромодели следует учитывать общие рекомендации, изложенные в предыдущем разделе по разработке ПОД.

6.3.2 Зона моделирования не обязательно должна ограничиваться административными границами объекта разработки КСОДД. При определении границ моделирования следует учитывать альтернативные маршруты движения значимых корреспонденций за пределами административных границ объекта. Также следует выбирать границы, таким образом, чтобы влиянием предлагаемых мероприятий на условия движения за границами моделирования можно было пренебречь.

6.3.3 Транспортные районы должны делить территорию на однородные с функциональной и транспортной точки зрения участки. Размер транспортных районов следует выбирать по критерию генерируемых транспортных потоков. Рекомендуется, чтобы пиковая мощность генерации потоков одного района составляла не более 300-500 авт./час.

6.3.4 При задании границ транспортных районов следует соблюдать следующие принципы:

- использование линий естественных и искусственных преград (реки, линии железных дорог и т.д.);
- согласование с административным делением территории;
- учет функционального зонирования территории города;
- сохранение сложившихся кварталов застройки;
- недопущение районов вытянутой конфигурации.

6.3.5 Районы могут иметь несколько точек подсоединения к УДС (коннекторов), следует проверить соответствие распределения нагрузки по коннекторам с реально наблюдаемой. Коннекторы должны присоединяться к участкам УДС наименьшего класса, вплоть до выездов с дворовых территорий. Категорически не допускается присоединять коннекторы к перекресткам.

6.3.6 При использовании мезомоделирования потоков рекомендуется уменьшать размер транспортных районов, чтобы нагрузка на один коннектор не превышала 150 авт./час.

6.3.7 При построении модели УДС производится категорирование улиц и дорог по значению пропускной способности. Разбивку по категориям следует проводить с учетом СП 42.13330.2011 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» или местных Региональных норм градостроительного проектирования.

6.3.8 Признаками деления на категории являются: функциональный класс улицы, число полос, разрешенная скорость движения, тип регулирования, наличие помех движению и т.д. Оценка пропускной способности участков осуществляется по ОДМ 218.2.020-2012. «Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог». В отдельную категорию рекомендуется выделять участки при отличии пропускной способности в 100 ед. и более. Для каждой категории подбирается своя зависимость задержки от уровня загрузки (VDF функция).

6.3.9 Для учета задержек на перекрестках анализируется каждое направление движения, время задержки при проезде перекрестка может быть задано функцией или рассчитываться аналитически по имеющимся в СПО методикам. Не рекомендуется использовать фиксированные значения времени проезда перекрестков, не зависящие от величины загрузки.

6.3.10 В рамках упрощенной модели распределение по видам транспорта явно не моделируется и оценивается на основе материалов фактических обследований. Прогнозные значения распределения по видам транспорта определяются экспертно, на основании принятых гипотез и допущений.

6.3.11 Основными данными, необходимыми для калибровки транспортной модели, являются значения интенсивности движения в отдельных сечениях транспортной сети и на поворотных направлениях перекрестков. Для сбора данных проводятся полевые обследования, а также используются автоматические датчики учета интенсивности.

6.3.12 При выборе расположения пунктов учета для проведения обследования следует придерживаться следующих рекомендаций:

- пункты учета необходимо размещать на основных магистралях/дорогах и основных перекрестках, вблизи границ транспортных районов, так чтобы измерять объем перемещений между ними;
- интенсивность потоков замеряется как в сечении, так и во всех поворотных направлениях на перекрестках;
- количество пунктов учета внутри зоны моделирования должно быть примерно равно количеству транспортных районов;
- пункты учета должны покрывать все основные въезды-выезды области моделирования (кордоны).

Конкретный набор пунктов учета должен быть уточнен на этапе выбора границ модели и при разработке схемы транспортного районирования.

6.3.13 Рекомендуется проводить контрольные учеты движения средствами видеозаписи с последующей обработкой видеоматериалов и заполнением бланков учета.

6.3.14 Для построения графа УДС рекомендуется использовать имеющиеся для области моделирования цифровые карты в формате ГИС или качественные растровые карты в качестве подложки для отрисовки УДС средствами СПО.

6.3.15 Для расчета межрайонных корреспонденций применяются специальные математические модели и алгоритмы. Допускается применение различных математических алгоритмов, предлагаемых разработчиками профессиональных программ транспортного моделирования, апробированных и опубликованных в научной литературе, при условии соблюдения базовых требований настоящего документа.

6.3.16 Для расчета корреспонденций с территорией за пределами границ моделирования в системе расчетных районов формально определяются условные внешние или кордонные районы. Объемы прибытия и отправления для кордонных районов не рассчитываются, а оцениваются на основе обследований интенсивности в соответствующих сечениях. Для расчета кордонных корреспонденций приближенно применима гравитационная модель, однако чувствительность этих корреспонденций к фактору дальности должна быть ослаблена по сравнению с корреспонденциями внутри области.

6.3.17 Процесс калибровки рекомендуется начинать с настройки общих калибровочных параметров. Затем, при необходимости, возможна локальная коррекция характеристик элементов транспортной сети и данных о производительности районов.

Калибровка должна проводиться как по перегонам, так и по направлениям движения на перекрестках (поворотам), а также по всем периодам анализа.

6.3.18 Качество калибровки макромодели транспортных потоков рекомендуется оценивать на основе GEH статистики (критерий Хейверса), приемлемые значения соответствуют представленным в таблице 7 раздела 5.6.7.

6.4 Применение моделирования при разработке КСОДД

Для выработки рекомендаций следует проанализировать возможное использование моделирования по этапам разработки КСОДД.

6.4.1 Характеристика сложившейся ситуации по ОДД на территории, в отношении которой осуществляется разработка КСОДД.

На данном этапе с помощью модели существующей ситуации могут быть оценены интегральные показатели качества действующей схемы ОДД. Модель также позволит быстро определить основные проблемные участки УДС и описать их количественные параметры функционирования.

Также с использованием моделирования могут быть получены данные для:

- анализа параметров дорожного движения, а также параметров движения маршрутных транспортных средств и параметров размещения мест для стоянки и остановки транспортных средств;
- оценки эффективности используемых методов ОДД;
- исследования пассажиро и грузопотоков;

- анализа условий дорожного движения, включая данные о загрузке пересечений и примыканий дорог со светофорным регулированием;
- анализа существующей организации движения транспортных средств и пешеходов на территории, в отношении которой осуществляется разработка КСОДД, включая описание организации движения маршрутных транспортных средств, размещения мест для стоянки и остановки транспортных средств, объектов дорожного сервиса.

6.4.2 Принципиальные предложения и решения по основным мероприятиям ОДД (варианты проектирования).

На данном этапе модель используется в качестве инструмента поддержки принятия решений для предварительной оценки эффекта от мероприятий и их реализуемости. Основная работа по выбору мероприятий на данном этапе выполняется транспортными инженерами, определяются альтернативные мероприятия, группируются в варианты, оцениваются с учетом сценариев социально-экономического развития и т.д., модель используется при необходимости, если нет однозначного понимания эффекта от того или иного решения. В модели анализируются только основные предложения по совершенствованию ОДД и развитию инфраструктуры. Эффект от мероприятия оценивается на модели по ключевым интегральным показателям, например, общее время в пути, временной индекс (TTI) и др.

6.4.3 Укрупненная оценка предлагаемых вариантов проектирования с последующим выбором предлагаемого к реализации варианта.

После формирования вариантов совершенствования ОДД производится более детальная их оценка с помощью транспортной модели. Согласно Правилам, оценка вариантов проектирования осуществляется на основе существующего и прогнозируемого уровней безопасности дорожного движения, затрат времени на передвижение транспортных средств и пешеходов, уровня загрузки дорог движением, перепробега транспортных средств, удобства пешеходного движения. По результатам моделирования выбирается тот или иной вариант, возможно с некоторыми корректировками.

6.4.4 Мероприятия по ОДД для предлагаемого к реализации варианта проектирования.

На основании выбранного варианта производится детализация решений по ОДД. На участках, требующих особого внимания, производится мезо или микромоделирование с целью оптимизации схемы ОДД и параметров управления. После настройки всех проблемных узлов рекомендуется заново провести моделирование всей сети с учетом полученных параметров функционирования рассмотренных узлов для оценки возможного перераспределения потоков.

6.4.5 Предложения по очередности реализации мероприятий.

Мероприятия группируются по стоимости их реализации и вносимому вкладу в улучшение общей транспортной ситуации, в первую очередь реализуются мероприятия с наибольшим транспортным эффектом (с учетом финансовых ограничений). Модель также используется для оценки воздействия на ситуацию в период реализации мероприятий из-за ограничения движения, и позволяет

скорректировать очередность реализации мероприятий с точки зрения взаимного влияния на условия движения при производстве работ.

6.4.6 При оценке результатов статического распределения потоков следует учитывать, что на участках с уровнем загрузки выше 1 в реальности формируются очереди, которые могут вносить значительные изменения в условия движения, блокируя другие направления. При наличии такой вероятности, данные участки следует исследовать более подробно другими методами моделирования.

6.4.7 Модели прогноза транспортных потоков на будущие годы разрабатываются путем внесения корректив в модель базового года. Для их создания необходимо провести дополнительные исследования и собрать следующие данные:

1. Прогноз изменения социально-экономических и демографических показателей (численность населения, численность работников и т.д.) на территории моделирования.

2. Прогноз роста уровня автомобилизации населения. Рост уровня автомобилизации влияет на коэффициенты в модели расщепления поездок по видам транспорта, а также на рост кордонных корреспонденций.

3. Проектируемые изменения в улично-дорожной сети, территориальном развитии, системе ТОП.

4. Прогноз изменения в оценке стоимости времени. Данный прогноз может быть выполнен на основе прогноза изменения таких показателей, как ВРП и располагаемые денежные доходы населения.

Перечисленные данные должны формироваться на основе анализа прогнозов и программ развития транспортного комплекса исследуемой территории, анализа градостроительных планов и стратегий развития территорий, входящих в зону тяготения исследуемого объекта, а также других документов, содержащих информацию о прогнозах развития территорий в области тяготения. Рекомендуется выполнять моделирование для разных вариантов прогноза развития социально-экономической ситуации и степени реализации программы развития транспортной инфраструктуры (например, оптимистичного, пессимистического и наиболее вероятного сценариев).

6.4.8 Для оценки качества и эффективности КСОДД, должны использоваться интегральные и локальные показатели. Выбор и расчет показателей следует осуществлять по ОДМ «Методические рекомендации по оценке качества организации дорожного движения».

6.4.9 Расчеты выполнятся на срок не менее 15 лет либо на срок действия документов стратегического планирования, с разбивкой на 5-летние интервалы и интерполяцией результатов на промежуточные годы при необходимости. На ближайшую перспективу (до 5 лет от базового года) допускается принять, что подвижность населения и структура транспортного спроса не меняется.

6.4.10 При использовании полноценной транспортной модели для оценки мероприятий должно производиться итерационное повторение последних трех этапов (шагов) моделирования (распределение по зонам, по видам транспорта и маршрутам движения) до получения устойчивых значений результирующих интенсивностей на участках. Как правило, требуется от 3 до 8 таких итераций.

6.5 Применение микромоделирования при разработке КСОДД

6.5.1 При разработке КСОДД перечень участков для исследования на микроуровне выбирается исходя из следующих факторов:

- уровень загрузки более 0,8;
- роль участка в общей УДС;
- объем движения по участку;
- наличие систем управления движением;
- сомнения в условиях функционирования участка;
- нестандартная конфигурация;
- пожелания заказчика и других заинтересованных сторон.

6.5.2 Микромоделирование выбранных участков в рамках разработки КСОДД не может выполняться упрощенно, нужно следовать полному циклу рекомендаций, представленному в разделе применения моделирования при разработке ПОД.

Приложение А. Базовые понятия и подходы транспортного моделирования

А.1 Классификация методов моделирования транспортных потоков

За все время развития теории транспортных потоков появилось множество способов математического описания процессов поведения как потоков в целом, так и отдельных автомобилей и их взаимодействия между собой и транспортной инфраструктурой. Многие методы получили широкое распространение на практике для моделирования поведения транспортных потоков с целью прогнозирования и оценки их параметров. Существующие методы моделирования используют различный математический аппарат, основываются на различных допущениях, имеют различную степень детализации и, соответственно, обладают различными способностями, недостатками и преимуществами.

Ключевым классификационным признаком является способ описания объекта моделирования. Объектом моделирования является транспортный поток, и с точки зрения способа его описания можно выделить **модели формирования спроса** (travel demand models) и **модели непосредственно транспортных потоков** (traffic flow models). Первый тип моделей дает только количественную характеристику – объем движения или уровень спроса с разделением по различным видам транспорта, а второй описывает взаимосвязи внутренних параметров потока и показателей работы участков УДС. Вторым основным классификационным признаком является тип транспорта и корреспонденций, с этой точки зрения разделение идет на **модели пассажирских** и **грузовых корреспонденций**, а также модели **пешеходных потоков**.

С точки зрения подхода к описанию процесса формирования людских и материальных потоков, модели формирования спроса можно разделить на **агрегированные** и **дезагрегированные**.

Агрегированная модель оценивает объем поездок исходя из обобщенных параметров каждого транспортного района, таких как количество жителей, структура населения, число мест приложения труда, уровень автомобилизации, транспортная подвижность населения, наличие и характеристики грузообразующих объектов и т.д.

Дезагрегированные модели или модели цепочек действий (activity-based models) предполагают, что транспортные потребности жителя определяются его необходимостью принимать участие в некоторой деятельности в различное время и в различных местах. Каждое домохозяйство или даже отдельный житель рассматривается, как единица способная принимать решения. Конкретное транспортное поведение определяется исходя из стремления минимизировать затраты и максимизировать выгоды от различной деятельности. В данном типе моделей применяется математический аппарат методов условной оптимизации и теории дискретного выбора.

Модели непосредственно транспортных потоков – это математические модели, такие как гидродинамические, кинетические, клеточные автоматы, следования за лидером и т.д. Сами по себе такие модели не применяются на практике в чистом виде, а используются в качестве математической основы в специальных программных комплексах.

Описание транспортного потока разделяется на:

- агрегированное (макро-), оперирующее общими параметрами (скорость, плотность, интенсивность);
- дезагрегированное (микро-), где учитываются закономерности движения отдельных автомобилей или их небольших групп.

По способу получения информации о транспортном потоке модели делятся на:

- аналитические модели, которые основаны на теоретических и эмпирических зависимостях между параметрами транспортного потока и транспортной инфраструктуры;
- имитационные модели, которые стремятся описать и воспроизвести во времени процессы движения транспортных потоков и их взаимодействия с транспортной инфраструктурой.

Таким образом, с рассмотренных позиций модели транспортных потоков делятся на:

- аналитические макромодели,
- аналитические микромодели,
- имитационные макромодели,
- имитационные микромодели.

Аналитические макромодели представляют собой статическое распределение потоков по сети исходя из зависимостей скорости и плотности потока, полученных на основе фундаментальной диаграммы. Такой тип используется также в классической 4-х шаговой процедуре и присутствует во всех программных пакетах для транспортного планирования (EMME, CUBE, VISUM и др.).

Аналитические микромодели — это более детальное описание зависимостей, основанное на теории транспортных потоков. Такой подход используется, как правило, в программных продуктах, предназначенных для анализа локальных объектов (перекрестков, участков магистралей, развязок, круговых пересечений), к ним относятся, например, SIDRA INTERSECTION, HCS, ARCADY и т.п.

Имитационные макромодели описывают динамику развития ситуации на участке транспортной сети в терминах потоков в целом или «пачек» автомобилей. Такой подход характерен для программных продуктов по оптимизации режимов светофорного регулирования (TRANSYT, SATURN, SYNCHRO и др.).

Имитационные микромодели воспроизводят динамику движения транспортных потоков учитывая поведение и условия движения каждого транспортного средства. Наиболее известные представители программного обеспечения, реализующие этот подход: VISSIM, AIMSUN, PARAMICS и пр.

В литературе все чаще встречается понятие **мезомоделей**, как особого подхода к моделированию транспортных потоков. Однако определение такого подхода весьма расплывчато и нет единого мнения в вопросе, какой именно математический аппарат соответствует этому подходу. Мезоскопические модели рассматривают единичные транспортные средства, но описывают их движение и взаимодействие на основании статистических, агрегированных зависимостей. Мезомодели также могут быть аналитическими и имитационными.

Важным признаком классификации является назначение математических моделей транспортных потоков. Назначение, с точки зрения практического применения и решения конкретных задач, появляется у моделей только в составе специальных программных комплексов. Таким образом, классифицировать по назначению представляется возможным только готовое программное обеспечение для моделирования транспортных потоков. С этой позиции программные продукты делятся на применяемые для:

- предварительного (скетч) планирования, в т.ч. досетевые методы;
- стратегического планирования (прогнозирования);
- тактического планирования и управления (макро и мезо модели);
- планирования работы отдельных видов транспорта (грузовой, ТОП, такси и др.);
- детального анализа движения потоков (микро и мезо моделирование);
- оптимизации параметров координированного светофорного регулирования, в т.ч. в АСУДД;
- расчета геометрических параметров и параметров регулирования на отдельных перекрёстках;
- анализа движения пешеходных потоков;
- оценки уровня безопасности движения.

Стоит отметить, что в последнее время наблюдается тенденция объединения инструментов для решения нескольких задач в едином программном комплексе или взаимосвязанном семействе продуктов одного разработчика. Также появляется много программных модулей стыковки между распространенными продуктами различного назначения для упрощения процесса ввода и обмена данными. Таким образом, отнесение многих программных продуктов к одной из перечисленных категорий по назначению оказывается затруднительным.

Для практических задач наиболее подходящим является разделения на категории по двум классификационным признакам:

- на основе подходов моделирования (макро-, мезо-, микро-);
- по принципу моделирования (аналитический и имитационный).

При этом, мезо подход, ввиду неопределенности его границ, следует рассматривать как вспомогательный и рекомендовать к применению совместно с одним из других подходов или как альтернативу при отдельном обосновании.

В таблице А.1 приведены сводные данные о классификации моделей транспортных потоков.

Таблица А.1 – Результирующая классификация моделей транспортных потоков

Подход моделирования	**Класс точности**	**Функциональность и назначение**	**Производительность**	**Примеры ПО**
Макро аналитический	низкий	Прогноз перераспределения потоков на крупных сетях. Модели стратегического планирования и тактические модели.	очень высокая	EMME, TransCAD, VISUM, AIMSUN (v8), CUBE
Макро имитационный	средний	Прогноз перераспределения потоков с учетом фактора	высокая	TRANSYT, SATURN, SYNCHRO, LinSig

		времени. Приближенная оценка показателей качества работы УДС. Задействование в контуре оптимизации параметров регулирования.		
Микро аналитический	высокий	Анализ показателей работы отдельных перекрестков, небольших участков магистралей.	высокая	SIDRA INTERSECTION, HCS, ARCADY
Микро имитационный	очень высокий	Детальный анализ показателей работы отдельных перекрестков, магистралей, небольших и средних сетей.	низкая	VISSIM, AIMSUN, PARAMICS, CORSIM
Мезо аналитический	средний	Анализ показателей работы отдельных перекрестков, магистралей, небольших, средних и крупных сетей.	очень высокая	н./д
Мезо имитационный	высокий	Анализ показателей работы отдельных перекрестков, магистралей, небольших, средних и крупных сетей.	средняя	AIMSUN, CONTRAM, DYNAMIT-P VISSIM (v8)

Также в задачах проектирования ОДД часто возникает необходимость моделирования пешеходных потоков. Описание динамики поведения пешеходов — это отдельное направление, основанное на принципиально иных закономерностях. В отличие от транспортных потоков у пешеходов нет полос движения, четких правил поведения, меньшие физические габариты, в плотных потоках допускается физический контакт и т.д. Среди моделей пешеходных потоков также встречаются макро и микроуровни, применяются аналитические и имитационные подходы. Наиболее известными являются:

- модель магнетических сил (Magnetic Force Model);
- модель социальных сил (Social Force Model);
- клеточные модели (Benefit Cost Cellular Model) и др.

Среди программных продуктов можно выделить Legion, Myriad II, Mass Motion, блок пешеходного моделирования VISWALK в составе VISSIM и др.

Наиболее подходящей и наиболее адекватно и точно описывающей поведение пешеходов моделью в настоящее время является модель социальных сил. Рекомендуется использовать программные продукты на основе данного типа моделей в практике разработки проектов ОДД.

В современных условиях актуальным является также вопрос моделирования велосипедных потоков, особенно в условиях смешанного движения с автомобилями и пешеходами. Анализ современных публикаций показал, что для моделирования велосипедных потоков многими авторами предпринимались попытки адаптировать как модели, используемые для моделирования движения автомобилей (следования за лидером, клеточные автоматы), так и модели движения пешеходов (модели

социальных сил). Ни один из подходов не дал удовлетворительных результатов по воспроизведению реального поведения велосипедистов. В литературе отмечается необходимость продолжения исследований в этом направлении и включения функционала моделирования велосипедных потоков в программные пакеты моделирования дорожного движения. Некоторые из современных программных продуктов позволяют моделировать велосипедное движение на основе тех же моделей, что и для автомобильных потоков, однако, как уже было отмечено, достоверность результатов такого моделирования не может быть гарантирована.

А.2 Основные принципы функционирования микромоделей транспортных потоков

К микромоделям транспортных потоков относятся модели, описывающие транспортный поток на уровне отдельных автомобилей или их небольших групп. Аналитическая микромодель представляет собой одну или несколько математических зависимостей, полученных в результате анализа эмпирических данных на основе различных подходов теории транспортных потоков или на основе теории систем массового обслуживания. Такая модель жестко связывает входные параметры с результатами расчета.

При имитационном моделировании динамические процессы системы-оригинала подменяются процессами, имитируемыми алгоритмом модели, с соблюдением тех же соотношений длительностей, логических и временных последовательностей, как и в реальной системе. Имитационное моделирование на микроуровне позволяет максимально точно оценить результирующие показатели качества работы сети, такие как уровень задержек, средняя скорость, число остановок, уровень загрузки и т.д.

На рисунке А.1 изображена обобщенная диаграмма процесса имитационного моделирования, который состоит из следующих этапов.

1. Формулирование проблемы и планирование операций: распознавание природы задачи определение требований к отысканию ее решения.

2. Сбор данных и формирование модели: получение эмпирических свидетельств характеристиках поведения системы, выдвижение гипотез и преобразование их терминах соответствующего формального представления.

3. Контроль адекватности модели, т.е. проверка того, что ответы на вопросы типа «А что, если...», адресуемые модели, могут быть признаны верными.

4. Трансляция модели в форму компьютерной программы.

5. Проверка функционирования компьютерной программной модели.

6. Выработка проектных решений по преобразованию вопросов «А что, если...» в формат вычислительных экспериментов. Определение процедур выборки данных для целей статистического анализа и получения надлежащих ответов на вопросы.

7. Проведение имитационных компьютерных экспериментов и анализ результатов.

Основой имитационной микромодели дорожного движения является набор субмоделей описывающих определенные аспекты поведения водителей. К ним относятся: модель следования за лидером, модель смены полос, модель выбора

безопасного промежутка в потоке, модель выбора скорости, модель слияния с потоком, модель обгонов.



Рисунок А1 – Обобщённая диаграмма процесса имитационного моделирования

Структуру имитационной микромодели можно представить через взаимодействие элементов системы ВАДС (водитель-автомобиль-дорога-среда).

Водитель. Данный элемент системы содержит вышеописанные модели поведения при движении в потоке (следования за лидером, смены полосы, выбора разрыва в потоке и т.д.), также учитывается присущее водителю время реакции, желаемая скорость движения, степень соблюдения ограничения скоростного режима и другие поведенческие характеристики.

Автомобиль. Элемент автомобиль описывается в основном физическими габаритами (длина и ширина), тягово-скоростными характеристиками, принадлежностью к какому-либо классу, пассажировместимостью и т.д.

Дорога. В рамках данного элемента системы описываются все параметры инфраструктуры, организации и управления движением. Сюда входят геометрические параметры УДС (число и ширина полос, радиусы поворотов, уклоны и т.д.), параметры ОДД (направления по полосам, запрет маневров, ограничение скорости, выделенные полосы и т.д.), параметры управления (режимы светофорного регулирования, параметры работы АСУДД и ИТС).

Среда. В понятие среды в имитационном моделировании входит воздействие на транспортные потоки погодных условий в части ограничения видимости и снижения сцепных качеств покрытия. Эти факторы приводят к снижению скорости движения и увеличению дистанции между автомобилями.

Таким образом, программные комплексы микромоделирования имитируют движение транспортных потоков на уровне взаимодействия элементов системы ВАДС. Это позволяет максимально точно оценить результирующие показатели качества работы участков дорожной сети.

В современных программных комплексах для микромоделирования транспортных потоков в стандартной комплектации, как правило, имеется возможность выбора нескольких разновидностей моделей, а также возможность загрузки пользователем любой другой модели.

В процессе имитации функционирования исследуемой системы, как при эксперименте с самим оригиналом, фиксируются определенные события и состояния, по которым вычисляются затем необходимые характеристики качества функционирования изучаемой системы (уровень задержек, средняя скорость, число остановок, уровень загрузки и т.д.). Каждый эксперимент с моделью имеет в основе некоторое случайное число, определяющее дальнейшее развитие событий в модели. Статистически достоверные результаты могут быть получены только путем усреднения результатов по нескольким репликациям (прогонам) модели. Число прогонов определяется в соответствии с положениями теории планирования эксперимента.

Используемые в программных комплексах микромоделирования субмодели имеют ряд параметров, которые могут быть изменены для более точного воспроизведения местных особенностей движения потоков в процессе калибровки модели. Число таких параметров в программных комплексах достигает нескольких десятков, и каждый из них оказывает определенное влияние на результат моделирования. Выбор того или иного значения каждого параметра требует наличия глубокого понимания теоретический и математической базы используемого программного продукта. В этой связи метод имитационного микромоделирования, а в особенности этап калибровки модели, предъявляют наивысшие требования к уровню квалификации специалистов.

А.3 Основные принципы функционирования моделей транспортного спроса и макромоделей транспортных потоков

Сферой использования макромоделей, в основном, является стратегическое и тактическое планирование развития транспортной системы и оценка масштабных проектов по ОДД, оказывающих влияние на движение транспортных потоков на значительной территории. Ключевая задача моделирования на таком уровне – расчет изменений спроса по видам транспорта, по времени совершения поездки и по маршрутам движения. Для первоначальной оценки спроса используются модели формирования транспортного спроса. На основе функционального анализа территории, социально-экономических данных и поведенческих характеристик населения такие модели позволяют оценить параметры транспортного спроса и представить его в виде матриц корреспонденций с разбивкой по целям поездок,

категории пользователей и времени совершения поездок. Процесс расчета транспортного спроса и результирующих потоков по сети исторически сложился в последовательность действий, получившую название «классическая четырехшаговая процедура (модель)» (рисунок. А.2). Основой построения модели является деление территории моделирования на транспортные районы, гомогенные с точки зрения функциональной роли и транспортной доступности. Второй, не менее важной составляющей, является модель транспортного предложения – набор графов имеющихся транспортных и маршрутных сетей со всеми присущими им атрибутами (длина, пропускная способность, разрешенная скорость, наличие регулирования, остановочных пунктов, парковки и т.д.).

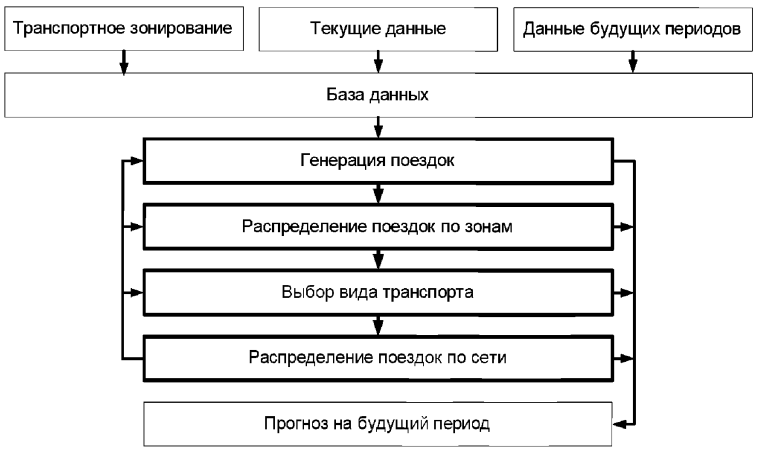

Рисунок А.2 – Структура классической четырехшаговой транспортной модели

Модель транспортного предложения даёт представление о возможностях существующей транспортной инфраструктуры исследуемой территории с требуемой степенью точности. При этом требования к степени детализации данных о транспортном предложении определяются собственно объектом моделирования и конкретным кругом задач, для решения которых строится транспортная модель.

На выходе модель транспортного предложения формирует первичные матрицы затрат – таблицы, содержащие обобщенные оценки временных, денежных затрат и прочих затрат на перемещение между каждой парой транспортных районов в свободных условиях.

На этапе генерации поездок (Шаг 1) производится оценка суммарных объемов прибытия и отправления в каждом транспортном районе. Оценка объемов прибытия и отправления производится отдельно по каждой цели (слою) передвижений на основе следующих данных:

- данные о пространственном размещении населения и других объектов создания и притяжения передвижений, относящихся к определенной цели;

- данные о подвижности населения, то есть среднее количество поездок с данной целью, совершаемых в течение суток.

Для оценки объемов прибытия и отправления могут использоваться различные методы, такие как:

- регрессионные модели;
- перекрестная классификация;
- модели дискретного выбора.

На выходе первого шага получаются заготовки матриц корреспонденций, у которых правый столбец и нижняя строка заполнены значениями суммарного числа отправлений и прибытия по каждому району.

На этапе распределения поездок по зонам (Шаг 2) происходит расчет значений во всех остальных ячейках матрицы корреспонденций, т.е. числа поездок между каждой парой районов отправления/прибытия. С математической точки зрения задача распределения общего числа генерируемых в каждом районе поездок по остальным районам с соблюдением баланса суммарных значений отправления и прибытия имеет бесконечное число решений. Для получения результатов, которые отражают реальную ситуацию необходимо учитывать данные обследований транспортного поведения и фактических потоков, а также использовать специальные методы расчета. Наиболее адекватные результаты расчета межрайонных корреспонденций дает так называемая гравитационная модель: корреспонденция из одного района в другой будет тем больше, чем больше емкости районов прибытия и отправления, и чем ближе друг к другу расположены эти районы. При этом близость или дальность районов понимается не в географическом, а в транспортном смысле, в виде некоторой комплексной оценки быстроты и удобства передвижения по транспортной сети. Значения дальности или стоимости сообщения между каждой парой районов отправления/прибытия берутся из матрицы затрат, полученной в результате анализа модели транспортного предложения.

Еще одним распространенным методом расчета межрайонных корреспонденций является энтропийная модель, которая представляется в форме нелинейной оптимизационной задачи математического программирования. Качество результатов расчета с помощью энтропийной модели напрямую зависит от точности и полноты задания априорных условий по предпочтениям пользователей в перемещениях.

Этап расчета матриц корреспонденций является наиболее важным с точки зрения достоверности конечных результатов моделирования. Несмотря на то, что современные программные комплексы, как правило, имеют удобные встроенные средства расчета матриц корреспонденций, для их правильного использования необходимо иметь понимание теоретических положений, которые изложены в специальной литературе.

Таким образом, на выходе шага 2 должны быть получены матрицы корреспонденций для каждого слоя передвижений с разбивкой по времени суток при необходимости.

На этапе разделения поездок по видам транспорта (Шаг 3) происходит оценка того, какие виды транспорта (способы поездки) будут использоваться для реализации полученных на предыдущем шаге межрайонных корреспонденций. На

выбор способа совершения поездки влияют как объективные параметры самой поездки, так и субъективные ощущения конкретного пользователя. Факторы, влияющие на выбор пользователем способа поездки, делятся на 3 группы:

- характеристики данного вида транспорта (в первую очередь скорость сообщения, надежность выполнения графика движения, дальность пешеходных подходов, продолжительность ожидания, связанного с необходимостью пересадки, стоимость поездки, а также уровень комфорта, безопасность, возможность телефонных разговоров во время поездки, доступ к Internet и т.п.);
- социально-экономический статус пользователя (наличие личного автомобиля, уровень дохода, состав семьи, деловые или социальные задачи, требующие автомобиля до, после или в рабочее время и т.п.);
- характеристики поездки (цель поездки, время ее выполнения, наличие стоянки и ее стоимость в пункте назначения, наличие попутчиков и их количество и т.п.).

Распределение межрайонных корреспонденций по доступным видам транспорта осуществляется на основе эмпирически полученных зависимостей или с помощью моделей, основанных на вероятностном дискретном выборе. В качестве критерия выбора используется максимизация полезности для пользователя или минимизация его затрат.

На выходе шага 3 получаются матрицы межрайонных корреспонденций для каждого способа передвижения.

На этапе распределения поездок по маршрутам (Шаг 4) оценивается нагрузка на транспортную сеть. Корреспонденции, которые по расчетам будут реализованы на индивидуальном автомобильном транспорте распределяются по возможным маршрутам следования. Наиболее распространенный в мировой практике подход к моделированию распределения потоков в транспортной сети основан на концепции «равновесного распределения потоков», сформулированной в 1952 г. профессором Уордропом. Равновесное распределение – это распределение автомобильных потоков по различным альтернативным путям в сети, возникающее в результате стремления всех участников движения уменьшить обобщенную цену своей поездки в сети с ограниченной пропускной способностью. В результате выбора всеми участниками движения (на основании предшествующего опыта) оптимальных путей, возникает распределение, в котором уже ни один участник не может так изменить свой путь, чтобы уменьшить его обобщенную цену (время движения). Время поездки по каждому маршруту определяется на основе макромодели транспортного потока, реализованной в виде функции отражающей зависимость времени проезда по участку от нагрузки на этот участок (CR или VDF функции).

Аналогично проводятся расчеты объемов и маршрутов движения грузовых корреспонденций. Маршрутные транспортные средства не участвуют в распределении и принимаются как фоновые потоки.

В результате расчета распределения поездок по маршрутам появляются новые значения времени проезда между транспортными районами, что может существенно повлиять на распределение поездок по районам. Для учета возможных изменений необходимо провести несколько итераций расчета начиная со второго шага описанной процедуры.

Приведенная последовательность расчета является наиболее общим случаем решения задачи определения транспортного спроса и нагрузки на УДС. Конкретные программные продукты могут иметь свои дополнения и особенности проведения таких расчетов. Дополнительную информацию и более подробное описание можно найти в специальной литературе.

А.4 Основные принципы оптимизации параметров светофорного регулирования

В процессе развития технологий расчета параметров светофорного регулирования сформировалось два основных подхода: расчетный и оптимизационный.

Расчетный метод основывается на эмпирических формулах, позволяющих оценить параметры регулирования, при которых будут обеспечены наилучшие условия движения. Такие формулы были выведены по результатам различных исследований. Наибольшее распространение получили модели, учитывающие как детерминированные, так и вероятностные свойства транспортного потока. Наиболее известной является формула Вебстера, она широко используется на практике по всему миру, но имеет свои ограничения. Одна из формул расчета задержки, наиболее точно учитывающих условия движения на регулируемом перекрестке, была представлена в американском руководстве по пропускной способности дорог (HCM 1994 — Highway Capacity Manual). Сравнительное тестирование аналитических моделей HCM 2000, CCG 1995 и формулы Вебстера, показало, что в условиях малонасыщенного потока оценки задержек имеют приблизительно одинаковые результаты. Вместе с тем, оценки задержек по методике HCM 1994 занижены, особенно это проявляется при уровне насыщения подхода v/c > 1. Формула Вебстера при уровне загрузки v/c > 1 теряет смысл, работоспособными остаются модели HCM 2010, HCM 1994 и CCG 1995.

При выводе формул для определения показателей уровня обслуживания на перекрестке допускались гипотезы, упрощающие аналитические выводы, но ослабляющие практическую применимость моделей. Таким образом, используемые в настоящее время аналитические алгоритмы и модели не всегда выдают адекватную оценку задержек транспортных средств на регулируемых перекрестках. В условиях транспортных потоков высокой плотности расчеты по различным формулам приводят к совершенно различным результатам. Кроме того, аналитические формулы применимы только для отдельных перекрестков и не позволяют рассчитать параметры координированного управления.

Второй подход заключается в поиске наилучших параметров регулирования при помощи алгоритмов оптимизации, при этом оценка параметров производится с использованием некоторой модели. Результаты, полученные оптимизационным методом, во многом зависят от качества модели, используемой в контуре оптимизации.

В качестве критерия оптимизации может выступать минимизация суммарной задержки транспортных средств, выравнивание загрузок транспортных направлений, минимизация задержек всех участников движения, минимизация объема эмиссии выхлопных газов и др.

Наиболее распространенным методом оптимизационного расчета параметров светофорного регулирования является алгоритм TRANSYT (TRAffic Network StudY Tool), разработанный TRL (Великобритания) в начале 70-х годов и продолжающий совершенствоваться до настоящего времени. В рамках метода реализуется итерационный процесс взаимодействия двух основных структурных блоков: имитационной модели и оптимизатора. Имитационная модель позволяет на основании сведений о текущих значениях параметров регулирования, информации о транспортных потоках и временах проезда между стоп-линиями рассчитать значение критерия оптимальности. Оптимизатор изменяет значения параметров регулирования, анализируя полученное значение критерия оптимальности и реализуя заданную пользователем стратегию. Стратегия поиска наилучших параметров регулирования в TRANSYT представляет собой сочетание метода случайного поиска с градиентным спуском, а также использует генетический алгоритм в одной из последних версий.

Таким образом, в процессе разработки проектов АСУДД в городских условиях, где основным средством воздействия на транспортный поток являются светофорные объекты, моделирование может использоваться при расчете параметров регулирования в рамках метода TRANSYT и ему подобных. Для детальной оценки результатов расчета следует использовать имитационное микромоделирование. Для оценки работы магистральных АСУДД наилучшим инструментом также является микромоделирование.

Приложение Б. Примеры определения классов моделей для применения в рамках ПОД

Пример 1:

- *Схема ОДД для сети автомобильных дорог, расположенных вне населенных пунктов на период эксплуатации объекта для всех участников дорожного движения:*

Данный объект является:

- По масштабу и форме – площадным;
- По времени действия – на период эксплуатации;
- По функциональному назначению – объект улично-дорожной сети;
- По типу территории – дороги вне населенных пунктов;
- По наличию систем управления движением – без систем управления движением;
- По составу участников движения – все участники движения (т.к. не указано иное).

На основании выполненного анализа можно построить матрицу требований к точности модели для данного объекта:

№	Масштаб и форма	Время действия	Функциональное назначение	Тип территории	Системы управления движением	Состав участников движения
	1	2	3	4	5	6
1	Площадные	На период эксплуатации объекта	Объекты улично-дорожной сети	Дороги вне населенных пунктов	Без систем управления	Все участники движения

В результате построения матрицы точности:

- Наименьший требуемый класс точности – Низкий;
- Наибольший требуемый класс точности – Высокий.

Таким образом, для данного объекта в рамках ПОД целесообразно использовать:

- Для подготовки исходных данных – модели низкого класса точности (Аналитические макромодели);
- Для вариантного проектирования и оценки эффективности проектных решений – модели высокого класса точности (аналитические микромодели, имитационные мезо или микромодели).

После выполнения данного анализа требуется выполнить оценку требований к объему и составу данных в рамках ПОД и при необходимости повысить классы точности моделей в случае невозможности получения необходимого объема и состава данных из моделей минимально необходимого класса точности.

Пример 2:

- *Проект ОДД в составе проекта реконструкции автомобильной дороги (на 20-летнюю перспективу), расположенной вне населенных пунктов с обязательным обустройством пересечений проезжих частей с пешеходным движением в разных уровнях.*

Данный объект является:

- По масштабу и форме – линейным;

- По времени действия – на долгосрочную перспективу;
- По функциональному назначению – объект улично-дорожной сети;
- По типу территории – дороги вне населенных пунктов;
- По наличию систем управления движением – без систем управления движением;
- По составу участников движения – выборочный перечень участников движения.

На основании выполненного анализа можно построить матрицу требований к точности модели для данного объекта:

№	Масштаб и форма	Время действия	Функциональное назначение	Тип территории	Системы управления движением	Состав участников движения
	1	2	3	4	5	6
2	Линейные	На долгосрочную перспективу	Объекты улично-дорожной сети	Дороги вне населенных пунктов	Без систем управления	Выборочный перечень участников

В результате построения матрицы точности:

- Наименьший требуемый класс точности – Низкий;
- Наибольший требуемый класс точности – Средний.

Таким образом, для данного объекта в рамках ПОД целесообразно использовать:

- Для подготовки исходных данных – модели низкого класса точности (Аналитические макромодели);
- Для вариантного проектирования и оценки эффективности проектных решений – модели среднего класса точности (аналитические и имитационные мезомодели).

После выполнения данного анализа требуется выполнить оценку требований к объему и составу данных в рамках ПОД и при необходимости повысить классы точности моделей в случае невозможности получения необходимого объема и состава данных из моделей минимально необходимого класса точности.

Пример 3:

- *Проект ОДД в составе проекта реконструкции магистральной улицы регулируемого движения на период производства работ*

Данный объект является:

- По масштабу и форме – линейным;
- По времени действия – на краткосрочный период;
- По функциональному назначению – объект улично-дорожной сети;
- По типу территории – УДС населенных пунктов;
- По наличию систем управления движением – с наличием систем управления движением;
- По составу участников движения – все участники движения.

На основании выполненного анализа можно построить матрицу требований к точности модели для данного объекта:

№	Масштаб и форма	Время действия	Функциональное назначение	Тип территории	Системы управления движением	Состав участников движения
	1	2	3	4	5	6
2	Линейные	На краткосрочный период	Объекты улично-дорожной сети	УДС населенных пунктов	С наличием систем управления	Все участники движения

В результате построения матрицы точности:

- Наименьший требуемый класс точности – Средний;
- Наибольший требуемый класс точности – Высокий.

Таким образом, для данного объекта в рамках ПОД целесообразно использовать:

- Для подготовки исходных данных – модели низкого класса точности (аналитические и имитационные мезомодели);
- Для вариантного проектирования и оценки эффективности проектных решений – модели среднего класса точности (аналитические микромодели, имитационные мезо или микромодели).

После выполнения данного анализа требуется выполнить оценку требований к объему и составу данных в рамках ПОД и при необходимости повысить классы точности моделей в случае невозможности получения необходимого объема и состава данных из моделей минимально необходимого класса точности.

Библиография

[1] Правила подготовки проектов и схем организации дорожного движения. Утверждены приказом Минтранса России от 17.03.2015 № 43.

[2] Проект ОДМ «Методические рекомендации по оценке качества организации дорожного движения (ОДД)».

[3] Кременец Ю.А., Печерский М.П., Афанасьев М.Б. Технические средства организации дорожного движения: Учебник для вузов. - М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. - 279 с.

[4] ОДМ 218.6.003-2011 Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах.

[5] ОДМ 218.6.011-2013 «Методика оценки влияния дорожных условий на аварийность на автомобильных дорогах федерального значения для планирования мероприятий по повышению безопасности дорожного движения».

[6] Транспортное моделирование: Учеб. пособие для студ. направления подготовки 190700: Технологии транспортных процессов / А.Э.Горев, К.Бёттгер, А.В.Прохоров, Р.Р.Гизатуллин – СПб.: СПб. гос. архит.-строит. ун-т, 2014, 182 с.

gost.e-ecolog.ru