

Транспортное планирование



М.Р. Якимов, А.А. Арепьева

**ТРАНСПОРТНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ:
ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ В КРУПНЫХ
РОССИЙСКИХ ГОРОДАХ**



Москва • Логос • 2016

УДК 656.02
ББК 39.11
Я45

Рецензенты:

О.В. Евсеев, доктор технических наук, директор Федерального бюджетного учреждения «Научный центр по комплексным транспортным проблемам Министерства транспорта Российской Федерации»

К.Ю. Трофименко, кандидат технических наук, директор Центра исследований транспортных проблем мегаполисов НИУ «Высшая школа экономики»

Якимов М.Р.

Я45

Транспортное планирование. Особенности моделирования транспортных потоков в крупных российских городах: монография / М.Р. Якимов, А.А. Арпьева. — М: Логос, 2016. — 280 с.

ISBN 978-5-98704-709-5

Рассмотрены основные особенности движения автотранспортных средств в крупных городах на примере г. Перми. Подробно изложены алгоритмы расчета, подходы и методы учета технических характеристик автомобилей и транспортного потока в процессе имитационного моделирования. Приводятся способы наблюдения и учета психофизиологических параметров поведения водителей при движении в городском транспортном потоке. Даны практические рекомендации по применению результатов расчетов, подходов и методов наблюдения в процессе имитационного моделирования.

Для специалистов в области организации дорожного движения, транспортного моделирования, студентов, аспирантов и преподавателей транспортных вузов и специальностей. Представляет интерес для руководителей и специалистов исполнительных органов власти крупных городов и других населенных пунктов, участвующих в решении вопросов транспортного планирования и дорожного строительства.

УДК 656.02
ББК 39.11

ISBN 978-5-98704-709-5

© Якимов М.Р., 2016
© Логос, 2016

Оглавление

Предисловие	9
Введение.....	11
Глава 1. Формирование динамических характеристик транспортных потоков крупных городов на примере г. Перми.....	14
1.1. Базовая структура транспортного потока на улично-дорожной сети г. Перми.....	14
1.1.1. Общие сведения.....	14
1.1.2. Классификация транспортного потока г. Перми по назначению.....	16
1.1.3. Определение базовых автомобилей.....	21
1.1.4. Классификация транспортного потока г. Перми по массе ТС	22
1.1.5. Классификация транспортного потока по показателям мощности	24
1.2. Технические характеристики транспортных средств	26
1.2.1. Технические характеристики легковых транспортных средств	29
1.2.2. Технические характеристики грузовых транспортных средств	42
1.2.3. Технические характеристики транспортных средств общего пользования.....	53
1.2.4. Технические характеристики автопоезда.....	65
1.2.5. Влияние изменения технических характеристик на результаты моделирования.....	70
Глава 2. Формирование состава транспортного потока при помощи средств визуализации PTV Vision® VISSIM	75
2.1. Формирование состава транспортного потока на основе 3D-моделей базовых автомобилей.....	75
2.1.1. Общие сведения.....	75
2.1.2. Легковые транспортные средства.....	80

2.1.3. Грузовые транспортные средства	81
2.1.4. Транспортные средства общего пользования	83
2.2. Задание состава транспортного потока.....	85
Глава 3. Формирование психофизиологической модели поведения	
водителя	87
3.1. Общие сведения	87
3.2. Установление параметров модели движения, отвечающих за поддержание дистанции безопасности.....	92
3.2.1. Рассчитанные значения дистанции безопасности.....	92
3.2.2. Наблюдаемые значения дистанции безопасности.....	96
3.2.3. Стандартные значения параметров модели, влияющие на значение дистанции безопасности в PTV Vision® VISSIM	100
3.2.4. Сравнительный анализ различных подходов при моделировании параметров дистанции безопасности.....	106
3.2.5. Рекомендуемые значения параметров модели, влияющих на значение дистанции безопасности	108
3.2.6. Установление актуальных параметров дистанции безопасности в программном комплексе PTV Vision® VISSIM	110
3.3. Актуализация параметров модели движения, отвечающих за поведение водителя на регулируемых перекрестках.....	113
3.3.1. Общие сведения.....	113
3.3.2. Реакция водителя на желтый сигнал светофора.....	114
3.3.3. Поведение при красно-желтом сигнале светофора.....	129
3.3.4. Уменьшение дистанции безопасности вблизи от стоп-линии.....	130
3.4. Установление параметров модели движения, отвечающих за маневр смены полосы	131
3.4.1. Базовые определения, относящиеся к смене полосы	136
3.4.2. Параметры, определяющие способ обгона.....	139
3.4.3. Параметры, определяющие процесс необходимой смены полосы (маршрута).....	140
3.4.4. Дополнительные параметры, отвечающие за маневр смены полосы	153
3.4.5. Параметры, отвечающие за кооперативную смену полосы.....	162
Глава 4. Учет параметров окружающей среды и различных условий	
движения.....	166
4.1. Моделирование особенностей дорожного движения в различные сезоны года.....	166
4.1.1. Изменение модели динамики транспортного потока.....	167
4.1.2. Изменение психофизиологической модели водителей.....	195

4.2. Моделирование особенностей движения в разное время суток.....	202
4.2.1 Моделирование расстояния видимости в темное время суток	202
4.2.2. Моделирование временной невнимательности.....	205
Глава 5. Формирование 3d-моделей окружающей среды при помощи сторонних средств визуализации.....	207
5.1. Визуализация строений.....	207
5.2. Визуализация ландшафта.....	208
Глава 6. Работа с файлами модели PTV VISION® VISSIM в текстовом режим	214
Приложения.....	245
Список литературы	276

Предисловие

Книга «Транспортное планирование. Особенности моделирования транспортных потоков в крупных российских городах» стала уже четвертой книгой, написанной одной группой авторов. Книги объединены в одну общую серию – «Транспортное планирование». Серия названа уже устоявшимся термином, сформированным авторами (https://ru.wikipedia.org/wiki/Транспортное_планирование).

Предыдущие книги серии:

1. Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов: монография / Ю.В. Трофименко, М.Р. Якимов. – М.: Логос, 2013. – 464 с.

2. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: монография / М.Р. Якимов. – М.: Логос, 2013. – 188 с.

3. Транспортное планирование: практические рекомендации по созданию транспортных моделей городов в программном комплексе PTV Vision® VISUM: монография / М.Р. Якимов, Ю.А. Попов. – М.: Логос, 2014. – 200 с.,
хронологически выходили в свет в том порядке, в котором, по мнению авторов, следует рассматривать процесс транспортного планирования городов.

Четвертая книга серии, которую вы держите в руках, посвящена инструментам имитационного моделирования транспортных потоков. Именно имитационным моделированием заканчивается обоснование выбора конкретного управленческого решения в длинной цепи постановок и решений задач на пути совершенствования транспортной системы города.

Каждая из четырех книг может иметь своего читателя. В процессе транспортного планирования решается множество связанных между собой задач, но эти решения строятся на основе различных инструментов и подходов. Овладение всеми этими инструментами, подходами и технологиями – задача не

простая даже для подготовленного транспортного инженера, тем не менее авторы надеются, что найдутся и такие читатели, которые прочтут все выпущенные на настоящий момент книги из серии «Транспортное планирование», что поможет им сформировать полную картину всего процесса транспортного планирования.

Введение

В настоящее время во всем мире наблюдается неуклонный рост парка транспортных средств. Это происходит по многим причинам, главная из которых – рост производительности труда в мире и, как следствие, повышение качества жизни людей, высвобождение их из реального производственного сектора экономики. Немаловажными факторами являются также диверсификация экономики и сопутствующее этому увеличение общей подвижности людей [1].

Как известно, количество транспортных средств во всем мире постоянно увеличивается, и в местах компактного проживания людей, особенно в крупных городах, нередко возникают проблемы в организации дорожного движения, порождающие снижение общей эффективности функционирования дорожно-транспортного комплекса. Часто эти проблемы выражаются в виде появления регулярно повторяющихся во времени заторов на отдельных участках улично-дорожной сети (УДС) городов, что вызывает недовольство всех участников дорожного движения, так как люди хотят иметь эффективно работающую транспортную инфраструктуру в любой момент [2].

В связи с этим у органов власти, ответственных за обеспечение транспортного обслуживания населения, время от времени возникает необходимость в изменении схемы организации дорожного движения на том или ином участке улично-дорожной сети или перекрестке, поскольку предыдущая схема организации движения не отвечает возрастающему спросу на транспортное движение через данный участок. Для этих целей во многих крупных городах все чаще используют средства имитационного моделирования движения транспортных потоков.

Имитационное моделирование транспортных потоков позволяет решить ряд необходимых задач для выработки и обоснования принятия решений в области организации дорожного движения:

1. Визуальный анализ эффективности функционирования существующей и проектных схем организации дорожного движения на отдельных участках улично-дорожной сети.

2. Детальное и формализованное рассмотрение результатов моделирования по нескольким параметрам функционирования моделируемого участка улично-дорожной сети (наиболее важными из них, несомненно, являются средняя скорость и среднее время задержки каждого транспортного средства). Результаты моделирования представляются в виде сводных числовых значений (суммы или среднего значения), полученных в результате оценки параметров движения каждого отдельного транспортного средства [3].

Наиболее распространенным программным продуктом, реализующим указанные функции, является продукт немецкой компании PTV AG – PTV Vision® VISSIM. Данный продукт используется специалистами в таких странах, как Австралия, Германия, Бельгия, Китай, Индия, США, Россия, Украина и др.

Для того чтобы облегчить пользователям работу с программой, компанией PTV AG было выпущено Руководство пользователя, которое в последующем было переведено на русский язык компанией «А+С Консалт» в Дрездене и Санкт-Петербурге. В руководстве подробно описываются все этапы работы в программном комплексе PTV Vision® VISSIM начиная от построения фрагмента улично-дорожной сети до описания технических характеристик транспортного средства.

В России одной из старейших компаний, использующих в своей работе этот программный комплекс, является ООО «Агентство дорожной информации РАДАР», г. Пермь. В частности, в программном комплексе PTV Vision® VISSIM специалистами компании выполнено около 150 проектов для таких городов, как Москва, Пермь, Самара, Екатеринбург, Томск, Курган, Улан-Удэ, Соликамск. При работе над проектами организации движения и последующего моделирования движения для достижения наиболее точных, а главное – наиболее приближенных к действительности результатов специалистами были исследованы некоторые особенности движения транспортных средств в городах, где проводилось моделирование.

Было выявлено, что некоторые особенности движения транспортных средств в плотном транспортном потоке не описаны в Руководстве пользователя PTV Vision® VISSIM, так как,

во-первых, не относятся к методическим особенностям создания моделей элементов улично-дорожной сети, а во-вторых, выходят за рамки особенностей работы с интерфейсом указанного программного комплекса. Таким образом, настоящее издание занимает промежуточное положение между источниками, содержащими рекомендации по осуществлению дорожного движения (Правила дорожного движения Российской Федерации, Руководства по эксплуатации транспортных средств), и руководством пользователя конкретного программного продукта, в частности PTV Vision® VISSIM. Кроме того, в книге описаны приемы, значительно повышающие скорость работы с визуализацией окружающей среды, а также создание 3d-модели транспортного потока, ориентированной на визуализацию транспортного потока в отдельном городе.

Читателям предлагается алгоритм формирования и последующего описания отдельных особенностей в движении транспортных средств по улично-дорожной сети крупных городов. Следует отметить, что указанные особенности в движении были выявлены на примере г. Перми, поэтому читателю в ходе повторения действий, описанных в этой книге, предлагается провести аналогичные исследования поведения транспортного потока в своем городе.

Глава 1

Формирование динамических характеристик транспортных потоков крупных городов на примере г. Перми

Целью данной главы является описание формирования модели динамики транспортных потоков на основе базовой структуры транспортного потока г. Перми. Динамические характеристики транспортного потока в последующем будут применяться в программном комплексе PTV Vision® VISSIM для последующего моделирования параметров транспортного движения.

К задачам данной главы относятся:

- 1) определение базовой структуры транспортного потока на улично-дорожной сети г. Перми;
- 2) определение стандартных технических характеристик транспортных средств (ТС), используемых в программном комплексе PTV Vision® VISSIM при моделировании движения легкового, грузового и общественного транспорта;
- 3) определение технических характеристик ТС, формирующих базовую структуру транспортного потока в г. Перми;
- 4) формирование модели динамики транспортных потоков на основе базовой структуры транспортного потока г. Перми в программном комплексе PTV Vision® VISSIM.

1.1. Базовая структура транспортного потока на улично-дорожной сети г. Перми

1.1.1. Общие сведения

В связи с тем, что целью главы является формирование модели динамики транспортных потоков, необходимо прежде всего пояснить, что такое модель динамики транспортного потока.

Модель динамики транспортного потока основывается на параметрах и динамических характеристиках того или иного ТС, составляющего этот поток. Другими словами, *модель динамики транспортного потока* – это совокупность технических характеристик ТС, участвующих в дорожном движении города.

Для формирования актуальной модели динамики транспортного потока проведен анализ его состава на основе информации о парке транспортных средств, зарегистрированных на территории г. Перми.

Российская Федерация в последние 20 лет характеризуется значительным повышением уровня автомобилизации. За этот период он увеличился в расчете на 1000 человек с 44 до 249 транспортных средств, т.е. более чем в 5 раз. Пермский край по этому показателю занимает лишь 70-е место в России, но следует отметить, что парк автотранспортных средств в крае также увеличивается. Динамика роста уровня автомобилизации по Российской Федерации и Пермскому краю представлена на рис. 1.1.

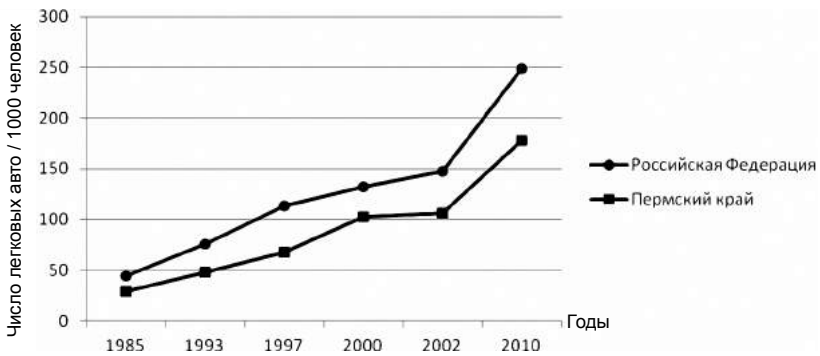


Рис. 1.1. Уровень автомобилизации в г. Перми в 1985–2010 гг.

Дальнейший анализ транспортного потока в Перми проводился по показателям, которые учитываются в модели Видемана, которая является основополагающим компонентом при моделировании движения в программном комплексе PTV Vision® VISSIM. Модель учитывает множество факторов, влияющих на движение ТС, таких как поведение водителя, технические характеристики ТС и др.

Существенную роль в модели Видемана играют такие показатели, как распределение желаемых ускорения, замедления и скорости. Данные показатели задаются в программном комплексе PTV Vision® VISSIM графиками функций. Формирование

графиков распределения будет осуществляться на основе технических характеристик базовых автомобилей – автомобилей определенного назначения, которые наиболее распространены в транспортном потоке. Всего было выделено три базовых автомобиля – по одному для каждого типа ТС.

К техническим характеристикам автомобилей относятся также масса и мощность, которые в программном комплексе PTV Vision® VISSIM задаются графиками распределения по количественному составу в транспортном потоке, т.е. процентным отношением количества автомобилей определенной массы (мощности) к общему количеству автомобилей.

В связи с этим распределения массы и мощности будут формироваться на основании данных обо всем парке ТС, а не на основании технических характеристик одного базового автомобиля. Для формирования указанных графиков весь парк транспортных средств будет разделен по типам, а затем по группам в зависимости от характеристик ТС.

Однако прежде чем рассматривать технические характеристики ТС, необходимо провести классификацию их по назначению (пассажирские ТС, грузовые ТС и др.). Определения классификации ТС по их назначению регламентируются ГОСТ Р 52051–2003 «Механические транспортные средства и прицепы. Классификация и определения».

1.1.2. Классификация транспортного потока г. Перми по назначению

Согласно ГОСТ Р 52051–2003 [4] все транспортные средства по их назначению можно разделить на следующие группы:

1. Механические транспортные средства, имеющие менее четырех колес, и квадрициклы – категория L. К средствам этой категории относятся: двухколесный мопед, трехколесный мопед, мотоцикл с коляской, трицикл, легкий квадрицикл, квадрицикл (категории L1–L7 соответственно). В общем виде технические характеристики этой категории ТС можно описать так:

- рабочий объем двигателя не более 50 см³;
- мощность двигателя в режиме длительной нагрузки не более 4 кВт (для квадрициклов – не более 15 кВт);
- максимальная конструктивная скорость (при любом двигателе) не более 50 км/ч.

2. Механические транспортные средства, имеющие не менее четырех колес и используемые для перевозки пассажиров, – категория М. К данной категории относятся ТС, используемые для перевозки пассажиров и имеющие, помимо места для водителя:

- не более восьми мест для сидения людей (категория М₁);
- более восьми мест для сидения людей, максимальная масса которых не превышает 5 т (категория М₂);
- более восьми мест для сидения людей, максимальная масса которых превышает 5 т (категория М₃).

3. Механические транспортные средства, имеющие не менее четырех колес и предназначенные для перевозки грузов, – категория Н. К данной категории относятся ТС, предназначенные для перевозки грузов и имеющие максимальную массу:

- не более 3,5 т (категория Н₁);
- свыше 3,5 т, но не более 12 т (категория Н₂);
- более 12 т (категория Н₃).

4. Прицепы (включая полуприцепы) – категория О. К данной категории ТС относятся прицепы, максимальная масса которых:

- не более 0,75 т (категория О₁);
- свыше 0,75 т, но не более 3,5 т (категория О₂);
- свыше 3,5 т, но не более 10 т (категория О₄);
- более 10 т (категория О₅).

5. Транспортные средства специального назначения. К ним относятся ТС категорий М, Н и О, которые предназначены для пассажирских и грузовых перевозок, связанных с выполнением специальных функций и требующих наличие специального кузова и (или) специального оборудования.

6. Сельскохозяйственные и лесохозяйственные тракторы (категория Т).

7. Транспортные средства повышенной проходимости (категория G).

Для определения состава парка транспортных средств, зарегистрированных в Перми, проанализирована база данных по регистрации их в 2011 г. В результате анализа было выявлено, что в транспортном потоке Перми отсутствуют транспортные средства категории Т.

По данным ГИБДД за 2011 г. в Перми зарегистрировано 281 514 транспортных средств.

Следует отметить, что при построении модели транспортного потока Перми предложена классификация, которая несколько отличается от классификации, описанной в ГОСТ Р 52051–

2003 [4]. Вся структура транспортного потока представлена тремя наборами транспортных средств, принцип агрегирования которых в группы вызван, с одной стороны, необходимостью придерживаться классификации, принятой в транспортных моделях макро- и микроуровней. С другой стороны, предлагаемая классификация определяется также и методикой сбора информации о структуре и интенсивности транспортного потока на улицах города. Сбор такой информации необходим для проведения калибровки прогнозной транспортной модели города, реализуемой в PTV Vision ® VISUM. Согласно этой методике, при подсчете транспортных средств на УДС города отдельно учитываются транспортные средства легковые, грузовые и общего пользования. Фиксирование более детальной структуры транспортного потока, основанной на классификации, предложенной в ГОСТ Р 52051–2003, не представляется возможным при натурном наблюдении.

Предлагаемая классификация включает в себя следующие типы ТС:

1. Легковые (рис. 1.2), к которым относятся средства, используемые для перевозки пассажиров и имеющие:

- помимо места для водителя, не более восьми мест для сидения людей (категория M_1);
- максимальную массу не более 3,5 т (категория N_1);
- помимо места для водителя, более восьми мест для сидения людей, максимальная масса которых не превышает 5 т (категория M_2).



ВАЗ-2107



ВАЗ-374101



ИЖ-2717



ГАЗ-3221

Рис.1.2. Легковые транспортные средства

2. Грузовые (рис. 1.3), к которым относятся средства, предназначенные для перевозки грузов и имеющие:

- максимальную массу свыше 3,5 т, но не более 12 т (категория N_2);
- максимальную массу более 12 т (категория N_3).

Сюда же относятся ТС специального назначения категорий М и N, предназначенные для пассажирских и грузовых перевозок, связанных с выполнением специальных функций, для чего требуется наличие специального кузова и (или) специального оборудования.



MAZ-54322



MAZ-55111

Рис. 1.3. Грузовые транспортные средства

В составе грузовых автомобилей в последующем будет выделен специальный класс автомобилей, имеющий существенные отличия в вышеуказанных характеристиках (желаемые скорость, замедление и ускорение), который будет определен как «автопоезда». Для данного типа ТС будет определена процентная доля их в составе транспортного потока, а также различные модели автопоездов и типы прицепов для них.

Основное отличие между типами ТС «грузовые» и автопоезда» состоит в способе крепления кузова автомобиля. Так, под грузовыми ТС будут пониматься средства, ориентированные на перевозку одного определенного типа груза, например только для перевозки сыпучих грузов (в этом случае кузов будет типа самосвал) или только для перевозки жидких грузов (кузов – цистерна), или для пакетированных грузов (кузов – фургон). То есть данные автомобили поддерживают только один вид кузова, расположенный на грузовой площадке автомобиля. К автопоездам будут отнесены автомобили, которые можно использовать для перевозки различных типов грузов. К ним также относятся

и тягачи с полуприцепами, к которым можно прикрепить разные грузовые площадки с разными типами кузовов, т.е. в состав которых входит тягач и полуприцеп либо грузовой автомобиль и прицеп.

3. Транспортные средства общего пользования, или общественный транспорт (рис. 1.4) используется для перевозки пассажиров и имеет, помимо места для водителя, более восьми мест для сидения людей, максимальная масса которых превышает 5 т (категория М₃).

Заметим, что в эту группу не входят ТС, используемые для перевозки пассажиров и имеющие, помимо места для водителя, более восьми мест для сидения людей, максимальная масса которых не превышает 5 т. Это связано с тем, что к данным ТС относятся автобусы особо малого класса (ГАЗ-3221, ГАЗ-2217, ГАЗ-2705), которые нельзя определить как маршрутные, так как, согласно Правилам дорожного движения, «маршрутное транспортное средство – транспортное средство общего пользования, предназначенное для перевозки по дорогам людей и движущееся по установленному маршруту с обозначенными местами остановок». В связи с этим автобусы особо малого класса были отнесены к группе легковых ТС.



MERCEDES-BENZ-0405

Рис. 1.4. Транспортное средство общего пользования

4. Мототранспорт, к которому относятся механические транспортные средства, имеющие менее четырех колес, и квадрициклы (категория L). Мототранспорт не будет учитываться при анализе транспортного потока, поскольку мотоциклы не оказывают существенного влияния на дорожную ситуацию, т.е. проезд мототранспорта через любые участки УДС гораздо менее затратен с точки зрения влияния на общее время проезда, чем проезд любого другого вида транспорта.

5. Прицепы, включая полуприцепы (категория О). Отметим, что прицепы не могут двигаться без какого-либо тягача, поэтому данный вид транспорта будет полностью ассоциирован с автопоездами.

По данным ГИБДД за 2011 г., в Перми зарегистрировано 281 514 транспортных средств.

На рис. 1.5 представлена диаграмма соотношения типов ТС, зарегистрированных в Перми.

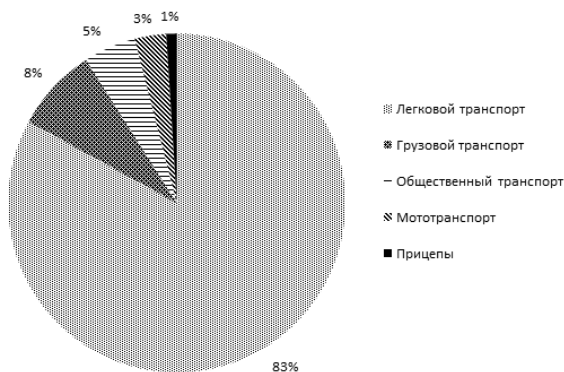


Рис. 1.5. Состав парка транспортных средств в г. Перми

По результатам анализа базы данных зарегистрированного транспорта в г. Перми самым многочисленным типом ТС являются легковые автомобили. Транспортных средств общего пользования в Перми зарегистрировано меньше всего.

1.1.3. Определение базовых автомобилей

Определение базовых автомобилей транспортного потока г. Перми осуществлялось с целью формирования модельного состава потока и технических характеристик ТС, составляющих данный транспортный поток. Для этого был проведен анализ базы данных регистрации транспортных средств на территории г. Перми.

В результате анализа состава парка легковых ТС была выявлена самая распространенная марка автомобиля – ВАЗ-2107 (7659 шт.). Второй по распространенности маркой в Перми является ВАЗ-21093 (5762 шт.). Анализ состава парка грузовых ТС показал, что одной из самых распространенных марок является КАМАЗ-55111. Наиболее распространенным в Перми автотранспортом общего пользования является MERCEDES-BENZ-0405 (136 шт.).

1.1.4. Классификация транспортного потока г. Перми по массе ТС

Легковые транспортные средства. В основе классификации легковых транспортных средств лежит гипотеза о том, что основная их часть имеет максимум пять сидячих мест и разрешенную максимальную массу не более 2 т. Остальные ТС было принято считать группой легковых автомобилей повышенной массы.

Как показал анализ базы данных зарегистрированных ТС, легковых ТС повышенной массы в г. Перми зарегистрировано 2 986, что составляет 1% общего числа легковых средств. Полученная информация будет использована для формирования графика распределения массы легковых ТС (см. разд. 1.2.1).

Грузовые транспортные средства. При проведении анализа массы грузовых ТС, было принято разделить их на пять групп с разрешенной максимальной массой:

- 1) менее 8 т;
- 2) от 8 до 14 т;
- 3) от 14 до 20 т;
- 4) от 20 до 40 т;
- 5) более 40 т.

На основе этих результатов была построена диаграмма с процентным отношением каждой группы к общему числу грузовых ТС (рис. 1.6).

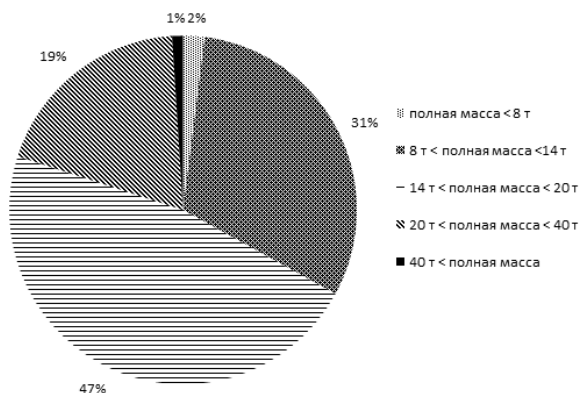


Рис. 1.6. Максимальная разрешенная масса грузовых ТС

Из рисунка видно, что большинство грузовых ТС имеет разрешенную максимальную массу в пределах от 14 до 20 т (47%). Массу менее 8 т имеют лишь 94 ТС (1%).

Данный анализ проводился для редактирования графика распределения массы грузовых ТС в PTV Vision® VISSIM (см. разд. 1.2.2).

Транспортные средства общего пользования. Анализ массы пассажирских транспортных средств проводилось на основании гипотезы линейной связи между их длиной и массой (чем больше длина ТС, тем больше его масса).

В ходе анализа были выявлены четыре группы пассажирских ТС в зависимости от габаритной длины и выделены наиболее распространенные в пределах группы марки автомобилей, а также их масса.

К первой группе относятся пассажирские ТС длиной от 6 до 8 м (30% общего их числа). Самым распространенным среди данной группы ТС является ПАЗ-32050R, разрешенная максимальная масса которого равна 8060 кг.

Ко второй группе относятся пассажирские ТС длиной от 8 до 10,5 м (11% общего их числа). Самым распространенным среди данной группы автомобилей является ПАЗ-4243, разрешенная максимальная масса которого равна 9485 кг.

К третьей группе относятся пассажирские ТС длиной от 10,5 до 16,5 м (44% общего их числа). Одним из самых распространенных среди этой группы автомобилей является MAN-SL-202, разрешенная максимальная масса которого равна 17 600 кг.

Четвертую группу составляют пассажирские ТС длиной от 16,5 м (13% общего числа пассажирских ТС). Одним из самых распространенных среди них является автомобиль MAN-NL-202, разрешенная максимальная масса которого равна 18 000 кг.

Результаты анализа представлены на рис. 1.7.

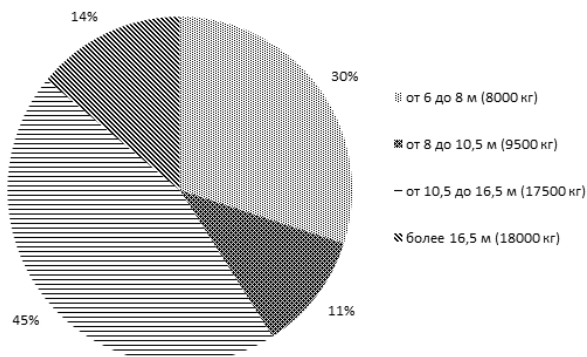


Рис. 1.7. Распределение ТС общего пользования по показателям его длины и массы

Полученные данные будут использованы при редактировании графика распределения состава потока транспортных средств общего пользования в программном комплексе PTV Vision® VISSIM (см. разд. 1.2.3).

1.1.5. Классификация транспортного потока по показателям мощности

Легковые транспортные средства. При формировании классов легковых транспортных средств по мощностным характеристикам была использована гипотеза линейной связи между объемом двигателя внутреннего сгорания и его мощностью. Чем больше объем двигателя, тем больше его мощность.

Все зарегистрированные в Перми транспортные средства в зависимости от объема двигателя были разделены на три группы:

- 1) малой мощности – от 0 до 1,8 л (40–100 кВт);
- 2) средней мощности – от 1,8 до 3,5 л (100–200 кВт);
- 3) высокой мощности – более 3,5 л (200–250 кВт).

Соотношение числа зарегистрированных ТС в зависимости от мощности их двигателя представлено на рис. 1.8.

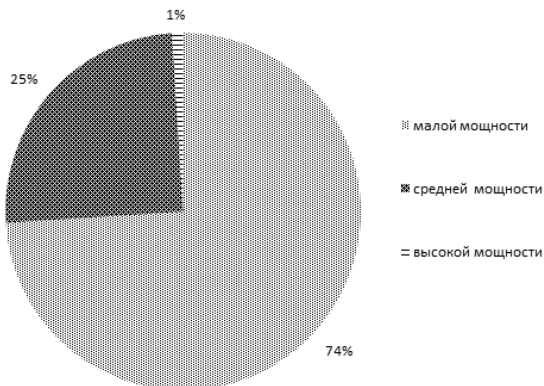


Рис. 1.8. Соотношение легковых ТС в зависимости от мощности двигателя

Анализ проводился с целью дальнейшей актуализации графика распределения мощности транспортного потока в PTV Vision® VISSIM (см. разд. 1.2.1).

Грузовые транспортные средства. Анализ базы данных зарегистрированного грузового транспорта проводился на основе связи между максимальной разрешенной массой автомобиля и его мощ-

ностью (чем больше максимальная разрешенная масса автомобиля, тем больше его мощность). При проведении анализа были выделены группы грузовых ТС, которые соответствуют показателям максимальной массы автомобиля. Всего было выделено пять групп, соответствующих распределениям массы, изображенным на рис. 1.6.

Для каждой группы были выделены наиболее распространенные марки автомобилей. Для первой группы (автомобили с максимальной массой менее 8 т) это автомобили ГАЗ-3307 и ГАЗ-САЗ-3507 с мощностью двигателя 92 кВт.

Для второй группы (автомобили с максимальной массой 8 – 14 т) наиболее распространенными являются автомобили ЗИЛ-130, ЗИЛ 431410 мощностью 110 кВт.

В третьей группе (автомобили с максимальной массой 14 – 20 т) наиболее распространенными являются автомобили КАМАЗ-55111, КАМАЗ-5320 мощностью 176 кВт.

Для четвертой группы (автомобили с максимальной массой 20 – 40 т) наиболее распространенными являются автомобили КАМАЗ-65115, КАМАЗ-652, мощность двигателя которых колеблется от 191 до 242 кВт.

Для пятой группы (автомобили с максимальной массой более 40 т) наиболее распространённым является автомобиль марки RENAUT-PREMIUM-420, мощность двигателя которого составляет 308 кВт.

Информация о мощности транспортных средств будет использована при формировании графика распределения парка грузовых ТС в программном комплексе PTV Vision® VISSIM по мощности (см. разд. 1.2.2).

Транспортные средства общего пользования. Анализ базы данных по показателям мощности автобусов проводился на основании гипотезы линейной связи между массой автобуса и его мощностью (чем больше масса, тем больше мощность двигателя). Вследствие этого все пассажирские ТС были условно разделены на четыре группы, после чего для наиболее распространенных внутри группы ТС была выявлена их мощность. Так, ПАЗ-32050R имеет мощность 91 кВт (первая группа), ПАЗ-4243 – 100 кВт (вторая группа); MAN-SL-202 – 155 кВт (третья группа); MAN-NL-202 – 157 кВт (четвертая группа).

Так, у первой и второй групп ТС показатели мощности примерно одинаковы (разница между ними составляет менее 20 кВт), так же как у третьей и четвертой групп). В связи со схожими показателями эти группы были объединены.

Результаты анализа базы данных транспортных средств, зарегистрированных в Перми, представлены на рис. 1.9.

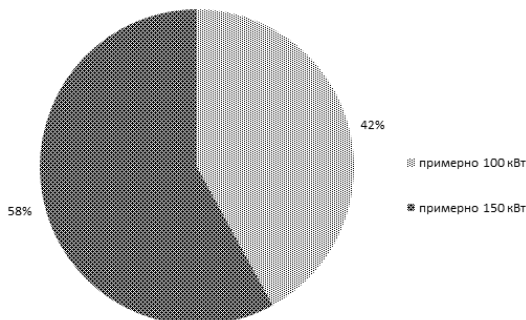


Рис. 1.9. Распределение мощности ТС общего пользования

Данные будут использованы для редактирования графика распределения мощности ТС общего пользования (см. разд. 1.2.3).

1.2. Технические характеристики транспортных средств

В программном комплексе PTV Vision® VISSIM управление техническими характеристиками ТС осуществляется из меню «Базовые данные». Одними из важнейших показателей, влияющих на результаты моделирования, являются функции ускорения и замедления ТС.

Ускорение ТС происходит при начале движения. Замедление ТС, участвующих в моделировании в программном комплексе PTV Vision® VISSIM, происходит в следующих случаях:

- в результате принятия решения об изменении желаемой скорости;
- при приближении к идущему впереди транспортному средству;
- при приближении к остановочному комплексу (для маршрутных ТС);
- в случае перестроения соседнего ТС на полосу движения рассматриваемого ТС. В данной ситуации водитель транспортного средства, перед которым осуществляется маневр перестроения, тормозит не в полной мере, т.е. использует лишь половину максимально возможного замедления

Для прочих ситуаций на дороге используются параметры торможения, предусмотренные моделью Видемана – моделью следования за впереди идущим ТС.

Графики функций ускорения и замедления находятся в пункте меню «Функции» (рис. 1.10).

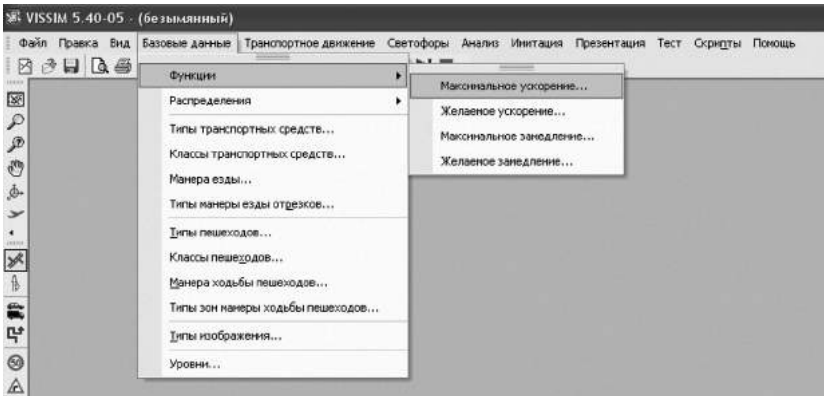


Рис. 1.10. Управление техническими характеристиками ТС в программном комплексе PTV Vision® VISSIM

Из рисунка видно, что для каждого типа ТС в PTV Vision® VISSIM существуют две кривые ускорения и две кривые замедления:

- Максимальное ускорение – технически возможное ускорение. Указывает верхнюю границу возможного ускорения транспортного средства при его моделировании в PTV Vision® VISSIM и применяется там, где для сохранения скорости на подъемах требуются ускорения более высокие, чем указаны в желаемом ускорении.

- Желаемое ускорение – используется во всех остальных ситуациях.

- Максимальное замедление – технически возможное замедление. Является максимально возможным замедлением для ТС.

- Желаемое замедление. Если предел функции желаемого замедления меньше, чем предел функции максимального замедления, то в качестве предела для замедления при моделировании в программном комплексе PTV Vision® VISSIM используют предел функции желаемого замедления. То есть если максимальное замедление ТС равняется 5 м/с, а желаемое – 3 м/с, то максимальное замедлением ТС при моделировании движения в PTV Vision® VISSIM будет равно 3 м/с. В этой ситуации функция максимального замедления при моделировании движения ТС не используется.

В этой главе будут рассмотрены функции только желаемого ускорения, так как максимальное ускорение используется лишь на отрезках, имеющих уклон. Также будут рассмотрены функции только желаемого замедления, поскольку максимальное замедление для всех типов ТС по умолчанию выше, чем желаемое замедление. Вследствие этого максимально возможной функцией замедления при моделировании в программном комплексе PTV Vision® VISSIM будет принята функция желаемого замедления.

К техническим характеристикам относятся также желаемые скорость, масса и мощность.

Особенно важным параметром, влияющим на пропускную способность отрезка и планируемое время в пути, является функция распределения желаемых скоростей. При этом желаемая скорость представляет собой скорость, с которой двигалось бы транспортное средство, если бы ему не препятствовали другие ТС или элементы сети (светосигнальные установки, стоп-знаки и др.)

Распределение желаемой скорости доступно в меню «Базовые данные», в пункте «Распределения». По умолчанию в программном комплексе PTV Vision® VISSIM уже созданы некоторые распределения желаемой скорости. Присвоение распределения какому-либо типу ТС возможно с помощью меню «Транспортное движение». В этом меню нужно выбрать пункт «Состав транспортного потока», а в открывшемся окне – транспортный поток, используемый в моделировании. В открывшемся окне будут представлены соотношение типов ТС и распределения желаемой скорости (рис. 1.11).

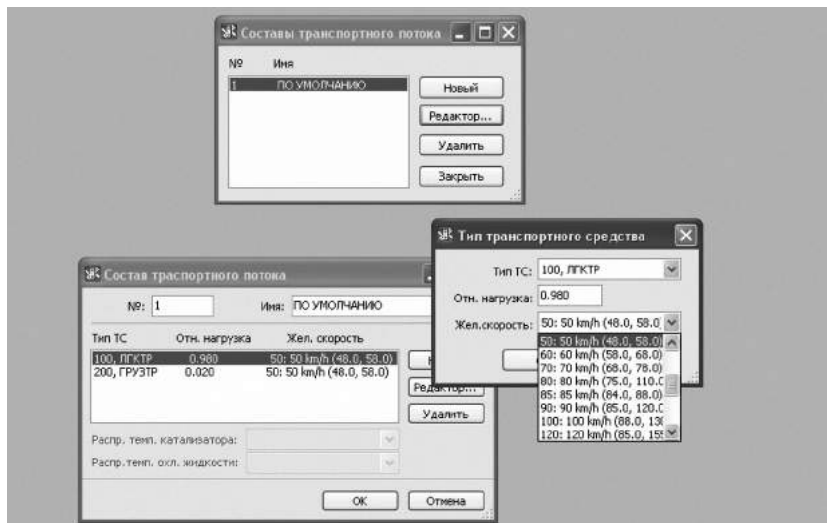


Рис. 1.11. Присвоение желаемой скорости типу ТС в программном комплексе PTV Vision® VISSIM

К техническим характеристикам ТС относятся также их мощность и масса. Данные показатели доступны для редактирования в меню «Базовые данные», пункт «Распределения». Стоит отметить, что распределения массы и мощности изначально присвоены конкретному типу ТС.

1.2.1. Технические характеристики легковых транспортных средств

Желаемое ускорение легкового транспорта. График функции желаемого ускорения легковых ТС, которые определены в программном комплексе PTV Vision® VISSIM как стандартные, представлен на рис. 1.12.

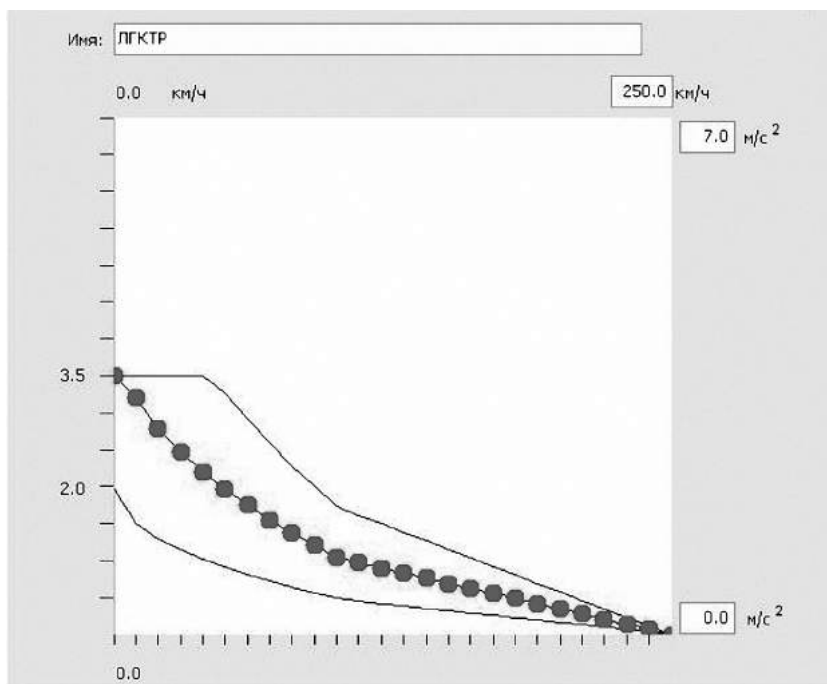


Рис. 1.12. График функции ускорения легковых ТС, предложенный по умолчанию в программном комплексе PTV Vision® VISSIM

Из рисунка видно, что максимальное ускорение у легковых автомобилей ($3,5 \text{ м/с}^2$) происходит при начале движения; по мере того, как скорость возрастает, ускорение постепенно уменьшается

ется. При достижении скорости 250 км/ч ускорение автомобиля равно 0 м/с².

Ускорение при дорожном сопротивлении определим по динамическому фактору:

$$j_a = (D - \psi) \frac{g}{\delta}, \quad (1.1)$$

где D – динамический фактор; ψ – сумма дорожных сопротивлений; g – ускорение свободного падения (9,81); δ – передаточное число [5].

График функции ускорения для автомобиля ВАЗ-2107 был построен в соответствии с результатами тягово-динамического расчета автомобиля [6]. Результаты расчета для I–V передач представлены в табл. 1.1–1.5, где показатель v_a – скорость автомобиля, м/с; j_a – его ускорение, м/с².

По данным табл. 1.1–1.5 был построен график, приведенный на рис. 1.13.

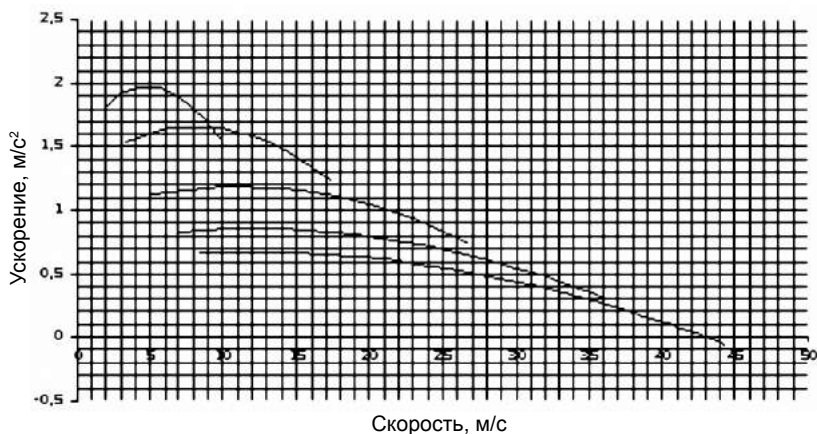


Рис. 1.13. График функции ускорения автомобиля ВАЗ-2107 с разбиением на передачи

Для того чтобы объединить максимально возможные ускорения автомобиля на разных передачах в единую кривую ускорения, были выявлены точки, в которых возможен переход на следующую передачу, и при помощи интерполяции добавлены соответствующие значения (рис. 1.14).

Из рис. 1.14 видно, что ускорение реального легкового автомобиля отличается от ускорения, установленного как стандартное в программном комплексе PTV Vision® VISSIM.

Таблица 1.1

Результаты тягово-динамического расчета для I передачи

v_a , м/с	2,303	3,2285	4,3047	5,3809	6,4571	7,5332	8,6094	9,6856	10,7618	11,9671
j_a , м/с ²	1,8865	1,9558	2,0114	2,04	2,0418	2,0166	1,9644	1,8854	1,7794	1,6288

Таблица 1.2

Результаты тягово-динамического расчета для II передачи

v_a , м/с	4,33	6,071	8,095	10,118	12,142	14,166	16,19	18,2139	20,237	22,504
j_a , м/с ²	1,5267	1,5804	1,6202	1,6354	1,6262	1,5925	1,5343	1,4517	1,3447	1,19563

Таблица 1.3

Результаты тягово-динамического расчета для III передачи

v_a , м/с	6,209	8,705	11,6	14,508	17,41	20,312	23,213	26,115	29,017	32,267
j_a , м/с ²	1,1618	1,1964	1,2155	1,2118	1,18528	1,1359	1,0636	0,9687	0,8508	0,6918

Таблица 1.4

Результаты тягово-динамического расчета для IV передачи

v_a , м/с	8,445	11,83	15,785	19,731	23,67	27,624	31,57	35,517	39,463	43,883
j_a , м/с ²	0,8592	0,8724	0,8653	0,8342	0,779	0,6997	0,5964	0,469	0,3175	0,1193

Таблица 1.5

Результаты тягово-динамического расчета для V передачи

v_a , м/с	10,29	14,43	19,25	24,06	28,875	33,6883	38,5009	43,3135	48,1261	53,5162
j_a , м/с ²	0,6826	0,6779	0,6471	0,5889	0,5035	0,3907	0,2505	0,0831	-0,1115	-0,3621

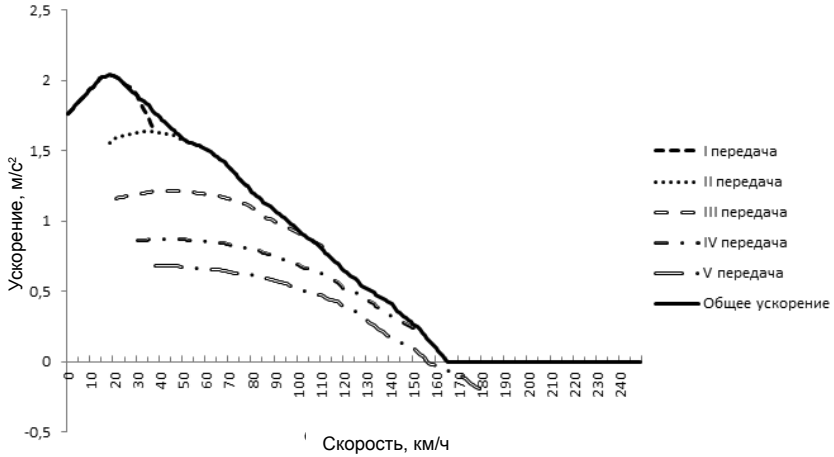


Рис. 1.14. Общий график функции ускорения автомобиля ВАЗ-2107

Так, максимальное ускорение для легкового автомобиля составляет $2,1 \text{ м/с}^2$, в то время как максимальное ускорение в программном комплексе PTV Vision® VISSIM равно $3,5 \text{ м/с}^2$. Еще одним существенным отличием является изменение функции в зависимости от скорости.

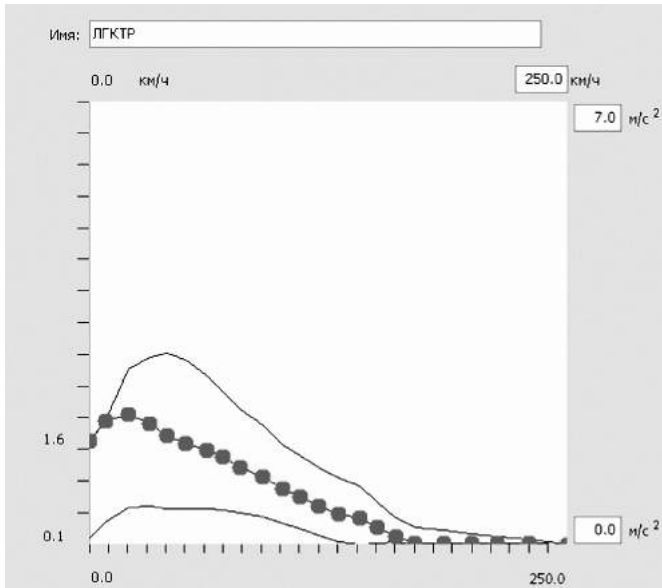


Рис. 1.15. График желаемого ускорения в соответствии с ускорением ВАЗ-2107, сформированный в PTV Vision® VISSIM

Функция ускорения в программном комплексе PTV Vision® VISSIM принимает максимальное значение при начале движения. Ускорение же реального автомобиля максимально, когда скорость его равна 20 км/ч. Ускорение ТС, согласно графика PTV Vision® VISSIM, прекращается на скорости примерно 250 км/ч, а реального – при скорости 165 км/ч.

Для того чтобы моделирование в программном комплексе PTV Vision® VISSIM наиболее точно отображало существующую ситуацию, было принято решение использовать в нем графики ускорения наиболее распространенных ТС.

График функции желаемого ускорения легковых автомобилей, отредактированный в соответствии с ускорением автомобиля ВАЗ-2107, представлен на рис. 1.15. По вертикали в графике представлены значения ускорения, по горизонтали – значения скорости.

Желаемое замедление легкового транспорта. График функции замедления легковых автомобилей представлен на рис. 1.16.

Из рисунка видно, что замедление легковых автомобилей не зависит от скорости и равняется 3 м/с^2 .

Прежде чем переходить к определению актуальности данных значений, необходимо определить, как происходит процесс торможения. Процесс торможения подробно описан в книге [7].

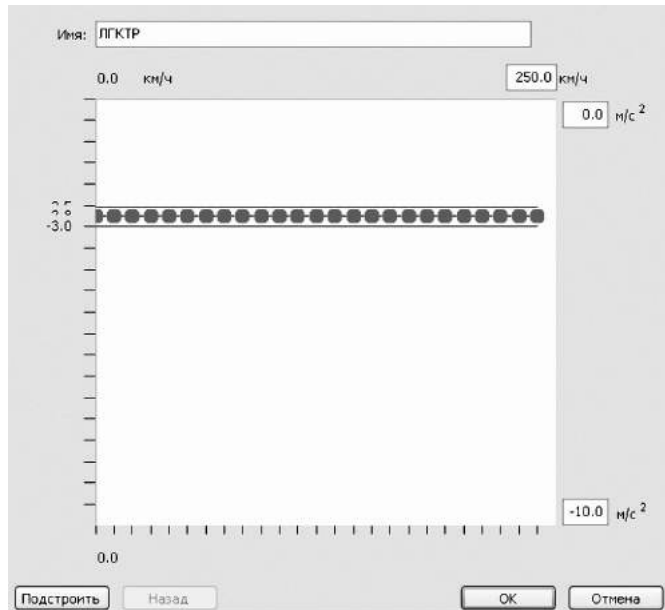


Рис. 1.16. График функции замедления легковых ТС, предложенный по умолчанию в программном комплексе PTV Vision® VISSIM

На основе определений этого описания был построен график, определяющий указанный процесс (рис. 1.17).

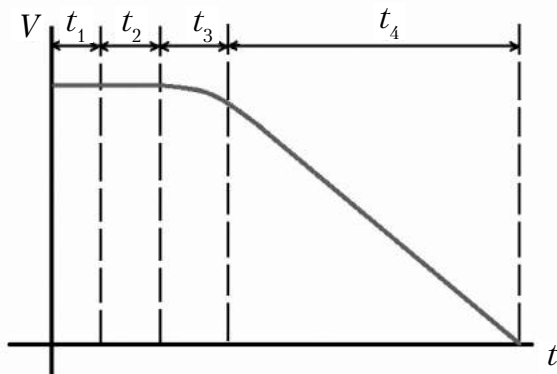


Рис. 1.17. Процесс торможения

На рисунке: t_1 – время реакции водителя (скорость при этом остается неизменной, так как замедление не применяется – водитель только реагирует на опасность). Время реакции водителя – это время от осознания опасности до начала нажатия на педаль тормоза, может варьироваться от 0,2 до 0,3 с (но иногда достигает 1,5 с); t_2 – время запаздывания срабатывания тормозного привода до возникновения замедления (скорость также неизменна – замедление не начало действовать, поскольку тормозная система еще не стала функционировать); t_3 – время нарастания торможения (начало изменения скорости), при этом скорость изменяется нелинейно, поскольку нарастание торможения – функция нелинейная; t_4 – непосредственное торможение (скорость при этом линейно уменьшается до нуля). На этом этапе принято говорить об «установившемся замедлении».

Определить непосредственное торможение можно по формуле:

$$J_{\text{уст}} = \frac{v_{\text{нач}} - v_{\text{кон}}}{0,5t_{\text{нач}} + t_{\text{тор}}}, \quad (1.2)$$

где $v_{\text{нач}}$ – начальная скорость, м/с; $v_{\text{кон}}$ – конечная скорость, м/с; $t_{\text{нач}}$ – время начала замедления, характеризующий время реакции водителя, будет принят равным 0,2; $t_{\text{тор}}$ – время непосредственного торможения, вычисляемое по формуле:

$$t_{\text{top}} = t_{\text{зам}} + (V_{\text{нач}} K_{\text{з}}) / (\phi g), \quad (1.3)$$

где $t_{\text{зам}}$ – время срабатывания тормозной системы (соответствует процессу торможения), изменяющееся в зависимости от типа тормозных систем. Для гидравлических тормозных систем данный показатель равен 0,2; для пневматической – 0,6; для автопоездов с пневмоприводом – 1,0. Для расчета замедления легковых ТС этот показатель был принят равным 0,2; ϕ – коэффициент сцепления колес с дорогой (при сухом асфальте – 0,7; при мокром – 0,4; при снеге – 0,2; обледенелая дорога – 0,1). При вычислении коэффициентов сцепления колес с дорогой использовалась методика, описанная в ГОСТ 30413–96 [8]. Примем коэффициент сцепления равным 0,7; $K_{\text{з}}$ – коэффициент торможения (для легковых автомобилей равен 1,2); g – ускорение свободного падения, равное 9,81.

Результаты расчетов замедления легковых ТС представлены в табл. 1.6.

Таблица 1.6

Результаты расчетов замедления легковых ТС

Скорость, км/ч	Замедление, м/с ²	Скорость, км/ч	Замедление, м/с ²
20	4,371319	120	5,442138
40	4,956473	140	5,480496
60	5,187964	160	5,509621
80	5,312012	180	5,532489
100	5,38933	200	5,55092

По результатам расчетов замедления был построен график замедления легковых ТС (рис. 1.18).

Из рисунка видно, что в отличие от графика замедления в программном комплексе PTV Vision® VISSIM, замедление легковых ТС зависит от скорости. Так, в начале движения замедление равняется 4,3 м/с², а при максимальной скорости – 5,5 м/с². Еще одно различие – величина замедления.

В связи с тем, что были выявлены несоответствия графиков функций замедления, график в программном комплексе PTV Vision® VISSIM был построен по результатам расчета замедления, отображенным на рис. 1.18.

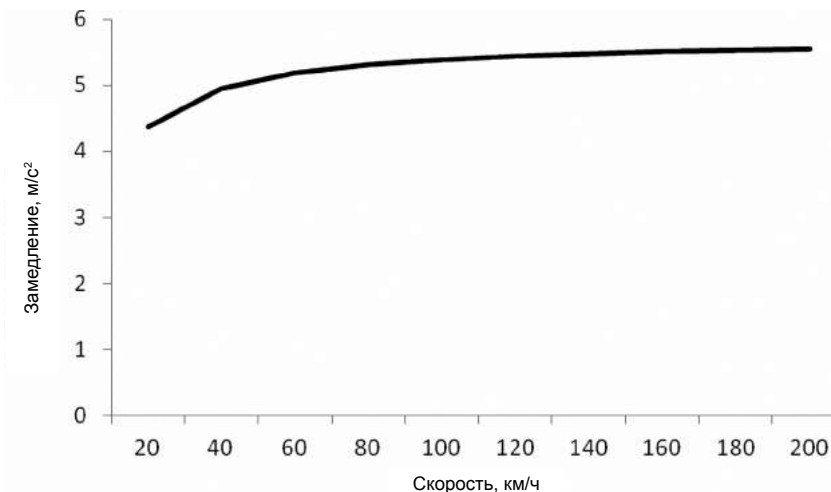


Рис. 1.18. График функции замедления легковых ТС

На рис. 1.19 представлен уже итоговый вид графика функции, отредактированный в соответствии с расчетными значениями в программном комплексе PTV Vision® VISSIM.

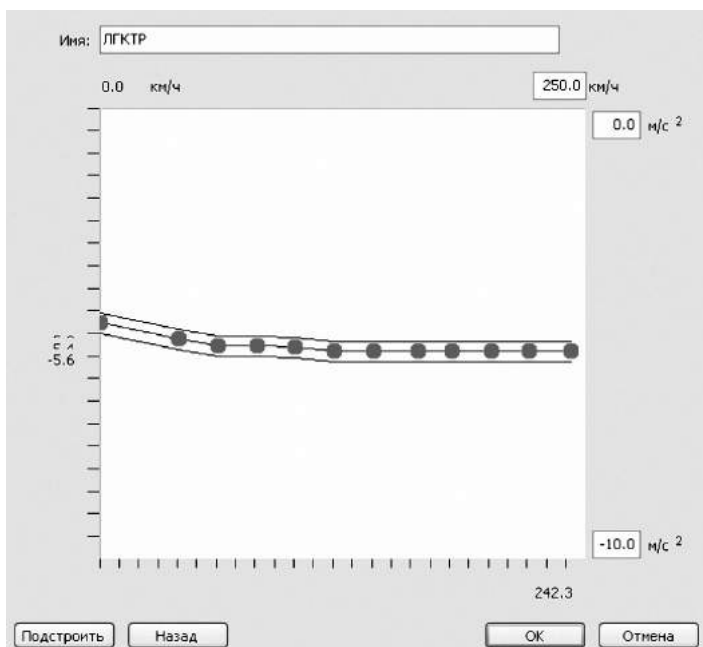


Рис. 1.19. График функции замедления легковых ТС, сформированный в PTV Vision® VISSIM

Следует отметить, что в программном комплексе PTV Vision® VISSIM значения замедления отрицательные и располагаются по вертикальной оси графика. По горизонтальной оси графика располагаются значения скорости (от 0 до 250 км/ч).

Распределение легкового транспорта по массе. График распределения легковых ТС по их массе, стандартный для программного комплекса PTV Vision® VISSIM, представлен на рис. 1.20. При этом по оси абсцисс располагаются значения массы, а по оси ординат – доли транспортного потока.

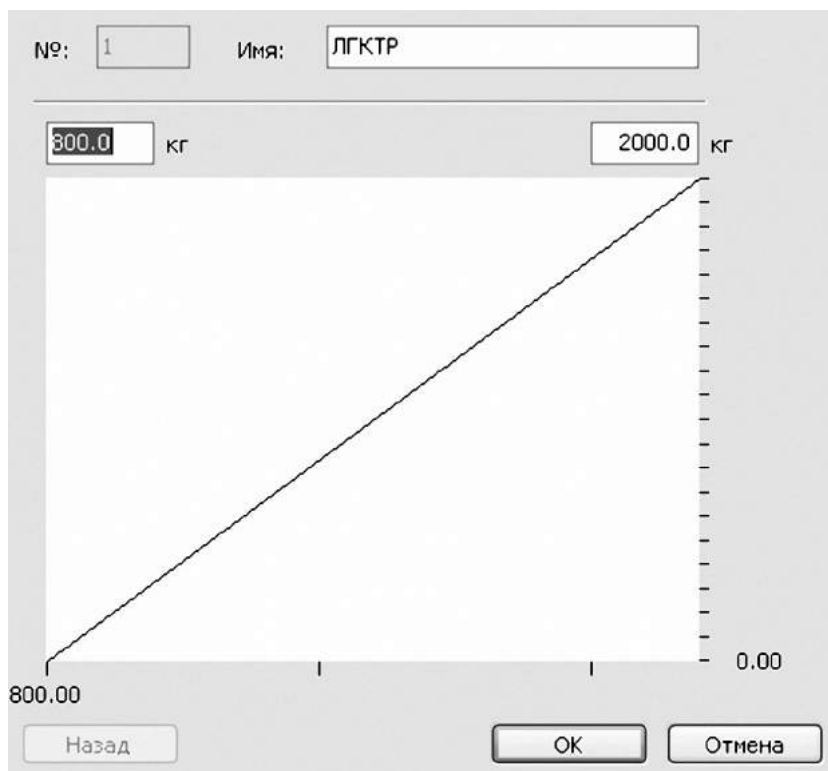


Рис. 1.20. Распределение легковых ТС по массе, предложенное по умолчанию в программном комплексе PTV Vision® VISSIM

Из рисунка видно, что распределение происходит в границах от 800 до 2000 кг. Указанные границы изменения не являются актуальными для Перми, так как при анализе транспортного потока города к легковым ТС были также отнесены и грузовые автомобили, максимальная масса которых не превышает 3500 кг.

Минимальной массой, которую может принимать легковой автомобиль, была принята масса 800 кг (как у автомобиля марки Daewoo Matiz Standart).

Отметим, что функция распределения легковых ТС по массе в программном комплексе PTV Vision® VISSIM линейна, т.е. на каждое уникальное значение массы приходится по одному транспортному средству. Для того чтобы проверить актуальность этой информации, был проведен анализ базы данных легковых ТС по массе (см. разд. 1.1.3). Согласно результатам анализа состава парка легковых ТС, доля легковых ТС, разрешенная масса которых колеблется в интервале от 2 до 3,5 т, составляет 1%, доля ТС, максимальная масса которых колеблется в интервале от 800 до 2000 т, – 99%.

С учетом особенностей транспортного потока в г. Перми был изменен график распределения легковых ТС по массе (рис. 1.21). При этом по оси абсцисс располагаются значения массы, а по оси ординат – доли транспортного потока.

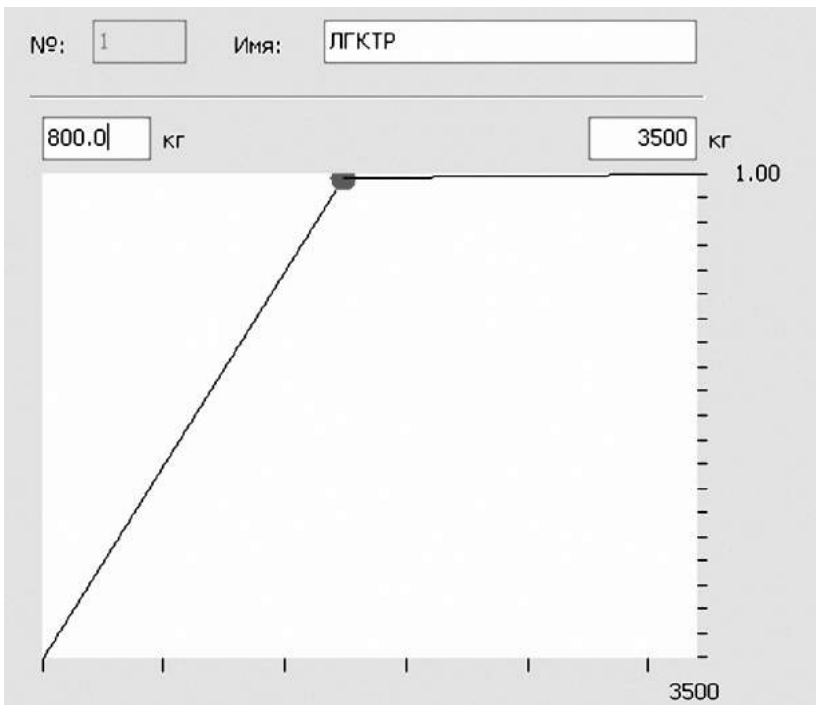


Рис. 1.21. Распределение легковых ТС по массе, сформированное в PTV Vision® VISSIM

Установка такого графика позволит актуализировать значения массы моделируемых легковых транспортных средств.

Распределение легкового транспорта по мощности. По умолчанию мощность легковых ТС задается в программном комплексе PTV Vision® VISSIM графиком распределения (рис. 1.22). При этом по оси абсцисс располагаются значения мощности, по оси ординат – доли транспортного потока.

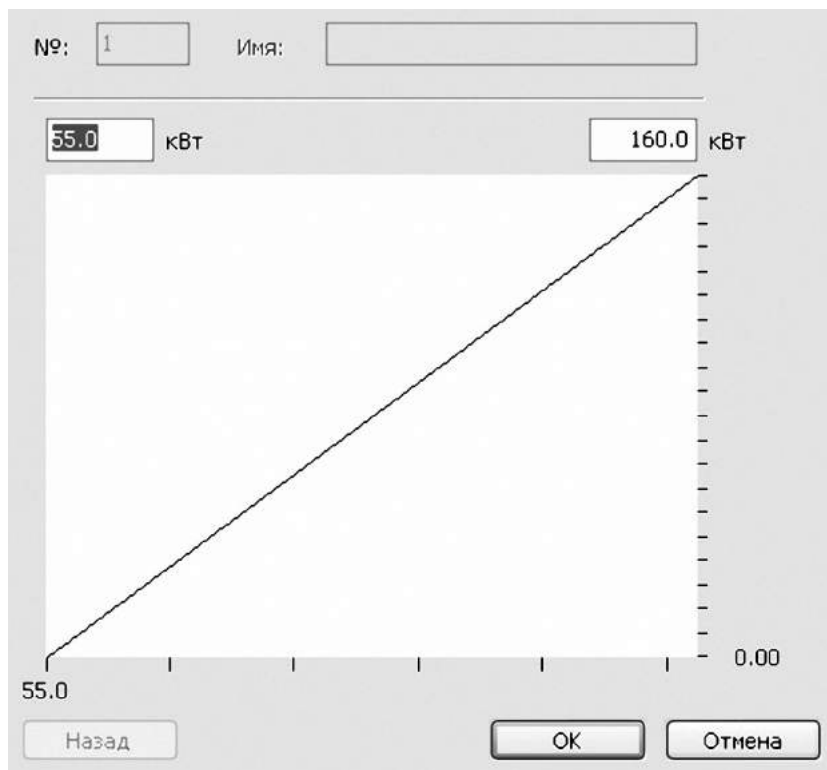


Рис.1.22. Распределение легковых ТС по мощности, предложенное по умолчанию в программном комплексе PTV Vision® VISSIM

Как видно из рис. 1.22, границами распределения являются 55 и 160 кВт. Однако указанные границы распределения не соответствуют мощностям ТС, представленным в транспортном потоке г. Перми. Дело в том, что самым распространенным легковым автомобилем в городе является ВАЗ-21074, максимальная мощность двигателя которого равна 51 кВт. Распространен здесь также ВАЗ-21093, максимальная мощность которого равна 40 кВт. Вследствие этого нижняя граница распределения уменьшена до 40 кВт.

Следует отметить при этом, что в Перми есть автомобили, мощность которых превышает 160 кВт, например VOLKSWAGEN-GOLF (476 шт.), мощность двигателя которого достигает 183 кВт. Есть в транспортном потоке и автомобили, мощность которых превышает 200 кВт (BMW X3 мощностью 230 кВт – 65 шт.). В связи с этим верхняя граница распределения была увеличена до 250 кВт.

Для того чтобы распределение было соотносимо с реальным транспортным потоком, было проанализировано соотношение автомобилей малой 40 – 100 кВт, средней 100 – 200 кВт и высокой 200-250 кВт мощности.

На основе полученных результатов был отредактирован график распределения в программном комплексе PTV Vision® VISSIM (см. рис. 1.23). При этом по оси абсцисс располагаются значения мощности, а по оси ординат – доли транспортного потока.

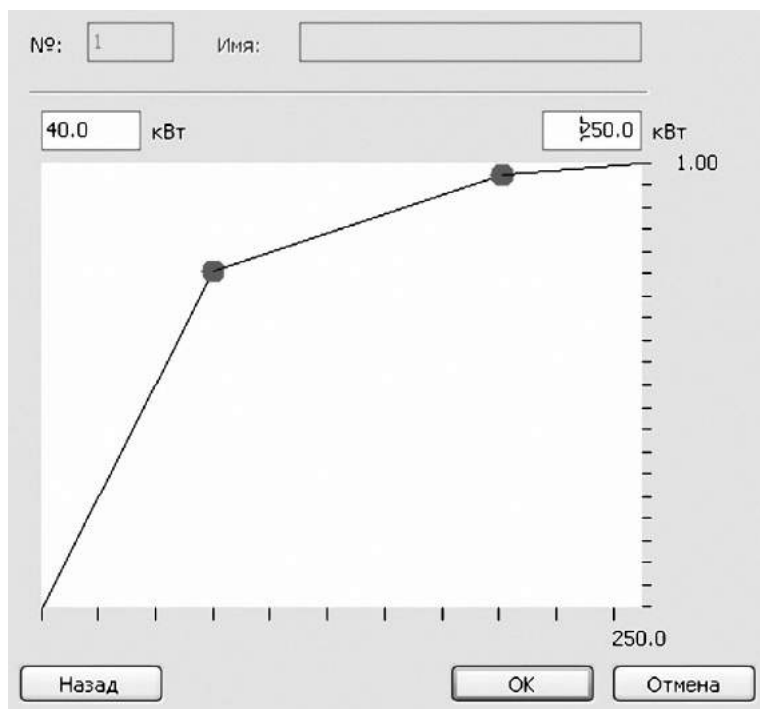


Рис. 1.23. Распределение легковых ТС по мощности, сформированное в PTV Vision® VISSIM

Установка такого графика позволит актуализировать значения мощности моделируемых легковых транспортных средств.

1.2.2. Технические характеристики грузовых транспортных средств

Желаемое ускорение грузового транспорта. Кроме легковых ТС в основной транспортный поток входит грузовой транспорт (2% основного транспортного потока, установленного по умолчанию). График функции ускорения грузовых ТС, которые определены в программном комплексе PTV Vision® VISSIM как стандартные, представлен на рис. 1.24.

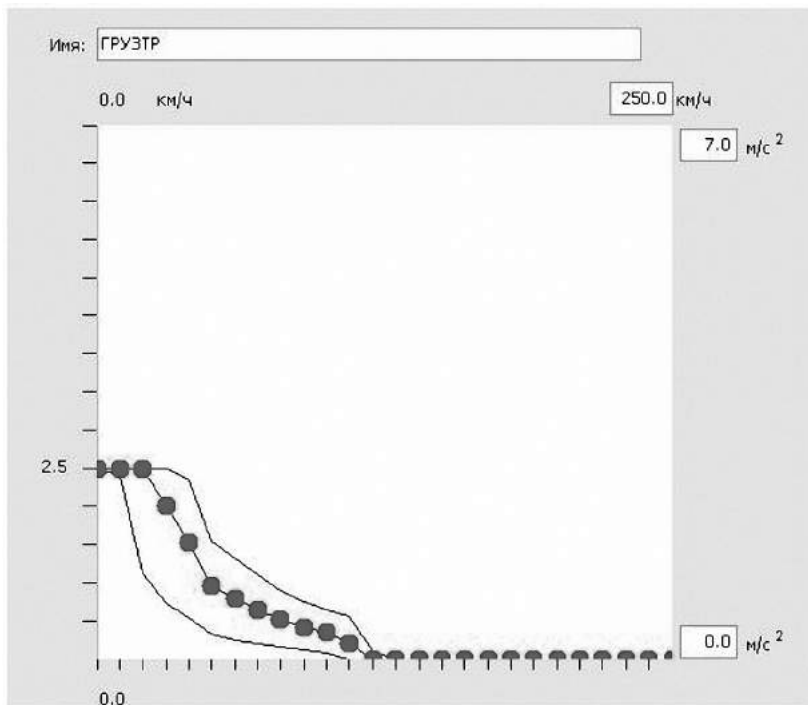


Рис. 1.24. График функции ускорения грузовых ТС, предложенный по умолчанию в программном комплексе PTV Vision® VISSIM

Из рисунка видно, что максимальное ускорение грузовых ТС ($2,5 \text{ м/с}^2$) происходит в самом начале движения, после достижения скорости 30 км/ч ускорение начинает уменьшаться и при скорости 120 км/ч равно нулю.

Для формирования графика ускорения были использованы показатели ускорения КАМАЗ-55111 как самого распространенного в Перми грузового ТС. Результаты расчета для I – V передач представлены в табл. 1.7–1.11 соответственно.

Таблица 1.7

Результаты тягово-динамического расчета для I передачи

v_a , км/ч	4,2	4,9	5,6	6,3	7	7,7	8,4	9,1
j_a , м/с ²	1,5958	1,6529	1,6813	1,7098	1,6811	1,6525	1,5952	1,538

Таблица 1.8

Результаты тягово-динамического расчета для II передачи

v_a , км/ч	8,2	9,5	10,9	12,3	13,6	15	16,4	17,7
j_a , м/с ²	1,0902	1,131	1,1512	1,1713	1,1501	1,1289	1,0871	1,0451

Таблица 1.9

Результаты тягово-динамического расчета для III передачи

v_a , км/ч	13,2	15,4	17,6	19,8	22	24,2	26,4	28,6
j_a , м/с ²	0,6888	0,7158	0,7286	0,7412	0,7256	0,7099	0,6799	0,6498

Таблица 1.10

Результаты тягово-динамического расчета для IV передачи

v_a , км/ч	24,5	25,1	28,7	32,3	35,9	39,5	43,1	46,7
j_a , м/с ²	0,3767	0,3916	0,3971	0,4021	0,3888	0,375	0,3519	0,3283

Таблица 1.11

Результаты тягово-динамического расчета для V передачи

v_a , км/ч	33	38,5	44	49,5	54,9	60,4	65,9	71,4
j_a , м/с ²	0,1875	0,1922	0,1899	0,1865	0,1701	0,1525	0,1279	0,1022

По данным табл. 1. 7– 1. 11 был построен график ускорения, который учитывает скорости передачи (рис. 1.25).

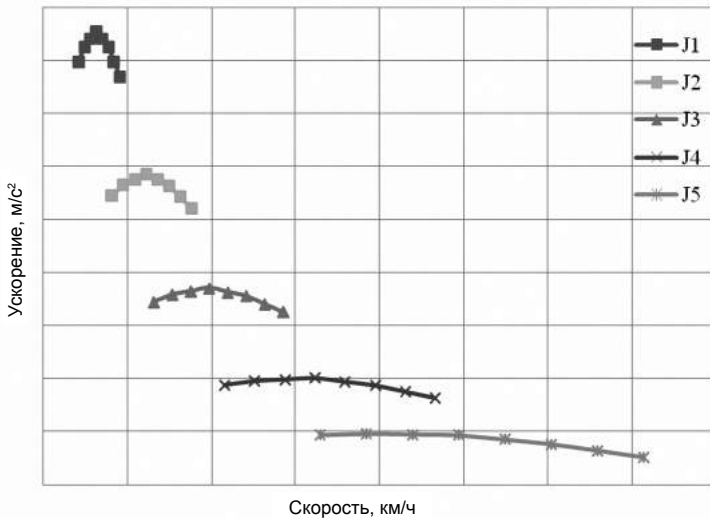


Рис. 1.25. График ускорения грузового автомобиля КАМАЗ-55111 с разбиением на передачи

Для того чтобы объединить передачи в единую кривую ускорения, были выявлены точки, в которых возможен переход на следующую передачу, и при помощи интерполяции добавлены соответствующие значения (рис. 1.26).

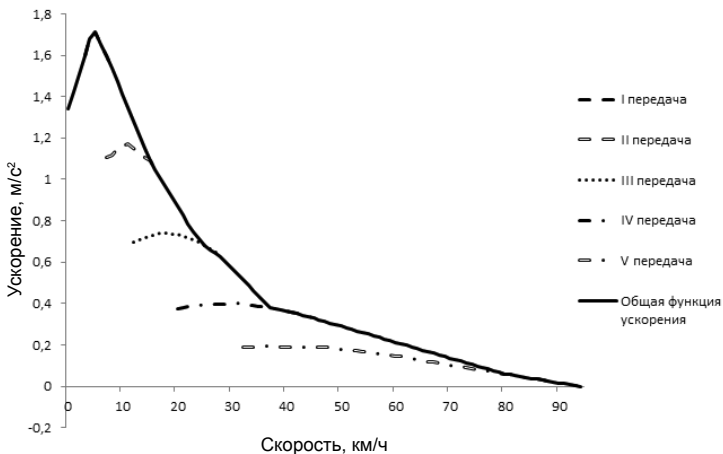


Рис. 1.26. Общий график ускорения грузового автомобиля КАМАЗ-55111

Из рисунка видно, что ускорение реального ТС отличается от ускорения, установленного как стандартное в PTV Vision® VISSIM. Так, максимальное ускорение реального грузового автомобиля составляет примерно $1,7 \text{ м/с}^2$, тогда как согласно программному комплексу PTV Vision® VISSIM оно равно $2,5 \text{ м/с}^2$. Ускорение грузового автомобиля КАМАЗ-55111 прекращается на скорости 90 км/ч , стандартное ускорение ТС в PTV Vision® VISSIM – при скорости 120 км/ч . Отличается также сама кривая ускорения. Например, в PTV Vision® VISSIM максимальное ускорение ТС показывает в самом начале движения. Оно сохраняется до скорости 30 км/ч , после чего резко падает. Реальное ТС имеет наибольшее ускорение при скорости в 10 км/ч , после чего оно плавно уменьшается.

График функции желаемого ускорения грузовых ТС, отредактированный в соответствии с ускорением автомобиля КАМАЗ-55111, представлен на рис. 1.27.

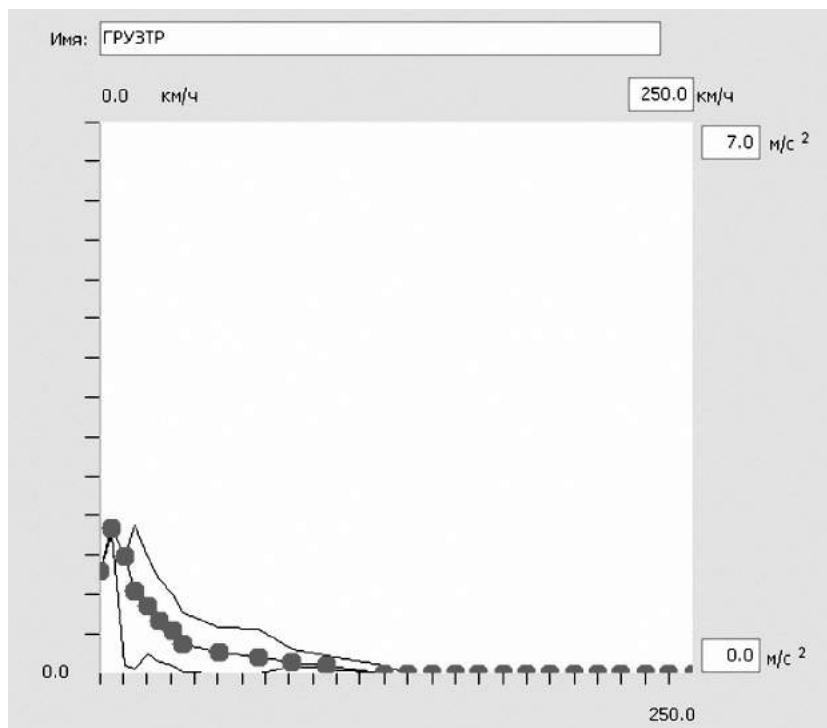


Рис. 1.27. График желаемого ускорения грузовых ТС, сформированный в PTV Vision® VISSIM

Установка такого графика позволит актуализировать значения ускорения моделируемых грузовых транспортных средств, а значит, и скорректировать результаты моделирования.

Желаемое замедление грузового транспорта. График функции замедления грузовых ТС, установленный по умолчанию в программном комплексе PTV Vision® VISSIM, представлен на рис. 1.28.

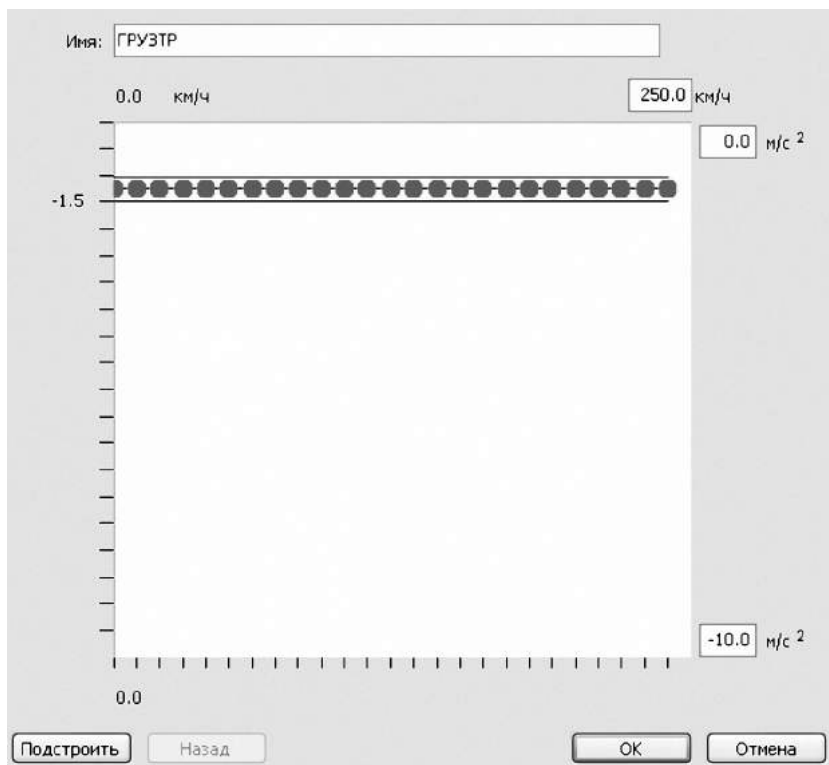


Рис. 1.28. График замедления грузовых ТС, предложенный по умолчанию в PTV Vision® VISSIM

Из рисунка видно, что замедление грузовых ТС не зависит от скорости и равно $1,5 \text{ м/с}^2$.

Для расчета замедления реального легкового ТС была использована методология расчета тормозного пути. Методология включает в себя понятие установившегося замедления $j_{\text{уст}}$ – среднего значения замедления движения автомобиля за время непосредственного торможения. Установившееся замедление вычисляется по формуле:

$$j_{\text{уст}} = \frac{v_{\text{нач}} - v_{\text{кон}}}{0,5t_{\text{нач}} + t_{\text{тор}}}, \quad (1.4)$$

где $v_{\text{нач}}$ – начальная скорость движения автомобиля; $v_{\text{кон}}$ – конечная скорость движения автомобиля (принята равной 0); $t_{\text{нач}}$ – время начала замедления (принято 0,2); $t_{\text{тор}}$ – время непосредственного торможения.

Время непосредственного торможения вычисляется по формуле:

$$t_{\text{тор}} = t_{\text{зам}} + 0,5t_{\text{нач}} + \frac{V_{\text{нач}} K_{\text{э}}}{\phi g}, \quad (1.5)$$

где $t_{\text{зам}}$ – время срабатывания тормозной системы (для гидравлических тормозных систем данный показатель равен 0,2; для пневматической – 0,6; для автопоездов с пневмоприводом – 1,0). Для расчета замедления грузовых ТС этот показатель был принят равным 0,6; ϕ – коэффициент сцепления колес с дорогой (при сухом асфальте – 0,7, при мокром – 0,4; при снеге – 0,2; обледенелая дорога – 0,1); $K_{\text{э}}$ – коэффициент торможения (для грузовых автомобилей и автопоездов $K_{\text{э}} = 1,3$); g – ускорение свободного падения, равное 9,81.

Результаты расчетов замедления грузовых ТС представлены в табл. 1.12.

Таблица 1.12

Результаты расчетов замедления грузовых ТС

$v_{\text{нач}}, \text{ км/ч}$	$j_{\text{уст}}, \text{ м/с}^2$	$v_{\text{нач}}, \text{ км/ч}$	$j_{\text{уст}}, \text{ м/с}^2$
20	4,56	140	5,17
40	4,89	160	5,18
60	5,02	180	5,19
80	5,08	200	5,20
100	5,12	220	5,21
120	5,15	240	5,21

По результатам расчетов замедления был построен график замедления грузовых ТС (рис. 1.29).

Из рисунка видно, что замедление грузовых ТС зависит от скорости. Так, в начале движения оно равно $4,4 \text{ м/с}^2$, а при максимальной скорости – $5,1 \text{ м/с}^2$. Еще одно различие состоит в величине замедления: в программном комплексе PTV Vision® VISSIM оно равно $1,5 \text{ м/с}^2$, по результатам расчета – в среднем $4,7 \text{ м/с}^2$.

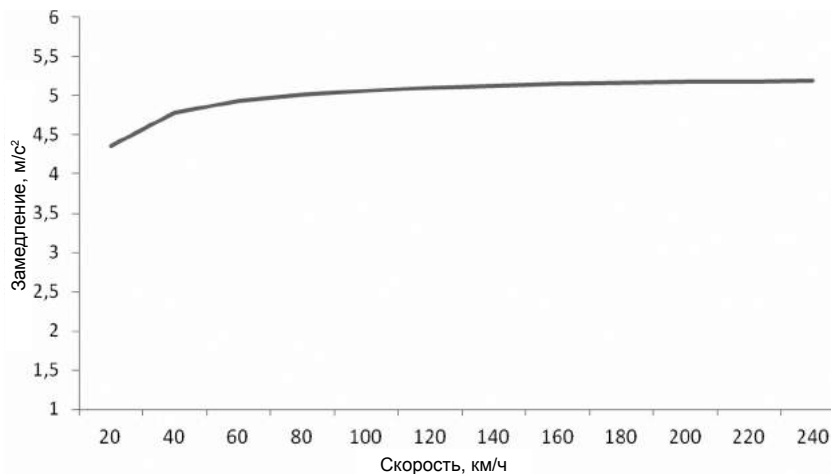


Рис. 1.29. График замедления грузовых ТС

В связи с тем, что были выявлены несоответствия графиков функций замедления, график в программном комплексе PTV Vision® VISSIM был построен в соответствии с результатами расчета замедления (рис. 1.30).

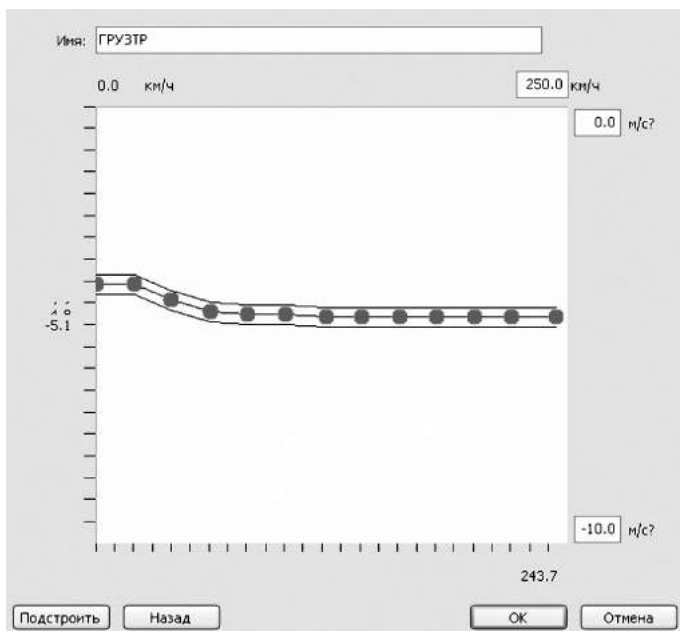


Рис. 1.30. График функции замедления грузовых ТС, сформированный в PTV Vision® VISSIM

Установка такого графика позволит актуализировать значения замедления моделируемых грузовых ТС, а значит, и скорректировать результаты моделирования.

Распределение грузового транспорта по массе. Стандартный для PTV Vision® VISSIM график распределения грузовых ТС по массе представлен на рис. 1.31. При этом по оси абсцисс располагаются значения массы, а по оси ординат – доли транспортного потока.

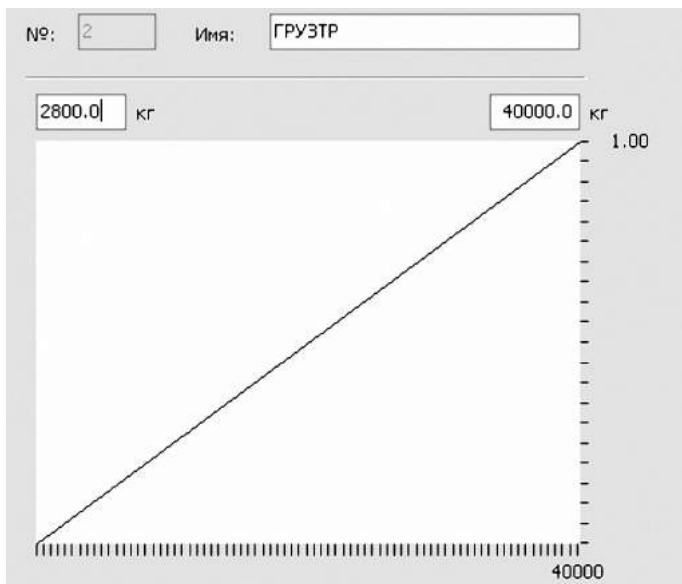


Рис. 1.31. Распределение грузовых ТС по массе, предложенное по умолчанию в программном комплексе PTV Vision® VISSIM

Из рисунка видно, что распределение происходит в границах от 2800 до 40000 кг. Данные границы не актуальны для Перми, так как при анализе транспортного потока города к грузовым ТС были отнесены автомобили, максимальная масса которых превышает 3500 кг. Однако верхняя граница массы актуальна, поскольку разрешенная максимальная масса седельного тягача (такого, как RENAULT-PREMIUM-420) составляет 40 000 кг.

Отметим, что функция распределения грузовых ТС по массе в программном комплексе PTV Vision® VISSIM линейна, т.е. на каждую единицу массы относится определенная доля транспортного потока. В действительности же распределение некоторым образом отличается от установленной в программном комплексе PTV Vision® VISSIM.

С учетом особенностей распределения массы грузовых ТС в г. Перми (см. рис. 1.6) был изменен график распределения грузовых ТС по массе (рис. 1.32). При этом по оси абсцисс располагаются значения массы, а по оси ординат – доли транспортного потока.

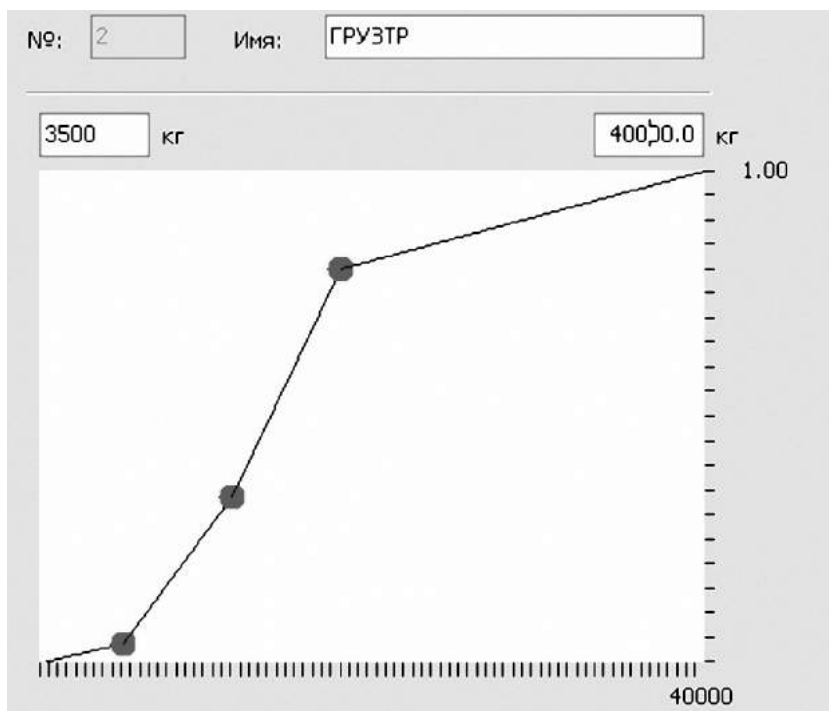


Рис. 1.32. Распределение грузовых ТС по массе, сформированное в PTV Vision® VISSIM

Установка такого графика позволит актуализировать значения массы моделируемых грузовых ТС.

Распределение грузового транспорта по мощности. По умолчанию мощность грузовых ТС задается в программном комплексе PTV Vision® VISSIM графиком распределения (рис. 1.33). При этом по оси абсцисс располагаются значения мощности, а по оси ординат – доли транспортного потока.

При анализе мощностей грузовых ТС была использована гипотеза, подразумевающая, что мощность автомобиля зависит от его массы. В связи с этим в ходе анализа были использованы ТС, распределенные по группам в зависимости от их массы, а также наи-

более распространенные марки автомобилей в каждой группе. Значения мощности наиболее распространенных автомобилей были приняты как средние. Таким образом, 2% ТС имеют мощность 92 кВт, 31% – 110 кВт, 47% – 176 кВт, 19% – от 191 до 242 и 1% – свыше 242 кВт.

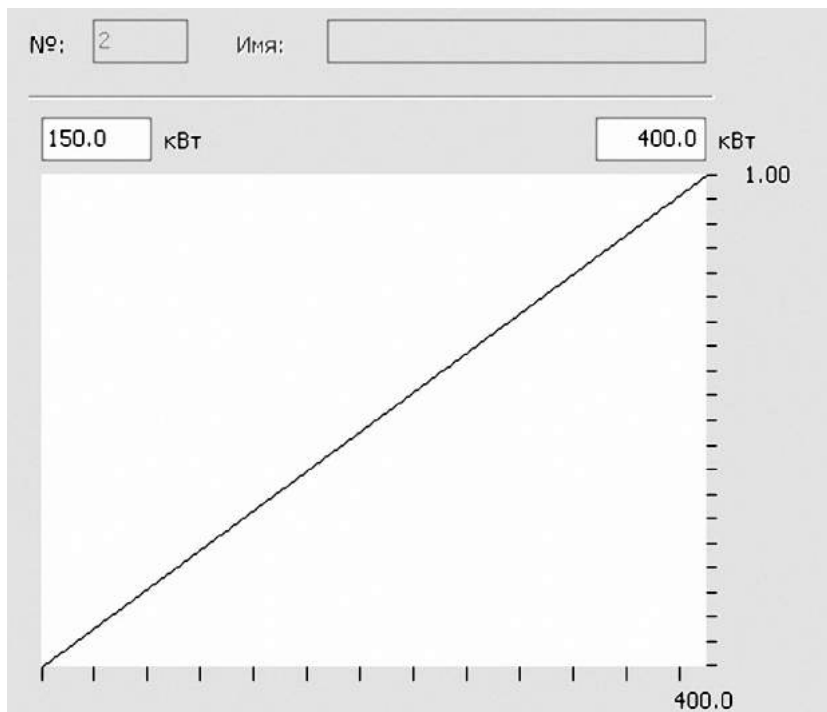


Рис. 1.33. График распределения грузовых ТС по мощности, предложенное по умолчанию в программном комплексе PTV Vision® VISSIM

В связи с выявленными показателями мощности были отредактированы границы ее распределения: нижняя граница была принята равной 90 кВт, верхняя – 400 кВт.

График распределения транспортного потока г. Перми по мощности, сформированный в программном комплексе PTV Vision® VISSIM, представлен на рис. 1.34. При этом по оси абсцисс располагаются значения мощности, а по оси ординат – доли транспортного потока.

Как видно из рисунка, большее количество зарегистрированных в Перми грузовых ТС (75%) имеют мощность от 90 до 175 кВт, остальные – от 175 до 400 кВт.

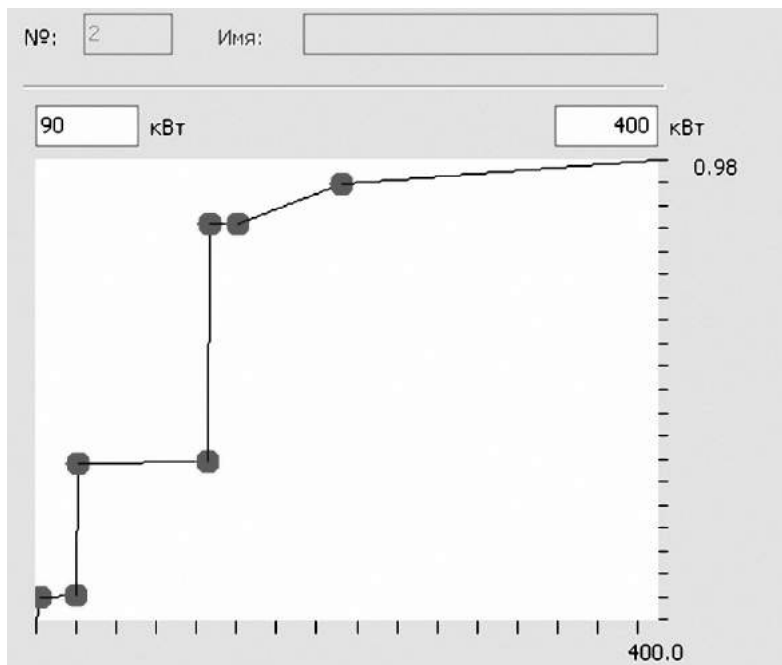


Рис. 1.34. Распределение грузовых транспортных средств по мощности, сформированное в PTV Vision@ VISSIM

1.2.3. Технические характеристики транспортных средств общего пользования

Желаемое ускорение ТС общего пользования. График функции желаемого ускорения ТС общего пользования, который определен в программном комплексе PTV Vision@ VISSIM как стандартный, представлен на рис. 1.35. По оси абсцисс располагаются значения скорости, по оси ординат – значения ускорения.

Из рисунка видно, что ускорение в начале движения равно $1,2 \text{ м/с}^2$. Такое ускорение продолжается до момента достижения ТС скорости 40 км/ч , после чего оно постепенно уменьшается и прекращается при скорости 100 км/ч .

Для формирования графика ускорения ТС общего пользования, актуального для транспортного потока г. Перми, использовались результаты расчета динамических характеристик автобуса

МАЗ-104С. Результаты расчета для I–V передач представлены в табл. 1.13–1.17, где показатель v_a – скорость автомобиля, км/ч; j_a – его ускорение, м/с².

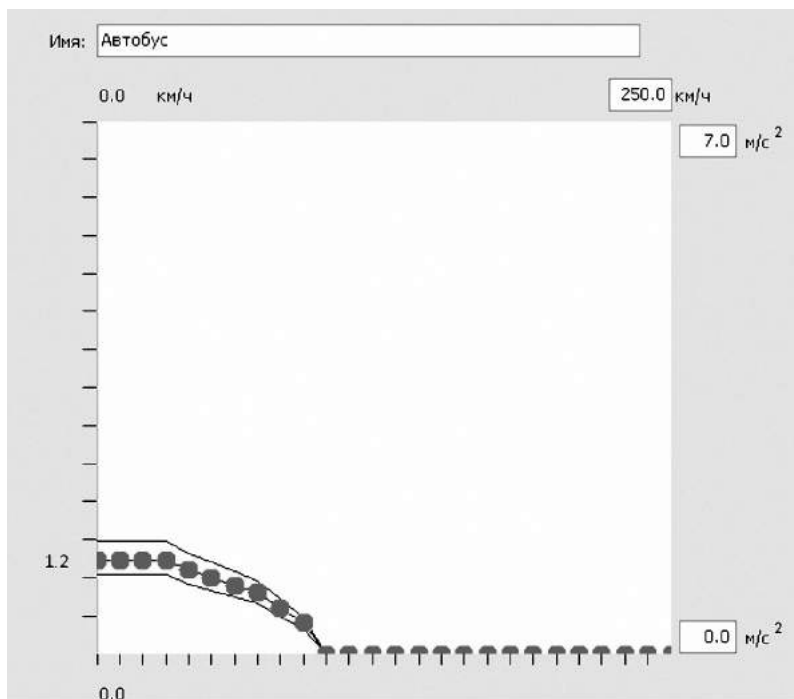


Рис. 1.35. График функции ускорения ТС общего пользования, предложенный по умолчанию в программном комплексе PTV Vision@ VISSIM

По данным, приведенным в таблицах, был построен график, изображенный на рис. 1.36. Функция ускорения для каждой передачи обозначена в соответствии с ее номером передачи.

Для того чтобы объединить передачи в единую кривую ускорения, были выявлены точки, в которых возможен переход на следующую передачу, и при помощи интерполяции добавлены соответствующие значения (рис. 1.37).

Из рисунка 1.38 видно, что ускорение для реального ТС общего пользования отличается от ускорения, установленного в качестве стандартного в программном комплексе PTV Vision@ VISSIM, как по величине, так и по его изменению в связи с возрастанием скорости.

Таблица 1.13

Результаты тягово-динамического расчета для I передачи

\mathcal{U}_a , км/ч	5,29	6,465	7,64	8,816	9,991	11,17	12,93
j_a , м/с ²	1,212	1,321	1,376	1,376	1,342	1,298	1,265

Таблица 1.14

Результаты тягово-динамического расчета для II передачи)

\mathcal{U}_a , км/ч	9,521	11,64	13,75	15,87	17,98	20,1	23,27
j_a , м/с ²	0,795	0,872	0,909	0,908	0,884	0,852	0,827

Таблица 1.15

Результаты тягово-динамического расчета для III передачи

\mathcal{U}_a , км/ч	18,17	22,2	26,24	30,28	34,31	38,35	44,4
j_a , м/с ²	0,385	0,426	0,445	0,441	0,423	0,4	0,378

Таблица 1.16

Результаты тягово-динамического расчета для IV передачи

τ_a , км/ч	27,6	33,73	39,87	46	52,14	58,27	67,47
j_a , м/с ²	0,2	0,223	0,23	0,22	0,201	0,176	0,147

Таблица 1.17

Результаты тягово-динамического расчета для V передачи

τ_a , км/ч	38,89	47,53	56,17	64,82	73,46	82,1	95,06
j_a , м/с ²	0,098	0,107	0,102	0,083	0,054	0,021	0,028

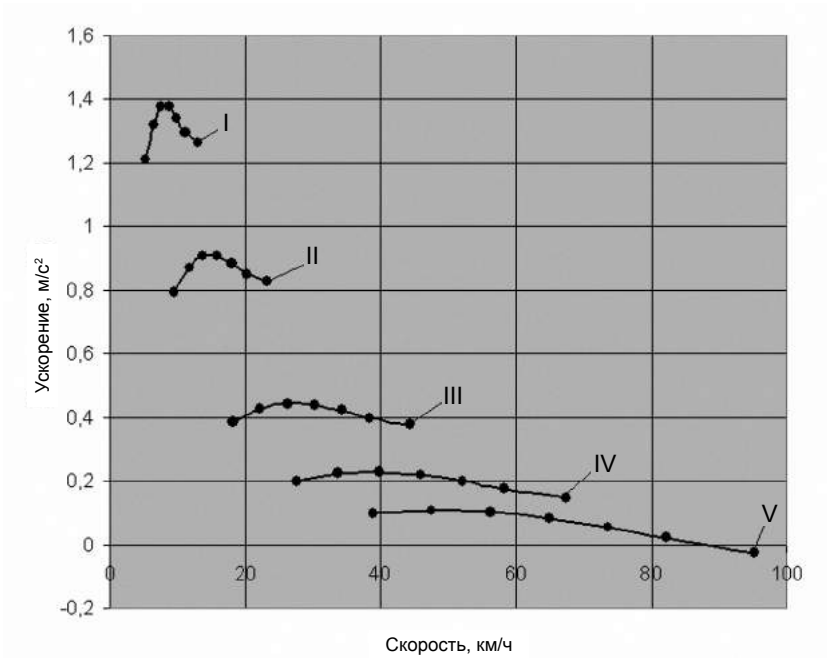


Рис. 1.36. График функции ускорения автобуса МАЗ-104С с разбиением на передачи

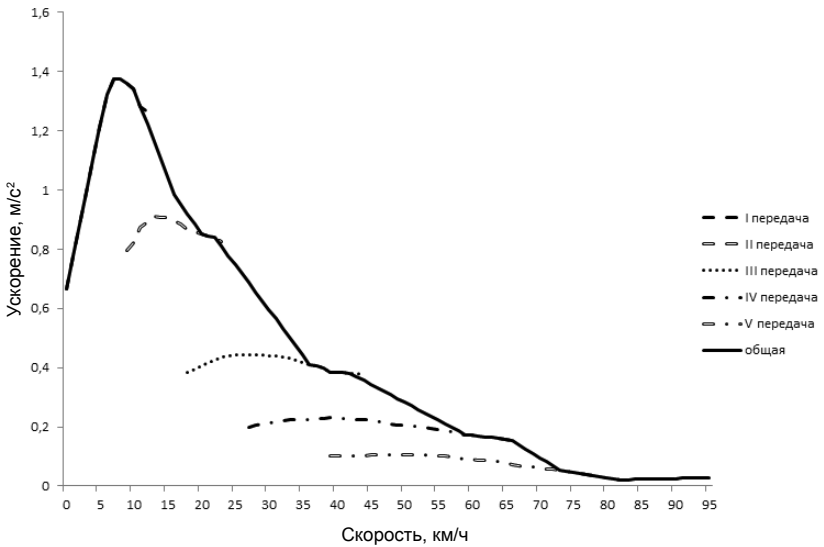


Рис. 1.37. Общий график функции ускорения автобуса МАЗ-104С

Для того чтобы моделирование PTV Vision® VISSIM наиболее точно отображало существующую ситуацию, было принято решение использовать в PTV Vision® VISSIM график и ускорения реального ТС общего пользования.

График функции желаемого ускорения ТС общего пользования, отредактированный в соответствии с ускорением автобуса МАЗ-104С, представлен на рис. 1.38.

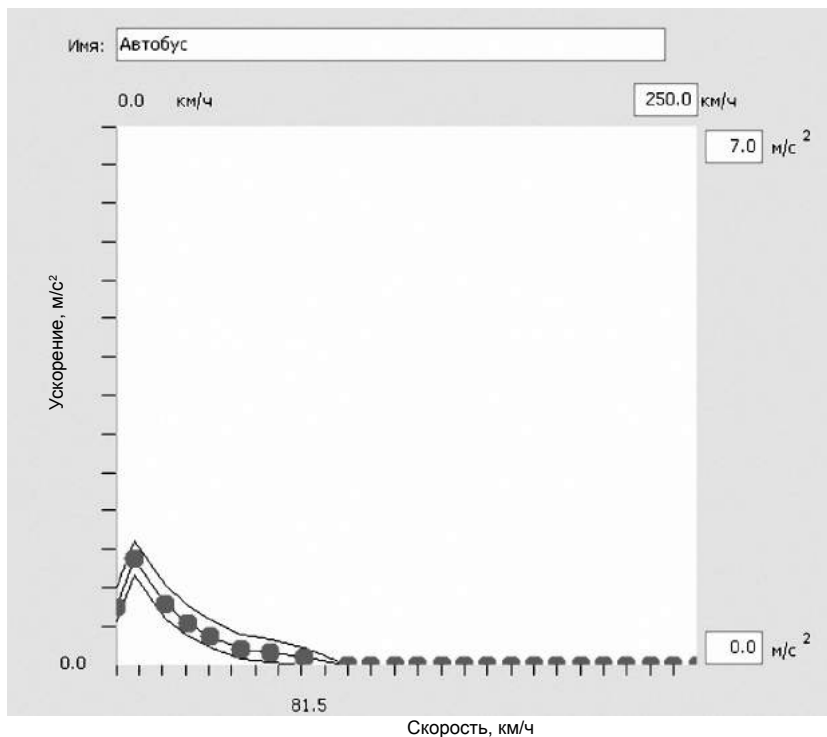


Рис. 1.38. График функции ускорения ТС общего пользования, сформированный в PTV Vision® VISSIM

Установка такого графика позволит актуализировать значения ускорения для моделируемых транспортных средств общего пользования.

Желаемое замедление ТС общего пользования. График функций замедления для ТС общего пользования, определенных в программном комплексе PTV Vision® VISSIM как стандартные, представлен на рис. 1.39.

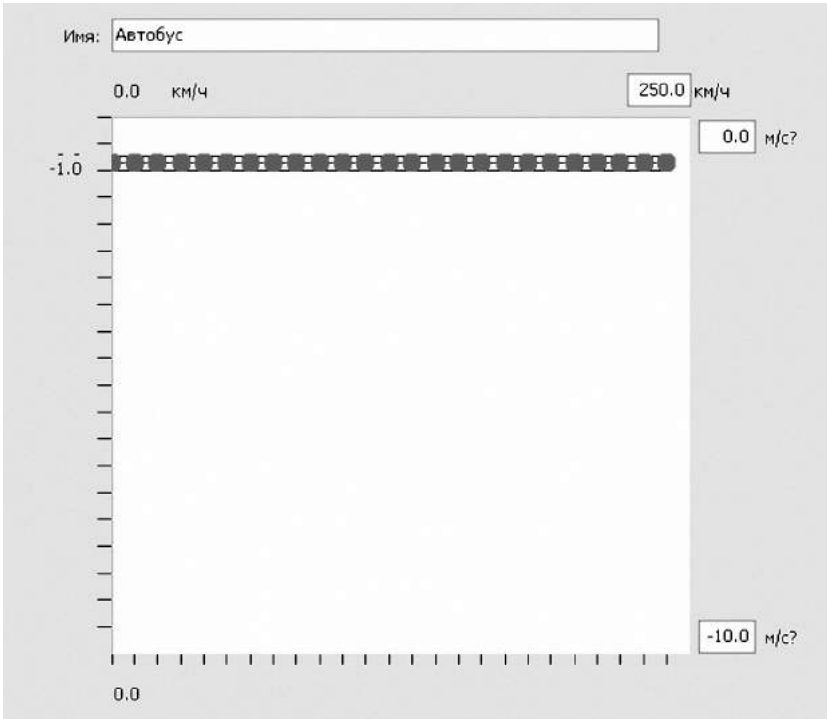


Рис. 1.39. График замедления ТС общего пользования, предложенный по умолчанию в PTV Vision® VISSIM

Из рисунка видно, что замедление ТС общего пользования не зависит от скорости и равно 1 м/с^2 . Замедление для реального ТС общего пользования было рассчитано при помощи методологии расчета тормозного пути автомобиля. Методология использует понятие установившегося замедления как среднего значения замедления движения автомобиля за время торможения. Установившееся замедление вычисляется по формуле:

$$j_{\text{уст}} = \frac{v_{\text{нач}} - v_{\text{кон}}}{0,5t_{\text{нач}} + t_{\text{тор}}}, \quad (1.6)$$

где $v_{\text{нач}}$ – начальная скорость движения автомобиля; $v_{\text{кон}}$ – конечная скорость движения автомобиля (принята равной 0); $t_{\text{нач}}$ – время начала замедления (принято 0,2); $t_{\text{тор}}$ – время непосредственного торможения.

Время непосредственного торможения вычисляется по формуле:

$$t_{\text{тор}} = t_{\text{зам}} + 0,5t_{\text{нач}} + \frac{v_{\text{нач}} k_{\text{э}}}{\varphi g}, \quad (1.7)$$

где $t_{\text{зам}}$ – время срабатывания тормозной системы (для гидравлических тормозных систем данный показатель равен 0,2; для пневматической – 0,6; для автопоездов с пневмоприводом – 1,0). Для расчета замедления ТС общего пользования (автобусов) этот показатель был принят равным 0,6; φ – коэффициент сцепления колес с дорогой (при сухом асфальте – 0,7; при мокром – 0,4; при снеге – 0,2; обледенелая дорога – 0,1); $k_{\text{э}}$ – коэффициент торможения (принят равным 1,4); g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с².

Результаты расчетов замедления для ТС общего пользования представлены в табл. 1.18.

Таблица 1.18

Результаты расчета замедления для ТС общего пользования

$v_{\text{нач}}$, км/ч	$j_{\text{ус}}$, м/с ²			
	Сухой асфальт	Мокрый асфальт	Снег	Гололедача
20	4,28	2,59	1,34	2,80
40	4,57	2,69	1,37	3,09
60	4,68	2,73	1,38	3,20
80	4,73	2,75	1,39	3,25
100	4,76	2,76	1,39	3,29
120	4,79	2,76	1,39	3,31
140	4,80	2,77	1,39	3,33
160	4,82	2,77	1,39	3,34
180	4,83	2,78	1,39	3,35
200	4,83	2,78	1,40	3,36
220	4,84	2,78	1,40	3,37
240	4,85	2,78	1,40	3,37

По результатам расчетов замедления был построен график замедления ТС общего пользования (рис. 1.40).

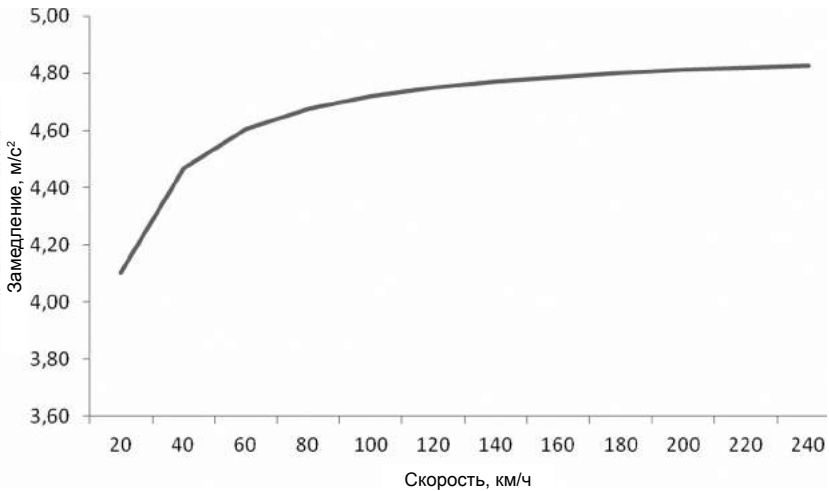


Рис. 1.40. График функции замедления ТС общего пользования

Из рисунка видно, что, в отличие от замедления, принятого в программном комплексе PTV Vision® VISSIM, замедление для ТС общего пользования зависит от скорости. Так, в начале движения оно равно $4,1 \text{ м/с}^2$, а при максимальной скорости – $4,8 \text{ м/с}^2$. Еще одно различие – величина замедления.

В связи с тем, что были выявлены несоответствия графиков функций замедления, график в программном комплексе PTV Vision® VISSIM был сформирован в соответствии с результатами расчета замедления, отображенными на рис. 1.40. На рис. 1.41 представлен уже итоговый вид графика функции, отредактированный в соответствии с расчетными значениями в программном комплексе PTV Vision® VISSIM.

Установка такого графика позволит актуализировать значения замедления моделируемых ТС общего пользования.

Распределение транспортных средств общего пользования по массе. График распределения ТС общего пользования по массе, стандартный для программного комплекса PTV Vision® VISSIM, представлен на рис. 1.42. При этом по оси абсцисс указаны значения массы, по оси ординат – доли транспортного потока.

Из рисунка видно, что распределение по массе происходит в границах от 4000 до 12000 кг. Однако при проведении анализа состава парка ТС общего пользования г. Перми было выявлено, что автобус ПАЗ-3020R имеет разрешенную максимальную массу 8060 кг, а автобус MAN-NL-202 – 18000 кг. Границы распределения были отредактированы в соответствии с характеристиками данных автобусов.

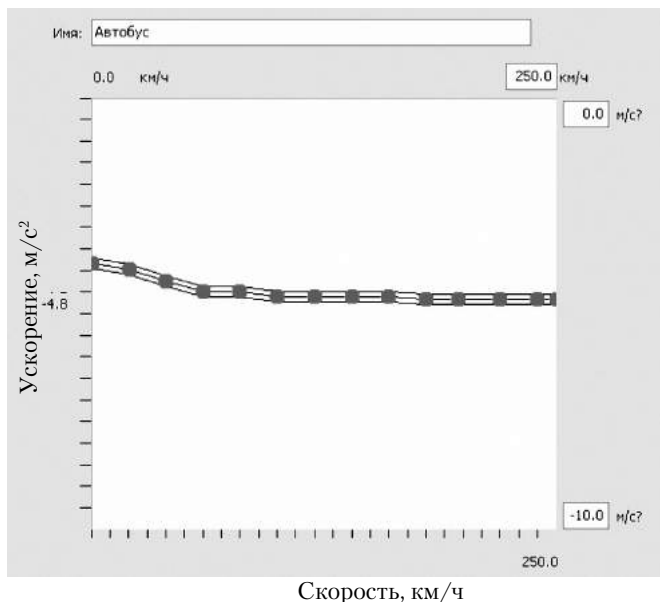


Рис. 1.41. График функции замедления ТС общего пользования, сформированный в PTV Vision® VISSIM

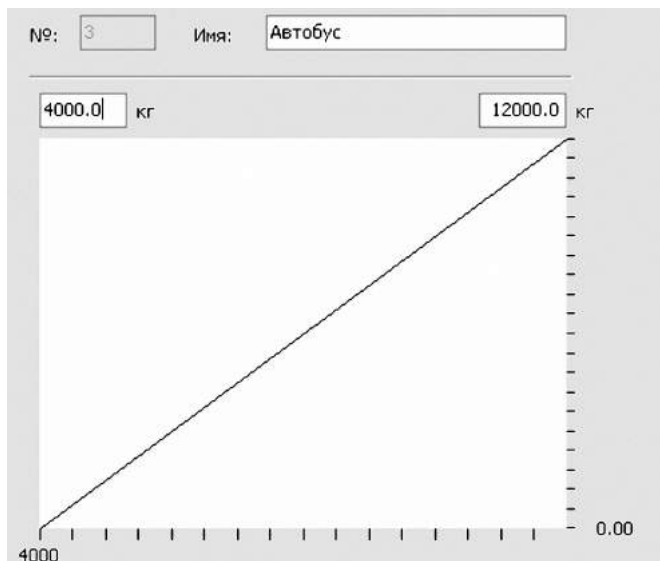


Рис. 1.42. Распределение ТС общего пользования по массе, предложенный по умолчанию в программном комплексе PTV Vision® VISSIM

Еще одним несоответствием между распределением в программном комплексе PTV Vision® VISSIM и массами реальных пассажирских ТС является то, что функция распределения грузовых ТС по массе в PTV Vision® VISSIM линейна, т.е. на каждую единицу массы приходится по определенной доле транспортного потока.

С учетом особенностей распределения ТС общего пользования по габаритам в г. Перми (см. рис. 1.7) был изменен график распределения пассажирских ТС по массе (рис. 1.43). При этом по оси абсцисс указаны значения массы, по оси ординат – доли транспортного потока.

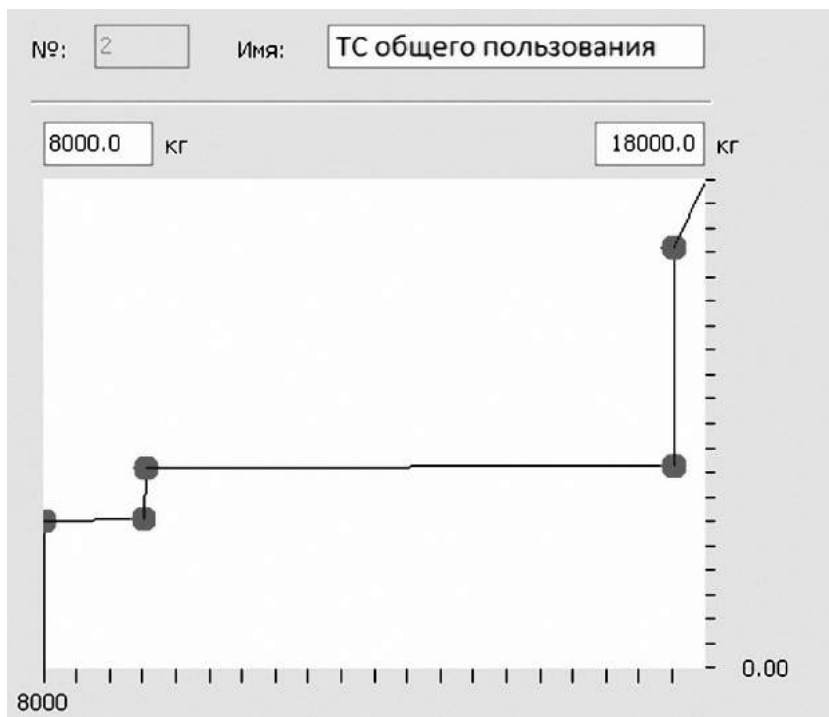


Рис. 1.43. Распределение ТС общего пользования по массе, сформированный в PTV Vision® VISSIM

Установка такого графика позволит актуализировать значения массы для моделируемых ТС общего пользования.

Распределение транспортных средств общего пользования по мощности. По умолчанию мощность ТС общего пользования задается в PTV Vision® VISSIM графиком распределения (рис. 1.44), где по оси абсцисс указаны значения мощности, по оси ординат – доли транспортного потока.

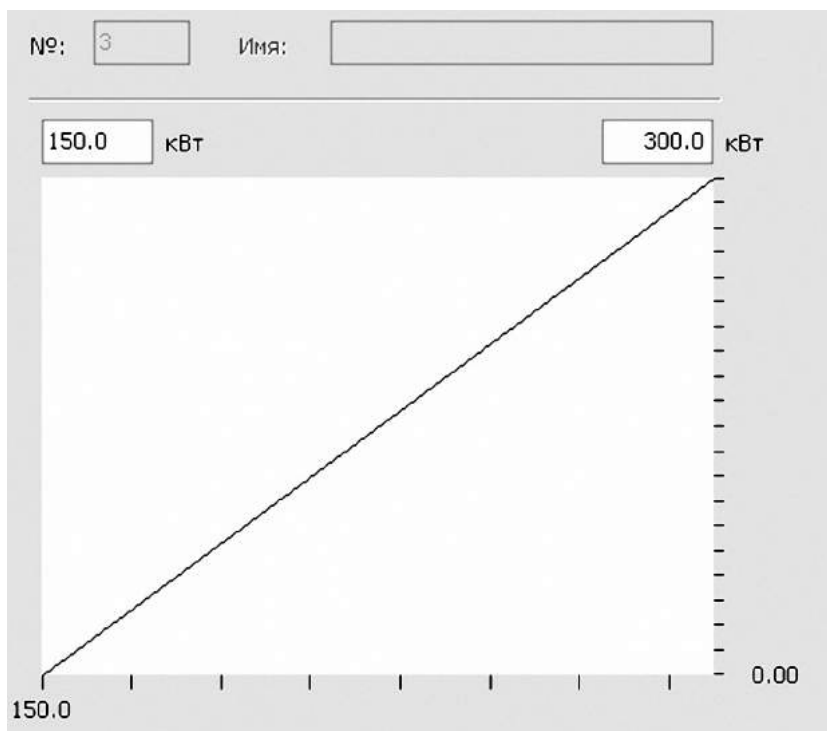


Рис. 1.44. Распределение ТС общего пользования по мощности, предложенное по умолчанию в PTV Vision® VISSIM

Как видно из рисунка, границами распределения являются 150 и 300 кВт. Однако данные границы неактуальны для транспортного потока г. Перми. Дело в том, что одним из самых распространенных в городе ТС общего пользования является ПАЗ-32050R, мощность двигателя которого равна 91 кВт. Для того чтобы распределение предусматривало также и маломощные автобусы, нижняя граница распределения была уменьшена до 90 кВт. Также в Перми распространен автобус MERCEDES-BENZ-0405, максимальная мощность которого равна 219 кВт, вследствие чего верхняя граница распределения уменьшена до 250 кВт.

График был отредактирован по результатам анализа мощности пассажирских ТС (рис. 1.45). По оси абсцисс указаны значения мощности, по оси ординат – доли транспортного потока.

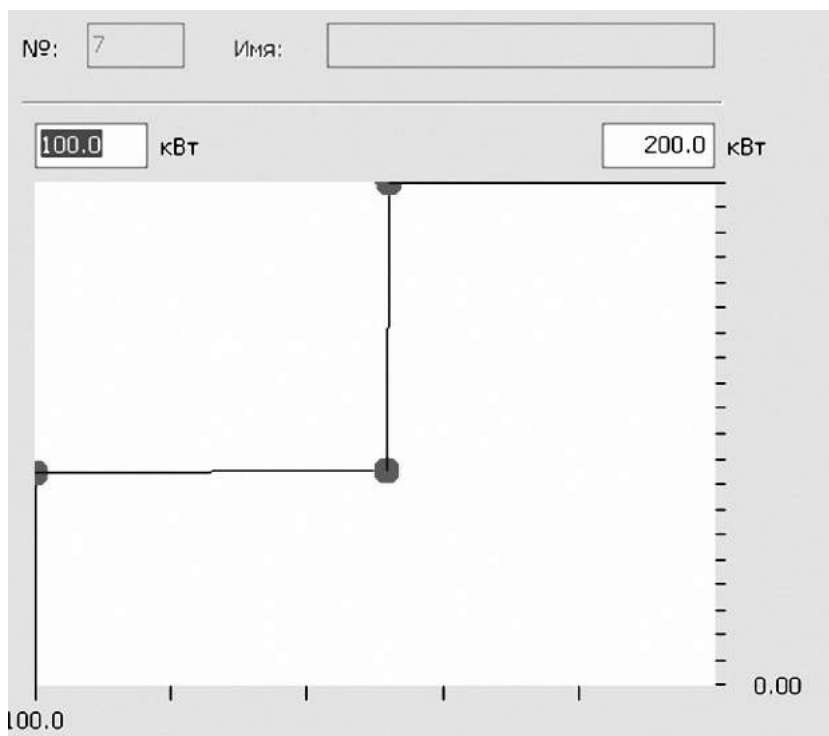


Рис. 1.45. Распределение ТС общего пользования по мощности, сформированное в PTV Vision® VISSIM

Установка такого графика позволит актуализировать значения мощности моделируемых транспортных средств общего пользования.

1.2.4. Технические характеристики автопоезда

В программном комплексе PTV Vision® VISSIM не предусмотрен тип ТС «Автопоезд». В связи с этим технические характеристики автопоезда будут присвоены вновь созданному типу ТС «Автопоезда».

Отметим, что некоторые технические характеристики автопоезда идентичны техническим характеристикам грузовых ТС (такие, как скорость и мощность), будут отредактированы в соответствии с техническими характеристиками грузовых ТС.

Желаемое ускорение автопоездов. Ускорение автопоезда рассчитывалось согласно техническим характеристикам КРАЗ-255В. Общий график функции ускорения тягача представлен на рис. 1.46.

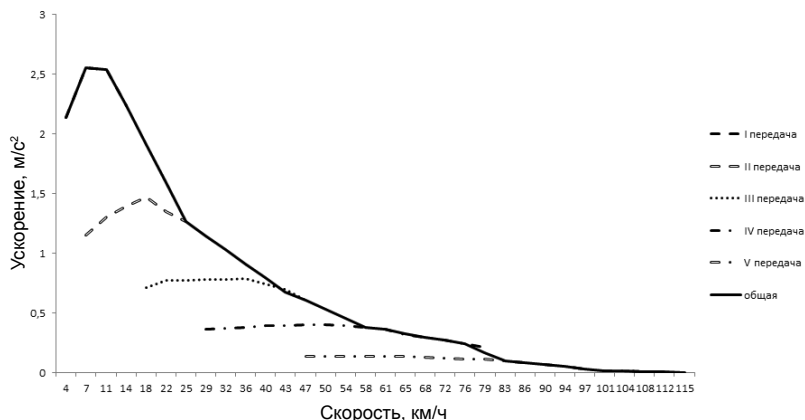


Рис. 1.46. Общий график ускорения автомобиля КРАЗ-255В

С помощью графика, представленного на рис. 1.46, был построен график желаемого ускорения ТС типа «Автопоезда» (рис. 1.47). Отметим, что при построении графика в PTV Vision® VISSIM значения скорости даны в километрах в час (км/ч).

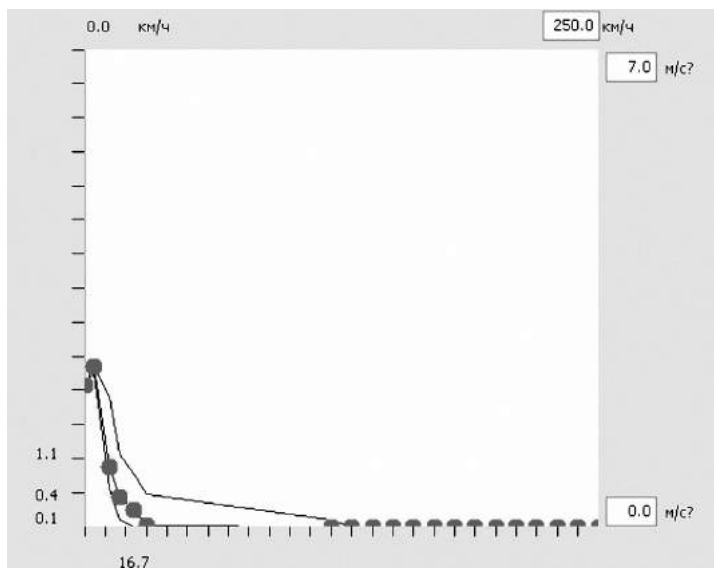


Рис. 1.47. График ускорения автопоезда, сформированный в PTV Vision® VISSIM

Установка такого графика позволит актуализировать значения ускорения моделируемых автопоездов.

Желаемое замедление автопоездов. Для определения замедления автопоезда использовалась методология расчета тормозного пути автомобиля. Замедление автопоезда вычислялось по формуле:

$$j_{\text{уст}} = \frac{v_{\text{нач}} - v_{\text{кон}}}{0,5t_{\text{нач}} + t_{\text{тор}}}, \quad (1.8)$$

где $v_{\text{нач}}$ – начальная скорость движения автомобиля; $v_{\text{кон}}$ – конечная скорость движения автомобиля (принята равной 0); $t_{\text{нач}}$ – время начала замедления (принято 0,2); $t_{\text{тор}}$ – время непосредственного торможения, вычисляемое по формуле:

$$t_{\text{тор}} = t_{\text{зам}} + 0,5t_{\text{нач}} + \frac{v_{\text{нач}} k_{\text{э}}}{\phi g}, \quad (1.9)$$

где $t_{\text{зам}}$ – время срабатывания тормозной системы (для гидравлических тормозных систем данный показатель равен 0,2; для пневматической – 0,6; для автопоездов с пневмоприводом – 1,0). Для расчета замедления автобусов этот показатель принят равным 1; ϕ – коэффициент сцепления колес с дорогой (при сухом асфальте – 0,7; при мокром – 0,4; при снеге – 0,2; обледенелая дорога – 0,1); $k_{\text{э}}$ – коэффициент торможения (для автопоездов принят равным 1,5); g – ускорение свободного падения, равное 9,81.

Результаты расчетов замедления автопоездов представлены в табл. 1. 19. По результатам расчета замедления автопоезда был построен график замедления, приведенный на рис. 1.48.

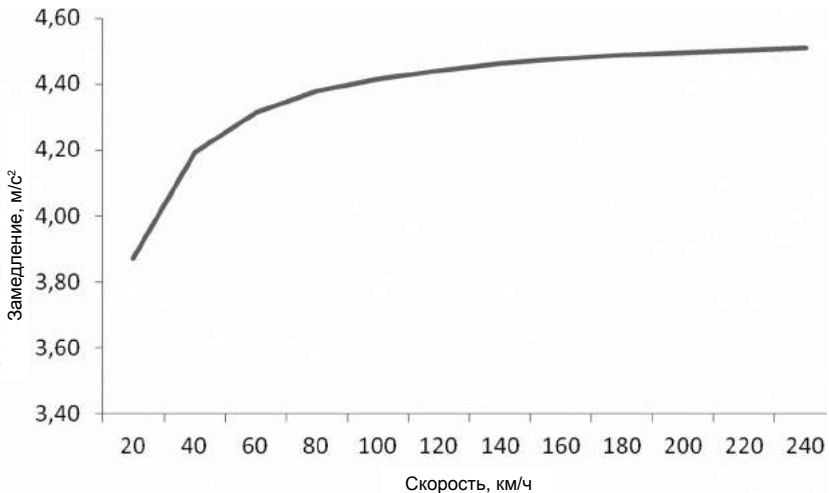


Рис. 1.48. График функции замедления автопоезда

Таблица 1.19

Результаты расчета замедления автопоездов

$v_{\text{нач}}$	Значения замедления $j_{\text{уст}}$			
	Сухой асфальт	Мокрый асфальт	Снег	Гололедица
20	3,87	2,37	1,24	0,64
40	4,19	2,49	1,27	0,65
60	4,31	2,53	1,29	0,65
80	4,38	2,55	1,29	0,65
100	4,42	2,56	1,29	0,65
120	4,44	2,57	1,30	0,65
140	4,46	2,58	1,30	0,65
160	4,48	2,58	1,30	0,65
180	4,49	2,59	1,30	0,65
200	4,50	2,59	1,30	0,65
220	4,50	2,59	1,30	0,65
240	4,51	2,59	1,30	0,65

График PTV Vision® VISSIM был сформирован в соответствии с результатами расчета замедления (рис. 1.49).

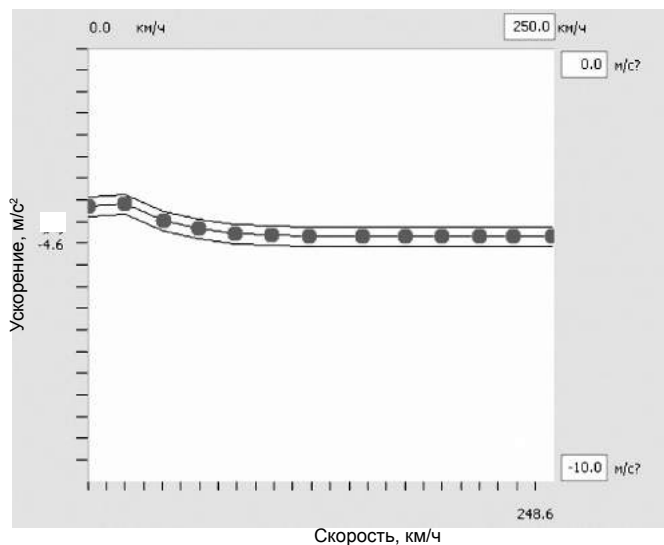


Рис. 1.49. График функции замедления автопоезда, сформированный в PTV Vision® VISSIM

Установка такого графика позволит актуализировать значения замедления для моделируемых автопоездов.

Распределение автопоездов по массе. На примере автопоездов, в число которых вошли тягачи КАМАЗ 44108 и КАМАЗ-65221, а также прицепы МАЗ-93866 и KRONE-SDP27, были определены минимальное и максимальное значения их массы. Верхняя граница распределения автопоездов по массе была установлена на уровне 70 т (на основании полной массы прицепов и тягача – с расчетом, что автопоезд состоит из тягача и двух прицепов). Нижняя граница – на уровне 26 т, поскольку снаряженная масса тягача равняется примерно 10 т (КАМАЗ 44108 – 9 т, КАМАЗ-65221 – 11,5 т), а одного прицепа – 8 т (МАЗ-93866 – 7,5; KRONE-SDP27 – 6 т).

С учетом особенностей распределения габаритов автобусов в г. Перми был изменен график распределения автопоездов по массе (рис. 1.50).

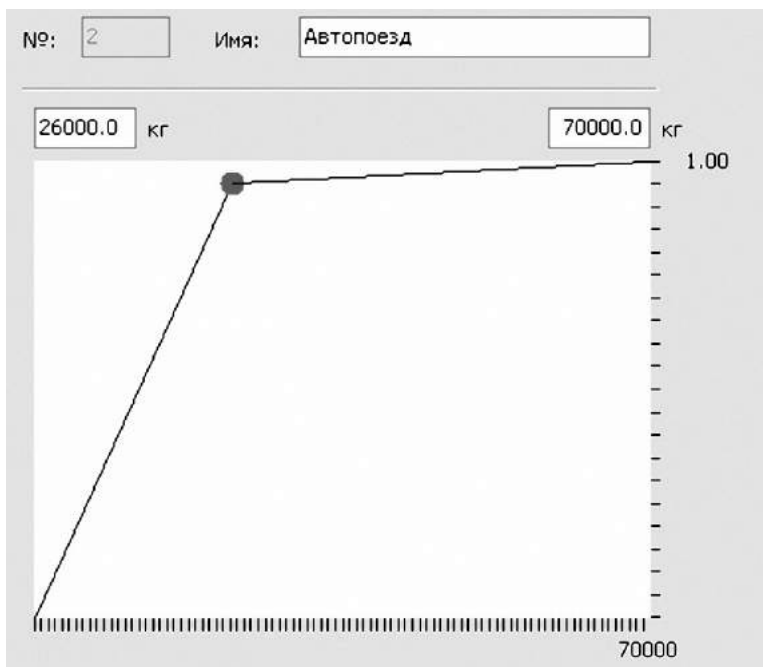


Рис. 1.50. Распределение по массе автопоездов, сформированное в PTV Vision® VISSIM

В результате при редактировании графика более чем 90% ТС имеют массу от 26 до 40 т.

1.2.5. Влияние изменения технических характеристик на результаты моделирования

Технические характеристики оказывают значительное влияние на результаты анализа эффективности функционирования перекрестка, поскольку учитываются в модели движения Видемана, которая является основополагающим компонентом при моделировании движения.

Для того чтобы определить, как изменяются результаты анализа моделирования в зависимости от технических характеристик ТС, были проведены несколько анализов. Первым был проведен анализ сети, т.е. всей зоны моделирования по основным параметрам, так как этот вид анализа является самым распространенным.

Анализ сети проводился на прямом участке однополосной дороги длиной 500 м. Отсутствие пересечений (и, как следствие, конфликтных зон), и зон малоскоростного движения позволяет оценить задержки ТС при «идеальном» движении, которое ничем не ограничивается.

Число транспортных средств, въезжающих в зону моделирования, было принято на уровне 100 ТС/ч. Моделирование проводилось для одного часа.

Анализ был проведен для двух вариантов. В первом варианте технические характеристики ТС и состав транспортного потока, соответствовали использовавшимся в PTV Vision® VISSIM по умолчанию. Для второго варианта технические характеристики были приведены в соответствие с результатами анализа базы данных зарегистрированного транспорта в г. Перми. Кроме того, для второго варианта был отредактирован состав транспортного потока, т.е. процентное соотношение ТС легковых, грузовых и общего пользования. Редактирование состава транспортного потока подробно описано в разд. 2.2.

Результаты анализа для двух вариантов представлены в табл. 1.20.

Из данных табл. 1.20 видно, что уменьшилась средняя скорость и возросло среднее время задержки. Это связано в первую очередь с изменением скоростной характеристики ТС: если по умолчанию средняя скорость ТС была равна 58 км/ч, то после она стала равной 50 км/ч.

Таблица 1.20

**Результаты сравнительного анализа движения
транспортного потока со стандартными и реальными
техническими характеристиками**

Параметр	Технические характеристики	
	заданные в PTV Vision® VISSIM по умолчанию	заданные в соответ- ствии с результа- тами анализа зареги- стрированных ТС
Полное время в пути, ч	0,794	0,858
Общее время задержки, ч	0	0,006
Время задержки до вставки, ч	0	0
Общее время остановок, ч	0	0
Число не введенных ТС	0	0
Количество остановок	0	0
Число транспортных средств в сети	1	1
Число выехавших транспортных средств	83	83
Общий отрезок пути, км	41,981	41,963
Среднее время простоя транспортного средства, с	0	0
Среднее число остановок транспортного средства	0	0
Средняя скорость, км/ч	52,843	48,918
Среднее время задержки транспортного средства, с	0,009	0,244

Помимо этого, был проведен анализ сети для реально существующего перекрестка, конфигурация которого представлена на рис. 1.51. Был выбран X-образный перекресток, на кото-

ром возможны левые и правые повороты со всех направлений. Также на данном перекрестке осуществляется светофорное регулирование. Стоп-линии, относящиеся к светофорным объектам, и фазы светофорного регулирования также показаны на рис. 1.51.

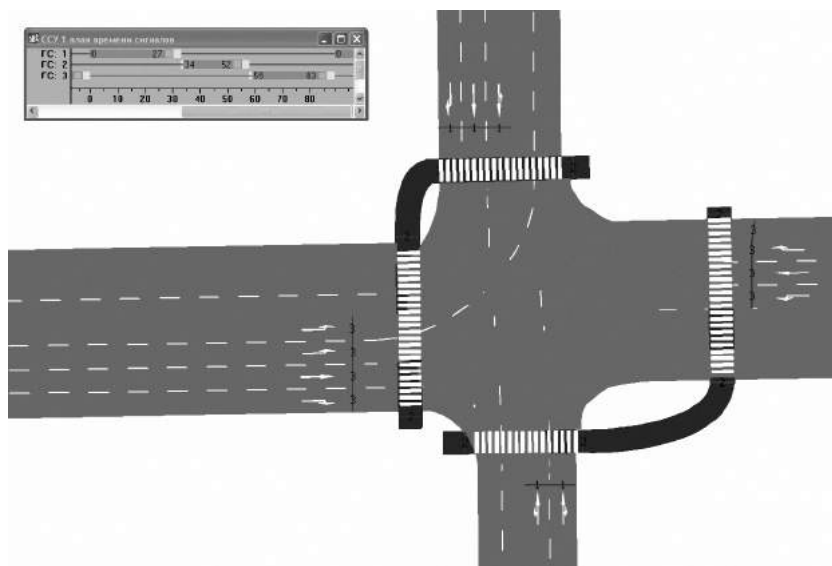


Рис. 1.51. Конфигурация перекрестка для проведения сравнительного анализа

Число ТС, въезжающих на перекресток, было приведено в соответствие с результатами натурного обследования перекрестка в час пик (18:00–19:00).

Анализ перекрестка проводился для двух вариантов. В первом варианте были сохранены технические характеристики, заданные в PTV Vision® VISSIM как стандартные. Кроме того, был сохранен состав транспортного потока, заданный в PTV Vision® VISSIM по умолчанию. Соотношение легковых и грузовых ТС в стандартном для PTV Vision® VISSIM транспортном потоке равно 98:2. Для второго варианта технические характеристики были изменены в соответствии с техническими характеристиками реальных ТС. Кроме того, в соответствии с анализом базы данных зарегистрированных ТС, был отредактирован состав транспортного потока. Фрагмент области моделирования первого варианта представлен на рис. 1.52.

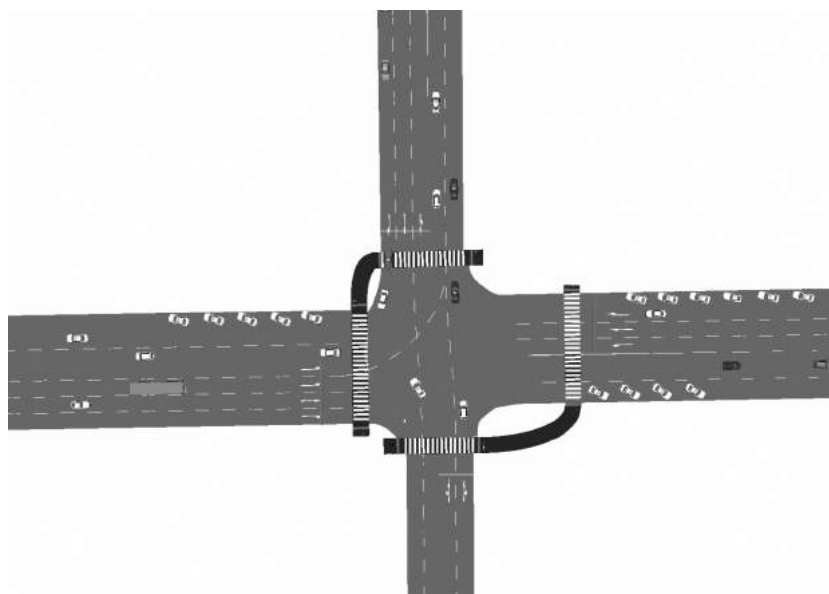


Рис. 1.52. Фрагмент области моделирования
варианта 1 (478-я секунда имитации)

Результаты моделирования для двух моделей динамики транспортных потоков представлены в табл. 1. 21.

Таблица 1.21

**Результаты сравнительного анализа движения
транспортного потока со стандартными и реальными
техническими характеристиками**

Параметр	Технические характеристики	
	заданные в PTV Vision® VISSIM по умолчанию	заданные в соответ- ствии с результа- тами анализа зареги- стрированных ТС
Полное время в пути, ч	78,712	86,556
Общее время задержки, ч	49,849	58,752
Время задержки до вставки, ч	189,41	241,292
Общее время остановок, ч	36,115	43,336

Окончание табл. 1.21

Параметр	Технические характеристики	
	заданные в PTV Vision® VISSIM по умолчанию	заданные в соответствии с результатами анализа зарегистрированных ТС
Число невведенных ТС	409	540
Число остановок	4929	5287
Число транспортных средств в сети	87	82
Число выехавших транспортных средств	2505	2397
Общий отрезок пути, км	964,36	919,017
Среднее время простоя транспортного средства, с	50,16	62,933
Среднее число остановок транспортного средства	1,902	2,133
Средняя скорость, км/ч	12,252	10,618
Среднее время задержки транспортного средства, с	69,235	85,32

Из данных таблицы также видно, что динамическая модель реального потока имеет худшие значения показателей качества функционирования, чем стандартная динамическая модель в PTV Vision® VISSIM. Прежде всего, это связано с изменением распределения желаемой скорости.

Дело в том, что по умолчанию в PTV Vision® VISSIM задано распределение скорости, нижняя граница которого равна 48 км/ч, а верхняя – 58 км/ч. В результате изменения данной технической характеристики скорость ТС распределена от 40 до 60 км/ч, т.е. средняя скорость транспортного потока уменьшается.

Глава 2

Формирование состава транспортного потока при помощи средств визуализации PTV Vision® VISSIM

Целью настоящей главы является описание формирования визуальной модели транспортных потоков на основе базовой структуры транспортного потока г. Перми. Визуальная модель транспортного потока в последующем будет применяться в программном комплексе PTV Vision® VISSIM для последующей имитации транспортного движения. Следует отметить, что описываемая в настоящей главе визуальная модель не затрагивает технических характеристик ТС и манеру езды, т.е., по сути, является только внешней оболочкой транспортного средства.

К задачам данной главы относятся:

- 1) определение базовых автомобилей г. Перми, выбор 3d-моделей соответствующих автомобилей;
- 2) формирование визуальной модели транспортного потока при помощи 3d-моделей автомобилей.

2.1. Формирование состава транспортного потока на основе 3D-моделей базовых автомобилей

2.1.1. Общие сведения

Распределение 3d-моделей отдельно для каждого типа ТС осуществляется в PTV Vision® VISSIM при помощи пункта «Распределение 2D/3D-моделей» меню «Базовые данные». При этом в открывшемся окне необходимо выбрать или создать тип ТС для редактирования (рис. 2.1), после чего откроется окно «Распределение 2D/3D-моделей» (рис. 2.2).

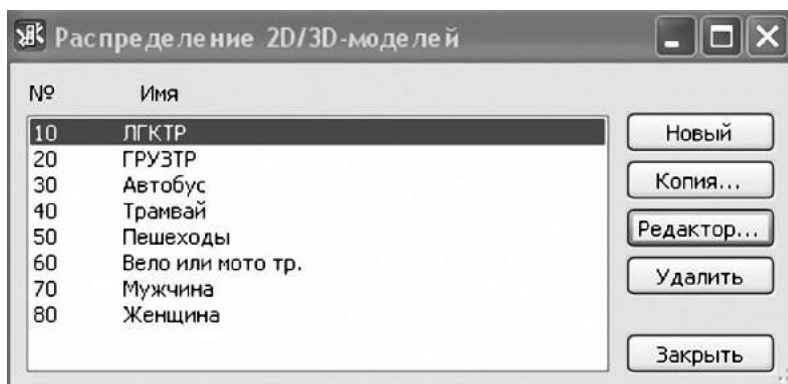


Рис. 2.1. Выбор типа ТС при задании распределения 2D/3D-моделей

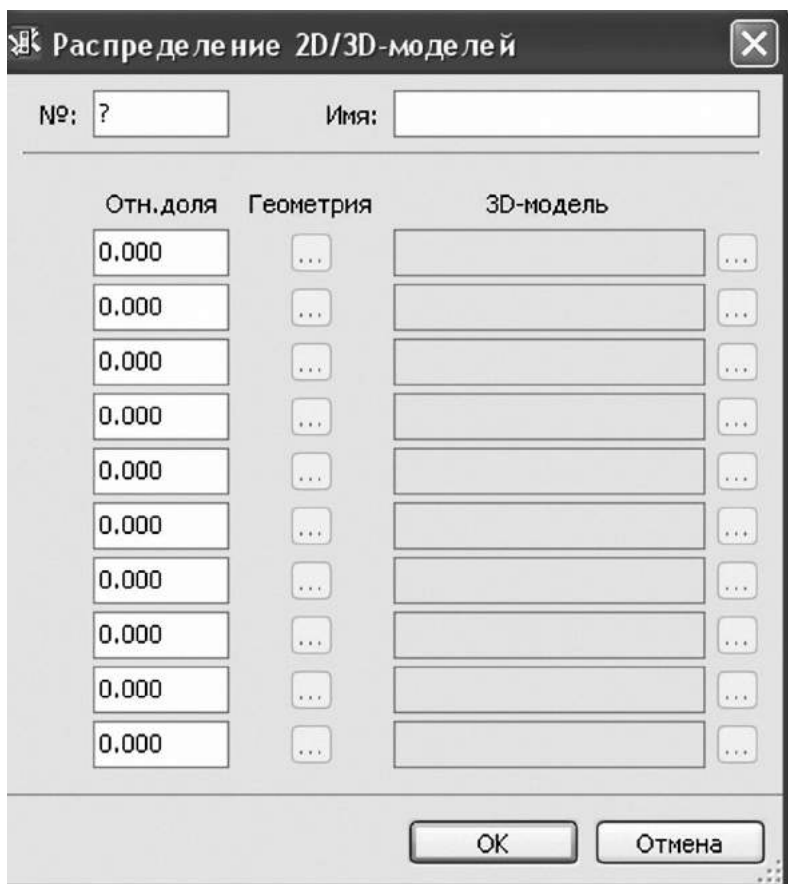


Рис. 2.2. Окно «Распределение 2D/3D-моделей»

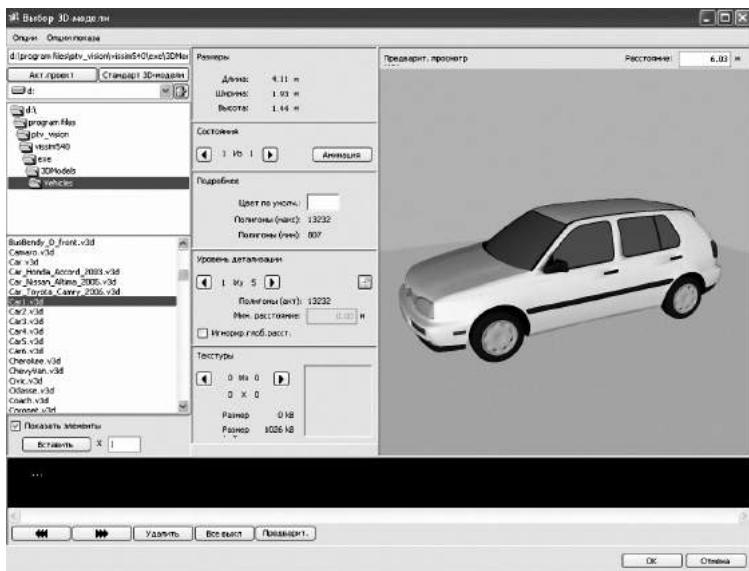


Рис. 2.4. Представление опций 3D-моделей в окне «Выбор 3D-модели»

1.2. Опции показа. При включении всех опций область Предварительного просмотра примет вид:

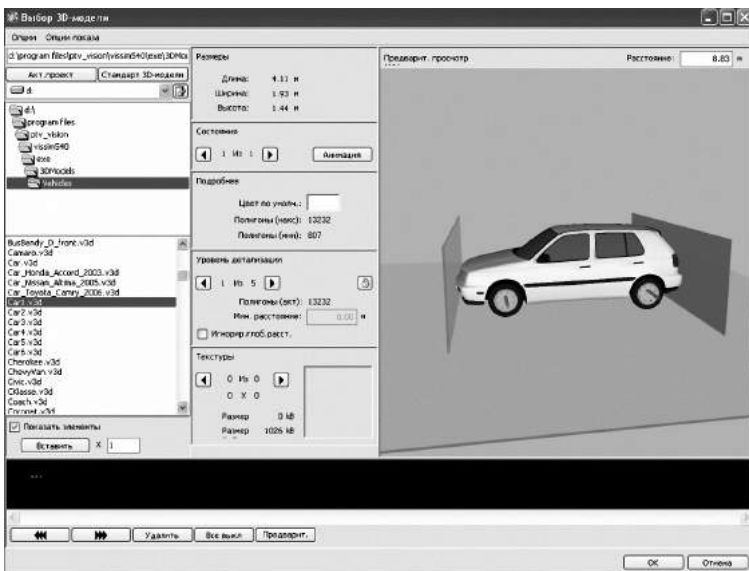


Рис. 2.5. Представление опции показа в окне «Выбор 3D-модели»

Опции показа отображают переднюю и заднюю оси ТС (которые показываются красным и синими цилиндрами), позицию сочленения (актуально если ТС состоит из нескольких элементов, например – автопоезд), длину дышла (расстояние между концом первого элемента и передней осью второго элемента ТС) и землю.

2. Область поиска файла 3D-модели при помощи проводника. Для более удобного поиска предусмотрены дополнительные кнопки «Актуальный проект» (открывает папку с текущим файлом сети) и «Стандартные 3D-модели» (открывает папку 3D-models с 3D-моделями, доступными для всех пользователей PTV Vision® VISSIM).

3. Область предварительного просмотра файла 3D-модели.

4. Область формирования транспортного средства, состоящего из нескольких элементов. Любое ТС должно состоять хотя бы из одного элемента. Существуют также ТС, которые содержат несколько элементов. К таким относятся, например, тягачи, легковые ТС с прицепом, трамваи, состоящие из двух вагонов, и т.д.

Для того чтобы создать ТС, состоящее из двух элементов, необходимо выбрать нужные 3D-модели, нажав кнопку «Вставить». Пример транспортного средства, состоящего из двух элементов, представлен на рис. 2.6.

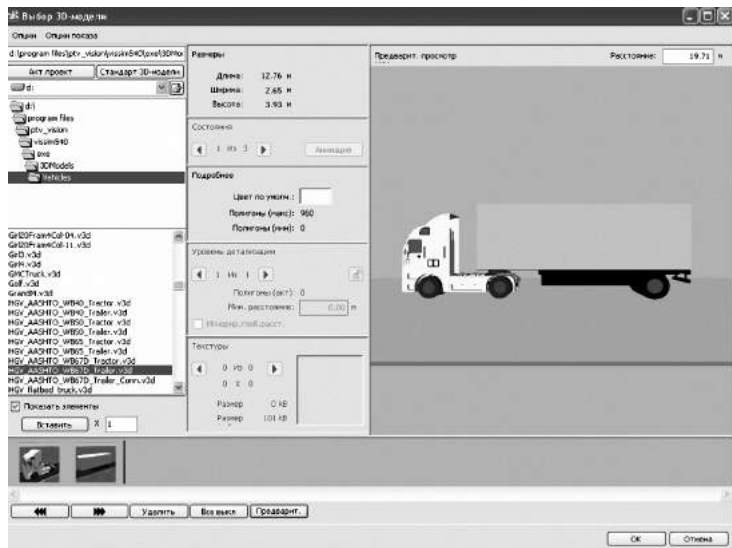


Рис. 2.6. Транспортное средство, состоящее из двух элементов (тягач и прицеп)

Отметим, что PTV Vision® VISSIM воспринимает 3D-модели в формате .v3d, который получается при сохранении из дополнительного модуля V3DM. Для того чтобы получить такой формат, необходимо модель в формате .3ds загрузить в модуль V3DM, а затем экспортировать в формат .v3d.

Все модели, использованные при формировании визуальной модели транспортного потока, были импортированы при помощи бесплатного приложения Google SketchUp.

SketchUp – программа для моделирования относительно простых трехмерных объектов – строений, мебели, интерьера. Одной из функций приложения является обмен 3D-моделями из общедоступных бесплатных коллекций. Также 3D-модели некоторых ТС были импортированы из данных коллекций или выбраны из списка стандартных для PTV Vision® VISSIM 3D-моделей.

2.1.2. Легковые транспортные средства

По данным ГИБДД, в Перми зарегистрировано 233 318 легковых транспортных средств, в том числе множество моделей и модификаций различных марок автомобилей. При формировании визуальной модели транспортного потока невозможно учесть все множество марок и моделей автомобилей. Поэтому возникает необходимость ввести понятие «базовая модель транспортного потока». Каждая базовая модель является эквивалентом части автомобилей транспортного потока, сходных с данной моделью по техническим характеристикам.

Определение базовых моделей автомобилей производится следующим образом: сначала устанавливаются группы ТС согласно маркам автомобилей, затем базовый автомобиль для каждой такой группы посредством выявления наиболее распространенной модели автотранспорта, а после этого число ТС, относящихся к одной марке транспортных автомобилей (далее – группа ТС), а также процентное отношение группы ТС к общему числу легковых ТС, зарегистрированных в Перми;

Количество ТС было определено в результате анализа базы данных зарегистрированного транспорта. Анализ проводился для автомобилей чем более 300 типов марок и затронул более чем 93 % всех зарегистрированных легковых транспортных средств.

Результаты анализа базы данных по численности групп ТС, а также модели базовых автомобилей для каждой группы представлены в табл. 2.1 приложения 1.

В результате анализа базы данных всех зарегистрированных ТС было выявлено 30 базовых автомобилей. Однако PTV Vision® VISSIM предусматривает в одном типе ТС наличие лишь десяти разных 3D-моделей. Для того чтобы учесть все базовые модели автомобилей, необходимо создать три группы распределений 3D-моделей, а затем в меню «Транспортное движение – «Состав транспортного потока» выбрать их в соответствующем соотношении.

По результатам анализа была отредактирована визуальная модель легкового транспорта в PTV Vision® VISSIM (рис. 2.7).

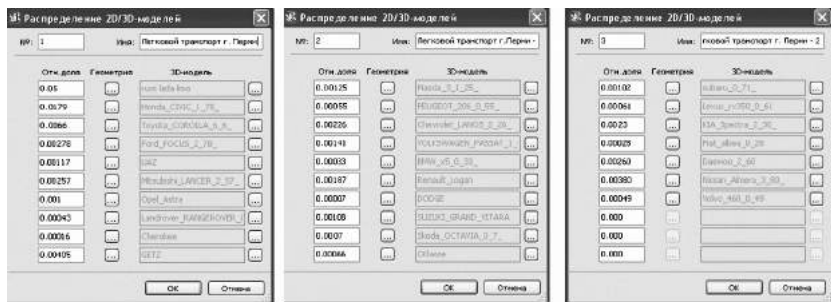


Рис. 2.7. Распределение 2D/3D-моделей легковых ТС

Следует отметить, что 7 % автомобилей не были включены в анализ. Дело в том, что в Перми зарегистрированы отдельные марки транспортных средств, количество которых менее 300. Учесть эти марки ТС невозможно. В связи с этим для 7 % автомобилей, которые не были обследованы при анализе состава парка легкового транспорта, 3D-моделью была принята ВАЗ-2107 вследствие ее наибольшей распространенности.

2.1.3. Грузовые транспортные средства

По данным ГИБДД, в г. Перми зарегистрировано 23 009 грузовых транспортных средств, в том числе множество моделей и модификаций различных марок автомобилей. При формировании визуальной модели грузового транспортного потока, так же, как и для легкового, невозможно учесть все множество марок и моделей автомобилей. Поэтому введем понятие «базовая модель транспортного потока» для грузового транспорта. Каждая базовая модель является эквивалентом части автомобилей транспортного потока, сходных с данной моделью по техническим характеристикам.

Напомним, что до этого момента под грузовыми подразумевались такие ТС, которые ориентированы на перевозку одного типа грузов (сыпучего, жидкого, пакетированного), т.е. поддерживают установку на грузовую платформу только одного типа кузова. К таким ТС будут отнесены некоторые модели марок ЗИЛ, КАМАЗ и МАЗ. Однако существует разновидность грузовых ТС, которые поддерживают установку на грузовую платформу нескольких типов кузовов. Такие ТС будут отнесены к типу «Автопоезда».

В связи с разделением грузовых транспортных средств на две разновидности были сформированы две таблицы, в которых определяются базовые модели для грузовых ТС, а также для автопоездов.

Определение базовых моделей автомобилей производится следующим образом: формируются группы ТС согласно маркам автомобилей, затем для каждой такой группы выбирается базовый автомобиль на основе установления наиболее распространенной модели ТС, после чего определяется число ТС, относящихся к одной марке автотранспорта (далее – группа ТС), а также процентное отношение группы ТС к общему числу грузовых ТС и автопоездов, зарегистрированных в Перми.

Определение базовых автомобилей проводилось по результатам анализа базы данных зарегистрированного грузового транспорта. Анализ проводился для ТС более чем 15 марок и затронул 79 % всех зарегистрированных грузовых транспортных средств и автопоездов. Результаты анализа по численности групп ТС, а также модели базовых автомобилей, присвоенные каждой группе, приведены в табл. 2 и 3 приложения 1.

Следует отметить, что не все транспортные средства были включены в анализ – по причине малой распространенности. В связи с этим было принято решение подобным ТС присвоить модель КАМАЗ-5321 (наиболее распространенная базовая модель среди грузового транспорта и автопоездов).

В результате анализа было выявлено, что автопоездов среди общего количества грузового транспорта в г. Перми насчитывается около 87 %.

По результатам анализа базы данных зарегистрированного транспорта были созданы распределения 3D-моделей для типов «Грузовые ТС и автопоезда» (рис. 2.8 и 2.9).

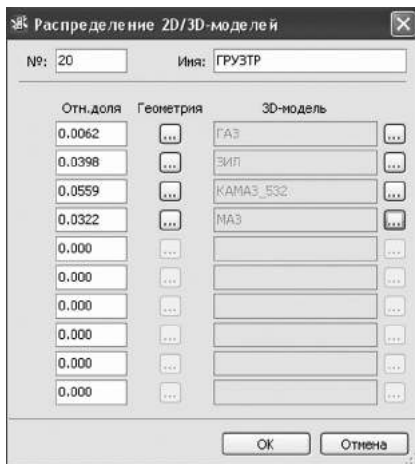


Рис. 2.8. Распределение 3D-моделей для типа «Грузовые ТС»

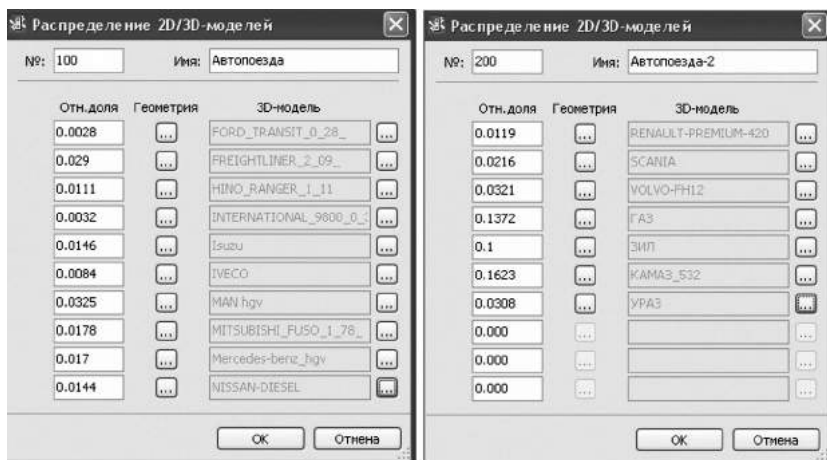


Рис. 2.9. Распределение 3D-моделей для типа «Автопоезда»

2.1.4. Транспортные средства общего пользования

По данным ГИБДД, в г. Перми зарегистрировано 2016 транспортных средств общего пользования. При формировании визуальной модели городского общественного транспортного потока также, как и для легкового и грузового, невозможно учесть все множество марок и моделей транспортных средств общего пользования. Поэтому так же, как и для легковых транспортных средств, введем понятие «базовая модель транспортного средства общего пользования». Каждая базовая модель является эквива-

лентом части автомобилей транспортного потока, сходных с этой моделью по техническим характеристикам.

Выбор базовых моделей ТС общего пользования производится следующим образом: определяются группы ТС общего пользования согласно маркам ТС общего пользования, затем для каждой такой группы – базовое ТС общего пользования на основе выявления наиболее распространенной модели ТС общего пользования, а после этого находятся число ТС общего пользования, относящихся к одной марке ТС общего пользования (далее – группа ТС общего пользования) и процентное отношение группы ТС общего пользования к общему числу ТС общего пользования, зарегистрированных в Перми.

Число ТС общего пользования было определено по результатам анализа базы данных зарегистрированного транспорта. Анализ проводился для ТС общего пользования более чем десяти марок и затронул 70 % всех зарегистрированных ТС общего пользования. Результаты анализа представлены в табл. 4 приложения 1. В результате проверки базы данных ТС общего пользования было выявлено 16 базовых ТС общего пользования.

Поскольку анализ затронул не все ТС общего пользования, зарегистрированные в Перми, 30 % ТС общего пользования была присвоена самая распространенная базовая модель – MERCEDES-BENZ-0405.

Так как PTV Vision® VISSIM подразумевает распределение, состоящее лишь из десяти 3D-моделей для одного типа транспортных средств, было создано два распределения, которые в дальнейшем в соответствующем процентном соотношении будут включены в распределение всего транспортного потока (рис. 2.10).

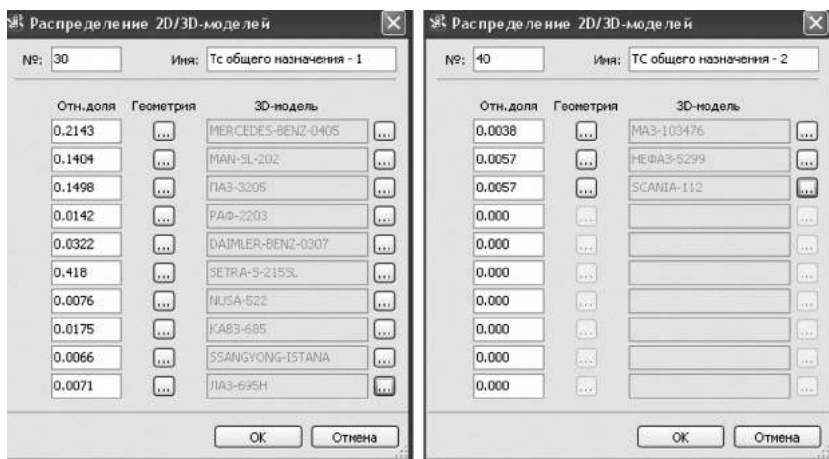


Рис. 2.10. Распределение 3D-моделей ТС общего пользования

Установка таких распределений позволит актуализировать визуализацию состава транспортного потока.

2.2. Задание состава транспортного потока

Структура транспортного потока в PTV Vision® VISSIM задается с помощью меню «Транспортное движение». Для того чтобы задать соотношение транспортных средств, необходимо выбрать пункт меню «Состав транспортного потока».

По умолчанию в PTV Vision® VISSIM задан транспортный поток, состоящий из легковых (98 %) и грузовых (2 %) ТС (рис. 2.11).

Тип ТС	Отн. нагрузка	Жел. скорость
100, ЛГКТР	0.980	50: 50 km/h (48.0, 58.0)
200, ГРУЗТР	0.020	50: 50 km/h (48.0, 58.0)

Рис. 2.11. Распределение типов ТС в основном транспортном потоке PTV Vision® VISSIM

Для того чтобы актуализировать данное распределение, был проведен анализ базы данных зарегистрированного транспорта. Однако указанный анализ имеет некоторые особенности. Так, в него не был включен мототранспорт, поскольку он существенно не влияет на результаты моделирования. Кроме того, из анализа была исключена категория «Прицепы», так как этот вид транспорта может двигаться только совместно с тягачом.

Грузовой транспорт был распределен на две группы. Условно эти группы были названы «грузовые ТС» (ориентированы на движение с одним типом кузова) и «автопоезда» (ориентированы на движение с разными типами кузовов). Кроме этого в распределение типов ТС в общем транспортном потоке не будет включена категория транспорта общего пользования, так как он движется по маршруту, который нужно задавать при помощи меню «Общественный транспорт».

Для того чтобы учесть особенности транспортного потока г. Перми в программном комплексе PTV Vision® VISSIM, было создано новое распределение транспортного потока.

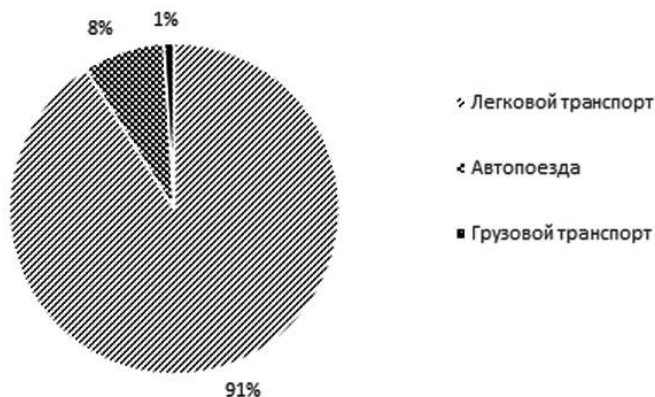


Рис. 2.12. Состав транспортного потока в г. Перми

Распределение разных типов транспорта в PTV Vision® VISSIM было отформатировано в соответствии с анализом транспортного потока в г. Перми (рис. 2.13).

Тип ТС	Отн. нагрузка	Жел. скорость
1, Автопоезд	0.010	50: 50 km/h (20.0, 60.0)
100, ЛГКТР	0.910	50: 50 km/h (20.0, 60.0)
200, ГРУЗТР	0.080	50: 50 km/h (20.0, 60.0)

Рис. 2.13. Распределение типов ТС в основном транспортном потоке

Установка такого распределения позволит актуализировать состав моделируемого транспортного потока.

Глава 3

Формирование психофизиологической модели поведения водителя

3.1. Общие сведения

Как и в реальной жизни, в моделях движения транспортных средств в PTV Vision® VISSIM на режим движения на том или ином участке сети влияют не только технические характеристики транспорта, участвующего в движении, конфигурация участка моделирования и интенсивность транспортного потока, но и поведение водителей при управлении ТС. Так, некоторые водители ведут себя «агрессивнее» других – не соблюдают безопасную дистанцию по отношению к впереди идущему транспорту, активно используют возможности своего автомобиля при разгоне и торможении, часто маневрируют, меняя полосу движения, совершают обгоны и т.д. Совокупность подобных действий водителя, описанная неккими параметрами, формирует психофизиологическую модель поведения водителя, или *манеру езды*.

Психофизиологическая модель поведения водителя (манера езды), формируемая в процессе моделирования в программном комплексе PTV Vision® VISSIM, включает набор факторов, представляющих, в свою очередь, совокупность типовых поведенческих ситуаций, а именно:

- 1) поведение водителя при следовании *за впереди идущим* ТС;
- 2) поведение водителя транспорта при смене полосы;
- 3) поведение водителя по отношению к транспорту, расположенным сбоку;
- 4) реакция водителя на переключение сигналов светосигнальных установок.

Следует отметить, что факторы, влияющие на формирование психофизиологической модели, могут меняться в зависимости от:

- 1) *категории дороги* – было выявлено, что категория дороги (улицы) влияет на скорость ТС, а в зависимости от скорости изменяется и дистанция безопасности до впереди идущего транспорта;

2) *дорожной разметки* – при приближении к сплошным линиям продольной разметки или к необходимой полосе перестроение становится более резким, из-за чего также может уменьшиться рекомендуемая дистанция безопасности;

3) *ширины полосы* – при ее увеличении возможны ситуации, при которых транспорт на одной полосе движется в две колонны, и в этом случае очень важно учитывать разные поведения водителей по отношению к ТС, расположенным сбоку;

4) *реакции на светофорные объекты* – при отсутствии зеленого мигающего сигнала светофора может возникнуть ситуация, когда водитель не успевает вовремя среагировать на желтый сигнал светофора и продолжает движение, вместо того чтобы прекратить его, применив экстренное торможение.

Факторы, влияющие на формирование психофизиологической модели в PTV Vision® VISSIM можно редактировать в меню «Базовые данные», пункт меню «Манера езды» (рис. 3.1). Каждая манера езды (или психофизиологическая модель) содержит набор параметров, которые распределены по соответствующим вкладкам.

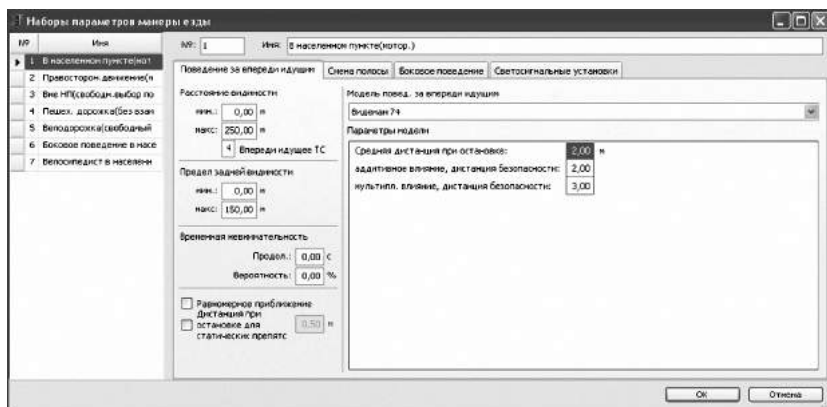


Рис. 3.1. Окно редактирования «Манера езды» (психофизиологической модели)

Для каждой манеры езды можно выделить четыре одинаковых фактора:

1. *Поведение водителя при следовании за впереди идущим.*

Оно характеризуется рядом параметров.

1.1. *Расстояние видимости, м* – это максимально расстояние, при котором водитель способен видеть и анализировать пространство впереди себя, и, соответственно, может сделать какие-

либо выводы о том, как ему осуществлять движение дальше. Характеризуется такими параметрами, как:

- минимальное расстояние видимости, m – учитывается при наличии ТС, движущихся второй колонной по той же полосе. Так, если в пределах полосы допускается обгон, то значение минимального расстояния видимости должно быть больше 0. Этот параметр позволяет в подобных случаях избежать хаотичного пересечения ТС (к таким ситуациям можно отнести такую, при которой ТС хотят перестроиться перед стоп-линией в одном и том же месте);

- максимальное расстояние видимости, m – наибольшее расстояние, которое водитель способен оценивать впереди себя. Его значение должно повышаться только в очень редких случаях, например при моделировании поведения водителя, управляющего тягачом с высоким расположением кабины водителя, на прямых участках загородных дорог или при моделировании движения поездов на железнодорожных путях;

- число впереди идущих ТС – определяет, насколько хорошо водители транспортных средств, двигающиеся в одной колонне, могут предвидеть манеру езды впереди идущих ТС и соответственно реагировать на их поведение.

1.2. *Пределы задней видимости*, m – расстояние, которое необходимо водителю, чтобы отреагировать на транспорт позади себя. На этот параметр, например, влияет процент автомобилей в транспортном потоке, имеющих тонировку заднего стекла (измеряется в числе ТС).

1.3. *Временная невнимательность* – отсутствие реакции водителя на впереди идущее ТС в некоторый промежуток времени. Характеризуется: продолжительностью, s (продолжительность невнимательности определяет, сколько времени она будет длиться) и вероятностью (%) того, как часто будет происходить данная невнимательность. Чем выше значения обоих параметров, тем меньше пропускная способность отрезка.

1.4. *Тип модели поведения водителя при следовании за впереди идущим ТС*. По этому параметру выбирается базовая модель для формализации поведения транспорта, т.е. метод, по которому будет рассчитано передвижение ТС по сети. Базовой моделью для формализации поведения водителей ТС и моделировании движения транспортных средств в PTV Vision® VISSIM является модель Видемана – так называемая «модель за впереди идущим».

Она имеет две разновидности: это модель внутригородского движения (Видеман 74) и модель движения по автомагистрали (Видеман 99).

Кроме того, при определении модели может быть выбран пункт «Без взаимодействия». При такой модели поведения транспортные средства не распознают другие ТС и, соответственно, никак не взаимодействуют друг с другом (обычно используется для простого моделирования пешеходных потоков).

Параметры моделей Видемана подробнее будут рассмотрены в п. 3.1.

2. Поведение водителя ТС при смене полосы. В этом случае используются следующие параметры:

2.1. Необходимая смена полосы – при движении в плотном транспортном потоке может возникнуть ситуация, когда ТС не успел перестроиться на нужную полосу заранее и водитель замедляет скорость и ждет, пока транспорт, движущийся по необходимой полосе, предоставит ему возможность сменить полосу. Такие ситуации регламентируются указанным параметром, который регулируется от значения *приемлемого замедления* (нижняя граница, м/с^2) до значения *максимального замедления* (верхняя граница, м/с^2).

2.2. Время ожидания, с – максимальное время, которое водитель ТС может провести, ожидая возможности произвести необходимую смену полосы. Стандартное значение времени ожидания – 60 с. По истечении этого времени ТС удаляется из зоны моделирования. Однако в реальной жизни ТС не может просто исчезнуть, а так как моделирование должно отображать существующую ситуацию, то следует избегать удаления ТС. Для того чтобы ТС не было удалено, рекомендуется увеличивать значение указанного параметра.

2.3. Минимальное конфликтное расстояние спереди/сзади, м – минимальное расстояние между двумя ТС, необходимое для того, чтобы водитель смог сменить полосу.

2.4. Фактор для уменьшения дистанции безопасности – если для ТС смена полосы затруднена, то дистанция безопасности между ним и впереди идущим транспортом может быть сокращена. В PTV Vision® VISSIM дистанция безопасности также сокращается, однако дистанция безопасности не может принимать нулевое значение. В связи с этим в PTV Vision® VISSIM используется рассматриваемый фактор для уменьшения дис-

танции безопасности. Он обычно принимает значения менее 1 и умножается на величину безопасной дистанции, вследствие чего значение безопасной дистанции уменьшается.

2.5. *Максимальное замедление для общего торможения*, m/c^2 – определяет, осуществляет ли водитель ТС торможение, чтобы позволить впереди идущему транспорту перейти на его полосу.

3. ***Поведение водителя по отношению к ТС, расположенным сбоку.*** Его характеризует следующие параметры:

3.1. *Желаемая позиция при свободном передвижении* – описывает желаемую позицию ТС в пределах одной полосы.

3.2. *Сохранение боковой дистанции по отношению к ТС на соседних полосах* – если параметр активен, ТС начнут смещаться в сторону при появлении транспорта на других полосах.

3.3. *Смещенная установка* – учитывает форму транспортного средства. Например, велосипедисты представляются в моделировании не как прямоугольник, а как ромб.

3.4. *Учет следующего направления поворота* – если выбран этот параметр, то обгон транспорта, движущегося в направлении поворота, запрещен.

3.5. *Экономия времени при столкновении* – параметр, который определяет минимальное увеличение времени до столкновения со следующим ТС, учитывается при маневрировании (по умолчанию – 2 с). Сокращение этого значения приводит к более оживленному боковому поведению, так как ТС начинают маневрировать для получения даже минимального преимущества

3.6. *Минимальная скорость по прямой* – параметр определяет минимальное значение скорости, также допускающее боковое перемещение.

3.7. *Время между сменой направления* – при движении зачастую случается, что ТС необходимо двигаться по заранее выбранной полосе для выполнения дальнейшего поворота. Однако при моделировании в PTV Vision® VISSIM может возникнуть ситуация, когда водитель захочет, например, обогнать ТС, движущееся впереди него. Для того чтобы избежать лишних перестроений в таких случаях, и предусматривается данный параметр (время между сменой направления), который учитывает направление следующего соединительного отрезка, вследствие чего ТС не изменит свое положение, чтобы обогнать другой транспорт.

3.8. *Обгон на той же полосе* – параметр определяет выбор обгоняемых типов транспорта.

3.9. *Минимальная боковая дистанция* – определяет минимальную дистанцию между ТС при обгоне в пределах полосы.

Следует отметить, что ситуации, когда ТС движутся в несколько колонн в пределах одной полосы в населенных пунктах крайне редки. Так, в г. Перми данные ситуации возникают только на отложенных поворотах или резких поворотах.

Параметры бокового поведения пересматривать нецелесообразно, так как продолжительность отрезков, на которых боковое поведение может возникать, крайне мала (так, что такие отрезки иногда вмещают в себя только две рядом стоящих ТС).

4. **Реакция водителя на переключение сигналов светосигнальных установок.** Используются следующие параметры:

4.1. *Реакция на желтый сигнал светофора* – возможны различные варианты.

4.1.1. *Текущая проверка* – при данном значении водитель ТС исходит из предположения, что желтый сигнал светофора останется включенным 2 с, после чего в каждом временном шаге решает, двигаться ему дальше или нет в зависимости от максимального замедления ТС, а также актуальной скорости.

4.1.2. *Твердое решение* – при данном значении для расчета вероятности того, будет ли водитель останавливаться на желтый свет, применяется логистическая функция регрессии. Стандартные значения функции базируются на эмпирических данных и могут быть отредактированы.

4.2. *Поведение при красно-желтом сигнале светофора* – водитель может принимать решение «ждать» или «ехать».

4.3. *Уменьшенная дистанция безопасности* – параметр определяет поведение ТС у стоп-линии.

В данном разделе будут подробно рассмотрены факторы, влияющие на формирование психофизиологической модели и отвечающие за поддержание безопасной дистанции, а именно: за поведение водителя *впереди идущего* ТС, его реакция на переключение сигналов светосигнальных установок, а также поведение при смене полосы.

3.2. Установление параметров модели движения, отвечающих за поддержание дистанции безопасности

3.2.1. Рассчитанные значения дистанции безопасности

Прежде чем перейти к понятию «дистанция безопасности», необходимо дать определение, связанное с ним базовым понятиям.

Одним из таких понятий является «динамический габарит автомобиля». Под *динамическим габаритом* L_d (рис. 3.2) подразумевается участок дороги, минимально необходимый для безопасного движения в транспортном потоке автомобиля длиной l_a с заданной скоростью при соблюдении дистанции безопасности [9]. *Дистанция безопасности* (d) – это расстояние до транспортного средства, движущегося впереди по той же полосе.

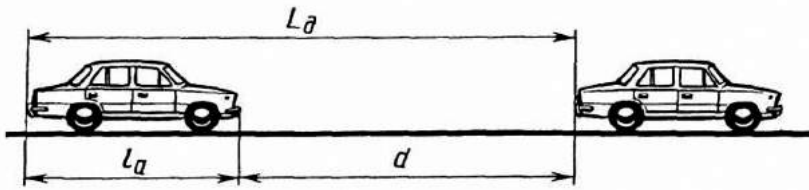


Рис. 3.2. Динамический габарит автомобиля в транспортном потоке

Динамический габарит автомобиля может быть определен тремя способами, а именно путем вычисления минимальной теоретической, максимальной теоретической и реальной дистанции безопасности.

1. При расчете дистанции безопасности исходя из ее минимального теоретического значения принимают абсолютно равными тормозные свойства пары автомобилей и учитывают только время реакции ведомого водителя. Тогда

$$L_d = l_a + v_a t_p + l_0, \quad (3.1)$$

где L_d – участок дороги, необходимый для безопасного движения в транспортном потоке, м; l_a – длина автомобиля, м; v_a – скорость автомобиля при начале замедления, м/с; t_p – время реакции ведомого автомобиля, с; l_0 – зазор до остановившегося впереди автомобиля, м. Обычно принимается равным 1–3 м.

Данный подход не учитывает индивидуальные особенности поведения водителей автомобилей-«лидеров». Здесь главную роль играет только увеличение/уменьшение времени реакции водителя «ведомого» автомобиля и скорости «ведомого» автомобиля. Так, чем выше скорость автомобиля и чем больше время реакции водителя «ведомого» автомобиля, тем дистанция безопасности больше.

2. При расчете, исходя из вычисления ее максимального теоретического значения, дистанцию d принимают равной полному остановочному пути ведомого автомобиля. То есть по сравнению

с расчетом, исходя из вычисления минимальной теоретической дистанции безопасности, учитывается не только время реакции ведомого водителя, но и время, которое потребуется на полную остановку ТС ($v_a^2 / 2j_a$). Тогда динамический габарит определится по формуле:

$$L_d = l_a + v_a t_p + \frac{v_a^2}{2j_a} + l_0, \quad (3.2)$$

где j_a – замедление ТС, м/с². Пояснения остальных величин даны к формуле (3.1).

Такой подход больше соответствует требованиям обеспечения безопасности движения при высоких скоростях (более 90 км/ч).

3. При расчете дистанции безопасности, исходя из вычисления ее реального значения, необходимо учитывать разницу тормозных путей (или замедлений) автомобилей, так как «лидер» в процессе торможения также перемещается на расстояние, равное своему тормозному пути. Тогда дистанцию безопасности, м, можно определить по формуле:

$$d = v_a t_p + \frac{v_a^2}{2} \left(\frac{1}{j_2} - \frac{1}{j_1} \right), \quad (3.3)$$

где j_1 – начальное замедление ТС, м/с²; j_2 – конечное замедление ТС, м/с².

Если принять время реакции водителя (включая время запаздывания срабатывания гидравлического тормозного привода) равным 1 с, а разность максимальных замедлений на сухом асфальтобетонном покрытии при экстренном торможении однотипных легковых автомобилей с учетом эксплуатационного состояния тормозной системы в допустимых нормативами пределах около 0,08 м/с², то динамический габарит:

$$L_d = l_a + v_a + 0,04v_a^2 + 1. \quad (3.4)$$

При этом разность максимальных замедлений была получена по формуле:

$$\frac{1}{j_2} - \frac{1}{j_1}, \quad (3.5)$$

где $j_2 = 5,8$ [10]; $j_1 = 11,1$ [11].

Расчет дистанции безопасности путем вычисления наблюдаемой дистанции безопасности, по сравнению с остальными, наиболее точен, так как учитывает характеристики не только ведомого автомобиля, но и «лидера». Этим способом были рассчитаны значения дистанции безопасности для некоторых скоростей (табл. 3.1).

Таблица 3.1

**Значения дистанции безопасности, рассчитанные
путем вычисления ее реальной величины**

Скорость, км/ч	Рассчитанная дистанция безопасности, м	Скорость, км/ч	Рассчитанная дистанция безопасности, м
26	10,30864	39,8	16,94457
32,8	13,4316	40,5	17,3125
35,7	14,85028	44	19,19753
36,7	15,35151	45,6	20,08444
39,2	16,6316	50,8	20,07605
39,3	16,68361	64,8	28,96

График зависимости рассчитанных значений дистанции безопасности от скорости взаимодействующих ТС представлен на рис. 3.3.

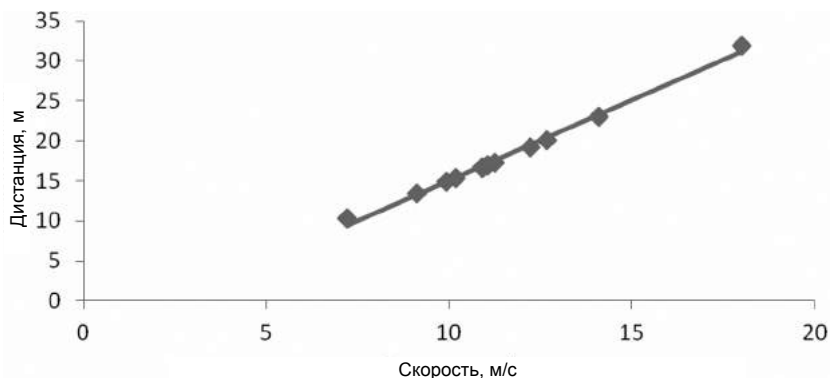


Рис. 3.3. Зависимость рассчитанных значений дистанции безопасности от скорости взаимодействующих ТС

Далее приведены методика и полученные значения натурального наблюдения.

3.2.2. Наблюдаемые значения дистанции безопасности

Для определения наблюдаемых значений дистанции безопасности требуется проведение ее натурального обследования. Однако одним из условий обследования является то, что скорости и дистанции безопасности должны подсчитываться только для ТС, движущихся без остановки, т.е. без препятствий (светофоров и т.д.). Выявить такие ТС в режиме натурального наблюдения довольно сложно. Поэтому было принято решение проводить обследование посредством не натурального наблюдения, а с помощью просмотра записей камер видеонаблюдения на улично-дорожной сети города. Просмотр записей этих камер позволит, кроме того, охватить большой временной интервал и большее число перекрестков, чем если бы обследование проводилось с природы.

Одним из типов камер видеонаблюдения, записи которых позволили бы проводить подобные обследования, являются камеры, входящие в состав автоматизированной системы управления дорожным движением (АСУДД). Иные типы камер, установленные на УДС, не позволяют провести обследование транспортных потоков, поскольку фиксируют только нарушения правила дорожного движения. Камеры в составе АСУДД дают возможность корректировать работу светофоров в реальном времени с помощью обычной видеозаписи, а расположенные высоко на столбах камеры позволяют оценивать дорожную обстановку более чем на 50 м проезжих частей. Фрагмент видеозаписи с камеры на слолбе АСУДД в г. Перми представлен на рис. 3.4.

Работа с видеозаписью осуществляется в несколько шагов.

Первым шагом в проведении обследования является определение конкретной длины отрезка (в метрах), на котором предполагается измерять в дальнейшем скорость и дистанцию безопасности ТС. Конец и начало отрезка определялись по конструктивным элементам: дорожным знакам, концам линий разметки, опорам освещения и др. Так, при обследовании видеозаписи, представленной на рисунке началом отрезка (А), послужила опора дорожных знаков 3.1. «Въезд запрещен», 4.2.1. «Объезд препятствия справа», 8.22.1 «Препятствие», а концом (Б) – переход линии разметки 1.1 в 1.5 (рис. 3.5). При этом обследовалась только правая полоса направления, которое на рис. 3.9 изображено как «встречное». Расстояние между началом и концом отрезка равняется 25 м.



Рис. 3.4. Фрагмент видеозаписи для обследования дистанции безопасности



Рис. 3.5. Фрагмент видеозаписи с изображением отрезка, на котором были исследованы дистанция безопасности и скорость ТС

Второй шаг в обследовании – обработка видеозаписи с использованием программного обеспечения. При этом использовалось специальное программное обеспечение Click, разработанное сотрудниками ООО «Агентство дорожной информации РАДАР» г. Перми. При выборе пункта стартового меню «Средняя скорость и дистанция» вид окна программы принимает вид, представленный на рис. 3.6.

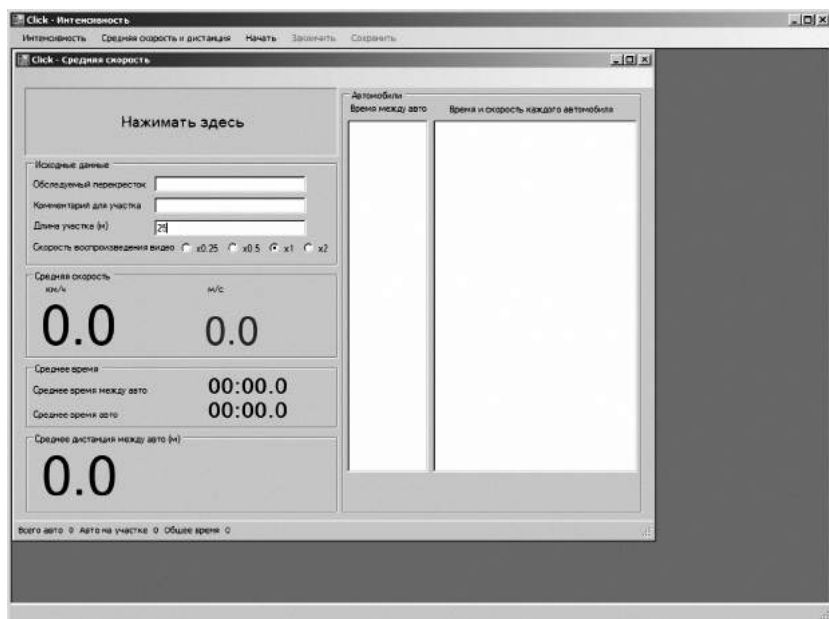


Рис. 3.6. Окно редактирования «Средняя скорость и дистанция» в программе Click

Перед началом работы необходимо ввести длину отрезка в поле «Длина участка (м)», а также выбрать «Скорость воспроизведения видео». Так, если видео будет проигрываться в реальном режиме, необходимо выбрать « $\times 1$ » (это значение по умолчанию), если замедленно в 2 или 3 раза, то « $\times 0.5$ » или « $\times 0.25$ » соответственно. Если видеозапись проигрывается в быстром режиме (200 %), следует выбрать « $\times 2$ ». Для работы программы необходимо нажать кнопку «Начать» в стартовом меню.

Для определения скорости и дистанции автомобиля необходимо знать две величины: начало и конец прохождения отрезка. Чтобы в программе отметить моменты начала и конца прохождения отрезка, нужно щелкнуть соответственно левой и правой

кнопками мыши в поле, отмеченном надписью «Нажимать здесь». Данную процедуру следует провести для нескольких ТС, движущихся по одной и той же полосе (чем больше ТС учтено, тем точнее результат). Не стоит учитывать транспорт, движущийся отдельно от основного транспортного потока, т.е. с большой дистанцией, чтобы получить среднюю дистанцию взаимодействующих ТС. Большие дистанции не имеют отношения к взаимодействию ТС. Они могут возникать из-за светофоров или иных препятствий, близко расположенных к обследуемому отрезку, и их необходимо определять визуально самостоятельно.

После нажатия левой кнопки мыши в поле с надписью «Нажимать здесь» в поле «Время и скорость каждого автомобиля» добавляется строка с отсчетом времени и скорости, км/ч. После нажатия правой кнопки мыши отсчет в данном поле заканчивается, на экран выводится средняя скорость, км/ч и м/с (раздел «Средняя скорость») и «Среднее время авто», т.е. среднее время прохождения отрезка автомобилями (раздел «Среднее время»). После повторного нажатия левой кнопки мыши также добавляется строка в поле «Время и скорость каждого автомобиля», изменяется раздел «Средняя скорость». Кроме этого добавляется строка с отсчетом времени и дистанции в поле «Время между авто», а также изменяется раздел «Средняя дистанция». При нажатии левой и правой клавиш мыши добавляются соответствующие строки в полях «Время между авто» и «Время и скорость каждого автомобиля», а также изменяются разделы «Средняя скорость», «Среднее время», «Средняя дистанция между авто». Для завершения обследования необходимо нажать кнопку «Закончить» в стартовом меню.

Для получения наиболее точных результатов необходимо несколько раз провести замер скорости и дистанции для плотных транспортных потоков. Так, для видеозаписи, представленной на рис. 3.5, замеры проводились 12 раз в разное время дня. При этом в рамках одного замера была рассчитана скорость и дистанция более чем для 10 автомобилей.

Скорости транспортного потока и наблюдаемые значения дистанции безопасности для 12 замеров приведены в табл. 3.2.

График зависимости наблюдаемых значений дистанции безопасности от скорости взаимодействующих ТС представлен на рис. 3.7.

Таблица 3.2

Наблюдаемые значения скорости транспортного потока и дистанции безопасности

Скорость, км/ч	Дистанция безопасности, м	Скорость, км/ч	Дистанция безопасности, м
26	12,3	39,8	16,3
32,8	13,8	40,5	16,7
35,7	16,2	44	19,4
36,7	15,9	45,6	19,4
39,2	16,2	50,8	22
39,3	15,2	64,8	29,2

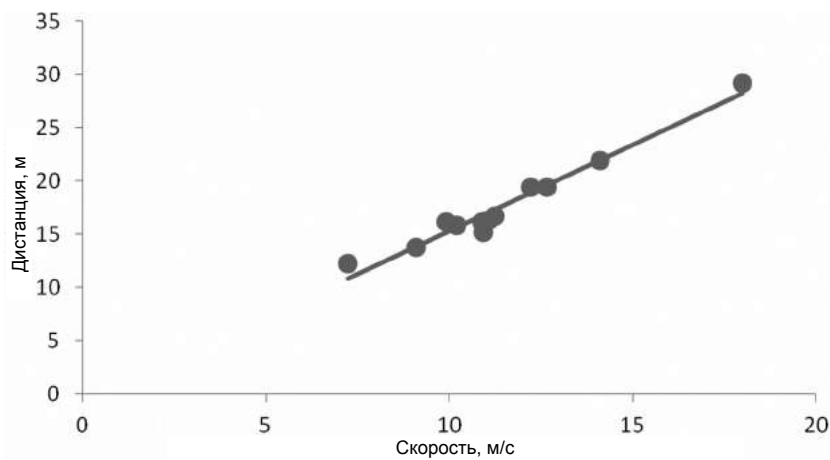


Рис. 3.7. Зависимость наблюдаемых значений дистанции безопасности от скорости взаимодействующих ТС

Далее приведены предложенные по умолчанию в PTV Vision® VISSIM значения дистанции безопасности.

3.2.3. Стандартные значения параметров модели, влияющие на значение дистанции безопасности в PTV Vision® VISSIM

В программном комплексе PTV Vision® VISSIM дистанцию безопасности можно актуализировать при помощи изменения значений параметров моделей Видемана – моделей следования *за впереди идущим ТС*.

При движении в транспортном потоке водитель находится в состоянии «следования за впереди идущим транспортным средством», т.е. либо приближается к нему, либо удаляется от него. Эта гипотеза является основной идеей модели Видемана. Так, когда дистанция до впереди идущего ТС сокращается, водитель ТС, идущего позади, начинает снижать скорость до того момента, пока дистанция не начинает казаться ему слишком большой. Так как водитель не может точно оценить скорость впереди идущего ТС, то он постоянно находится в состоянии легкого ускорения или замедления.

Следует отметить, что поведение за впереди идущим ТС в первую очередь зависит от месторасположения дороги: либо в черте города, либо вне населенных пунктов (автомагистрала). Для этого в PTV Vision® VISSIM предусмотрены две модели поведения за впереди идущим транспортом, которые выбираются при помощи соответствующей строки из пункта меню «Базовые данные» – «Манера езды» – вкладка «Поведение за впереди идущим» (рис. 3.8).

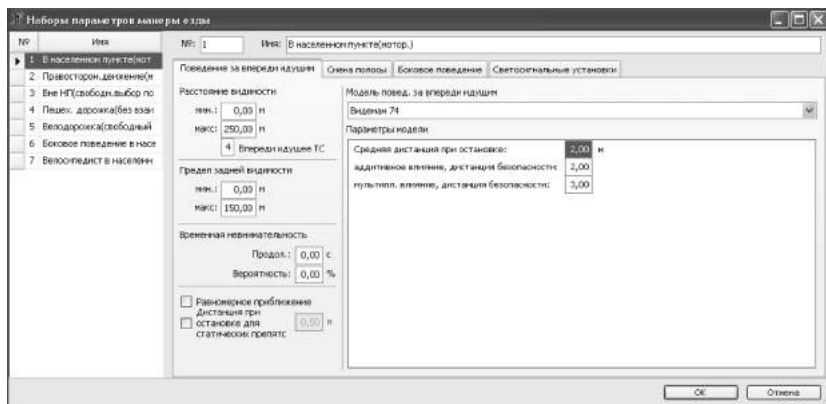


Рис. 3.8. Окно редактирования «Наборы параметров манеры езды» в PTV Vision® VISSIM

Строка выбора модели Видемана содержит две разновидности модели: модель внутригородского движения (Видемана 74) и модель движения по автомагистрали (Видемана 99). Является модификацией модели Видемана 1974 г. [12].

Параметры модели Видемана 74. Эту модель рекомендуется использовать при моделировании движения транспортных потоков в черте города. В этом случае взаимодействие между автомобилями строится на основе определяющих соотношений в зависимости от параметров, представленных в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Параметры модели Видемана 74

Параметр	Определение	Описание
ax	Средняя дистанция при остановке	Определяет среднюю желаемую дистанцию между двумя ТС при остановке
bx_{add}	Аддитивное влияние дистанции безопасности	Используется для вычисления желаемой дистанции безопасности
bx_{mult}	Мультипликативное влияние дистанции безопасности	Используется для вычисления желаемой дистанции безопасности. Данные параметр равен $bx_{\text{add}}+1$

Дистанция безопасности (поведение за впереди идущим ТС) рассчитывается по формуле:

$$d = ax + bx, \quad (3.6)$$

где ax – дистанция при остановке, м; bx – динамическое слагаемое, м:

$$bx = (bx_{\text{add}} + bx_{\text{mult}}z)\sqrt{v}. \quad (3.7)$$

Здесь v – скорость ТС, м/с; z – коэффициент (случайное число), значения которого варьируются в пределах $[0,1]$; bx_{add} – дистанция безопасности (аддитивное влияние), м, которая зависит от двух взаимодействующих ТС; bx_{mult} – дистанция безопасности (мультипликативное влияние), м, которая зависит от каждого из взаимодействующих ТС.

В связи с этим можно сказать, что от значений данных параметров зависит и значение дистанции безопасности.

Стандартные значения параметров модели Видемана представлены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Стандартные значения параметров модели Видемана 74

Параметр	ax	bx_{add}	bx_{mult}
Стандартное значение параметра	2	2	3

Значения дистанции безопасности, которые получаются в результате подстановки в формулу (3.5) стандартных значений параметров, представлены в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Значения дистанции безопасности при стандартных значениях параметров модели Видемана 74

Скорость, км/ч	10	20	30	40	50	60
d , м	7,75	10,2	12,1	13,66	15,04	14,28

По значениям дистанции безопасности, приведенным в табл. 3.5, был построен график зависимости дистанции от скорости ТС (рис. 3.9).

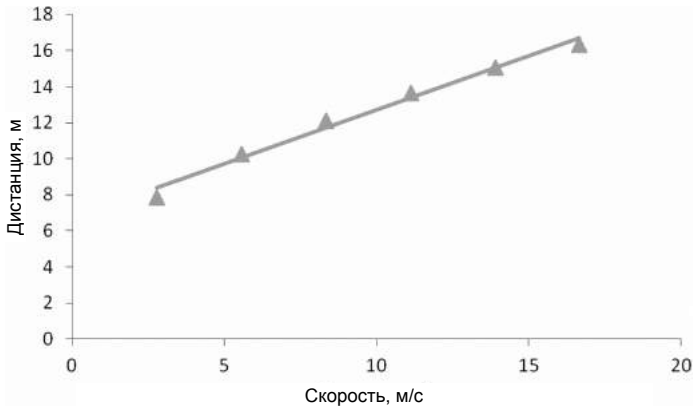


Рис. 3.9. Зависимость значений дистанции безопасности в модели Видемана 74 от скорости взаимодействующих ТС

Параметры модели Видемана 99. Движение на дорогах вне населенных пунктах отличается от движения в черте города. Для имитации движения ТС по дорогам вне населенных пунктов (автомагистралям) в PTV Vision® VISSIM используется модель Видемана 99. Так как на автомагистралях ТС обычно движутся со скоростью от 60 до 120 км/ч, параметры модели Видемана 99 будут рассмотрены только для этих скоростей.

В модели Видемана 99 дистанция безопасности определяется, как минимальное расстояние, на котором водитель следует за *впереди идущим* ТС. В случае большой загрузки зоны моделирования транспортными средствами значение дистанции безопасности оказывает значительное влияние на показатели эффективности работы рассматриваемого участка УДС. Так, при увеличении дистанции безопасности между автомобилями скорость ввода в зону моделирования ТС уменьшается. Это связано с тем, что ТС перед вводом в зону моделирования «ждет», пока возрастет безопасная дистанция до впереди идущего транспорта.

Параметры модели Видемана 99 приведены в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Параметры модели Видемана 99

Параметр	Определение	Описание
<i>CC0</i>	Дистанция при остановке	Средняя желаемая дистанция при остановке между двумя ТС. Эта дистанция не изменяется. Идентичен параметру ax в модели Видемана 74
<i>CC1</i>	Дистанция от впереди идущего ТС	Описывает расстояние, которого водитель хотел бы придерживаться при определенной скорости. Чем выше это значение, тем осторожнее водитель
<i>CC2</i>	Продольное колебание	Параметр ограничивает продольное колебание или разницу расстояния, которую водитель допускает по отношению к впереди идущему ТС, прежде чем осознанно пойдет на сближение. Если значение установлено, к примеру, 10 м, для поведения за впереди идущим ТС дистанция безопасности рассчитывается как $dx_{safe} + 10$ м
<i>CC3</i>	Порог восприятия для следования	Параметр определяет начало процесса замедления, т.е. когда водитель начинает реагировать на замедление впереди идущего ТС. Другими словами, <i>CC3</i> описывает, за сколько секунд до достижения дистанции безопасности водитель начинает замедление
<i>CC4</i>	Негативная разница скорости	Контролирует разницу в скорости и во время процесса следования
<i>CC5</i>	Позитивная разница скорости	Контролирует разницу в скорости и во время процесса следования
<i>CC6</i>	Влияние скорости на колебание	Параметр описывает влияние дистанции на колебания скорости в процессе следования. Если значение равно 0, то колебания скорости происходят независимо от дистанции с предыдущим ТС, в то время как более высокие значения этого параметра приводят к большим колебаниям скорости с увеличением дистанции
<i>CC7</i>	Ускорение при колебании	–
<i>CC8</i>	Ускорение с места	Указывается желаемое ускорение при трогании ТС с места (ограничено максимальным ускорением, определенным кривыми распределения)
<i>CC9</i>	Ускорение при скорости 80 км/ч	Желаемое ускорение при скорости 80 км/ч (ограничение, как при <i>CC8</i>)

При заданной скорости v , м/с, средняя дистанция безопасности определяется следующим образом:

$$dx_{\text{safe}} = CC0 + CC1 \cdot v + CC2, \quad (3.8)$$

где $CC0$ – дистанция при остановке – средняя желаемая дистанция при остановке между двумя ТС, м. Эта дистанция не изменяется. Идентичен параметру ax в модели Видемана 74;

$CC1$ – дистанция по отношению к впереди идущему, м, описывает расстояние, которого водитель хотел бы придерживаться при определенной скорости. Чем выше это значение, тем осторожнее водитель;

$CC2$ – продольное колебание, м, ограничивает разницу расстояния, которую водитель допускает по отношению к впереди идущему ТС, прежде чем осознанно пойдет на сближение;

v – скорость ТС, м/с.

Таким образом, можно сказать, что от значений параметров $CC0$, $CC1$, $CC2$ и v зависит и значение дистанции безопасности.

Значения параметров модели Видемана 99, установленные в PTV Vision® VISSIM по умолчанию (стандартные значения), приведены в табл. 3.7.

Таблица 3.7

Стандартные значения параметров модели Видемана 99

Параметр	Стандартное значение параметра	Параметр	Стандартное значение параметра
$CC0$	1,5 м	$CC5$	0,35 км/ч
$CC1$	0,9 с	$CC6$	11,44 %
$CC2$	4 м	$CC7$	0,25 м/с ²
$CC3$	–8 с	$CC8$	3,5 м/с ²
$CC4$	–0,35 км/ч	$CC9$	1,5 м/с ²

Стандартные значения дистанции безопасности для модели Видемана 99 приведены в табл. 3.8.

Таблица 3.8

Значения дистанции безопасности при стандартных значениях модели Видемана 99

Скорость, км/ч	70	80	90	100	110	120
Дистанция безопасности, м	23	25,5	28	30,5	33	35,5

По значениям дистанции безопасности был построен график зависимости дистанции безопасности от скорости взаимодействующих ТС (рис. 3.10).

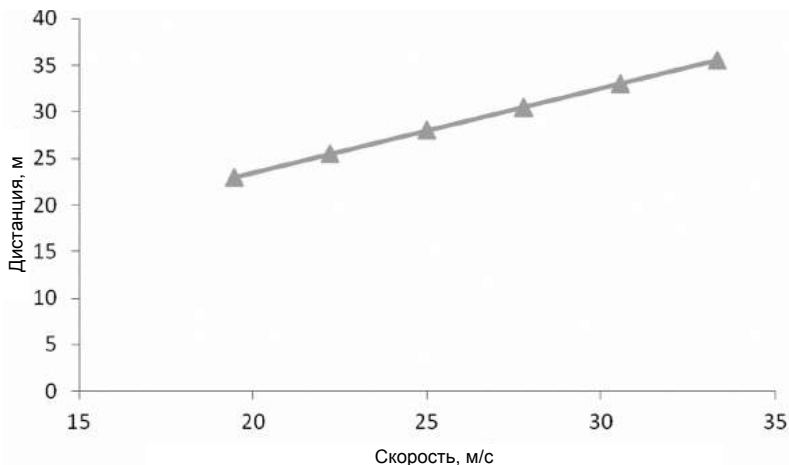


Рис. 3.10. Зависимость значений дистанции безопасности в PTV Vision® VISSIM от скорости взаимодействующих ТС

Далее приведен сравнительный анализ значений, полученных в результате различных подходов исследования дистанции безопасности.

3.2.4. Сравнительный анализ различных подходов при моделировании параметров дистанции безопасности

Для того чтобы определить актуальность значений дистанции безопасности, было проведено сравнение наблюдаемых и рассчитанных значений дистанции безопасности, а также заданных по умолчанию в PTV Vision® VISSIM. График соответствия рассчитанных и наблюдаемых значений дистанции безопасности представлен на рис. 3.11 для скоростей ниже 60 км/ч. Выбранный диапазон скоростей связан с тем, что значения дистанции безопасности, полученные при натурном обследовании, получены для ТС, движущихся в черте города, а значит, не превышающих скорость 60 км/ч.

Из рисунка видно, что значения наблюдаемой и рассчитанной дистанции безопасности примерно равны. Так, в среднем разница между значениями составляет 0,2 м, или менее чем 1,1 %. Отсюда можно сделать вывод о том, что рассчитанные значения дистанции безопасности актуальны для наблюдаемой ситуации.

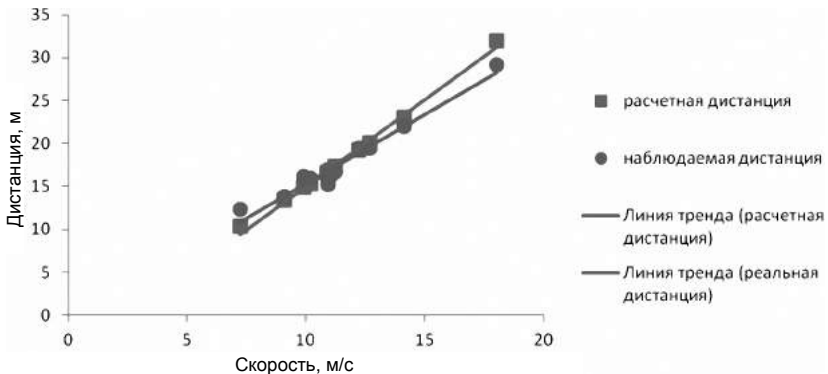


Рис. 3.11. Соответствие наблюдаемых и рассчитанных значений дистанции безопасности

Следует отметить, что в PTV Vision® VISSIM имеется возможность моделирования движения ТС как в населенных пунктах, так и вне их. В связи с этим значения дистанции в PTV Vision® VISSIM можно рассчитать для различных скоростей, как очень высоких, так и очень низких. Значения дистанции для различных скоростей можно также получить с помощью расчетов, приведенных в разд. 3.1.1. Однако значений наблюдаемой дистанции для высоких скоростей движения получено не было, так как обследование проводилось в черте города, где максимальная скорость ограничена. По этой причине сравнение стандартных значений дистанции безопасности, принятых в PTV Vision® VISSIM, проводилось только с рассчитанными значениями дистанции безопасности.

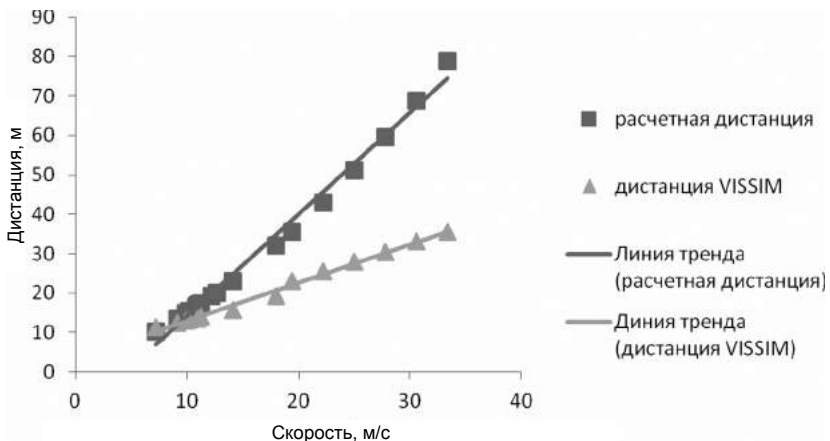


Рис. 3.12. Соответствие рассчитанных значений дистанции безопасности и значений дистанции безопасности, принятых в PTV Vision® VISSIM

При этом для скоростей до 60 км/ч в графике использовались значения модели Видемана 74, поскольку эта модель предназначена для движения ТС в населенных пунктах, а для скоростей выше 60 км/ч – значения дистанции безопасности модели Видемана 99, так как эта модель предназначена для моделирования движения ТС вне населенных пунктов, когда транспорт движется с более высокими скоростями.

Из рисунка видно, что разница между рассчитанными и стандартными значениями дистанции безопасности PTV Vision® VISSIM существенна. Так, в среднем разница между значениями составляет около 3,8 м, т.е. более 20 %.

Из сказанного выше можно сделать вывод, что при моделировании дистанции безопасности в транспортном потоке г. Перми необходимо изменить значения моделей Видемана в соответствии либо с наблюдаемыми, либо с рассчитанными значениями дистанции безопасности. Наблюдаемые значения дистанции безопасности были получены не для всех скоростей, однако рассчитанные значения близки к ним. Поэтому значения дистанции безопасности моделей Видемана будут изменены в соответствии с рассчитанными значениями.

3.2.5. Рекомендуемые значения параметров модели, влияющих на значение дистанции безопасности

По результатам сравнения значений дистанции безопасности было выявлено, что дистанция безопасности моделей Видемана отличается от наблюдаемых и рассчитанных значений дистанции безопасности примерно на 20 %. В связи с этим необходимо уменьшить разницу между рассчитанными значениями дистанции безопасности и значениями дистанции безопасности моделей Видемана. Для этого необходимо подобрать значения моделей Видемана таким образом, чтобы дистанция увеличивалась по мере того, как увеличивается скорость ТС.

Модель Видемана 74. Рекомендуемые значения параметров модели динамики транспортных потоков (bx_{mult} и bx_{add}) были получены при помощи расчетов по формулам (3.6) и (3.7). При объединении этих формул получается итоговое соотношение для расчета дистанции безопасности:

$$d = ax + [(bx_{\text{add}} + bx_{\text{mult}})z\sqrt{v}]. \quad (3.9)$$

Из данного соотношения возможно определить сумму . Тогда

$$bx_{\text{add}} + bx_{\text{mult}} = \left(\frac{d}{\sqrt{v}} \right) / 0,5. \quad (3.10)$$

Для нахождения отдельно значений параметров использовалась зависимость, выявленная при подробном исследовании стандартных значений параметров, приведенных в табл. 3.4. Так, согласно этой таблице следует, что

$$bx_{\text{mult}} = 1,5 bx_{\text{add}}. \quad (3.11)$$

Данная зависимость была применена как условие к расчетам рекомендуемых значений параметров, а из формулы (3.10) были получены соотношения для определения каждого параметра:

$$bx_{\text{add}} = \frac{d}{\sqrt{v}} 0,8, \quad (3.12)$$

$$bx_{\text{mult}} = \frac{d}{\sqrt{v}} 1,2. \quad (3.13)$$

Значения параметров, найденные по формулам (3.12) и (3.13), представлены в табл. 3.9.

Таблица 3.9

**Рекомендуемые значения параметров модели Видемана 74
в соответствии с рассчитанной дистанцией**

Скорость, км/ч	ax , м	bx_{add} , м	bx_{mult} , м	Дистанция при указанных значениях, м
60	2	1,00	1,50	28,78
50	2	1,97	2,95	22,6
40	2	2,80	4,20	17,05
30	2	3,61	5,42	12,11
20	2	4,42	6,63	7,79
10	2	5,25	7,87	4,09

Значения, представленные в табл. 3.8, можно использовать при моделировании динамики транспортных потоков.

Модель Видемана 99. Рекомендуемые значения параметров модели были определены по представленным в разд. 3.1.3 формулам, в которые были подставлены значения рассчитанной дистанции без-

опасности, приведенные в табл. 3.8. Так как данная модель используется только для моделирования движения транспорта в населенных пунктах, также были рассчитаны параметры модели Видемана 99.

Отметим, что в модели Видемана 99 параметр $CC0$ не должен изменяться, так как он отвечает за дистанцию при остановке. В связи с этим для получения актуального значения дистанции будет изменен только параметр $CC1$ (табл. 3.10).

Таблица 3.10

Рекомендуемые значения параметров модели Видемана 99

Скорость, км/ч	$CC1$, м	Дистанция, м
70	14,07	35,57
80	18,98	42,98
90	24,50	51,00
100	30,64	59,64
110	37,40	68,90
120	44,78	78,78

Остальные параметры также остаются неизменными.

3.2.6. Установление актуальных параметров дистанции безопасности в программном комплексе PTV Vision® VISSIM

Для того чтобы значения дистанции безопасности при моделировании динамики транспортного потока были наиболее приближены к рассчитанным и наблюдаемым значениям, необходимо изменить параметры моделей Видемана. В данном разделе будет рассмотрен способ изменения с помощью графического интерфейса PTV Vision® VISSIM.

Модель Видемана 74. По результатам расчета рекомендуемых параметров дистанции безопасности, представленного в разд. 3.1.4, были изменены значения параметров дистанции безопасности модели Видемана 74. Изменение параметров осуществляется при помощи пункта меню «Базовые данные – Манера езды». При этом во вкладке «Поведение за впереди идущим» необходимо выбрать модель Видемана 74 (рис. 3.13).

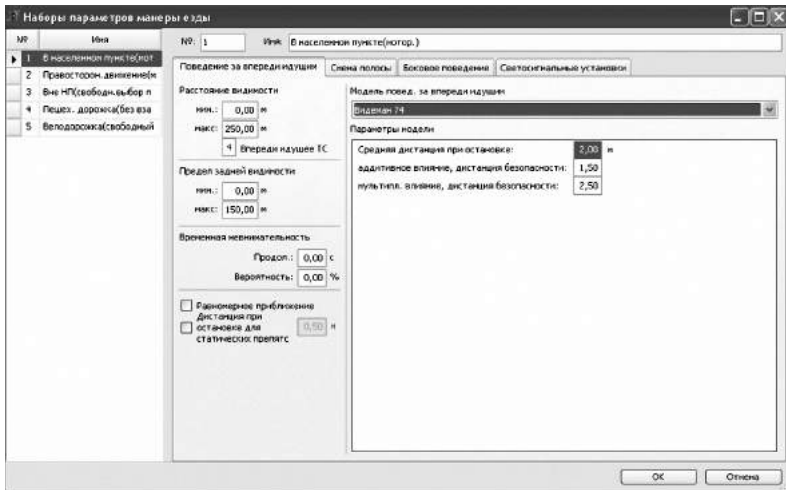


Рис. 3.13. Редактирование значений параметров модели Видемана 74 в окне редактирования «Наборы параметров манеры езды» в PTV Vision® VISSIM

Для того чтобы задать для какого-либо отрезка особую манеру езды, необходимо для начала создать новый набор параметров в меню «Базовые данные – Манера езды», затем в меню «Базовые данные – Типы манеры езды отрезков» создать новый тип (рис. 3.14), в котором выбрать вновь созданную манеру езды, а также необходимый тип (рис. 3.15).

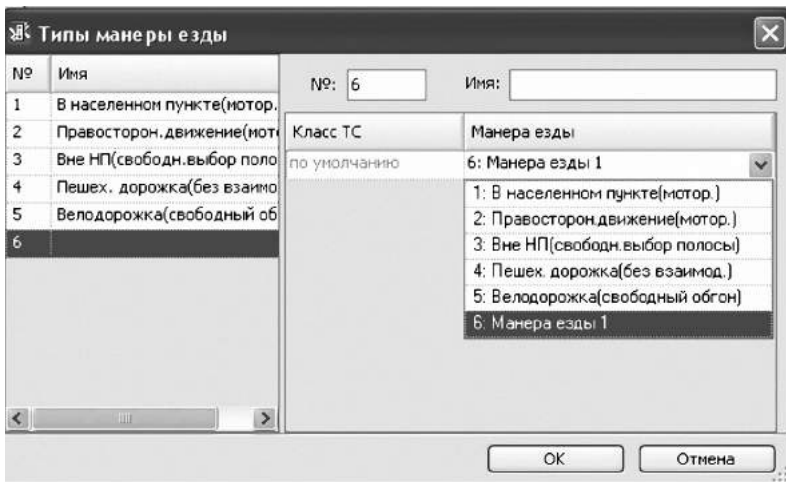


Рис. 3.14. Присвоение манеры езды отрезку в окне редактирования «Типы манеры езды» в PTV Vision® VISSIM

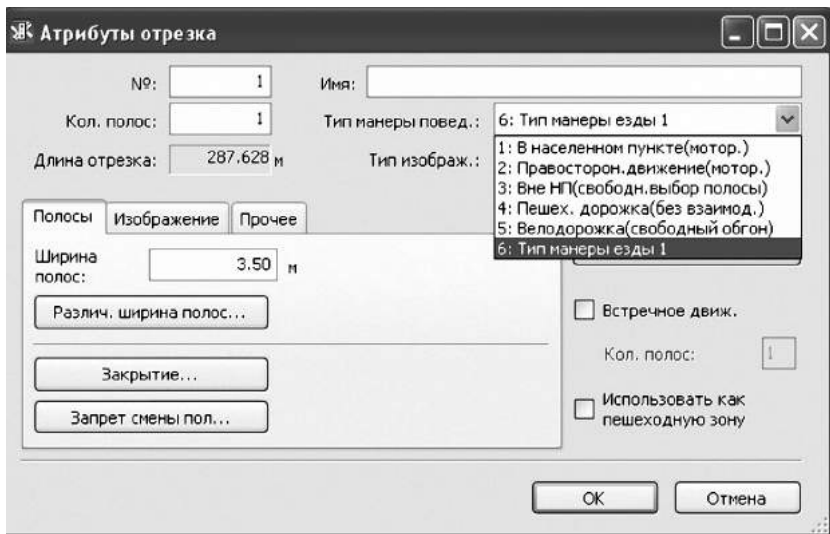


Рис. 3.15. Присвоение отрезку типа манеры поведения в окне редактирования «Атрибуты отрезка» в PTV Vision® VISSIM

Модель Видемана 99. Изменение параметров модели Видемана 99 для скоростей 60 – 80 км/ч показано на рис. 3.16.

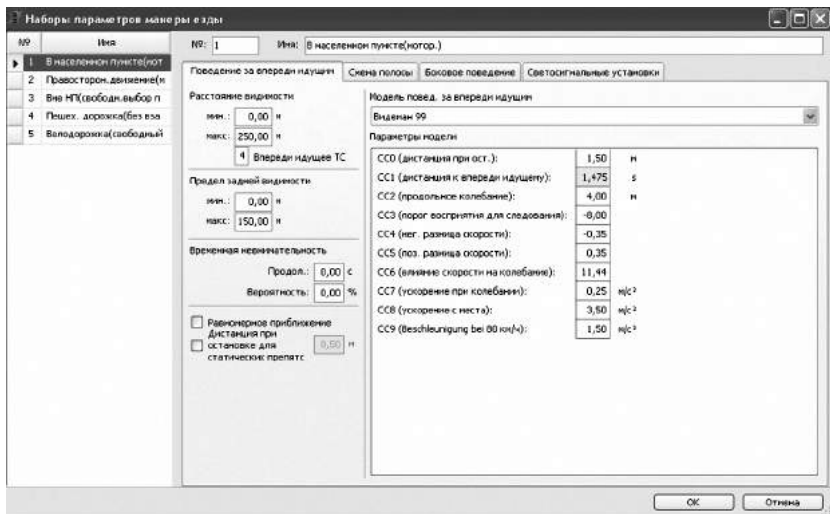


Рис. 3.16. Редактирование значений параметров модели Видемана 99 в окне редактирования «Наборы параметров манеры езды» в PTV Vision® VISSIM

Из рис. 3.16 видно, что для скорости 60 км/ч изменен только параметр *СС1*. Для участков УДС, где скорость превышает 60 км/ч, требуется изменять значения параметра *СС1* в соответствии с табл. 3.10.

При замене стандартных параметров модели Видемана на рекомендуемые дистанция безопасности в модели движения транспортного потока принимают значения, наиболее приближенные к наблюдаемым.

3.3. Актуализация параметров модели движения, отвечающих за поведение водителя на регулируемых перекрестках

3.3.1. Общие сведения

Одним из важнейших психофизиологических факторов поведения водителей является *его реакция на переключение сигналов светосигнальных установок*. Данный фактор влияет на среднюю скорость транспортных потоков, движущихся через моделируемый перекресток, пропускную способность перекрестка и другие показатели эффективности функционирования перекрестка.

Переключение сигналов светосигнальных установок с сигнала, разрешающего движение ТС на запрещающий сигнал и обратно, может быть различным: с использованием желтого и красно-желтого сигналов светофора. Реакция водителя на данные сигналы также различная. Так, при включении желтого сигнала светофора водитель либо снижает скорость, для того чтобы остановиться, либо продолжает движение с целью, как можно быстрее покинуть перекресток.

При переключении запрещающего сигнала на разрешающий нередко используется также красно-желтый сигнал светофора. При включении такого сигнала движение ТС запрещено правилами дорожного движения, поэтому водители не могут продолжать движение по перекрестку. К факторам, характеризующим *реакцию водителя на переключение светосигнальных установок*, в PTV Vision® VISSIM, относятся:

1. *Реакция на желтый сигнал светофора*. При приближении к стоп-линии у водителя ТС существуют два варианта последующих действий – либо выезд за стоп-линию, либо остановка перед стоп-линией.

2. *Поведение при красно-желтом сигнале светофора.* Поведение водителя при включении указанного сигнала зависит от дорожных законов в различных государствах. В России, согласно п. 6.2 Правил дорожного движения, «сочетание красного и желтого сигналов запрещает движение и информирует о предстоящем включении зеленого сигнала». Также запрещено движение на красно-желтый сигнал в таких странах, как Китай, Эстония, Великобритания. Однако в некоторых штатах США красно-желтый сигнал является лишь предупреждением водителей о скором переключении сигнала светофора на красный – запрещающий сигнал (Северная Дакота).

3. *Уменьшенная дистанция безопасности вблизи от стоп-линии.* Данный фактор отвечает за изменение манеры езды водителя вблизи от стоп-линии.

3.3.2. Реакция водителя на желтый сигнал светофора

Выезд ТС за стоп-линию. Реакция на желтый сигнал светофора в PTV Vision® VISSIM определяется моделью решения, которая подразумевает то или иное действие водителя при приближении к стоп-линии светофора. Существуют две разновидности моделей решения.

1. *Модель «Текущая проверка».* При данной модели решения водитель ТС в каждом временном шаге предполагает, что желтый сигнал светофора остается включенным в течение 2 с и исходя из этого решает, двигаться ему дальше или нет. Решение водителя о продолжении движения зависит от его максимального замедления, а также актуальной скорости. Водитель не остановится перед стоп-линией, если максимальное замедление его ТС не позволит ему остановиться перед светофором в местах, указанных в п. 6.13 ПДД. Водитель ТС остановится перед стоп-линией, если актуальная скорость его ТС не позволит ему выехать за стоп-линию светофора за 2 с.

В тех случаях, когда максимальное замедление ТС позволяет водителю остановиться перед стоп-линией, а скорость дает возможность выехать за стоп-линию в течение 2 с, водитель ТС с помощью выбора случайной переменной решает, будет ли он останавливаться перед стоп-линией. Задание и выбор случайной переменной осуществляются в PTV Vision® VISSIM без участия пользователя, т.е. он не осуществляет редактирование тех или иных параметров, которые могут повлиять на принятие им реше-

ния об остановке его ТС перед стоп-линией при заданных условиях. Однажды принятое решение не изменяется до тех пор, пока ТС не выедет за стоп-линию.

2. *Модель «Твердое решение».* Для расчета вероятности того, будет ли водитель останавливаться перед стоп-линией или проедет перекресток на желтый сигнал, применяется функция регрессии:

$$p = \frac{1}{1 + e^{-\alpha - \beta_1 v - \beta_2 dx}}, \quad (3.14)$$

где p – вероятность остановки перед стоп-линией или проезда перекрестка на желтый сигнал; v – скорость ТС, м/с; dx – расстояние до стоп-линии, м; α , β_1 , β_2 – свободно выбираемые параметры.

При выборе модели «Текущая проверка» реакция водителя на светофор в некоторых ситуациях устанавливается случайно выбранным числом. К таким моментам относятся ситуации, когда скорость ТС позволяет проехать перекресток, а максимальное замедление – остановиться. Иными словами, в тех случаях, когда и проезд перекрестка, и остановка перед стоп-линией одинаково возможны. Установка реакции водителя при помощи случайного числа не является точной, поскольку при одних и тех же обстоятельствах водитель ТС может принять разные решения о проезде стоп-линии.

Наиболее адекватными являются результаты моделирования поведения водителя с выбранной моделью «Твердое решение». Дело в том, что светофорный объект внутренне смоделирован, как ТС со своей манерой езды. Модель позволяет более точно установить реакцию водителей на эту манеру езды, так как у пользователя есть возможность скорректировать решение водителя и уточнить его в зависимости от обстоятельств.

Рассмотрим параметры модели «Твердое решение» подробнее.

Стандартные значения параметров, отвечающих за вероятность выезда ТС за стоп-линию на желтый сигнал светофора. Модель «Твердое решение» в PTV Vision® VISSIM используется для расчета вероятности того, будет ли водитель останавливаться около стоп-линии при желтом сигнале светофора. Напомним, что для расчета вероятности p (будет ли водитель останавливаться на желтый свет) применяется функция регрессии (3.14).

Стандартные значения параметров $\alpha = 1,59$, $\beta_1 = -0,26$, $\beta_2 = 0,27$ базируются на эмпирических данных.

Функция для стандартных параметров, отвечающих в PTV Vision® VISSIM за процесс моделирования решения водителя о проезде стоп-линии на желтый сигнал при скорости v от 0 до 60 км/ч и дистанции dx от 0 до 100 м, представлена на рис. 3.17.

Функция, представленная на рис. 3.17, принимает значения в диапазоне от 0 до 1. Если функция принимает значение 0 или близкое к нему, в процессе моделирования водитель проедет стоп-линию на желтый сигнал (выедет на перекресток), при значении 1 или близком к нему – остановится перед стоп-линией.

Из рисунка видно, что решение об остановке зависит от длины дистанции (чем больше дистанция, тем больше вероятность остановки) и скорости (чем меньше скорость, тем больше вероятность остановки).

В табл. 1 приложения 2 приведены значения вероятности при разных значениях скорости и дистанции, по которым был построен график изменения решения водителя ТС о проезде стоп-линии на желтый сигнал (см. рис. 3.17). Значения были рассчитаны путем подстановки различных значений дистанции и скорости в формулу (3.14).

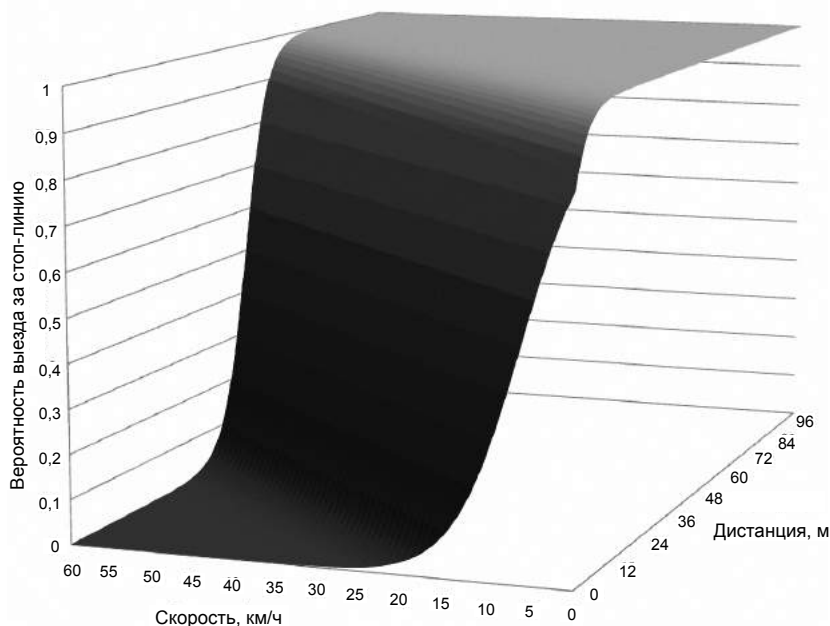


Рис. 3.17. Изменение решения водителя ТС о проезде стоп-линии на желтый сигнал, предложенное в PTV Vision® VISSIM

Для определения актуальности значений вероятности выезда за стоп-линию при желтом сигнале светофора авторами было проведено дополнительное натурное исследование.

Наблюдаемые значения параметров, отвечающих за вероятность выезда ТС за стоп-линию на желтый сигнал светофора. Чтобы знать, как изменяется решение водителя ТС об остановке перед стоп-линией в зависимости от скорости и дистанции, было проведено исследование поведения водителей ТС на улично-дорожной сети при проезде регулируемых перекрестков.

При исследовании необходимо было определить в первую очередь скорость ТС при подъезде к регулируемому перекрестку, а также зафиксировать, на каком расстоянии от стоп-линии находится наблюдаемое ТС в момент переключения светофора на желтый сигнал. Получить такие данные в режиме натурального наблюдения довольно сложно, поскольку наблюдатель не может одновременно оценивать расстояние, которое пройдет автомобиль за время, необходимое для прохождения этого участка, и момент переключения сигнала светофора. Для получения такой информации исследование поведения одного и того же водителя ТС проводилось в несколько этапов. Для этого потребовались видеозапись движения этого автомобиля и повторный просмотр записи. Было принято решение проводить исследование с помощью просмотра записей камер видеонаблюдения на улично-дорожной сети города.

Аналогично исследованиям, проведенным с целью выявления средней дистанции, обследование осуществлялось с использованием записей камер видеонаблюдения, входящих в состав автоматизированной системы управления дорожным движением. Фрагмент видеозаписи такой камеры в г. Перми представлен на рис. 3.18.

Отметим, что в реальной жизни водитель может либо принять решение об остановке ТС перед стоп-линией, либо проехать через перекресток без остановки. Для дальнейших рассуждений предлагается ввести логическую переменную, принимающую значения 0, если водитель принял решение проехать данный перекресток, и 1, если водитель принял решение об остановке перед стоп-линией.

Для того чтобы исследовать вероятность выезда ТС за стоп-линию при желтом сигнале светофора, на первом этапе исследования видеозаписи было зафиксировано расстояние до стоп-линии, на котором находится ТС в момент переключения светофора на желтый сигнал. С этой целью для каждого наблюдаемого ТС при-

мерно оценивалась дистанция до стоп-линии. При оценке расстояния использовались конструктивные элементы (опоры освещения и др.). Зная, что расстояние между опорами освещения равно 30 м, с помощью таких своеобразных ориентиров можно довольно точно вычислить расстояние до чего-либо в любой момент времени на любом участке УДС.



Рис. 3.18. Фрагмент видеозаписи для обследования вероятности выезда ТС за стоп-линию при желтом сигнале светофора

На втором этапе для каждого ТС при помощи специального программного обеспечения Click замерялась его скорость (описание программного обеспечения и принципы его работы представлены в разд. 3.1).

После проведенных замеров по записям видеонаблюдения было выявлено, выезжает ли ТС на перекресток либо останавливается перед стоп-линией. Решение было переведено в цифровой формат, т.е. выезду за стоп-линию было присвоено значение 0, а остановке перед стоп-линией – 1.

В рамках исследования поведения водителей было просмотрено более десяти записей видеонаблюдения, заснятых на протяжении всего дня. Это позволило изучить поведение водителей

более 30 транспортных средств в различных ситуациях. Для каждой ситуации скорость ТС и дистанция до стоп-линии были различными, что дало возможность однозначно определить поведение водителя при каких-либо обстоятельствах.

Результаты обследования были занесены в сводную таблицу (см. табл. 2 приложения 2). По данным таблицы был построен график наблюдаемых вариантов изменения решения водителями ТС о проезде стоп-линии на желтый сигнал.

Сравнительный анализ различных подходов при моделировании вероятности выезда ТС за стоп-линию при желтом сигнале светофора. Для того чтобы определить актуальность значений вероятности выезда ТС за стоп-линию при желтом сигнале светофора, было проведено сравнение значений вероятности, наблюдаемых и заданных по умолчанию в модели PTV Vision® VISSIM. Однако при исследовании было принято, что наблюдаемая вероятность выезда ТС за стоп-линию при желтом сигнале светофора может принимать значение только 0 или 1. В то же время вероятность, предложенная в качестве стандартной в модели PTV Vision® VISSIM, может принимать промежуточные значения между 0 и 1 (см. табл. 2 приложения 2).

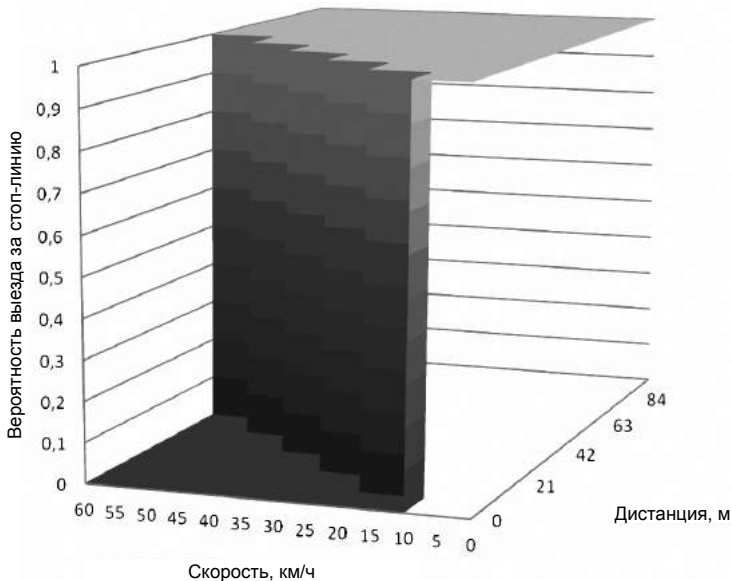


Рис. 3.19. Наблюдаемое изменение решения водителя ТС о проезде стоп-линии на желтый сигнал светофора

График, представленный на рис. 3.19, наглядно отображает изменение решения водителя ТС о проезде стоп-линии на желтый сигнал светофора в зависимости от скорости ТС и дистанции до стоп-линии в реальной ситуации.

Для более наглядного сравнения значения вероятности в табл. 1–2 Приложения 2 были окрашены в соответствующие цвета: зеленым обозначены те, при которых вероятней выезд ТС за стоп-линию при желтом сигнале светофора; красным – те, при которых вероятней остановка ТС у стоп-линии. Следует отметить, что при выделении значений вероятности в табл. 1 Приложения 2 использовалось округление до 1.

Из данных, приведенных в таблицах, видно, что наблюдаемое изменение вероятности совпадает со стандартным изменением вероятности согласно PTV Vision® VISSIM.

Рекомендуемые значения параметров, отвечающих за вероятность выезда ТС за стоп-линию на желтый сигнал. По результатам проведенного выше исследования было выявлено, что функция вероятности проезда ТС за стоп-линию, заданная по умолчанию в PTV Vision® VISSIM, совпадает с теми решениями, которые наблюдаются у ТС при движении по улично-дорожной сети в г. Перми. Однако не во всех городах мира ситуация может быть такой же. Для того чтобы определить актуальность исследуемой функции вероятности, авторы рекомендуют исследовать поведение водителей ТС при желтом сигнале светофора.

Напомним, что вероятность проезда стоп-линии на желтый сигнал определяется в PTV Vision® VISSIM параметрами α , β_1 , β_2 , которые называются *факторами вероятности*. Для получения значений этих параметров в формулу нужно подставить значение p . Чтобы изменить значения параметров в PTV Vision® VISSIM, необходимо зайти в пункт меню «Базовые данные – Манера езды – Светосигнальные установки» (рис. 3.20).

В пункте «Модель решения» представленного на рис. 3.20 меню необходимо выбрать значение «Твердое решение». При этом станут активными поля вероятности «Alpha», «Beta 1», «Beta 2». В поля следует занести наблюдаемые значения вероятности, которые были получены в результате исследования вероятности выезда за стоп-линию. После изменения значений вероятности моделирование поведения водителей станет более похожим на наблюдаемую в вашем городе манеру поведения водителей.

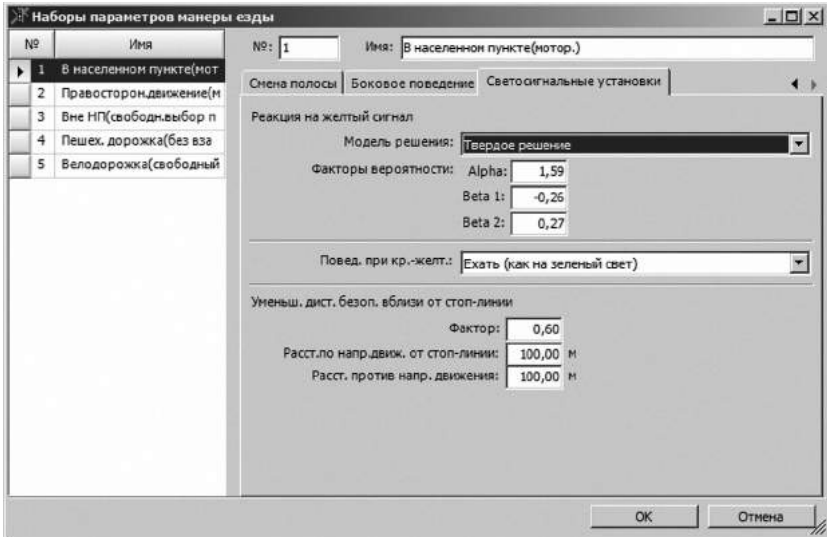


Рис. 3.20. Изменение значений параметров PTV Vision® VISSIM, отвечающих за вероятность проезда на желтый сигнал светофора

Моделирование замедления ТС перед стоп-линией при включении желтого сигнала светофора. Если в ходе моделирования водитель на основе модели решения решает остановиться перед стоп-линией на желтый сигнал светофора, то в модели рассчитывается постоянное замедление, с которым он сможет остановиться у стоп-линии (b_{applied}). Расчет производится по формуле

$$b_{\text{applied}} = \text{MIN}(b_{\text{required}}, b_{\text{max}}), \quad (3.15)$$

где b_{applied} – постоянное замедление, $\text{м}/\text{с}^2$; b_{required} – требуемое замедление, $\text{м}/\text{с}^2$; b_{max} – максимальное замедление, $\text{м}/\text{с}^2$. Функция максимального замедления задана в PTV Vision® VISSIM по умолчанию.

Функция замедления для легковых ТС в PTV Vision® VISSIM представлена на рис. 3.21.

Проведем сравнение для ситуации, когда скорость ТС равна 60 км/ч, а дистанция до стоп-линии составляет 60 м.

Замедление при скорости 60 км/ч, согласно графику на рисунке, равняется 6,9 $\text{м}/\text{с}^2$. Вычислим b_{required} для данной ситуации:

$$b_{\text{required}} = \frac{v^2}{2dx}, \quad (3.16)$$

где b_{required} – требуемое замедление, м/с²; v – скорость ТС, м/с; dx – расстояние до стоп-линии, м.

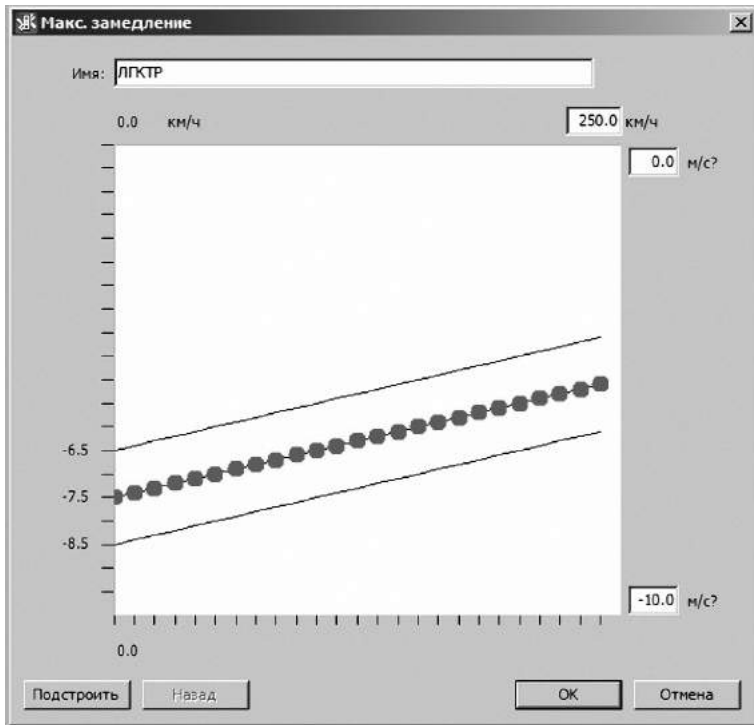


Рис. 3.21. График функции максимального замедления легковых ТС, предложенный по умолчанию PTV Vision® VISSIM

При скорости 60 км/ч и дистанции 60 м до стоп-линии

$$b_{\text{required}} = 16,6 \text{ м/с} (= 60 \text{ км/ч})^2 / 2 \cdot 60 \text{ м} = 0,13 \text{ м/с}^2. \quad (3.17)$$

Так как

$$b_{\text{required}} (-0,13 \text{ м/с}^2) > b_{\text{max}} (-6,9 \text{ м/с}^2), \quad (3.18)$$

при моделировании процесса замедления на желтый сигнал будет выбрано максимальное замедление.

Для того чтобы проанализировать, какое замедление при моделировании поведения водителей используется ими для остановки перед стоп-линией, необходимо сравнить данные значения при различных скоростях и дистанциях до стоп-линии. Для этого рассчитываем значения требуемого замедления для скоростей от 10 до 60 км/ч и расстояния до стоп-линии от 10 до 100 м (см. табл. 3 приложения 2).

Как видно из данных таблицы, ни одно из приведенных в ней значений требуемой дистанции не является меньшим по сравнению с максимальной дистанцией b_{\max} . Проанализируем актуальность стандартных значений функции максимальной замедления b_{\max} . Для этой цели требуется провести натурное исследование замедления ТС.

Для проверки актуальности функции замедления, заданной в PTV Vision® VISSIM по умолчанию (см. рис. 3.21), необходимо в первую очередь построить функцию замедления, которое наблюдается реально. Для этого должны быть получены наблюдаемые в реальной ситуации значения замедления.

Для получения значений замедления при реакции водителя на желтый сигнал светофора были использованы результаты анализа изменения скорости у ТС вблизи регулируемых перекрестков г. Перми. В результате обследования изменения скорости для каждого момента времени (дд.мм.гг чч:мм:сс), его проведения были получены данные о координатах транспортного средства (градус долготы, градус широты) и его скорости (км/ч), которые представлены в графическом виде на рис. 3.22.

По имеющимся данным о координатах транспортных средств были определены участки, которые находятся в некоторой близости от регулируемых перекрестков. Было выявлено, что на таких участках ТС замедляется.

Для того чтобы знать значения замедления транспорта на участках вблизи регулируемых перекрестков, необходимо провести несколько этапов исследования снижения скорости наблюдаемого ТС.

На первом этапе надо получить некоторую начальную скорость ТС v_1 и зафиксировать момент времени t_1 , в который эта скорость была получена. Заметим, что скорость для этого этапа должна отслеживаться на таких участках, на которых у водителей ТС наблюдается манера поведения, которую можно назвать «свободная езда», т.е. на участках, не содержащих каких-либо препятствий для движения.

На втором этапе требуется получить скорость v_2 , которая наблюдается у ТС в результате замедления, и зафиксировать момент времени t_2 , в который эта скорость была получена. Скорость для второго этапа отслеживалась для участков, расположенных вблизи перекрестков с установленными на них светофорными объектами. Выбранные значения представлены в табл. 3.13.

Таблица 3.13

Наблюдаемое изменение скорости ТС в непосредственной близости от регулируемых пересечений

№ п/п	Момент начала замедления t_1 , с	Начальная скорость v_1 , км/ч	Момент конца замедления t_2 , с	Конечная скорость v_2 , км/ч
1	0	23,8	21	1,7
2	0	51,4	16	1,2
3	0	39,3	44	1,8
4	0	44,1	33	1,9
5	0	24,7	30	1,3
6	0	10,8	13	1,2
7	0	27,6	11	1,1

По данным табл. 3.13 были определены значения замедлений ТС. При вычислении использовалось соотношение для линейного замедления

$$a = \frac{v_1 - v_0}{t}, \quad (3.19)$$

где a – линейное замедление, м/с²; v_1 – конечная скорость ТС, м/с; v_0 – начальная скорость ТС, м/с; t – время, понадобившееся ТС для достижения конечной скорости, с. Вычисленные значения замедления представлены в табл. 3.14.

Таблица 3.14

Значения наблюдаемого замедления в зависимости от скорости

Начальная скорость, м/с	Наблюдаемое замедление, м/с ²	Начальная скорость, м/с	Наблюдаемое замедление, м/с ²
0,333333	-0,20513	0,5	-0,23674
0,472222	-0,29233	0,527778	-0,35522
0,361111	-0,21667	0,333333	-0,87153
0,305556	-0,66919		

Значения, приведенные в таблице, были нанесены на координатную плоскость. Каждая точка – это значение замедления для определенной скорости. Далее точки на плоскости были аппроксимированы полиномиальной функцией 2-й степени. Получившийся график изменения замедления в зависимости от скорости представлен на рис. 3.23.

Напомним, что конечной целью исследования является определение актуальности функции замедления, установленного в PTV Vision® VISSIM. Для этого необходимо провести ее сравнение с наблюдаемым замедлением. С этой целью был проведен сравнительный анализ функций максимального замедления, предложенных в PTV Vision® VISSIM, и наблюдаемого замедления.

Попробуем визуально оценить взаимное соответствие двух функций замедления. Для этой цели на одной координатной плоскости разместим графики функций наблюдаемого замедления и стандартного замедления, установленного в модели PTV Vision® VISSIM (рис. 3.24).

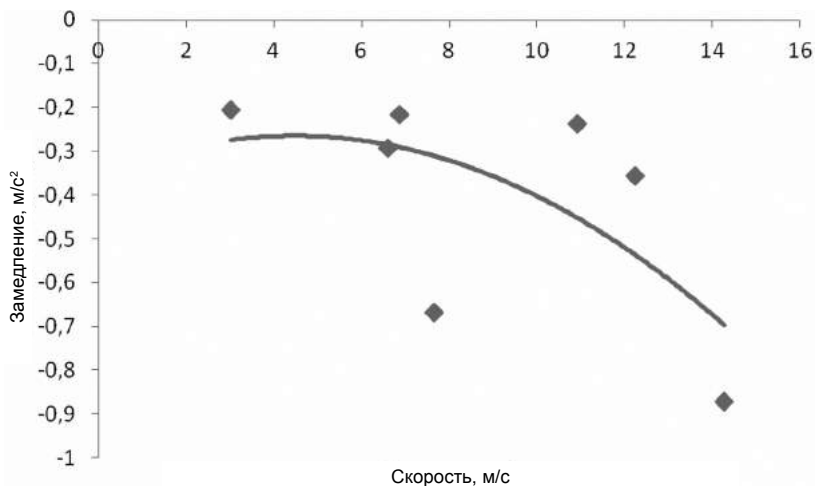


Рис. 3.23. График функции наблюдаемого замедления

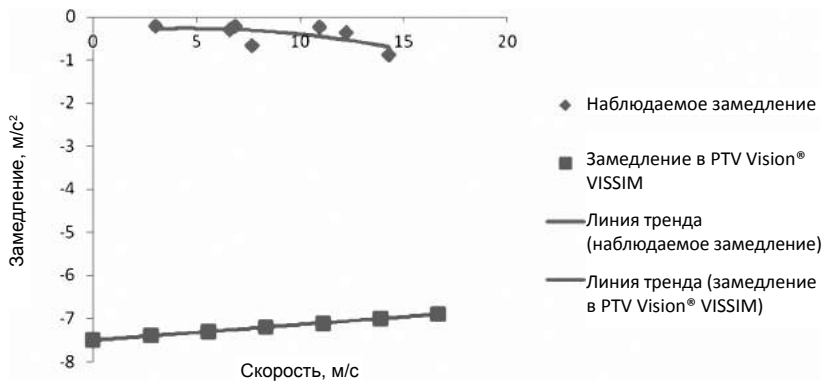


Рис. 3.24. Соответствие наблюдаемых значений замедления и значений замедления, установленных в PTV Vision® VISSIM

Из рисунка видно, что функция замедления в PTV Vision® VISSIM является линейной и значения замедления намного меньше, чем у наблюдаемой функции замедления. Кроме того, с возрастанием скорости отмечается некоторое уменьшение замедления.

Наблюдаемая функция замедления, в отличие от функции замедления в PTV Vision® VISSIM, имеет нелинейную форму.

Для актуализации графика замедления в PTV Vision® VISSIM необходимо получить наблюдаемые значения замедления. Некоторые наблюдаемые значения приведены в табл. 3.15 и на рис. 3.23. Но чтобы корректно ввести график функции наблюдаемого замедления в PTV Vision® VISSIM, нужно получить недостающие значения из функции, аппроксимирующей наблюдаемые значения.

Таблица 3.15

Рекомендуемые значения замедления ТС для изменения графика максимального замедления в PTV Vision® VISSIM

Скорость, км/ч	Замедление, м/с ²	Скорость, км/ч	Замедление, м/с ²
10,8	-0,2747	39,3	-0,45381
23,8	-0,28644	44,1	-0,53948
24,7	-0,29159	51,4	-0,70044
27,6	-0,31203		

Уравнение линии тренда имеет вид

$$y = -0,0045x^2 + 0,04x - 0,3542. \quad (3.20)$$

С помощью данного уравнения были получены недостающие значения графика функции замедления. В качестве аргумента функции x были подставлены значения скорости из табл. 3.14.

Значения функции наблюдаемого замедления, рассчитанные при помощи формулы (3.20), приведены в табл. 3.14. Значения, указанные в табл. 3.15, рекомендованы для корректировки графика максимального замедления в PTV Vision® VISSIM. Необходимость корректировки графика была доказана в ходе проведения сравнительного анализа функции замедления PTV Vision® VISSIM с функцией наблюдаемого замедления. Напомним, что между данными функциями существуют значительные расхождения. Так, значения функций сильно отлича-

ются друг от друга (в отдельных случаях на 5 м/с^2). Кроме того, с возрастанием скорости значения стандартной функции замедления PTV Vision® VISSIM уменьшаются, в то время как значения наблюдаемой функции замедления увеличиваются.

В связи с тем, что были выявлены несоответствия графиков функций замедления, необходимо отредактировать график «Макс.замедление» в PTV Vision® VISSIM в соответствии со значениями из табл. 3.15. Чтобы изменить график максимального замедления, следует выбрать пункт меню «Базовые данные – Функции – Максимальное замедление...» и в соответствии со значениями табл. 3.15 изменить график функции.

Итоговый график функции максимального замедления ТС для PTV Vision® VISSIM, измененный в соответствии с рекомендуемыми значениями замедления, представлен на рис. 3.25.

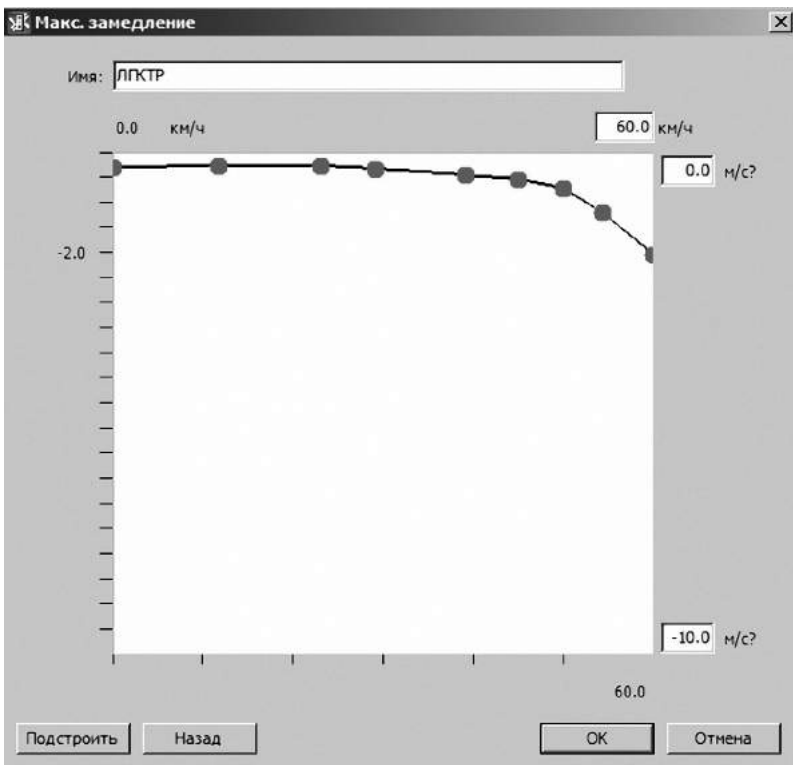


Рис. 3.25. Итоговый график функции максимального замедления легковых ТС в PTV Vision® VISSIM

Следует отметить, что с момента изменения графика функции максимального замедления изменится манера поведения водителей ТС. В частности, в процессе моделирования изменится выбор водителя между тем, по какой функции производить замедление – по функции требуемого b_{required} или максимального b_{max} замедления.

Напомним, что при моделировании решения водителя об остановке перед стоп-линией используется минимальная из двух функций замедления – либо требуемое замедление, либо максимальное. В связи с тем, что функция максимального замедления была изменена, необходимо пересмотреть моделирование манеры поведения водителя, так как в процессе моделирования при некоторых обстоятельствах может измениться функция замедления, которой будет следовать водитель.

Для того чтобы понять, какое из двух замедлений будет использоваться при моделировании поведения водителя, необходимо сравнить значения b_{max} при различных скоростях и значения при различных скоростях и дистанциях до стоп-линии. Если в процессе моделирования в результате сравнения меньшим окажется значение функции b_{max} , то именно эту функцию будет использовать водитель ТС при замедлении перед стоп-линией. Если в процессе моделирования в результате сравнения меньшим окажется значение функции b_{required} , водитель ТС при замедлении перед стоп-линией будет использовать эту функцию замедления.

В процессе моделирования в результате сравнения значений b_{required} и b_{max} , было выявлено, какая функция замедления перед стоп-линией будет использована водителем при тех или иных обстоятельствах (табл. 3.16).

Из данных таблицы видно, что требуемое замедление при моделировании поведения водителя выбирается только при дистанции 10 м и скорости ТС более чем 20 км/ч (во всех остальных случаях водитель использует функцию замедления, представленную на рис. 3.21). Значения требуемого замедления для этого случаев приведены в табл. 3.17.

Таким образом, при изменении функции максимального замедления в PTV Vision® VISSIM в соответствии с рекомендациями авторов функция требуемого замедления вступает в силу только при дистанции до стоп-линии 10 м и скорости ТС более 20 км/ч. Значения функции в зависимости от скорости изменяются в соответствии с табл. 3.17.

Таблица 3.16

**Выбираемое водителем замедление
при моделировании в PTV Vision® VISSIM**

Скорость, км/ч	Дистанция до стоп-линии, м										
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
10,8	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}
23,8	$b_{required}$	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}
24,7	$b_{required}$	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}
27,6	$b_{required}$	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}
39,3	$b_{required}$	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}
44,1	$b_{required}$	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}
51,4	$b_{required}$	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}	b_{max}

Таблица 3.17

**Значения замедления ТС в PTV Vision® VISSIM
для дистанции 10 м и скорости ТС более 20 км/ч**

Скорость, км/ч	Требуемое замедление, м/с ²	Скорость, км/ч	Требуемое замедление, м/с ²
23,8	-0,33056	39,3	-0,54583
24,7	-0,34306	44,1	-0,6125
27,6	-0,38333	51,4	-0,71389

3.3.3. Поведение при красно-желтом сигнале светофора

Поведение водителей ТС при красно-желтом сигнале светофора может быть двояким: он принимает решение либо «ждать» (как на красный свет) или «ехать» (как на зеленый свет). Для России актуальным решением водителя является «ждать» (согласно п. 6.2 ПДД).

3.3.4. Уменьшение дистанции безопасности вблизи от стоп-линии

В месте дислокации светофора водители управляют ТС с повышенным вниманием, в результате чего при движении обычно удерживают меньшую дистанцию безопасности между попутными транспортными средствами, чем при движении на участке УДС без светофора. Данное явление характеризуется в психофизиологической модели параметром «Уменьшенная дистанция безопасности вблизи от стоп-линии», который отвечает за размер дистанции (м).

Параметр имеет несколько характеристик:

3.1. *Фактор* $F_{\text{reduced_distance}}$ определяется пользователем. Фактор – это коэффициент, на который умножается дистанция безопасности ТС. В результате умножения получается уменьшенная дистанция безопасности:

$$d_{\text{reduced}} = d \cdot F_{\text{reduced_distance}}, \quad (3.21)$$

при этом

$$F_{\text{reduced_distance}} < 1. \quad (3.22)$$

Также стоит отметить, что дистанция безопасности, полученная в результате расчета по формуле (3.21), действует только в области влияния уменьшенной дистанции безопасности. Эта область задается *дистанцией безопасности до стоп-линии* S_{to} и *дистанцией безопасности после стоп-линии* S_{after} .

Особым является случай, при котором водитель ТС сменяет полосу движения непосредственно перед стоп-линией. В таких случаях фактор уменьшения дистанции перед стоп-линией F_{stop} сравнивается с фактором уменьшения дистанции при смене полосы F_{change} . Тогда

$$F_{\text{reduced_distance}} = \text{MIN}(F_{\text{stop}}, F_{\text{change}}). \quad (3.23)$$

3.2. *Дистанция безопасности до стоп-линии* S_{to} . В этом месте начинается область, где действует уменьшенная дистанция безопасности.

3.3. *Дистанция безопасности после стоп-линии* S_{after} . В этом месте заканчивается область, на которой действует уменьшенная дистанция безопасности.

Расстояния по направлению движения от стоп-линии и расстояние против направления движения от стоп-линии указаны на рис. 3.26.

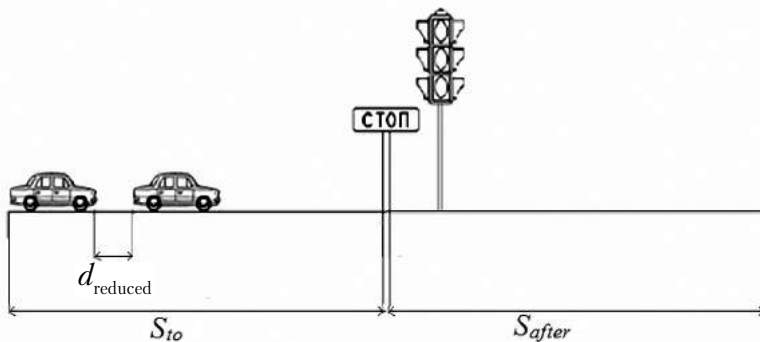


Рис. 3.26. Характеристики уменьшенной дистанции безопасности

Определение пользователем фактора уменьшения дистанции безопасности и области влияния этого фактора может существенно сказаться на результатах моделирования дистанции безопасности.

По умолчанию в PTV Vision® VISSIM значение фактора равняется 0,6; значение расстояния по направлению движения – 100 м; значение расстояния против направления движения – 100 м.

Стандартные значения параметров модели, влияющих на уменьшение дистанции безопасности. В процессе моделирования данные значения характеризуют следующее поведение водителя ТС: дистанция безопасности уменьшается на 40 % за 100 м до стоп-линии и принимает свое прежнее значение после 100 м от стоп-линии.

Для того чтобы определить актуальность стандартных значений PTV Vision® VISSIM, необходимо провести сравнение стандартных значений со значениями, полученными в результате натурального наблюдения. Первым шагом к сравнению значений является проведение натурального обследования.

Наблюдаемые значения уменьшения дистанции безопасности. Для получения наблюдаемых значений уменьшенной дистанции безопасности было проведено дополнительное обследование этой дистанции. Учитывалась не только средняя скорость транспортного потока и средняя дистанция между автомобилями, но и величина дистанции до и после стоп-линии.

Так же, как и в натуральных исследованиях дистанции безопасности, были обследованы записи с камер видеонаблюдения. Алгоритм получения средних значений скорости транспорт-

ного потока и дистанции описан в разд. 3.1. Замеры средних значений скорости и дистанции проводились для транспортных средств, находящихся на различных расстояниях до стоп-линий. Так, были обследованы параметры движения ТС в потоке на расстояниях 0 – 30, 30 – 60 и 60 – 90 м до и после стоп-линии. Кроме того, были обследованы параметры движения ТС на более удаленных от стоп-линии участках. На участках, удаленных более чем на 130 м от стоп-линии, манера поведения водителей в транспортном потоке принималась как «свободная езда».

Результаты обследования уменьшенной дистанции безопасности представлены в табл. 3.18.

В связи с тем, что обследование дистанции при одинаковых скоростях невозможно, было принято решение сравнивать не значения дистанции безопасности, а отношения дистанции к скорости. В результате исследования поведения водителей в потоке были получены различные отношения дистанции между ТС к их скорости при различных расстояниях от светофора (табл. 3.19).

К недостаткам обследования можно отнести то, что невозможно провести обследование дистанции при одинаковых скоростях. Последнее необходимо для того, чтобы корректно оценить изменение дистанции безопасности при различных расстояниях от светофора.

Полученные значения отношения дистанции к скорости ТС были усреднены для различных участков наблюдения: до светофора, после светофора, а также для свободной езды. В результате усреднения было установлено, что в непосредственной близости к светофору отношение дистанции к скорости уменьшается на 27 %.

Сопоставление реальных значений уменьшения дистанции безопасности и стандартных значений PTV Vision® VISSIM. Для того чтобы актуализировать данные, предложенные в PTV Vision® VISSIM по умолчанию, необходимо провести сравнение уменьшенных дистанций безопасности – установленной по умолчанию и наблюдаемой.

В программном комплексе PTV Vision® VISSIM уменьшенная дистанция безопасности по умолчанию в близости от светофора составляет 40 % дистанции безопасности, наблюдаемой при свободной езде.

Таблица 3.18

Значения дистанции безопасности при различном расстоянии до стоп-линии

Исследуемое расстояние	Расстояние, м		Скорость		Дистанция, м	Количество обследуемых автомобилей
	от стоп-линии	до стоп-линии	км/ч	м/с		
До светофора	90	60	31,1	8,64	14	20
	60	30	27,6	7,67	13,2	18
	30	0	45,1	12,53	22,7	9
После светофора	0	30	27,3	7,58	12,9	18
	30	60	52,4	14,56	25,6	11
	60	90	55,3	15,36	27,1	15
Свободная езда	100	130	16	4,44	11,8	15
	130	160	34,5	9,58	20,7	12
	160	190	41,7	11,58	28,4	12
	90	150	61,8	17,17	38,14	20

Таблица 3.19
Отношения дистанции между ТС к их скорости при различных расстояниях от светофора

Исследуемые расстояния	Расстояние, м		Скорость, км/ч	Дистанция, м	Отношение дистанции к скорости, %
	от стоп-линии	до стоп-линии			
До светофора	90	60	31,1	14	45,02
	60	30	27,6	13,2	47,83
	30	0	45,1	22,7	50,33
После светофора	0	30	27,3	12,9	47,25
	30	60	52,4	25,6	48,85
	60	90	55,3	27,1	49,01
Свободная езда	100	130	16	11,8	73,75
	130	160	34,5	20,7	60,00
	160	190	41,7	28,4	68,11
	90	150	61,8	38,14	61,72

При проведении обследования было установлено, что в г. Перми дистанция безопасности в непосредственной близости от светофоров уменьшается лишь на 27 %.

Рекомендуемые значения параметров, влияющих на уменьшение дистанции безопасности. Чтобы актуализировать значения укороченной дистанции безопасности, необходимо изменить фактор ее уменьшения ($F_{\text{reduced_distance}}$) в PTV Vision® VISSIM до такого значения, которое уменьшит дистанцию безопасности вблизи светофоров на 27 %.

Для установления актуального фактора в PTV Vision® VISSIM выбирается пункт меню «Базовые данные – Манера езды» и затем «Светосигнальные установки» (рис. 3.27). Далее в поле «Фактор» изменяется значение «0,60» на «0,73». Это позволит получить дистанцию безопасности на 27 % короче первоначальной.

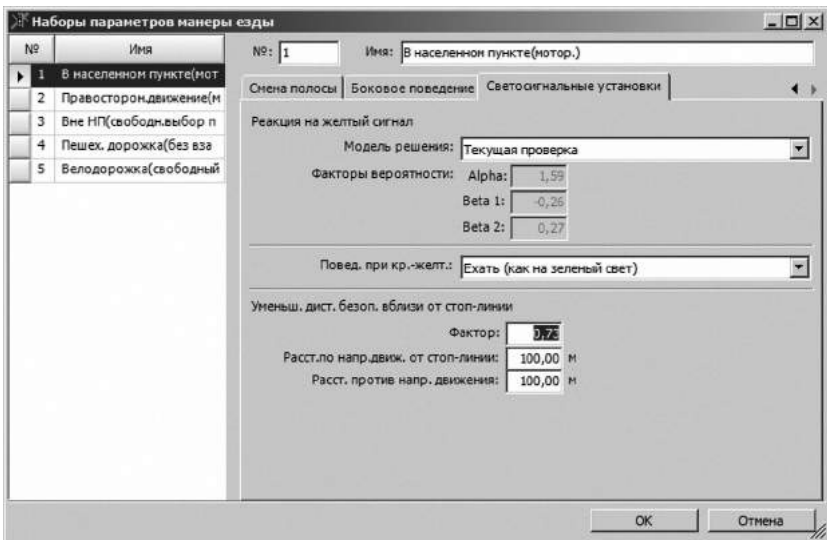


Рис. 3.27. Изменение фактора уменьшения дистанции в программном комплексе PTV Vision® VISSIM

Изменение фактора уменьшения дистанции безопасности повлияет на результаты ее моделирования. При этом дистанция безопасности перед стоп-линиями и после них, по сравнению со стандартными значениями, предложенными в PTV Vision® VISSIM по умолчанию, – увеличивается.

3.4. Установление параметров модели движения, отвечающих за маневр смены полосы

3.4.1. Базовые определения, относящиеся к смене полосы

Прежде чем перейти к описанию параметров, характеризующих маневр смены полосы транспортным средством, необходимо задать базовые определения, относящиеся к процессу смены полосы. Часть терминов используется в интерфейсе программы PTV Vision® VISSIM, а часть терминов была введена авторами при изложении данного раздела.

Маневр смены полосы – выезд транспортного средства из занимаемой полосы с сохранением первоначального направления движения.

Собственное ТС – транспортное средство, водитель которого имеет намерение осуществить маневр смены полосы.

Впереди идущее ТС – транспортное средство, движущееся перед собственным ТС по той же полосе.

Позади идущее ТС – транспортное средство, движущееся за собственным ТС по той же полосе.

Первый автомобиль промежутка на полосе – транспортное средство, движущееся первым в промежутке на желаемой полосе, в который намеревается встроиться водитель собственного ТС при осуществлении маневра смены полосы.

Второй автомобиль промежутка на полосе – транспортное средство, движущееся вторым в промежутке на желаемой полосе, в который намеревается встроиться водитель собственного ТС при осуществлении маневра смены полосы.

Желаемая полоса – полоса движения, на которую имеет намерение перестроиться водитель собственного ТС при осуществлении маневра смены полосы.

Позиция вынужденной остановки – точка на занимаемой полосе, в которой вынужден будет остановиться водитель собственного ТС, если ему не удастся осуществить маневр смены полосы.

Промежуток на полосе – дистанция между автомобилями, следующими друг за другом на желаемой полосе.

Приемлемый промежуток на полосе – дистанция между автомобилями, следующими друг за другом на желаемой полосе, которая позволит собственному ТС осуществить маневр смены полосы.

Базовые определения визуально представлены на рис. 3.28.



Рис. 3.28. Описание маневра смены полосы. Базовые определения

Главными условиями совершения маневра смены полосы в процессе моделирования движения транспортных потоков в PTV Vision® VISSIM являются следующие:

- 1) собственное ТС и первый автомобиль промежутка на полосе не должны столкнуться;
- 2) второй автомобиль промежутка на полосе не должен тормозить.

В PTV Vision® VISSIM предусмотрены два основных вида маневров смены полосы:

1. *Произвольная смена полосы* (англ. *free lane selection* – свободный выбор полосы) – это маневр смены полосы, осуществляемый водителем ТС для получения большей свободы движения или более высокой скорости. В случае маневра произвольной смены полосы необходимо соблюдение желаемой дистанции безопасности по отношению ко второму автомобилю в промежутке на полосе. Изменяя параметры дистанции безопасности (которые используются для изменения поведения за впереди идущим ТС), можно управлять поведением при смене полосы. Изменение дистанции безопасности уже рассматривалось в разд. 3.1.

2. *Необходимая смена полосы* (англ. *right-side rule* – правило правой стороны) – это маневр смены полосы, осуществляемый водителем ТС с целью совершить в дальнейшем маневр по изменению направления движения.

В случае, если маневр смены полосы необходим, параметры манеры езды содержат значения замедления собственного ТС и второго автомобиля промежутка на полосе, которые изменя-

ются в зависимости от расстояния до позиции вынужденной остановки (расстояния до следующего соединяющего отрезка маршрута).

В обоих случаях, когда водитель принимает решение совершить маневр смены полосы, при моделировании этого маневра на первом этапе происходит проверка наличия промежутка на желаемой полосе. Размер промежутка зависит от скорости собственного ТС и скорости второго автомобиля промежутка на полосе. В случае осуществления маневра необходимой смены полосы размер промежутка также зависит от степени «агрессивности», т.е. от соответствующего максимального замедления.

Параметры, отвечающие за моделирование маневра смены полосы, в PTV Vision® VISSIM заданы в пункте меню «Базовые данные – Манера езды – Смена полосы» (рис. 3.29).

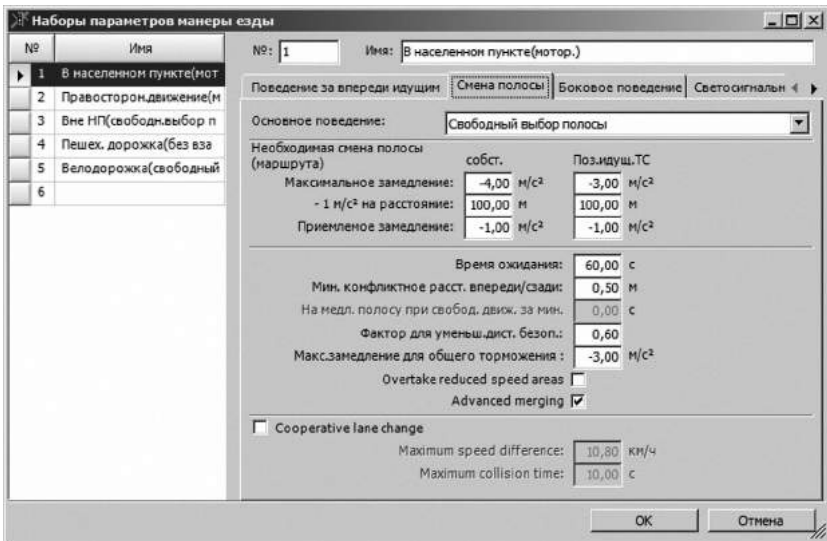


Рис. 3.29. Окно редактирования «Наборы параметров манеры езды», в котором производится задание параметров маневра смены полосы в PTV Vision® VISSIM

Все параметры, отвечающие за моделирование маневра смены полосы в PTV Vision® VISSIM, собраны в четыре группы:

1. Основное поведение (англ. *general behavior* – общее поведение).

2. Необходимая смена полосы (маршрута) (англ. *necessary lane change (route)* – необходимая смена полосы (маршрута)).

3. Дополнительные параметры (англ. *other parameters* – другие параметры).

4. Кооперативная смена полосы (англ. *cooperative lane change* – кооперативная смена полосы).

3.4.2. Параметры, определяющие способ обгона

В связи с тем, что обгон тоже относится к процессу смены полосы, маневр обгона также будет рассмотрен в данном разделе. Перед тем как перейти к параметрам, отвечающим в PTV Vision® VISSIM за обгон, дадим определение термину «обгон».

Обгон – это опережение одного или нескольких движущихся транспортных средств, связанное с выездом из занимаемой полосы. В PTV Vision® VISSIM за маневр обгона отвечает параметр «Основное поведение».

«Основное поведение» – это вид способа обгона. Данный параметр при моделировании процесса движения автомобиля в транспортном потоке может принимать следующие значения:

1. *Свободный выбор полосы* – это такой способ обгона, при котором транспортному средству разрешено обгонять по любой полосе.

2. *Правостороннее движение* (англ. *right side rule* – правило правой полосы). Позволяет обгон по полосе с большими скоростями (левой полосе), только если скорость в данной полосе превышает 60 км/ч. Если скорость меньше 60 км/ч, то ТС разрешается обгон по полосе с более медленной скоростью (правой полосе). Однако обгон по полосе с малой средней скоростью потока разрешен только в том случае если разница между скоростью ТС, совершающего обгон, и средней скоростью потока в полосе составляет не больше 20 км/ч.

Значение параметра модели, предложенное по умолчанию в PTV Vision® VISSIM для моделирования обгона. В PTV Vision® VISSIM существует несколько наборов параметров манеры езды, в зависимости от которых изменяется моделирование поведения водителя при выполнении маневра смены полосы.

По умолчанию в PTV Vision® VISSIM пользователю предлагается использовать набор параметров манеры поведения «В населенном пункте (мотор.)», который характеризует поведение водителей ТС в населенном пункте. В этой манере езды используется

значение параметра «Основное поведение» – «Свободный выбор полосы».

При создании нового набора параметров манеры поведения по умолчанию в PTV Vision® VISSIM также выбирается «Основное поведение» – «Свободный выбор полосы».

Рекомендуемые значения параметра, отвечающего за моделирование обгона. Для того чтобы моделирование обгонов ТС было наиболее приближено к реальной ситуации, необходимо в меню «Смена полосы» изменить значение параметра «Основное поведение» со «Свободный выбор полосы» на «Правостороннее движение». Значение «Свободный выбор полосы» рекомендуется использовать при моделировании пешеходного движения.

3.4.3. Параметры, определяющие процесс необходимой смены полосы (маршрута)

Часто водителю требуется произвести маневр смены полосы, чтобы иметь возможность продолжить движение по выбранному маршруту. В PTV Vision® VISSIM для таких ситуаций применяется вид смены полосы «Необходимая смена полосы (маршрута)». При этом виде смены полосы водитель заранее знает о том, что ему нужно перестроиться, и маневр перестроения начинает осуществлять заранее, до позиции вынужденной остановки. При этом водитель при приближении к позиции вынужденной остановки водитель все более и более замедляет ТС.

Для выполнения маневра необходимой смены полосы (исходя из заданного маршрута) могут быть указаны приемлемое замедление, с точки зрения водителя собственного ТС и позади идущего ТС, а также максимальное замедление. Кроме того, может быть указано расстояние до позиции вынужденной остановки.

Значения параметров модели, предложенных по умолчанию в PTV Vision® VISSIM для моделирования маневра необходимой смены полосы. Функцию изменения замедления при осуществлении маневра необходимой смены полосы визуально можно отобразить при помощи графика, в котором по оси ординат указаны значения замедления, а по оси абсцисс – расстояния до позиции остановки.

Для построения графика, описывающего процесс необходимой смены полосы, предложенного по умолчанию в PTV Vision® VISSIM, использовались значения параметров, представленные в табл. 3.20.

Таблица 3.20

Значения параметров, предложенных по умолчанию в PTV Vision® VISSIM для моделирования маневра необходимой смены полосы

Название параметра в PTV Vision® VISSIM	Предложенное по умолчанию значение параметра
Максимальное замедление собственного ТС $j_{\text{макс.собств}}$, м/с ² (англ. <i>maximum deceleration open</i>)	-4 м/с ²
Максимальное замедление позади идущего ТС $j_{\text{макс.позадитц}}$, м/с ² (англ. <i>parameter maximum deceleration trailing vehicle</i>)	-3 м/с ²
Приемлемое замедление собственного ТС $j_{\text{примем.собств}}$, м/с ² (англ. <i>accepted deceleration open</i>)	-1 м/с ²
Приемлемое замедление позади идущего ТС $j_{\text{примем.позадитц}}$, м/с ² (англ. <i>accepted deceleration trailing vehicle</i>)	-1 м/с ²
Значение расстояния $x_{\text{собств}}$ при достижении которого максимальное замедление собственного ТС будет линейно уменьшено на 1 м/с ² по отношению к его приемлемому замедлению	100 м
Значение расстояния $x_{\text{безидущитц}}$ при достижении которого максимальное замедление позади идущего ТС будет линейно уменьшено на 1 м/с ² по отношению к его приемлемому замедлению	100 м

Значения параметров, предложенные по умолчанию в PTV Vision® VISSIM для моделирования маневра необходимой смены полосы, также представлены на рис. 3.29.

Необходимая смена полосы (маршрута)	Собст. ТС	Поз.идущ.ТС
Максимальное замедление:	-4,00 м/с ²	-3,00 м/с ²
- 1 м/с ² на расстояние:	100,00 м	100,00 м
Приемлемое замедление:	-1,00 м/с ²	-1,00 м/с ²

Рис. 3.29. Значения параметров, предложенные по умолчанию в PTV Vision® VISSIM для моделирования маневра смены полосы

Значения функции изменения замедления, предложенные по умолчанию в PTV Vision® VISSIM для моделировании маневра необходимой смены полосы, представлены в табл. 3.21.

Таблица 3.21

**Значения функции изменения замедления,
предложенные по умолчанию в PTV Vision® VISSIM
для моделирования маневра необходимой смены полосы**

Расстояние до позиции вынужденной остановки, м	Предложенное по умолчанию значение замедления, м/с ²	
	собственного ТС	позади идущего ТС
600	1	1
500	1	1
400	1	1
300	1	1
200	2	1
100	3	2
0	4	3

График функции изменения замедления, используемый при моделировании маневра необходимой смены полосы, представлен на рис. 3.31.

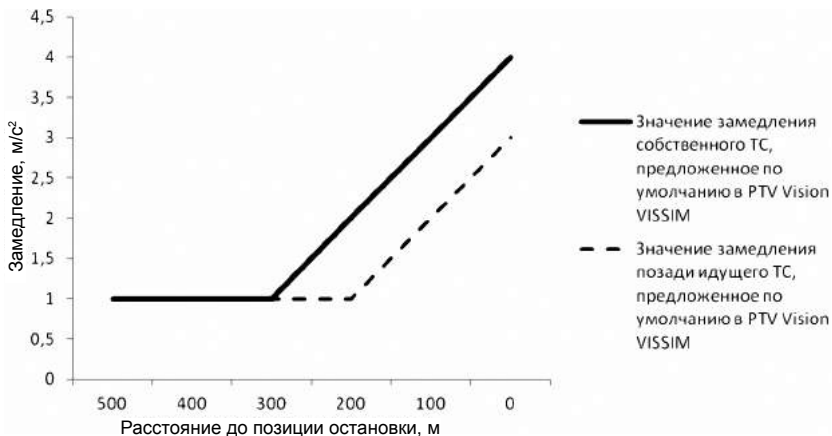


Рис. 3.31. График функции изменения замедления ТС при значениях параметров, предложенных по умолчанию в PTV Vision® VISSIM для моделирования маневра необходимой смены полосы

График функции отображает следующее изменение замедления ТС при осуществлении указанного маневра: ТС движется с приемлемым замедлением 1 м/с^2 до того момента, когда до позиции вынужденной остановки остается менее 300 м. После этого ТС начинает увеличивать замедление таким образом, чтобы на каждые 100 м увеличение составляло 1 м/с^2 . Когда ТС достигает позиции вынужденной остановки, замедление становится максимальным.

В реальной жизни ситуацию можно охарактеризовать следующим образом: если водитель собственного ТС хочет повернуть налево, то он будет двигаться с замедлением 1 м/с^2 до того момента, когда до поворота останется меньше 300 м; далее водитель начнет замедляться интенсивнее – каждые 100 м на 1 м/с^2 . При этом, если он достигнет поворота, но не успеет перестроиться, им будет применено максимальное замедление.

Для того чтобы проверить актуальность данных значений, был проведен дополнительный расчет значений функции изменения замедления, который позволит лучше изучить манеру поведения водителей при осуществлении маневра смены полосы.

Расчетные значения параметров модели, отвечающих за маневр необходимой смены полосы. В основе расчета параметров, рекомендуемых для моделирования маневра необходимой

смены полосы, лежит гипотеза о том, что слияние двух транспортных потоков возможно при условии, когда в основном транспортном потоке между ТС имеется достаточный для осуществления такого маневра интервал времени – продолжительность промежутка времени на желаемой полосе.

К примеру, при максимальной интенсивности движения ТС по одной полосе (600 авт./ч) средняя продолжительность промежутка времени на полосе равняется $3600/600 = 6$ с. Заметим, что 6 с – недостаточное время для совершения маневра смены полосы. Однако в силу того, что транспортный поток движется неравномерно (из-за светофорного регулирования, пешеходного движения через проезжие части и др.), продолжительность промежутков времени на полосе может как уменьшаться, так и увеличиваться. Практика показывает, что даже при высокой плотности движения имеются приемлемые для совершения маневра смены полосы промежутки времени на полосе.

Авторами было проведено специальное исследование распределения продолжительности промежутков времени на полосе в минутном диапазоне времени для одной из улиц г. Перми. Аналогично исследованиям, проведенным с целью выявления средней дистанции безопасности, исследование осуществлялось также с помощью записей камер видеонаблюдения, входящих в состав АСУДД. Исследование проводилось следующим образом:

1. Засекалось время с начала видеофрагмента до момента въезда в зону видимости первого ТС.

2. Засекалось время с момента въезда в зону видимости первого ТС до момента въезда в зону видимости второго ТС, т.е. временную продолжительность промежутка на полосе между автомобилями. Данная операция повторялась на протяжении 5 мин.

Параллельно с исследованием распределения продолжительности временных промежутков на полосе учитывалась также средняя скорость транспортного потока (аналогично исследованиям, проведенным в разд. 3.1 и 3.2). В результате исследования были получены значения промежутков времени между моментами въездов автомобилей в зону видимости (табл. 3.22).

Из таблицы видно, что в основном продолжительность промежутков времени на полосе между автомобилями составляет не более 3 с, но встречаются также промежутки и по 9 с.

Стоит отметить, что значения продолжительности временных промежутков на полосе были получены для транспортного потока, движущегося со скоростью 45,5 км/ч.

Следующим шагом является определение приемлемого временного длительности промежутка на полосе между автомобилями на желаемой полосе. Она должна быть такой, чтобы собственный ТС мог осуществить маневр смены полосы. С целью определения такого промежутка был произведен дополнительный расчет значения приемлемого временного промежутка на полосе.

Прежде чем переходить к расчету, стоит заметить, что взаимодействие автомобилей в зоне слияния транспортных потоков происходит следующим образом: собственное ТС (0) движется в ожидании приемлемого временного промежутка на основной (желаемой) полосе, по которой автомобили движутся со скоростью v_m .

Приемлемая длительность промежутка времени на полосе должна позволить собственному ТС произвести маневр перестроения таким образом, чтобы не возникло препятствий для транспорта, движущегося по желаемой полосе. То есть ТС, движущиеся по желаемой полосе, не должны тормозить, пропуская собственное ТС, но и столкновения тоже не должно произойти.

Величину приемлемого промежутка времени на полосе можно представить суммой двух величин:

$$\Delta d = d_1 + d_2, \quad (3.24)$$

где Δd – длительность приемлемого промежутка времени на полосе, с; d_1 – это длительность приемлемого промежутка времени между первым автомобилем и собственным ТС, с; d_2 – длительность приемлемого промежутка времени между вторым автомобилем и собственным ТС, с.

В свою очередь, d_1 также можно разделить на несколько составляющих.

1. Время реакции водителя собственного ТС ($T_{\text{реак.0}}$), с, и время приведения в действие тормозной системы ($T_{\text{торм.0}}$), с. В сумме эти два показателя принимают значение 1 с.

2. Статический габарит собственного ТС ($g_{\text{авт.0}}$), м, и минимальный зазор безопасности между автомобилями ($g_{\text{авт.1-0}}$), м. Сумма двух показателей была принята равной 4,5 м.

3. Разность тормозных путей первого автомобиля с приемлемым промежутком времени на полосе и собственного ТС ($l_{\text{авт.0}} - l_{\text{авт.1}}$), с. Разность тормозных путей была вычислена с учетом коэффициентов эксплуатационных условий торможения заднего и переднего

автомобиля (1,8), скорости транспортного потока на основной полосе, а также коэффициентов сцепного веса (0,5), сцепления шин с поверхностью дороги (0,7), дорожного сопротивления (0,425) и обзорности (1,8). В результате расчета была выявлена разность тормозных путей – 1,5 с.

Путем сложения составляющих была получена длительность промежутка времени d_1 :

$$d_1 = 1 + 4,5 + 1,5 = 7 \text{ с.} \quad (3.25)$$

Для получения необходимо также рассчитать продолжительность промежутка времени d_2 , который включает в себя следующие составляющие:

1. Время реакции водителя собственного ТС ($T_{\text{собст.}}$) и время приведения в действие тормозной системы ($T_{\text{реак.0}}$). Сумма этих двух показателей дает значение 1 с.

2. Отношение минимального зазора безопасности между автомобилями к средней скорости транспортного потока желаемой полосы. В результате расчета получено 0,004.

3. Разность тормозных путей первого автомобиля промежутка на полосе и собственного ТС ($l_{\text{авт.2}} - l_{\text{авт.0}}$), с. Разность тормозных путей была вычислена с учетом коэффициентов эксплуатационных условий торможения заднего и переднего автомобиля (1,8), а также коэффициентов сцепного веса (0,5), сцепления шин с поверхностью дороги (0,7), дорожного сопротивления (0,425) и обзорности (1,8). Путем расчета было определено, что разность тормозных путей составляет по времени 1,5 с.

В результате сложения составляющих была получена продолжительность промежутка времени d_2 :

$$d_2 = 1 + 0,04 + 1,5 = 2,54 \text{ с.} \quad (3.26)$$

Напомним, что приемлемый промежуток представляет собой сумму промежутков d_1 и d_2 . Тогда

$$\Delta d = 7 + 2,54 = 9,54 \text{ с.} \quad (3.27)$$

При сравнении полученного значения промежутка Δd с распределением промежутков, представленных в табл. 3.23, было выявлено пять приемлемых. При этом время ожидания этих промежутков значительно отличается одно от другого – время ожидания первого приемлемого промежутка невозможно определить, время ожидания второго приемлемого промежутка – 74, третьего 13,7, четвертого – 57,5, пятого – 16,6 с. По этим значениям было найдено среднее время ожидания – 40,55 с.

Визуальное представление всех составляющих приемлемого промежутка времени на полосе представлено на рис. 3.32.

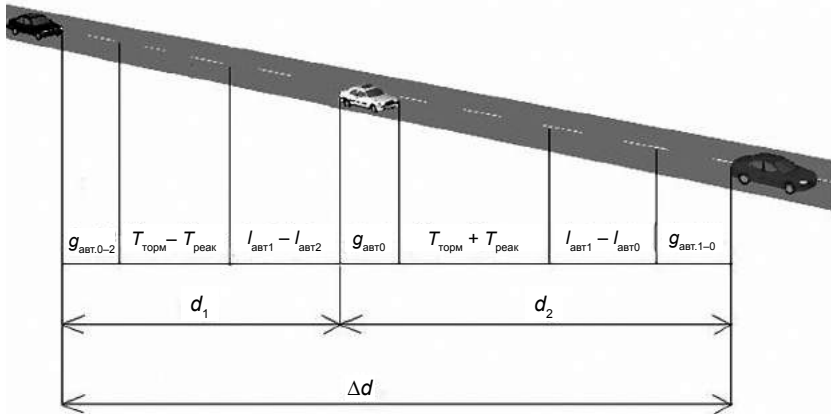


Рис. 3.32. Визуальное представление приемлемого промежутка времени на полосе

Отметим, что при ожидании приемлемого промежутка времени на полосе для осуществления маневра смены полосы собственное ТС не стоит на месте, а движется по проезжей части. Для того чтобы определить расстояние, которое проезжает собственное ТС, ожидая приемлемого временного промежутка на полосе, необходимо среднее время ожидания умножить на скорость ТС:

$$S = vt = 40,55 \times 12,6 = 510,93 \approx 511 \text{ м.} \quad (3.28)$$

Однако знания только расстояния недостаточно, чтобы полностью охарактеризовать маневр смены полосы. Нужно также знать приемлемое замедление, что потребовало проведения исследования замедлений (см. разд. 3.3.3). Исследование проводилось для разных скоростей. В данном случае необходимо определить замедление, наблюдаемое при скорости 45,5 км/ч, при которой исследовались приемлемые промежутки времени на полосе. Значение замедления при скорости 45,5 км/ч составило 0,35 м/с². Максимальное замедление было получено из исследования технически возможного замедления. При скорости 45,5 км/ч оно равно 5,43 м/с².

При известных значениях максимального и приемлемого замедления, которые было приняты как ограничивающие, и расстояния, которое пройдет собственное ТС во время ожидания

приемлемого промежутка на полосе, были рассчитаны значения функции изменения замедления при осуществлении маневра необходимой смены полосы (табл. 3.23).

Таблица 3.23

Расчетные значения функции изменения замедления при осуществлении маневра необходимой смены полосы

Расстояние до позиции вынужденной остановки, м	Расчетное значение замедления, м/с ²	
	собственного ТС	позади идущего ТС
600	0,35	0,33
500	0,35	0,33
400	1,46	1,25
300	2,46	2,25
200	3,46	3,25
100	4,46	4,25
0	5,43	5,25

Кроме того, в графике изменения замедления при осуществлении маневра необходимой смены полосы также учитывалась функция замедления позади идущего ТС.

Заметим, что если впереди идущий автомобиль тормозит, то автомобиль, идущий позади него, тоже должен тормозить. При этом замедление позади идущего ТС может осуществляться не на таком расстоянии, как собственного ТС. Так, если замедление собственного ТС отмечалось на расстоянии 510 м, то замедление позади идущего ТС будет происходить на расстоянии

$$S_{\text{поз.идущ.}} = S_{\text{собст.}} - d, \quad (3.29)$$

где $S_{\text{поз.идущ.}}$ – расстояние, на котором будет происходить замедление позади идущего ТС; $S_{\text{собст.}}$ – расстояние, на котором происходит замедление собственного ТС при осуществлении маневра смены полосы (принято 510 м); d – промежуток на полосе между $S_{\text{поз.идущ.}}$ и $S_{\text{собст.}}$ (принято 20 м).

Значение дистанции безопасности было определено в разд. 3.1, в котором проводилось исследование зависимости наблюдаемой дистанции безопасности от скорости.

При подстановке значений в формулу (3.28), было выявлено, что расстояние, которое пройдет в замедлении позади идущее ТС, равняется 490 м.

Максимальное замедление и приемлемое замедление позади идущего ТС также должно несколько отличаться от данных значений собственного ТС. Эти значения были рассчитаны при помощи отношения $S_{\text{поз.идущ.}}$ к $S_{\text{собст.}}$:

$$\frac{S_{\text{поз.идущ.}}}{S_{\text{собст.}}} = 0,96 \frac{S_{\text{собст.}}}{S_{\text{собст.}}} \quad (3.30)$$

Все значения параметров, полученные в результате расчета, представлены в табл. 3.24.

Таблица 3.24

Расчетные значения параметров маневра необходимой смены полосы

Параметр	Определение параметра	Значение параметра
Максимальное замедление собственного ТС $j_{\text{макс.собст.}}, \text{ м/с}^2$	Применяется на позиции вынужденной остановки	$-5,43 \text{ м/с}^2$
Максимальное замедление позади идущего ТС $j_{\text{макс.поз.идущ.}}, \text{ м/с}^2$	Применяется при ситуации, когда собственное ТС достигло позиции вынужденной остановки и начинает максимальное замедление	$-5,25 \text{ м/с}^2$
Приемлемое замедление собственное $j_{\text{приемл.собст.}}, \text{ м/с}^2$	Применяется в ситуациях, когда водитель собственного ТС еще не желает сменить полосу	$-0,35 \text{ м/с}^2$
Приемлемое замедление позади идущего ТС $j_{\text{приемл.поз.идущ.}}, \text{ м/с}^2$	Применяется в ситуациях, когда водитель собственного ТС еще не желает сменить полосу	$-0,336 \text{ м/с}^2$
Расстояние замедления собственного ТС (в VISSIM: -1 м/с^2 на расстояние собственного ТС $x_{\text{собст.}}, \text{ м}$)	Расстояние, пройденное в направлении позиции вынужденной остановки собственным ТС, по истечению которого его водитель увеличивает замедление автомобиля на 1 м/с^2	100 м
Расстояние замедления позади идущего ТС (в VISSIM: -1 м/с^2 на расстояние позади идущего ТС $x_{\text{поз.идущ.}}, \text{ м}$)	Расстояние, пройденное в направлении позиции вынужденной остановки собственного ТС, по истечению которого водитель позади идущего ТС вынужден увеличивать замедление автомобиля на 1 м/с^2 , так как замедление собственного ТС увеличивается	100 м

По данным табл. 3.25 был построен график функции изменения замедления при осуществлении маневра необходимой смены полосы (рис. 3.33).

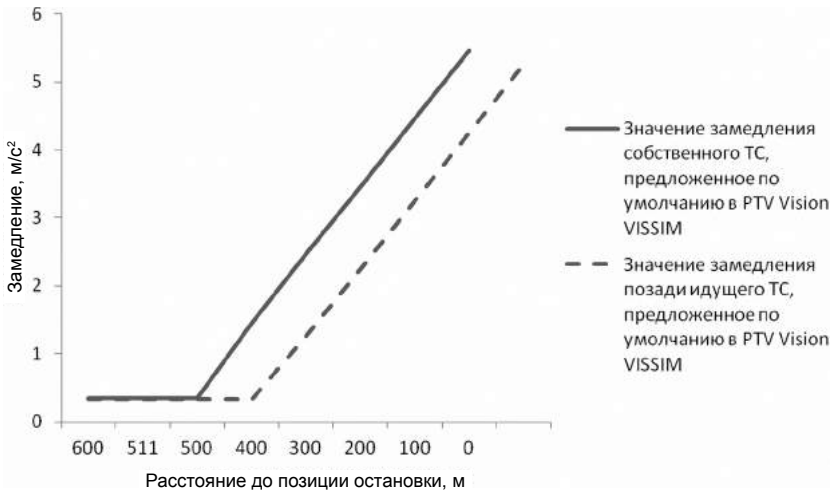


Рис. 3.33. График функции изменения замедления при осуществлении маневра необходимой смены полосы при расчетных значениях параметров

Далее приведен сравнительный анализ полученных значений при различных подходах к исследованию замедления при маневре необходимой смены полосы.

Сравнительный анализ различных подходов при моделировании маневра необходимой смены полосы. В PTV Vision® VISSIM по умолчанию предложены значения параметров для моделирования маневра смены полосы. Однако необходимо понять, актуальны ли эти значения. Для этого требуется провести сравнительный анализ расчетных и предложенных по умолчанию в PTV Vision® VISSIM значений параметров маневра смены полосы (табл. 3.25).

Видно, существуют некоторые различия между значениями, предложенными по умолчанию в PTV Vision® VISSIM, и расчетными значениями функции изменения замедления. Для того чтобы визуальнo оценить разницу между значениями, был построен график, приведенный на рис. 3.34.

Из данных таблицы и рисунка видно, что расчетные значения и значения, предложенные по умолчанию, различаются. Так, значения расчетные замедления для расстояния более 500 м, т.е. в тех случаях, когда у водителя ТС нет острой необходимости

в перестроении, меньше предложенных в PTV Vision® VISSIM по умолчанию. Кроме того, различается и само изменение замедления по мере приближения ТС к позиции вынужденной остановки. Так, расчетное замедление происходит интенсивнее, чем замедление, предложенное по умолчанию.

Таблица 3.25

**Значения замедления, предложенные по умолчанию
в PTV Vision® VISSIM и расчетные значения
функции изменения замедления**

Расстояние до позиции вынужденной остановки, м	Значения замедления, предложенные по умолчанию в PTV Vision® VISSIM, м/с ²		Расчетные значения замедления, м/с ²	
	Собственное ТС	Позади идущее ТС	Собственное ТС	Позади идущее ТС
600	1	1	0,35	0,33
500	1	1	0,46	0,33
400	1	1	1,46	1,25
300	1	1	2,46	2,25
200	2	1	3,46	3,25
100	3	2	4,46	4,25
0	4	3	5,46	5,25

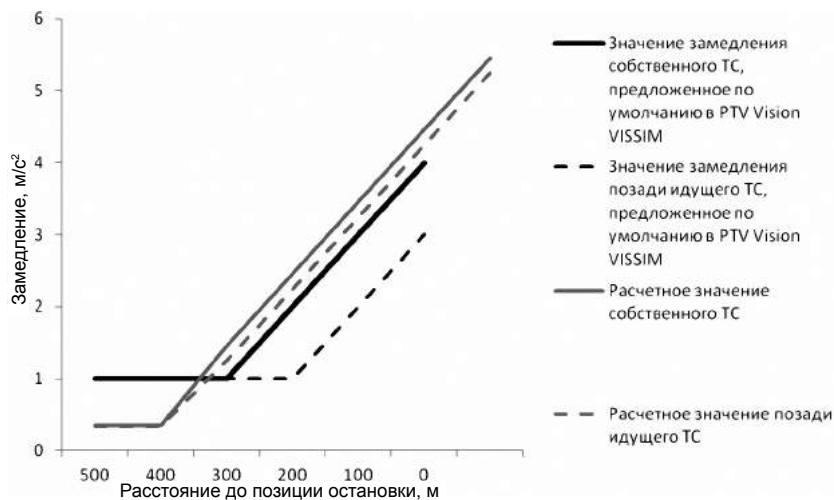


Рис. 3.34. Сравнение значений замедления, предложенных по умолчанию в PTV Vision® VISSIM для моделирования маневра необходимой смены полосы, и расчетных значений изменения замедления

Чтобы актуализировать график изменения замедления, необходимо заменить значения параметров PTV Vision® VISSIM на рекомендуемые их значения.

Рекомендуемые значения параметров, отвечающих за маневр необходимой смены полосы. Для изменения значений параметров, характеризующих при моделировании маневр смены полосы, в соответствии с расчетными параметрами необходимо в пункте меню «Базовые данные – Манера езды – Смена полосы» изменить параметры в соответствии с рис. 3.35.

Необходимая смена полосы (маршрута)	Собст. ТС	Поз.идущ.ТС
Максимальное замедление:	-5,46 м/с ²	-5,25 м/с ²
- 1 м/с ² на расстояние:	100,00 м	100,00 м
Приемлемое замедление:	-0,35 м/с ²	-0,34 м/с ²

Рис. 3.35. Фрагмент окна с изменением значений параметров, характеризующих маневр необходимой смены полосы в программном комплексе PTV Vision® VISSIM

Согласно рекомендованным параметрам, можно изменить значения параметров PTV Vision® VISSIM, отвечающих за замедление ТС перед позицией вынужденной остановки. Таким образом, моделирование маневра смены полосы аналогично маневрам, осуществляемым в существующей ситуации.

3.4.4. Дополнительные параметры, отвечающие за маневр смены полосы

Кроме параметров, характеризующих замедление перед позицией вынужденной остановки при моделировании маневра необходимой смены полосы, в PTV Vision® VISSIM существуют *дополнительные параметры*, которые распространяются на остальные характеристики, отвечающие за маневр необходимой смены полосы. Кроме того, дополнительные параметры влияют на моделирование маневров произвольной смены полосы и моделирование других дорожных ситуаций. К этим параметрам относятся:

- время ожидания ТС;
- минимальное конфликтное расстояние спереди/сзади;

- минимальное расстояние до впереди идущего ТС на «медленной» полосе;
- фактор для уменьшения дистанции безопасности;
- максимальное замедление для общего торможения;
- обгон зон малоскоростного движения.

Стандартные и расчетные значения параметра модели, отвечающего за время ожидания транспортного средства.

Параметр «Время ожидания» (англ. *waiting time before diffusion* – время ожидания перед удалением) в PTV Vision® VISSIM – это максимальное время, которое ТС имеет право провести на позиции вынужденной остановки, ожидая возможности осуществить маневр необходимой смены полосы. По истечении этого времени ТС выводится из сети. Одновременно с удалением ТС из зоны моделирования отправляется предупреждение в файл ошибок (*.err). Значение параметра «Время ожидания», предложенное по умолчанию в PTV Vision® VISSIM, – 60 с.

Следует заметить, что в реальной жизни не может быть ситуаций, когда ТС просто исчезают с проезжей части, когда не могут изменить свой маршрут. Поэтому и при моделировании движения транспортных потоков, состоящих из отдельных автомобилей, подобных «исчезновений» происходить не должно.

К ситуациям, при которых наиболее часто ТС удаляются из сети, относятся следующие:

1. Запрещающий сигнал светосигнальной установки. Так, если водителю ТС необходимо произвести маневр смены полосы, но желаемая полоса занята, то по истечении 60 с это ТС будет удалено из сети.

Актуальным временем ожидания для данного случая должно быть значение, превышающее цикл светофорного регулирования. Так, при смене сигнала светосигнальной установки на разрешающий сигнал ситуация на участке моделирования должна несколько измениться, т.е. ТС, занимающие желаемую полосу, должны выехать с занимаемого участка, после чего водитель рассматриваемого ТС сможет продолжить движение.

2. Замыкание транспортных потоков на участке моделирования. Замыкание – частный случай, при котором конфликтующие транспортные потоки не дают возможности друг другу продвигаться на расстояние, необходимое для осуществления дальнейшего движения.

Ситуации, когда какой-либо участок улично-дорожной сети замыкается, в реальной жизни встречаются очень редко. В связи с этим, если на моделируемом участке происходит замыкание транспортных потоков, авторы рекомендуют пользователю еще раз пересмотреть конфликтные точки и правила приоритета и изменить ошибочно заданные параметры элементов сети.

В случаях замыкания потоков удаление ТС по истечении времени ожидания может даже положительно сказаться на моделировании, поскольку при удалении одного из ТС конфликтующий транспортный поток может начать движение, освободив тем самым необходимый участок моделирования.

Стандартные и расчетные значения параметра модели, отвечающего за минимальное конфликтное расстояние вокруг ТС. Параметр «Минимальное конфликтное расстояние спереди/сзади» (англ. *min. headway front/rear*) – минимальный интервал движения спереди/сзади) отвечает за минимальное расстояние между двумя ТС, нужное для осуществления маневра смены полосы. В программном комплексе PTV Vision® VISSIM значение данного параметра по умолчанию равно 0,5 м.

Ранее уже указывалось расстояние между двумя ТС, необходимое для проведения маневра смены полосы. Однако оно было определено для конкретного значения скорости – 45,5 км/ч. Для этой скорости расстояние между двумя ТС, требуемое для выполнения маневра смены полосы, составляет 120 м (т.е. значение приемлемого промежутка времени 9,5 с умножается на скорость 12,6 м/с). Однако это значение неприменимо для параметра «Минимальное конфликтное расстояние спереди/сзади».

Дело в том, что указанный параметр применяется в случаях, когда скорость ТС минимальна, т.е. равна 0 км/ч (скорость при полной остановке ТС). Поэтому можно сказать, что параметр «Минимальное конфликтное расстояние спереди/сзади» актуален только для ситуаций, когда происходит остановка транспортного потока, а собственное ТС не закончило маневр смены полосы.

Фрагмент моделирования частного случая остановки (перед стоп-линией) представлен на рис. 3.36.

Как видно из рисунка, ТС, желающее перестроиться на крайнюю левую полосу, не может закончить начатый маневр, вследствие чего занимает одновременно место и на крайней левой полосе, и на второй полосе.

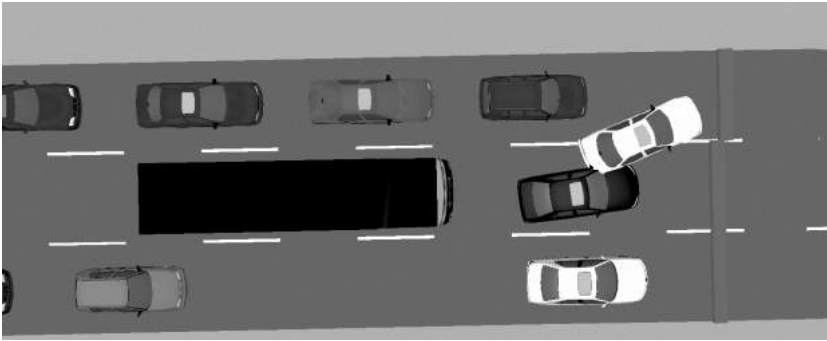


Рис. 3.36. Перестроение ТС при запрещающем сигнале светосигнальной установки и предложенном по умолчанию значении параметра «Минимальное конфликтное расстояние спереди/сзади»

Однако такой эффект достигается из-за применения при моделировании 3D-моделей. На самом деле ТС при моделировании его в программном комплексе представляет собой «точку», не совпадающую по размерам с габаритами 3D-модели. В рассматриваемом случае эта «точка» уже достигла своей цели, т.е. перестроилась на крайнюю левую полосу, в то время как 3D-модель из-за своих габаритов еще занимает исходную полосу.

Так как «точка» уже достигла своей цели и находится на крайней левой полосе, следующая за ней «точка» (ТС) может еще немного приблизиться к стоп-линии. Из-за этого приближения позади идущего ТС происходит некоторое пересечение 3D-моделей ТС. Надо отметить, что 3D-модели – это визуальная имитация «точек» и габариты 3D-моделей могут не совпадать с габаритами «точек». Пересечение 3D-моделей может быть воспринято визуально как дорожно-транспортное происшествие.

Исходя из опыта авторов, который был приобретен при моделировании подобных ситуаций, предлагается увеличить значение параметра «Минимальное конфликтное расстояние спереди/сзади» до расстояния, которое превышает габариты автомобиля, т.е. на расстояние больше 4,5 м. Тогда количество подобных ситуаций сократится и перестроение перед стоп-линией будет выглядеть приблизительно так, как изображено на рис. 3.37.

Отметим, что при увеличении значения данного параметра возможность для перестроения ТС уменьшается, так как возрастает минимальный зазор безопасности между автомобилями. Зазор безопасности, в свою очередь, входит в состав расстояния между

двумя ТС, которое требуется собственному ТС для маневра смены полосы. Поэтому этот параметр должен быть актуализирован в первую очередь.

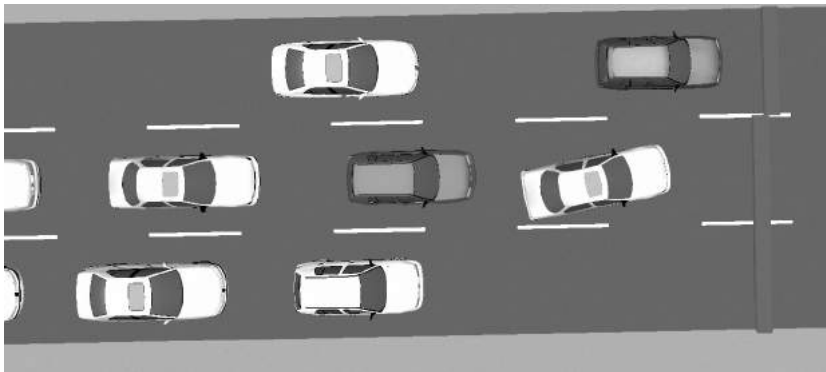


Рис. 3.37. Перестроение ТС в случае запрещающего сигнала светосигнальной установки при рекомендуемом значении параметра «Минимальное конфликтное расстояние спереди/сзади»

Кроме того, нужно переоценить значение параметра «Время ожидания». Дело в том, что при увеличении расстояния между двумя ТС, которое необходимо собственному ТС для осуществления маневра смены полосы, возрастает и время ожидания такого расстояния в желаемой полосе собственным ТС. Может возникнуть ситуация, когда оно превысит значение уже измененного параметра. В таком случае ТС удалится из сети, что негативно скажется на актуальности моделирования, поскольку в реальной ситуации исчезновения ТС быть не может.

Стандартные и расчетные значения параметра модели, отвечающего за минимальное расстояние до впереди идущего ТС на «медленной полосе». Параметр «На медленной полосе при свободном движении за мин.» (англ. *to slower lane if collision time above* – для медленной полосы, если время замедления выше) определяет минимальное расстояние, которое должно существовать до впереди идущего ТС на более «медленной полосе», чтобы ТС, совершающее обгон, въехало на эту полосу движения (только при задании значения параметра «Основное поведение» – «Правостороннее движение»). По умолчанию в наборе параметров «Правостороннее движение (мотор.)» данному параметру задается значение 11 с.

По примеру расчетов расстояния до впереди идущего ТС (см. разд. 3.3.2) было определено время, необходимое для перестроения при текущей скорости (45,5 км/ч):

$$t_1 = 1 + 4,5 + \frac{(3,36 - 1,56) \cdot 12,6}{19,6 \cdot (0,7 \cdot 0,5 + 4,25)} = 7 \text{ с.} \quad (3.31)$$

При расчете расстояния до впереди идущего ТС статический габарит автомобиля и минимальный зазор безопасности между останавливающимися автомобилями приняты максимальными, т.е. 4,5 м. То есть если расстояние до впереди идущего ТС на более «медленной полосе» равняется или больше расстояния, которое может пройти собственное ТС за 7 с, то собственное ТС может въехать на более «медленную полосу» движения с целью обгона впереди идущего ТС.

В связи с этим авторы рекомендуют установить значение параметра «ТС, совершающее обгон, въехало на более медленную полосу движения» равным 7 с.

Стандартные и расчетные значения фактора для уменьшения дистанции безопасности. Параметр «Фактор для уменьшения дистанции безопасности» (англ. *safety distance reduction factor* – коэффициент, понижающий безопасное расстояние) влияет на уменьшение дистанции безопасности при совершении маневра смены полосы. Данный фактор влияет:

- на дистанцию безопасности позади идущего ТС на новой полосе для принятия решения о том, возможно ли осуществить маневр смены полосы;
- собственную дистанцию безопасности у того, кто перестраивается на другую полосу;
- расстояние до впереди идущего, более медленного ТС, перестраивающегося на другую полосу.

При моделировании процесса смены полосы в программном комплексе PTV Vision® VISSIM дистанция безопасности собственного ТС сокращается. Дистанция безопасности рассчитывается средствами программного комплекса PTV Vision® VISSIM посредством умножения первоначальной дистанции безопасности на фактор ее уменьшения по умолчанию. Фактор уменьшения дистанции безопасности в программном комплексе PTV Vision® VISSIM равняется 0,6, а первоначальная дистанция безопасности – 1. После проведения несложных расчетов можно сделать

вывод, что по умолчанию дистанция безопасности будет меньше первоначальной на 0,4, или на 40 %.

Следует отметить, что уменьшенная дистанция безопасности действует только при маневре смены полосы. Как только маневр завершится, снова будет учитываться первоначальная дистанция безопасности.

В разд. 3.2.3 было проведено исследование замедлений, наблюдаемых в г. Перми перед стоп-линиями на регулируемых пересечениях. Исследование проводилось с помощью записей камер видеонаблюдения и специального программного обеспечения. Результаты исследования показали, что дистанция безопасности собственного ТС уменьшается на 27 % около стоп-линий. Однако этот фактор не подходит для определения уменьшенной дистанции безопасности при осуществлении маневра смены полосы. Чтобы оценить изменение дистанции безопасности при осуществлении маневра смены полосы, было проведено дополнительное исследование и получены значения дистанции безопасности, наблюдаемые у разных автомобилей при «свободной езде», а также при перестроении (табл. 3.26).

Таблица 3.26

Сравнительный анализ значений дистанции безопасности, наблюдаемых при «свободной» езде и при совершении маневра смены полосы

Дистанция безопасности при «свободной езде», м	12	27	20	30
Дистанция безопасности при совершении маневра смены полосы, м	5	13	11	10

Значения дистанции безопасности были определены при помощи специального программного обеспечения, аналогичного тому, что использовалось при исследовании уменьшения дистанции безопасности вблизи стоп-линии (см. разд. 3.2.3). Так, оценивалась дистанция безопасности более чем за 60 м до позиции вынужденной остановки («свободная езда») и дистанция безопасности, наблюдаемая менее чем за 30 м до позиции вынужденной остановки (при перестроении).

Если сравнить между собой минимальные, максимальные и средние значения дистанции безопасности, то будет выявлено, что дистанция безопасности в процессе смены полосы по мере приближения к позиции вынужденной остановки в среднем уменьшается на 44 %. В связи с этим рекомендуемое значение фактора для уменьшения дистанции безопасности равно 0,56. Это значение следует задать в меню «Базовые данные – Манера езды – Смена полосы» (см. рис. 3.29). При изменении значения фактора на 0,56, замедление ТС при маневре смены полосы станет похоже на замедление в существующей ситуации.

Стандартные и расчетные значения параметра модели, отвечающего за максимальное замедление для общего торможения. Максимальное замедление для общего торможения (англ. *maximum deceleration for cooperative braking* – максимальное замедление для кооперативного торможения) показывает, осуществляет ли водитель второго автомобиля *кооперативное торможение*, чтобы позволить ТС, движущемуся по соседней полосе впереди, перейти на текущую полосу.

Кооперативное торможение вступает в силу лишь при определенных условиях. Так, оно начинается только тогда, когда водитель второго автомобиля замечает, что собственному ТС надо перейти с соседней полосы на его (маневр показан стрелкой I на рис. 3.38). В такой ситуации водитель второго автомобиля промежуточного участка меняет полосу, чтобы облегчить собственному ТС осуществление маневра смены полосы (маневр показан стрелкой II на рис. 3.38).

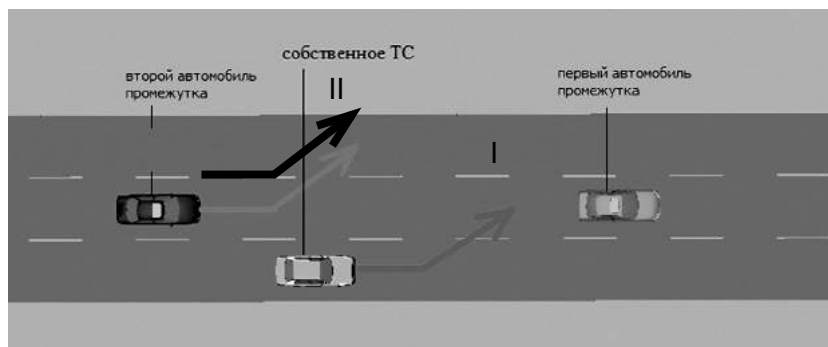


Рис. 3.38. Ситуация, при которой водитель второго автомобиля промежуточного участка на полосе применяет кооперативное торможение

Водитель второго автомобиля промежутка на полосе в таких случаях ведет себя так, как если бы он должен был менять полосу из-за смены маршрута (маневр необходимой смены полосы), т.е. принимает максимальное замедление. Замедление позади идущего ТС на новой полосе принимается в соответствии с заданными параметрами для осуществления маневра необходимой смены полосы.

Если водитель второго автомобиля промежутка на полосе решает, что ему следует тормозить интенсивнее, чем указывает это значение, кооперативное торможение прерывается или не начинается вообще. То есть чем выше указанное значение, тем вероятнее торможение и совершение маневра смены полосы.

При кооперативном торможении водитель ТС тормозит с замедлением, составляющим:

- 50 % желаемого замедления, пока впереди идущее ТС не начнет осуществлять маневр смены полосы;
- среднее значение между желаемым замедлением и указанным максимальным замедлением. Среднее значение введено потому, что во время осуществления маневра смены полосы замедление заметно меньше максимального. Это обусловлено тем, что водитель собственного ТС знает, что водитель второго автомобиля промежутка на полосе, возможно, не сможет применить максимальное замедление.

Исследование максимального замедления показало, что функция замедления в зависимости от скорости содержит значения, в среднем составляющие $5,56 \text{ м/с}^2$, т.е. технически ТС не сможет развить большее замедление. В связи с этим данное значение является рекомендованным для рассматриваемого параметра.

Стандартные и расчетные значения параметра модели, отвечающего за объезд ТС зон с малоскоростным движением. Параметр «Обгон зон малоскоростного движения» (англ. *overtake reduced speed areas* – обгонять зоны сокращающейся скорости) имеет логический формат и по умолчанию неактивен. При активации данной опции становится возможным моделирование ограничения скорости с учетом полосы движения. При неактивном параметре ТС игнорируют зоны малоскоростного движения на новой полосе, т.е. не избегают их (рис. 3.40). При активном параметре ТС зоны малоскоростного движения объезжают на новой полосе, т.е. избегают их (рис. 3.41).



Рис. 3.40. Поведение ТС при неактивном параметре «Обгон зон малоскоростного движения»



Рис. 3.41. Поведение ТС при активном параметре «Обгон зон малоскоростного движения»

По мнению авторов, активация параметра положительно повлияет на актуальность моделирования, так как, видя препятствие на новой полосе, водители ТС избегают их. Активировать параметр можно из меню «Базовые данные – Манера езды – Смена полосы».

3.4.5. Параметры, отвечающие за кооперативную смену полосы

Прежде чем приступать к рассмотрению параметров, отвечающих за кооперативную смену полосы, необходимо задать базовые определения, относящиеся к данному процессу.

Кооперативная смена полосы – это такая смена полосы, при которой водитель второго автомобиля промежутка меняет полосу, чтобы облегчить водителю собственного ТС маневр смены полосы. Отметим, что кооперативная смена полосы вторым автомобилем промежутка может происходить только при определенных условиях, а именно водитель второго автомобиля промежутка не меняет полосу, если:

1) желаемая полоса менее подходит для продолжения его маршрута;

2) разница между его скоростью и скоростью собственного ТС больше или равна разнице, указанной в параметре «Максимальная разница скоростей»;

3) дистанция безопасности до собственного ТС больше или равна дистанции безопасности, указанной в параметре «Время до столкновения». Дистанция безопасности должна быть больше или равна при условии того, что водитель второго автомобиля промежутка увеличит скорость на 3 м/с.

Если все три условия соблюдены, водитель начинает вести себя так, как если бы предстоящий маневр смены полосы был необходимым (т.е. водитель второго автомобиля промежутка как будто желает поменять полосу из-за соединительного отрезка, на который нужно попасть из-за смены маршрута). Водитель второго автомобиля промежутка применяет при этом «максимальное замедление» (технически возможное замедление). Замедление, осуществляемое водителем позади идущего ТС на желаемой полосе, принимается в соответствии с заданными параметрами для маневра необходимой смены полосы.

Процесс кооперативной смены полосы визуально представлен на рис. 3.42.

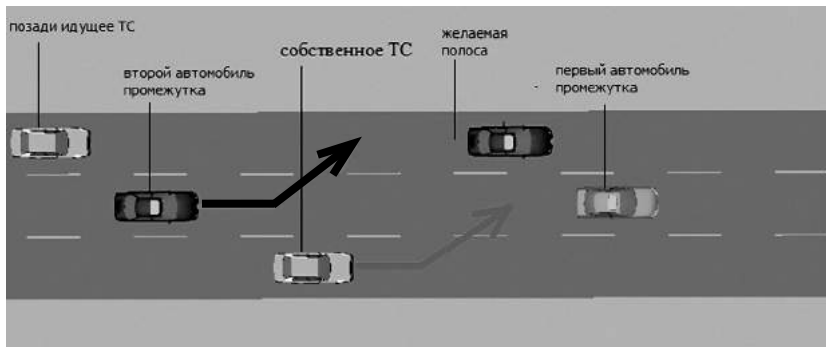


Рис. 3.42. Описание маневра кооперативной смены полосы. Базовые определения

Для того чтобы актуализировать параметры, участвующие в процессе кооперативной смены полосы, необходимо рассмотреть такие параметры, как максимальная разница скоростей и время до столкновения.

Стандартные значения параметра модели, отвечающего за максимальную разницу скоростей между собственным ТС и вторым автомобилем промежутка при кооперативной смене полосы. Параметр «Максимальная разница скоростей» (англ. *maximum speed difference* – максимальная разница скоростей) вступает в силу только при активной опции «Кооперативное торможение» и является условием для осуществления кооперативной смены полосы вторым автомобилем промежутка. Это значит, что если разница скоростей, наблюдаемая при моделировании движения транспортных потоков, больше или равно значению данного параметра, то кооперативная смена полосы осуществляться не будет.

По умолчанию значение параметра равняется 10,8 км/ч (3 м/с). То есть если скорость собственного ТС больше скорости второго автомобиля промежутка на 3 м/с, то кооперативная смена полосы осуществляться не будет. Другими словами, по умолчанию в PTV Vision® VISSIM подразумевается, что увеличенная скорость (на 3 м/с) позволяет собственному ТС принять такую позицию перед вторым автомобилем промежутка, при которой может быть совершен маневр смены полосы.

Однако ранее читателю были представлены рекомендуемые параметры, отвечающие за маневр смены полосы. Согласно этим параметрам, изменяются замедления собственного ТС и позади идущего ТС (увеличиваются на 1 и 2 м/с² соответственно). В связи с этим значение этого параметра рекомендуется установить равным 5 м/с (18 км/ч).

Стандартные значения параметра модели, отвечающего за дистанцию безопасности между собственным ТС и вторым автомобилем промежутка при кооперативной смене полосы. Параметр «Время до столкновения» (англ. *maximum collision time* – максимальное время столкновения) вступает в силу только при активной опции «Кооперативное торможение» и служит условием для осуществления кооперативной смены полосы вторым автомобилем промежутка. Это значит, что если значение параметра, наблюдаемое при моделировании движения транспортных потоков, больше или равно значению данного параметра, то кооперативная смена полосы осуществляться не будет.

По умолчанию значение параметра равняется 10 с. То есть если время для преодоления дистанции безопасности до собственного ТС равно 10 с (и будет не меньше 10 с при увеличении скорости вторым автомобилем промежутка на 3 м/с), то кооперативная смена полосы вторым автомобилем промежутка не осуществляется.

В разд. 3.4.3 был рассчитан приемлемый временной промежуток на полосе, при достижении которого становится возможным маневр смены полосы собственным ТС. Длительность этого промежутка времени равнялась 9,54 с. В связи с этим авторы рекомендуют не изменять значение этого параметра.

Глава 4

Учет параметров окружающей среды и различных условий движения

В городах России окружающая среда оказывает огромное влияние на движение транспортных средств. В связи с этим может возникнуть необходимость проведения моделирования движения транспортных потоков в дорожных условиях, отличающихся от эталонных (с сухим и чистым дорожным покрытием и достаточной видимостью).

При изменении дорожных условий может изменяться как модель динамики (например, увеличение времени замедления), так и психофизиологическая модель водителя (например, уменьшение расстояния видимости). Причинами изменений движения могут быть:

- 1) изменение состояния дорожного покрытия (например, гололед, загрязнение дорожного покрытия);
- 2) изменение освещенности проезжих частей;
- 3) возникновение природных явлений (снегопады, туманы, дожди);
- 4) изменение ширины проезжих частей из-за снега на обочинах.

Указанные причины изменения движения можно условно разделить на две группы: причины, связанные с изменением времени года, и причины, связанные с изменением времени суток.

4.1. Моделирование особенностей дорожного движения в различные сезоны года

Одной из особенностей российских дорог является изменение состояния дорожного покрытия в зависимости от времени года. Так, в зимний период на дорожном покрытии образуется слой снега или гололед, весной – слой воды и грязи. Эти особенности не стоит игнорировать при моделировании дорожного движения, поскольку состояние проезжей части влияет на движение автомобилей.

В данной главе будет рассмотрено влияние изменения состояния проезжих частей на модель динамики транспортных потоков и произведены изменения тех или иных характеристик транспортных потоков.

На основании исторических данных и статистических наблюдений можно сделать вывод, что для условий средней полосы европейской части страны длительность нахождения дорожного покрытия в разных состояниях составляет в среднем: сухое – 68%, мокрое, грязное и скользкое – 14%, со снежным накатом – 10% и при гололеде – 8%.

Одним из самых главных отличий в движении транспортных средств по сухому дорожному покрытию и покрытию, претерпевающему сезонные изменения, является изменение коэффициента сцепления колес с дорогой, а точнее снижение коэффициента сцепления колес с дорогой. Кроме того, изменяется коэффициент сопротивления качению.

Изменение коэффициентов сцепления колес с дорогой и сопротивления качению влияет на такие технические характеристики моделируемых транспортных средств, как их замедление, ускорение и скорость (поскольку водители не могут точно оценить состояние покрытия во время дождя или снегопада, они часто превышают безопасную скорость и на проезжих частях возрастает количество дорожно-транспортных происшествий).

Кроме изменения состояния проезжей части, на движение автомобилей может влиять изменение поведения водителя вследствие таких природных явлений, как снегопад, дождь и туман, которые становятся причиной плохой видимости и, как следствие, изменения манеры поведения водителя.

4.1.1. Изменение модели динамики транспортного потока

Изменение модели динамики в зимний период времени. В зимний период времени дорожное покрытие претерпевает значительные изменения. При этом изменения зависят не только непосредственно от климатических условий, но и от условий содержания проезжей части.

В зимний период времени можно выделить пять состояний дорожного покрытия:

1) слой рыхлого снега на дорожном покрытии и обочинах имеется только во время снегопада и метелей в перерывах между проходами снегоочистительных машин;

2) проезжая часть чистая от снега, уплотненный снег и лед на прикромочных полосах, рыхлый снег на обочинах;

3) слой плотного снежного наката на проезжей части, слой рыхлого снега на обочинах;

4) гололед на покрытии;

5) покрытие влажное, тонкий слой рыхлого мокрого снега или слой снега и льда, растворенного хлоридами.

Так, в Рекомендациях по обеспечению безопасности дорожного движения определено, какое состояние дорожного покрытия характерно для той или иной категории дороги. В табл. 4.1 представлена классификация допустимых состояний дорожных покрытий, характерных в зимний период времени для дорог категорий 2, 3 и 4. Эти категории были выбраны в соответствии со СНиП 2.05.02–85 по критериям интенсивности, объем которых подходит под определение населенных пунктов.

Таблица 4.1

Состояния дорог в зимний период времени

Категория дороги	Интенсивность, авт./сутки	Состояние				
		1	2	3	4	5
2	3000–7000	Допустимо	Допустимо	Не допустимо	Допустимо	Допустимо
3	1000–3000	Допустимо	Допустимо	Допустимо	Допустимо	Допустимо
4	100–1000	Не допустимо	Допустимо	Допустимо	Не допустимо	Не допустимо

Из данных таблицы видно, что на дорогах в населенных пунктах в зимний период времени наблюдаются все состояния дорожного покрытия. Необходимо понимать, как изменяется движение автомобилей в зависимости от состояния дорожного покрытия. В этом разделе будут рассмотрены изменения движения в условиях рыхлого снега, снежного наката (уплотненного снега) и гололеда. Данные состояния больше других влияют на движение автомобилей.

Изменение модели динамики в условиях рыхлого снега.

Рыхлый снег откладывается на дорожном покрытии в виде ровного по толщине слоя. Плотность свежевыпавшего снега может изменяться от 0,06 до 0,20 г/см³. В зависимости от содержания влаги снег может быть сухим, влажным и мокрым.

Моделирование замедления при условиях рыхлого снега на дорожном покрытии. Как было сказано ранее, в условиях рыхлого снега при движении автомобилей возникают некоторые изменения, например, коэффициента сцепления колес с дорогой, влияющего на график замедления ТС.

Значения коэффициентов сцепления колес с дорогой при сухом дорожном покрытии и слое рыхлого снега приведены в табл. 4.2 [13].

Таблица 4.2

Сравнение коэффициентов сцепления для сухого дорожного покрытия и дорожного покрытия с рыхлым снегом

Тип дорожного покрытия	Коэффициент сцепления	
	для сухого дорожного покрытия	при слое рыхлого снега
Цементобетонное	0,8–0,85	0,15–0,35
Асфальтобетонное с шероховатой обработкой	0,80–0,85	0,15–0,35
То же, без шероховатой обработки	0,80–0,85	0,15–0,35
Из холодного асфальтобетона	0,6–0,7	0,12–0,3
Черное щебеточное (гравийное) с шероховатой обработкой	0,6–0,7	0,15–0,35
То же, без обработки	0,5–0,6	0,12–0,3
Щебеночное и гравийное	0,6–0,7	0,15–0,35
Грунтовое улучшенное	0,4–0,5	0,12–0,3

Ранее уже рассматривался график замедления легковых ТС (разд. 1.2.1). В результате рассмотрения график, предложенный в PTV Vision® VISSIM по умолчанию, был актуализирован в соответствии с расчетными величинами желаемых замедлений. Однако, как было сказано выше, в различных погодных условиях изменяется коэффициент сцепления колес с дорогой. Построим график замедления ТС при погодных условиях рыхлого снега.

Для расчета замедления легкового ТС в условиях рыхлого снега была использована методология расчета тормозного пути автомобиля. Методология подробно представлена в разд. 1.2.1.

Для расчета замедления легкового ТС в условиях рыхлого снега была использована та же методология расчета тормозного пути автомобиля, но коэффициент сцепления колес с дорогой при этом был принят равным 0,2. Полученные результаты представлены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

**Результаты расчетов замедления легковых
ТС в условиях рыхлого снега**

Скорость, км/ч	Замедление, м/с ²	Скорость, км/ч	Замедление, м/с ²
20	1,502323	120	1,611283
40	1,565856	140	1,614629
60	1,588245	160	1,617148
80	1,599681	180	1,619112
100	1,606622		

По результатам расчетов замедления ТС в условиях рыхлого снега был построен график замедления легковых ТС (рис. 4.1). При этом учитывались результаты расчетов в условиях движения по рыхлому снегу.

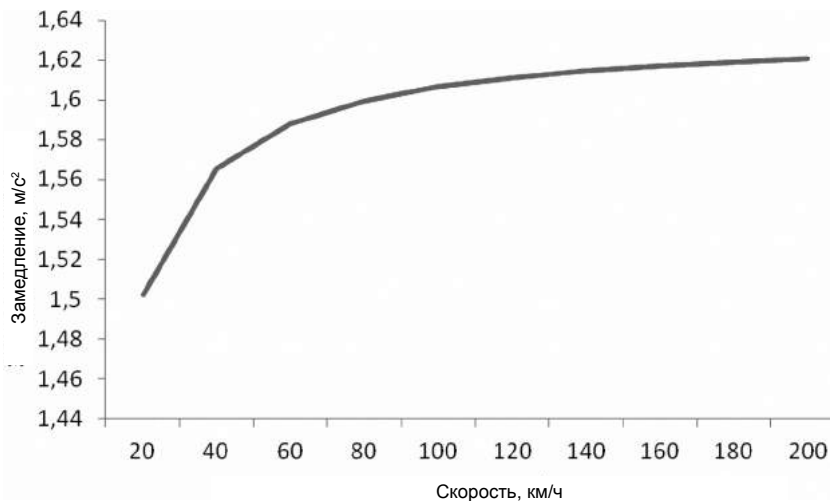


Рис. 4.1. График функции замедления легковых ТС в условиях рыхлого снега

При расчете замедления в условиях рыхлого снега использовался коэффициент сцепления колес с дорогой, равный 0,2. Однако для других дорожных покрытий значение его может быть иным. Если при осуществлении моделирования есть данные о дорожном покрытии участка УДС, то необходимо устанавливать соответствующие значения коэффициента. График замедления легковых ТС в условиях снега отличается от аналогичного графика по сухому асфальту.

В связи с тем, что были выявлены несоответствия графиков функций замедления (главным образом, несоответствия касаются значений замедления при различных скоростях), график в программном комплексе PTV Vision® VISSIM был сформирован в соответствии с результатами расчета замедления (рис. 4.2).

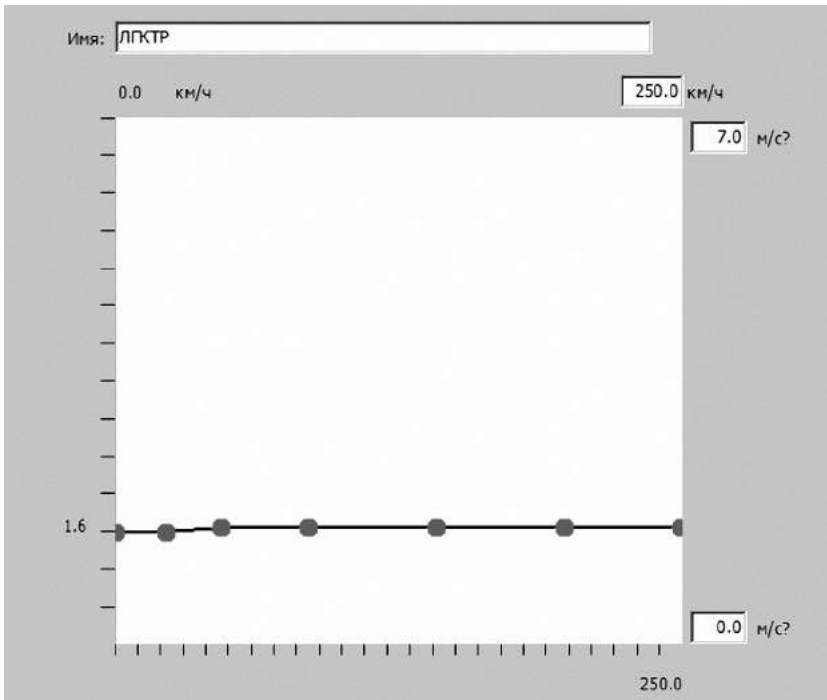


Рис. 4.2. График функции замедления легковых ТС

Данный график рекомендуется использовать при моделировании движения транспортных потоков в условиях рыхлого снега.

Моделирование ускорения в условиях рыхлого снега на дорожном покрытии. Кроме коэффициента сцепления колес с дорогой, также изменяется коэффициент сопротивления качению, кото-

рый влияет на график ускорения ТС. Коэффициенты сопротивления качению для сухого дорожного покрытия (эталонное состояние дорожного покрытия) приведены в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Сравнение коэффициентов сопротивления качению для сухого дорожного покрытия и дорожного покрытия с рыхлым снегом

Тип дорожного покрытия	Сухое дорожное покрытие	Рыхлый снег толщиной, мм			
		до 10	10–20	20–40	40–60
Цементо- и асфальтобетонное	0,01–0,02	0,03–0,04	0,04–0,09	0,08–0,12	0,09–0,15
То же, с поверхностной обработкой	0,02	0,03–0,04	0,04–0,09	0,08–0,12	0,09–0,15
Из холодного асфальтобетона, черное щебеночное (гравийное)	0,02–0,025	0,03–0,05	0,04–0,09	0,08–0,12	0,09–0,15
Щебеночное и гравийное	0,035	0,04–0,06	0,04–0,1	0,03–0,12	0,09–0,15
Грунтовое	0,03	0,03–0,05	0,06–0,08	0,06–0,12	0,09–0,15

В таблице приведены значения коэффициентов для ситуаций, в которых на проезжих частях дорог наблюдается разная толщина снега. В зависимости от толщины слоя снега на проезжей части коэффициент значительно изменяется. В данной работе для примера подробно будет рассмотрена ситуация с толщиной слоя рыхлого снега 20 мм на цементобетонном покрытии. При этом значение коэффициента будет принято равным 0,08.

График ускорения будет построен с помощью методологии расчета тягово-динамических характеристик автомобиля. Данная методология уже упоминалась при расчете графика ускорения автомобиля в эталонных дорожных условиях, однако методология не была рассмотрена подробно.

Методология включает в себя следующую формулу для расчета ускорения:

$$j_a = (D - \psi) \frac{g}{\delta}, \quad (4.1)$$

где j_a – ускорение автомобиля, м/с²; g – ускорение свободного падения, м/с; D – динамический фактор; δ – коэффициент учета вращающихся масс; ψ – суммарный коэффициент дорожных сопротивлений.

Коэффициент сопротивления качению при расчете ускорения учитывается при определении суммарного коэффициента дорожных сопротивлений:

$$\psi = f \cos \alpha + \sin \alpha, \quad (4.2)$$

где f – коэффициент сопротивления качению; α – угол уклона. Так как расчет происходит для дороги без уклона, то $\alpha = 0$. Тогда

$$\psi = f \cdot 1 + 0. \quad (4.3)$$

При расчете ускорения были использованы значения динамического фактора, представленные в табл. 4.5 – 4.9, отдельно для каждой передачи относительно скорости.

Также при расчете использовались значения коэффициента учета вращающихся масс δ , представленных в табл. 4.10.

Таблица 4.10

Коэффициенты учета вращающихся масс

Передача	I	II	III	IV	V
Значение коэффициента	2,12	1,34	1,18	1,12	1,09

В результате расчета ускорения для коэффициента сопротивления качению, равного 0,08, были получены значения ускорения, приведенные в табл. табл. 4.11 – 4.14.

Таблица 4.5

Значения динамического фактора для I передачи

$v_a, \text{ м/с}$	2,303	3,2285	4,3047	5,3809	6,4571	7,5332	8,6094	9,6856	10,7618	11,9671
D	0,4208	0,4358	0,447	0,4539	0,4543	0,448	0,4376	0,4206	0,3977	0,3652

Таблица 4.6

Значения динамического фактора для II передачи

$v_a, \text{ м/с}$	4,33	6,071	8,095	10,118	12,142	14,166	16,19	18,2139	20,237	22,504
D	0,2232	0,2305	0,236	0,238	0,2368	0,2322	0,2242	0,2129	0,1982	0,1778

Таблица 4.7

Значения динамического фактора для III передачи

$v_a, \text{ м/с}$	6,209	8,705	11,6	14,508	17,41	20,312	23,213	26,115	29,017	32,267
D	6,209	8,705	11,6	14,508	17,41	20,312	23,213	26,115	29,017	32,267

Таблица 4.8

Значения динамического фактора для IV передачи

$v_a, \text{ м/с}$	8,445	11,83	15,785	19,731	23,67	27,624	31,57	35,517	39,463	43,883
D	0,8592	0,8724	0,8653	0,8342	0,779	0,6997	0,5964	0,469	0,3175	0,1193

Таблица 4.9

Значения динамического фактора для V передачи

$v_a, \text{ м/с}$	10,29	14,43	19,25	24,06	28,875	33,6883	38,5009	43,3135	48,1261	53,5162
D	0,0901	0,0895	0,0861	0,0796	0,0701	0,0575	0,0419	0,0232	0,0015	0,0263

Таблица 4.11

**Результаты расчета ускорения для условий
рыхлого снега на I передаче**

$v_a, \text{ м/с}$	$j_a, \text{ м/с}^2$	$v_a, \text{ м/с}$	$j_a, \text{ м/с}^2$
2,303	7,087686	7,5332	7,65337
3,2285	7,399644	8,6094	7,437079
4,3047	7,632572	9,6856	7,083526
5,3809	7,776073	10,7618	6,60727
6,4571	7,784392	11,9671	5,931361

Таблица 4.12

**Результаты расчета ускорения для условий
рыхлого снега на II передаче**

$v_a, \text{ м/с}$	$j_a, \text{ м/с}^2$	$v_a, \text{ м/с}$	$j_a, \text{ м/с}^2$
4,33	1,882421	14,166	2,00073
6,071	1,978383	16,19	1,895567
8,095	2,050682	18,2139	1,747024
10,118	2,076973	20,237	1,553786
12,142	2,061199	22,504	1,28562

Таблица 4.13

**Результаты расчета ускорения для условий
рыхлого снега на III передаче**

$v_a, \text{ м/с}$	$j_a, \text{ м/с}^2$	$v_a, \text{ м/с}$	$j_a, \text{ м/с}^2$
6,209	0,863555	20,312	0,82767
8,705	0,912173	23,213	0,72696
11,6	0,938797	26,115	0,593839
14,508	0,934167	29,017	0,428305
17,41	0,897125	32,267	0,204892

Таблица 4.14

**Результаты расчета ускорения для условий
рыхлого снега на IV передаче**

$v_a, \text{ м/с}$	$j_a, \text{ м/с}^2$	$v_a, \text{ м/с}$	$j_a, \text{ м/с}^2$
8,445	0,352689	23,67	0,251607
11,83	0,36917	27,624	0,151623
15,785	0,36038	31,57	0,021974
19,731	0,320826		

Таблица 4.15

Результаты расчета ускорения для условий рыхлого снега на V передаче

v_a , м/с	j_a , м/с ²
10,29	0,107998
14,43	0,101583
19,25	0,065227

Были выявлены точки, оптимальные для перехода между передачами, и построен график ускорения в условиях рыхлого снега (рис. 4.3).

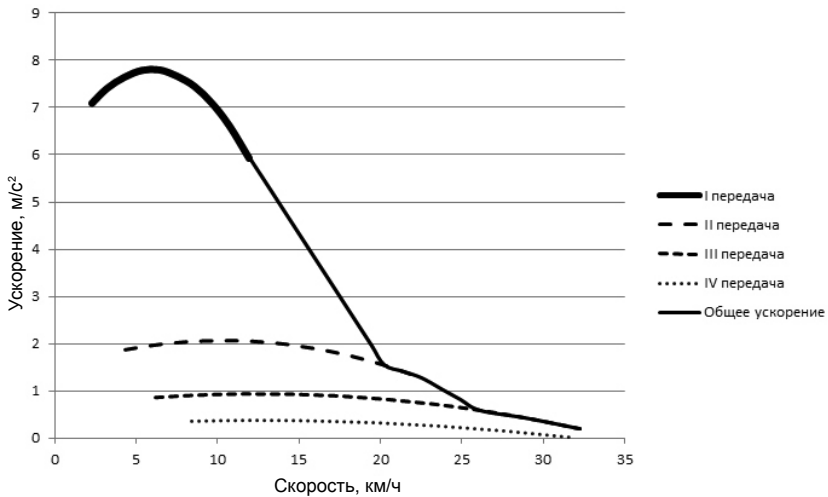


Рис. 4.3. График функции ускорения при слое рыхлого снега на дорожном покрытии

Данный график рекомендуется использовать при моделировании движения транспортных потоков в условиях рыхлого снега. Для этого необходимо изменить функцию желаемого ускорения в PTV Vision® VISSIM в соответствии с графиком ускорения в условиях рыхлого снега (рис. 4.4).

График рекомендуется использовать при моделировании ускорения в условиях рыхлого снега.

Изменение модели динамики в условиях снежного наката. Снежный накат представляет собой слой снега, уплотненного колесами проходящего автотранспорта. Он может иметь различную толщину – от нескольких миллиметров до нескольких десятков миллиметров – и плотность от 0,3 до 0,6 г/см³.

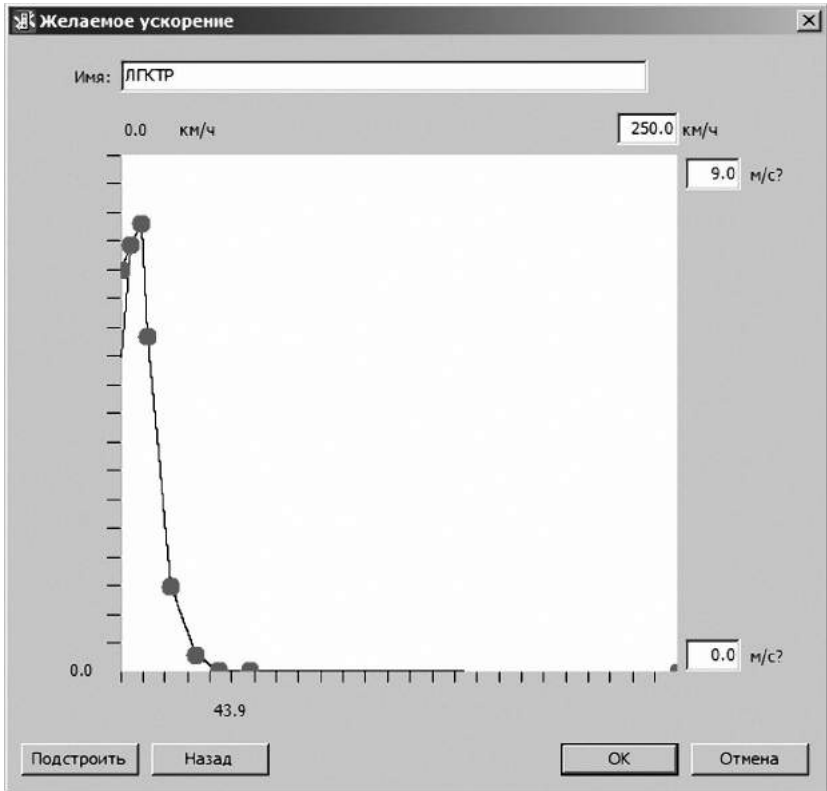


Рис. 4.4. График функции желаемого ускорения при слое рыхлого снега на дорожном покрытии, сформированный в PTV Vision® VISSIN 5.40

Моделирование замедления при условиях уплотненного снега на дорожном покрытии. В условиях снежного наката, по сравнению с рыхлым снегом, значение коэффициента сцепления колес с дорогой изменяется (табл. 4.16).

Для расчета замедления легкового ТС в условиях уплотненного снега была использована методология расчета тормозного пути автомобиля. Методология подробно представлена в разд. 1.2.1. Результаты расчетов замедления легковых ТС представлены в табл. 4.17.

По значениям, представленным в таблице, был построен график замедления движения ТС в условиях уплотненного снега (рис. 4.5).

В расчете замедления использовался коэффициент сцепления колес с дорогой, равный 0,3. Однако значение его зависит от

дорожного покрытия. Если при подготовке моделирования есть данные о дорожном покрытии участка УДС, необходимо устанавливать соответствующие значения коэффициента.

Таблица 4.16

Сравнение коэффициентов сцепления колес с дорогой для сухого асфальта и слоя уплотненного снега на дорожном покрытии

Тип дорожного покрытия	Коэффициент сцепления колес с дорогой	
	при сухом асфальте	при слое уплотненного снега
Цементобетонное	0,8–0,85	0,2–0,5
Асфальтобетонное с шероховатой обработкой	0,80–0,85	0,2–0,5
То же, без шероховатой обработки	0,80–0,85	0,2–0,5
Из холодного асфальтобетона	0,6–0,7	0,2–0,5
Черное щебеночное (гравийное) с шероховатой обработкой	0,6–0,7	0,2–0,5
То же, без обработки	0,5–0,6	0,2–0,5
Щебеночное и гравийное	0,6–0,7	0,2–0,5
Грунтовое улучшенное	0,4–0,5	0,2–0,5

Таблица 4.17

Результаты расчета замедления для снежного наката на дорожном покрытии

Скорость, км/ч	Замедление, м/с ²	Скорость, км/ч	Замедление, м/с ²
20	3,117106	140	3,247246
40	3,191723	160	3,250073
60	3,217396	180	3,252275
80	3,230387	200	3,254039
100	3,238233	220	3,117106
120	3,243485	240	3,191723

Графики замедления легковых ТС в условиях снега и по сухому асфальту различаются. В связи с этим график в программном комплексе PTV Vision® VISSIM был сформирован в соответствии с результатами расчета замедления (рис. 4.6).

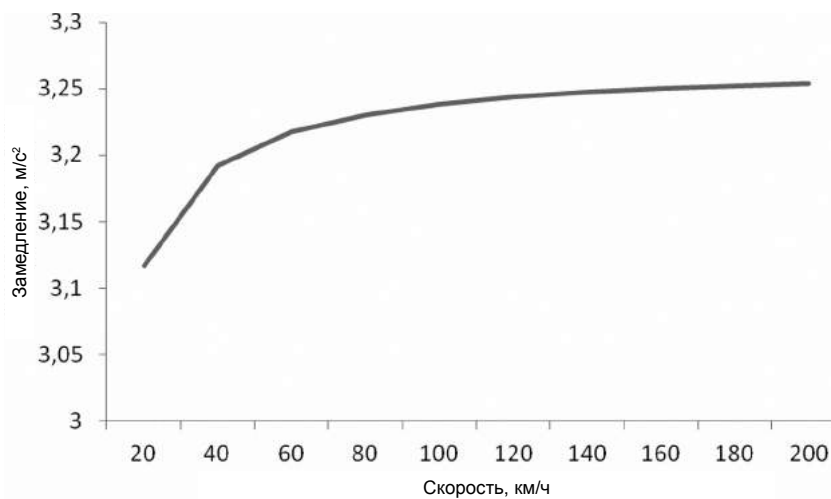


Рис. 4.5. График замедления движения ТС в условиях уплотненного снега

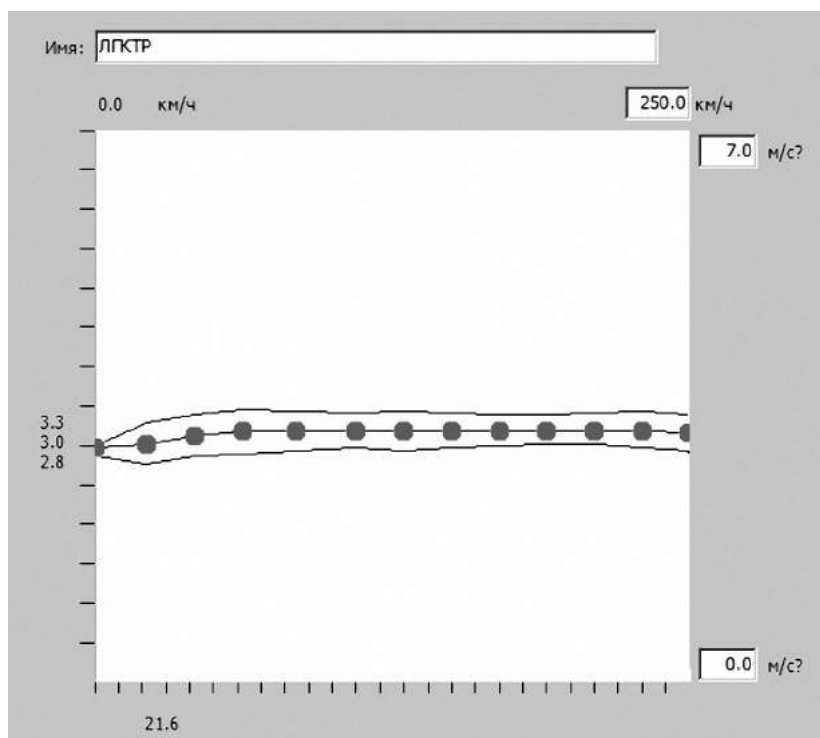


Рис. 4.6. Замедление легковых ТС при слое уплотненного снега на дорожном покрытии

Этот график рекомендуется использовать при моделировании движения транспортных потоков в условиях рыхлого снега.

Моделирование ускорения при условиях уплотненного снега на дорожном покрытии. Кроме коэффициента сцепления колес с дорогой изменяется также коэффициент сопротивления качению, что влияет на ускорение ТС.

Значения коэффициентов сопротивления качению по сухому дорожному покрытию (эталонное состояние дорожного покрытия) приведены в табл. 4.18.

Таблица 4.18

Сравнение коэффициентов сопротивления качению по сухому дорожному покрытию и снежному накату на дорожном покрытии

Тип дорожного покрытия	Сухое покрытие	Плотный снег
Цементно- и асфальтобетонное	0,01–0,02	0,04–0,1
То же, с поверхностной обработкой	0,02	0,04–0,1
Из холодного асфальтобетона, Черное щебеточное (гравийное)	0,02–0,025	0,04–0,1
Щебеночное и гравийное	0,035	0,04–0,1
Грунтовое	0,03	0,06–0,01

Как видно из данных таблицы, коэффициент сопротивления качению при разных дорожных покрытиях (кроме грунтового) остается практически неизменным. При расчетах ускорения его значение будет принято как среднее.

График ускорения будет построен с помощью методологии расчета тягово-динамических характеристик автомобиля и значений динамического фактора и коэффициента вращающихся масс (см. разд. 4.1.1). В результате расчета были получены значения ускорения при коэффициенте сопротивления качению, равного 0,08, для передач I–V, приведенные в табл. 4.19 – 4.23.

Были выявлены точки, оптимальные для перехода между передачами, и построен график ускорения в условиях плотного снега (рис. 4.7).

Таблица 4.19

**Значения ускорения для I передачи при слое
плотного снега на дорожном покрытии**

Скорость, м/с	Ускорение, м/с ²	Скорость, м/с	Ускорение, м/с ²
2,303	7,2956578	7,5332	7,8613416
3,2285	7,6076158	8,6094	7,6450507
4,3047	7,8405444	9,6856	7,2914983
5,3809	7,9840451	10,7618	6,8152424
6,4571	7,992364	11,9671	6,1393334

Таблица 4.20

**Значения ускорения для II передачи при слое
плотного снега на дорожном покрытии**

Скорость, м/с	Ускорение, м/с ²	Скорость, м/с	Ускорение, м/с ²
4,33	2,013875	14,166	2,132184
6,071	2,109837	16,19	2,027021
8,095	2,182136	18,2139	1,878478
10,118	2,208427	20,237	1,68524
12,142	2,192653	22,504	1,417074

Таблица 4.21

**Значения ускорения для III передачи при слое
плотного снега на дорожном покрытии**

Скорость, м/с	Ускорение, м/с ²	Скорость, м/с	Ускорение, м/с ²
6,209	0,979313	20,312	0,943428
8,705	1,027931	23,213	0,842718
11,6	1,054555	26,115	0,709597
14,508	1,049925	29,017	0,544063
17,41	1,012883	32,267	0,32065

Таблица 4.22

**Значения ускорения для IV передачи при слое
плотного снега на дорожном покрытии**

Скорость, м/с	Ускорение, м/с ²	Скорость, м/с	Ускорение, м/с ²
8,445	0,462561	23,67	0,361479
11,83	0,479042	27,624	0,261495
15,785	0,470252	31,57	0,131846
19,731	0,430698		

Таблица 4.23

**Значения ускорения для V передачи при слое
плотного снега на дорожном покрытии**

Скорость, м/с	Ускорение, м/с ²
10,29	0,214927
14,43	0,208512
19,25	0,172156

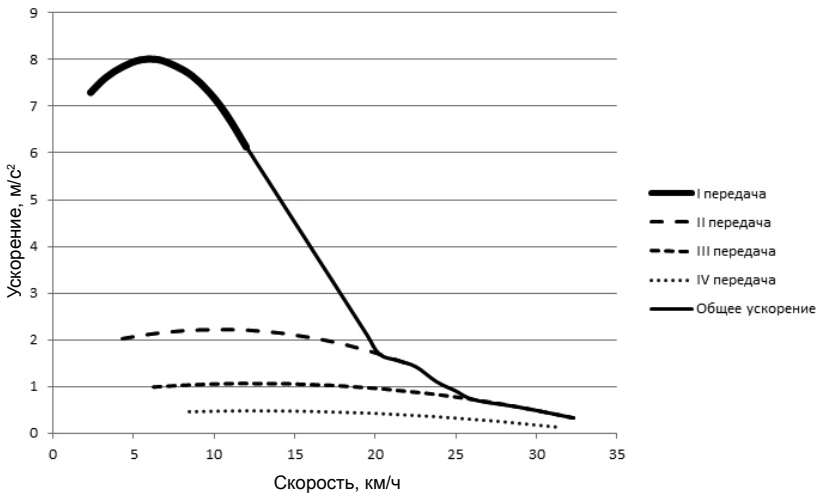


Рис. 4.7. График функции ускорения при слое
плотного снега на дорожном покрытии

Данный график рекомендуется использовать при моделировании ускорения в условиях плотного снега.

Изменение модели динамики в условиях гололеда. В табл. 4.24 для сравнения приведены значения коэффициентов сцепления колес с дорогой при гололеде и сухом асфальте. В условиях гололеда, по сравнению с другими дорожными условиями, значение коэффициента сцепления колес с дорогой изменяется (табл. 4.24).

Таблица 4.24

Сравнение коэффициентов сцепления колес с дорогой при сухом асфальте и гололеде

Тип дорожного покрытия	Коэффициент сцепления колес с дорогой	
	при сухом асфальте	при гололеде
Цементобетонное	0,8–0,85	0,2–0,5
Асфальтобетонное с шероховатой обработкой	0,80–0,85	0,2–0,5
То же, без шероховатой обработки	0,80–0,85	0,2–0,5
Из холодного асфальтобетона	0,6–0,7	0,2–0,5
Черное щебеночное (гравийное) с шероховатой обработкой	0,6–0,7	0,2–0,5
То же, без обработки	0,5–0,6	0,2–0,5
Щебеночное и гравийное	0,6–0,7	0,2–0,5
Грунтовое улучшенное	0,4–0,5	0,2–0,5

Для расчета замедления легкового ТС в условиях уплотенного снега была использована методология расчета тормозного пути автомобиля. Методология подробно описана в разд. 1.2.1. Результаты расчетов замедления легковых ТС в условиях гололеда представлены в табл. 4.25.

Таблица 4.25

Значения замедления легковых ТС в условиях гололеда

Скорость, км/ч	Замедление, м/с ²	Скорость, км/ч	Замедление, м/с ²
20	2,930852	140	3,045618
40	2,996724	160	3,048104
60	3,019344	180	3,050041
80	3,030783	200	3,051592
100	3,037688	220	2,930852
120	3,042309	240	2,996724

По данным таблицы был построен график замедления легковых ТС в условиях гололеда (рис. 4.8).

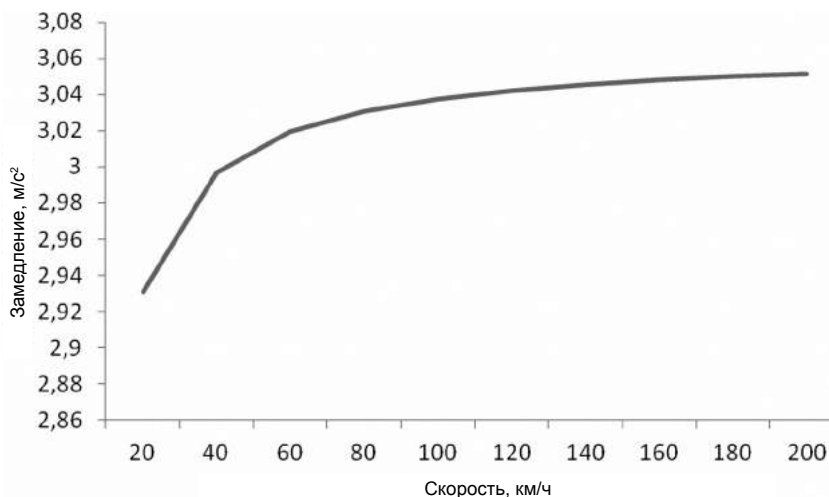


Рис. 4.8. Замедление легковых ТС в условиях гололеда

График рекомендуется использовать при моделировании замедления ТС в условиях гололеда.

Кроме коэффициента сцепления колес с дорогой, также изменяется коэффициент сопротивления качению, который влияет на ускорение ТС. Значения коэффициентов сопротивления качению при сухом асфальте (эталонное состояние дорожного покрытия) и в условиях гололеда приведены в табл. 4.26.

Как видно из данных таблицы, значение коэффициента сопротивления качению при разных дорожных покрытиях (кроме грунтового) остается практически неизменным. При расчетах ускорения ТС его значение будет принято в качестве среднего.

График ускорения ТС будет создан с помощью методологии расчета тягово-динамических характеристик автомобиля, значений динамического фактора и коэффициента вращающихся масс, представленных в разд. 4.1.1. В результате расчета ускорения при коэффициенте сопротивления качению 0,08 были получены значения ускорения ТС для передач I – V (табл. 4.27 – 4.31). Были выявлены точки, оптимальные для перехода между передачами, и построен график ускорения ТС в условиях гололеда (рис. 4.9).

Таблица 4.26

Значения коэффициентов сопротивления качению

Тип дорожного покрытия	Значение коэффициента при	
	сухом покрытии	гололеде
Цементо- и асфальтобетонное	0,01–0,02	0,015–0,03
То же, с поверхностной обработкой	0,02	0,02–0,4
Из холодного асфальтобетона, черное щебечное (гравийное)	0,02–0,025	0,02–0,04
Щебеночное и гравийное	0,035	0,03–0,04
Грунтовое	0,03	0,03–0,05

Таблица 4.27

Значения ускорения ТС для I передачи

v_a , м/с	j_a , м/с ²	v_a , м/с	j_a , м/с ²
2,303	4,2937978	7,5332	4,5926496
3,2285	4,4586058	8,6094	4,4783827
4,3047	4,5816624	9,6856	4,2916003
5,3809	4,6574741	10,7618	4,0399934
6,4571	4,661869	11,9671	3,6829094

Таблица 4.28

Значения ускорения ТС для II передачи

v_a , м/с	j_a , м/с ²	v_a , м/с	j_a , м/с ²
4,33	2,122727	14,166	2,221612
6,071	2,202934	16,19	2,133714
8,095	2,263363	18,2139	2,009559
10,118	2,285338	20,237	1,848047
12,142	2,272153	22,504	1,623908

Таблица 4.29

Значения ускорения ТС для III передачи

$v_a, \text{ м/с}$	$j_a, \text{ м/с}^2$	$v_a, \text{ м/с}$	$j_a, \text{ м/с}^2$
6,209	1,369005	20,312	1,334945
8,705	1,415151	23,213	1,239356
11,6	1,440422	26,115	1,113003
14,508	1,436027	29,017	0,955886
17,41	1,400868	32,267	0,743833

Таблица 4.30

Значения ускорения ТС для IV передачи

$v_a, \text{ м/с}$	$j_a, \text{ м/с}^2$	$v_a, \text{ м/с}$	$j_a, \text{ м/с}^2$
8,445	0,902049	23,67	0,800967
11,83	0,91853	27,624	0,700983
15,785	0,90974	31,57	0,571334
19,731	0,870186		

Таблица 4.31

Значения ускорения ТС для V передачи

$v_a, \text{ м/с}$	$j_a, \text{ м/с}^2$
10,29	0,660331
14,43	0,653738
19,25	0,616382

График рекомендуется использовать при моделировании ускорения в условиях гололеда.

Изменение модели динамики в весенне-осенний период времени. Как и в зимний период времени, весной состояние проезжей части по сравнению с летним периодом времени изменяется. Так, из-за осадков дорожное покрытие увлажняется. Кроме того, на дорожном покрытии может появляться грязь. В связи с этим изменяются коэффициенты сцепления колес с дорогой и сопротивление качению. Из-за изменения коэффициентов сцепления колес с дорогой и сопротивления качению изменяются графики ускорения и замедления ТС.

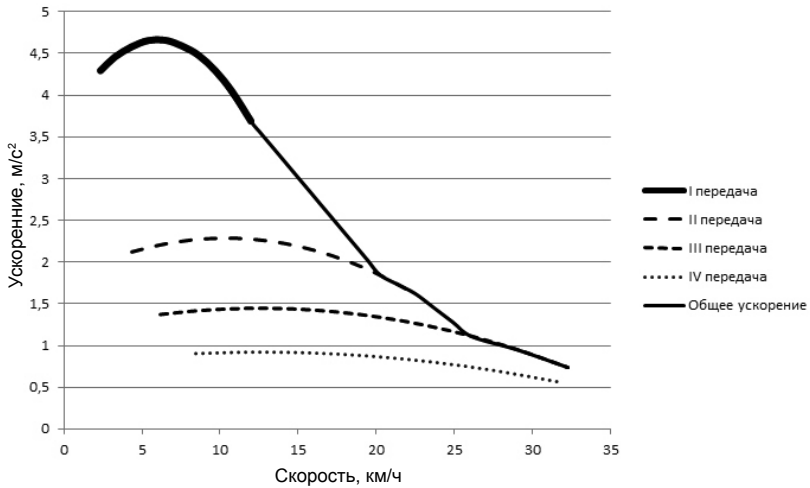


Рис. 4.9. Ускорение легковых ТС в условиях гололеда

Изменение модели динамики в условиях мокрого чистого покрытия. Значения коэффициента сцепления колес с дорогой в условиях мокрого чистого дорожного покрытия приведены в табл. 4.32.

Таблица 4.32

Значения коэффициентов сцепления колес с дорогой

Тип дорожного покрытия	Коэффициент сцепления колес с дорогой	
	при сухом асфальте	при мокром чистом покрытии
Цементобетонное	0,8–0,85	0,65–0,7
Асфальтобетонное с шероховатой обработкой	0,80–0,85	0,6–0,65
То же, без шероховатой обработки	0,80–0,85	0,5–0,6
Из холодного асфальтобетона	0,6–0,7	0,4–0,5
Черное щебечное (гравийное) с шероховатой обработкой	0,6–0,7	0,5–0,6
То же, без обработки	0,5–0,6	0,4–0,5
Щебеночное и гравийное	0,6–0,7	0,55–0,6
Грунтовое улучшенное	0,4–0,5	0,25–0,4

Для расчета замедления легкового ТС в условиях мокрого асфальта была использована методология расчета тормозного пути автомобиля. Методология подробно изложена в разд. 1.2.1. При этом коэффициент сцепления колес с дорогой был принят равным 0,475. Результаты расчетов замедления легковых ТС в условиях мокрого чистого покрытия представлены в табл. 4.33.

Таблица 4.33

Значения замедления легковых транспортных средств в условиях мокрого чистого покрытия

Скорость, км/ч	Замедление, м/с ²	Скорость, км/ч	Замедление, м/с ²
20	3,669394	120	3,845791
40	3,773235	140	3,85108
60	3,809168	160	3,855057
80	3,827392	180	3,858155
100	3,83841	200	3,860638

По данным таблицы был построен график замедления движения ТС в условиях мокрого чистого покрытия (рис. 4.10).

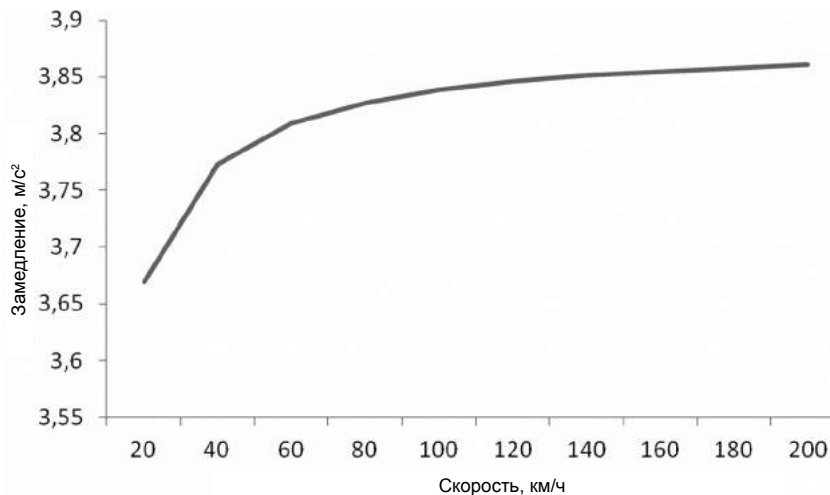


Рис. 4.10. Замедление легковых ТС в условиях мокрого чистого дорожного покрытия

График рекомендуется использовать при моделировании замедления в условиях мокрого чистого дорожного покрытия.

Кроме коэффициента сцепления колес с дорогой также изменяется коэффициент сопротивления качению, который влияет на ускорение ТС. Коэффициенты сопротивления качению для сухого асфальта (эталонное состояние дорожного покрытия) приведены в табл. 4.34.

Таблица 4.34

Значения коэффициентов сопротивления качению легковых ТС

Тип дорожного покрытия	Покрытие	
	сухое	мокрое чистое
Цементо- и асфальтобетонное	0,01–0,02	0,02–0,03
То же, с поверхностной обработкой	0,02	0,02–0,03
Из холодного асфальтобетона, черное щебеночное (гравийное)	0,02–0,025	0,025–0,035
Щебеночное и гравийное	0,035	0,035–0,05
Грунтовое	0,03	0,04–0,05

Как видно из данных таблицы, значение коэффициента сопротивления качению при разных дорожных покрытиях (кроме грунтового) остается практически неизменным. При расчетах ускорения ТС значение коэффициента будет принято в качестве среднего.

Для построения графика ускорения ТС использовалась методология расчета тягово-динамических характеристик автомобиля, значений динамического фактора и коэффициента вращающихся масс, представленных в разд. 4.1.1. В результате расчета ускорения ТС при коэффициенте сопротивления качению 0,08 были получены значения ускорения для передач I – V (табл. 4.35 – 4.39).

Таблица 4.35

Значения ускорения ТС для I передачи

v_a , м/с	j_a , м/с ²	v_a , м/с	j_a , м/с ²
2,303	4,2388618	7,5332	4,5377136
3,2285	4,4036698	8,6094	4,4234467
4,3047	4,5267264	9,6856	4,2366643
5,3809	4,6025381	10,7618	3,9850574
6,4571	4,606933	11,9671	3,6279734

Таблица 4.36

Значения ускорения ТС для II передачи

$v_a, \text{ м/с}$	$j_a, \text{ м/с}^2$	$v_a, \text{ м/с}$	$j_a, \text{ м/с}^2$
4,33	2,067791	14,166	2,166676
6,071	2,147998	16,19	2,078778
8,095	2,208427	18,2139	1,954623
10,118	2,230402	20,237	1,793111
12,142	2,217217	22,504	1,568972

Таблица 4.37

Значения ускорения ТС для III передачи

$v_a, \text{ м/с}$	$j_a, \text{ м/с}^2$	$v_a, \text{ м/с}$	$j_a, \text{ м/с}^2$
6,209	1,314069	20,312	1,280009
8,705	1,360215	23,213	1,18442
11,6	1,385486	26,115	1,058067
14,508	1,381091	29,017	0,90095
17,41	1,345932	32,267	0,688897

Таблица 4.38

Значения ускорения ТС для IV передачи

$v_a, \text{ м/с}$	$j_a, \text{ м/с}^2$	$v_a, \text{ м/с}$	$j_a, \text{ м/с}^2$
8,445	0,847113	23,67	0,746031
11,83	0,863594	27,624	0,646047
15,785	0,854804	31,57	0,516398
19,731	0,81525		

Таблица 4.39

Значения ускорения ТС для V передачи

$v_a, \text{ м/с}$	$j_a, \text{ м/с}^2$
10,29	0,605395
14,43	0,598802
19,25	0,561446

Были выявлены точки, оптимальные для перехода между передачами, и построен график ускорения ТС в условиях мокрого чистого асфальта (рис. 4.11).

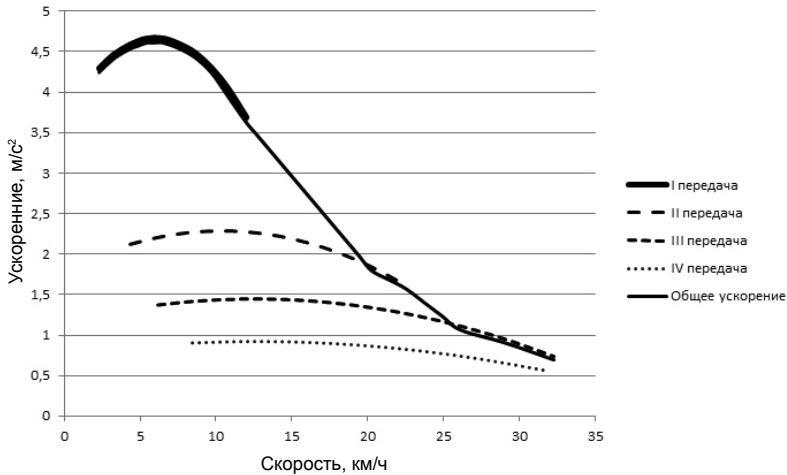


Рис. 4.11. Ускорение легковых ТС в условиях мокрого чистого покрытия

График рекомендуется использовать при моделировании ускорения в условиях мокрого чистого покрытия.

Изменение модели динамики в условиях мокрого грязного дорожного покрытия. В условиях мокрого чистого дорожного покрытия коэффициент сцепления колес с дорогой изменяется в соответствии с данными табл. 4.40.

Таблица 4.40

Значения коэффициентов сцепления колес с дорогой

Тип дорожного покрытия	Коэффициент сцепления колес с дорогой	
	при сухом асфальте	при мокром грязном покрытии
Цементобетонное	0,8–0,85	0,4–0,45
Асфальтобетонное с шероховатой обработкой	0,80–0,85	0,45–0,55
То же, без шероховатой обработки	0,80–0,85	0,35–0,4
Из холодного асфальтобетона	0,6–0,7	0,3–0,35
Черное щебеточное (гравийное) с шероховатой обработкой	0,6–0,7	0,3–0,35
То же, без обработки	0,5–0,6	0,25–0,3
Щебеночное и гравийное	0,6–0,7	0,25–0,3
Грунтовое улучшенное	0,4–0,5	0,2

Для расчета замедления легкового ТС в условиях мокрого грязного асфальта была использована методология расчета тормозного пути автомобиля, подробно представленная в разд. 1.2.1. Результаты расчетов замедления легковых ТС в указанных условиях приведены в табл. 4.41.

Таблица 4.41

**Значения замедления ТС в условиях
мокрого грязного покрытия**

Скорость, км/ч	Замедление, м/с	Скорость, км/ч	Замедление, м/с
20	2,36548	120	2,437555
40	2,408204	140	2,439679
60	2,422791	160	2,441274
80	2,43015	180	2,442516
100	2,434588	200	2,443511

По данным таблицы был построен график замедления движения ТС в условиях мокрого грязного асфальта (рис. 4.12).

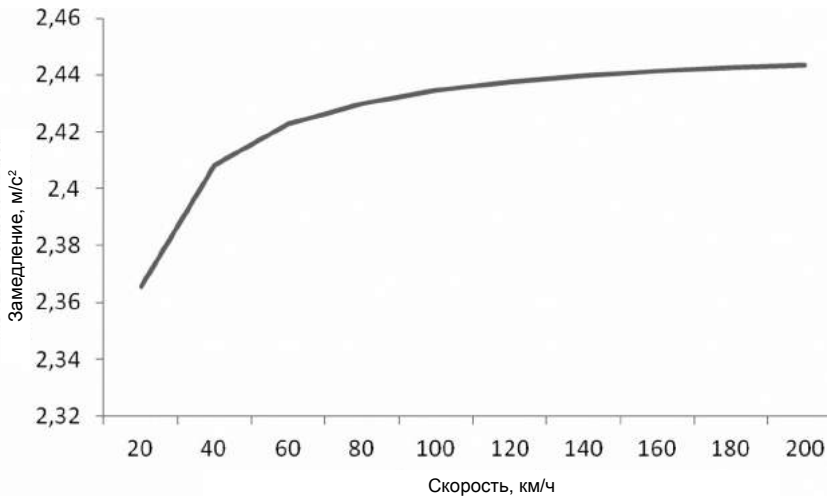


Рис. 4.12. Замедление легковых ТС в условиях
мокрого грязного дорожного покрытия

График рекомендуется использовать при моделировании замедления в условиях мокрого грязного покрытия.

Кроме коэффициента сцепления колес с дорогой также изменяется коэффициент сопротивления качению, который влияет на ускорение ТС. Значения коэффициента сопротивления качению

для сухого дорожного покрытия (эталонное состояние дорожного покрытия) и мокрого грязного покрытия приведены в табл. 4.42.

Таблица 4.42

Значения коэффициентов сцепления колес с дорогой

Тип дорожного покрытия	Покрытие	
	сухое	мокрое грязное
Цементо- и асфальтобетонное	0,01–0,02	0,03–0,35
То же, с поверхностной обработкой	0,02	0,03–0,035
Из холодного асфальтобетона, черное щебеночное (гравийное)	0,02–0,025	0,03–0,045
Щебеночное и гравийное	0,035	0,04–0,06
Грунтовое	0,03	0,05–0,15

Как видно из данных таблицы, значение коэффициента сопротивления качению при разных дорожных покрытиях (кроме грунтового) остается практически неизменным. При расчетах ускорения ТС значение коэффициента будет принято в качестве среднего.

Для построения графика ускорения ТС использовалась методология расчета тягово-динамических характеристик автомобиля, значений динамического фактора и коэффициента вращающихся масс, представленная в разд. 4.1.1. В результате расчета ускорения ТС при коэффициенте сопротивления качению, среднего по значениям таблицы, были получены значения ускорения ТС для передач I – V (табл. 4.43 – 4.47).

Таблица 4.43

Значения ускорения ТС для I передачи

v_a , м/с	j_a , м/с ²	v_a , м/с	j_a , м/с ²
2,303	6,8797138	7,5332	7,4453976
3,2285	7,1916718	8,6094	7,2291067
4,3047	7,4246004	9,6856	6,8755543
5,3809	7,5681011	10,7618	6,3992984
6,4571	7,57642	11,9671	5,7233894

Таблица 4.44

Значения ускорения ТС для II передачи

$v_a, \text{ м/с}$	$j_a, \text{ м/с}^2$	$v_a, \text{ м/с}$	$j_a, \text{ м/с}^2$
4,33	1,750967	14,166	1,869276
6,071	1,846929	16,19	1,764113
8,095	1,919228	18,2139	1,61557
10,118	1,945519	20,237	1,422332
12,142	1,929745	22,504	1,154166

Таблица 4.45

Значения ускорения ТС для III передачи

$v_a, \text{ м/с}$	$j_a, \text{ м/с}^2$	$v_a, \text{ м/с}$	$j_a, \text{ м/с}^2$
6,209	0,747797	20,312	0,711912
8,705	0,796415	23,213	0,611202
11,6	0,823039	26,115	0,478081
14,508	0,818409	29,017	0,312547
17,41	0,781367	32,267	0,089134

Таблица 4.46

Значения ускорения ТС для IV передачи

$v_a, \text{ м/с}$	$j_a, \text{ м/с}^2$	$v_a, \text{ м/с}$	$j_a, \text{ м/с}^2$
8,445	0,242817	23,67	0,141735
11,83	0,259298	27,624	0,041751
15,785	0,250508	31,57	-0,0879
19,731	0,210954		

Таблица 4.47

Значения ускорения ТС для V передачи

$v_a, \text{ м/с}$	$j_a, \text{ м/с}^2$
10,29	0,001069
14,43	-0,00535
19,25	-0,0417

Были выявлены точки, оптимальные для перехода между передачами, и построен график ускорения ТС в условиях мокрого грязного асфальта (рис. 4.13).

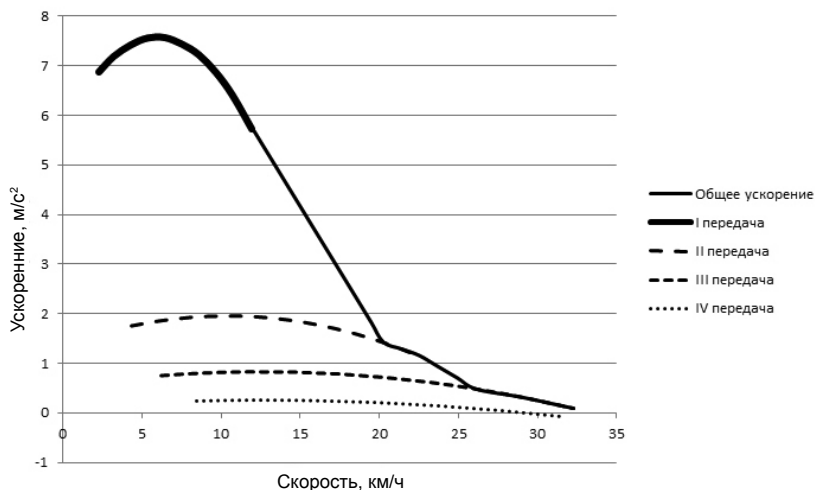


Рис. 4.13. Ускорение легковых ТС в условиях мокрого грязного асфальта

График рекомендуется использовать при моделировании ускорения в условиях мокрого грязного покрытия.

4.1.2. Изменение психофизиологической модели водителей

Причиной изменения движения в различные времена года является не только изменение состояния дорожного покрытия. Существенное влияние на движение транспортных средств оказывают выпадение осадков (дожди, снегопады, туман и др.) и запыленность воздуха. Причем если изменения состояния дорожного движения влияют на модель динамики транспортных потоков, то осадки и запыленность воздуха влияют главным образом на психофизиологическую модель водителя, точнее на фактор «Расстояние видимости».

В программном комплексе PTV Vision® VISSIM можно задать наименьшее и наибольшее значения расстояния видимости. Наименьшее расстояние видимости для остановки, согласно ГОСТ Р 52399–2005 [14], должно обеспечивать видимость любых предметов, имеющих высоту не менее 0,2 м и находящихся на середине полосы движения, с высоты глаз водителя автомобиля

1,2 м от поверхности проезжей части. При скорости 60 км/ч наименьшим является расстояние, равное 85 м.

Наибольшее расстояние видимости во многом зависят от природных явлений. Эталонной видимостью, согласно ОДМ 218.2.020–2012 «Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог», является видимость на расстоянии более 800 м. Однако при моделировании дорожного движения в городской среде видимость зачастую ограничена и наибольшее расстояние видимости в таких случаях следует принимать в соответствии с профилями дорог.

С расстоянием видимости также связано понятие «метеорологическая дальность видимости».

Метеорологическая дальность видимости – наибольшее расстояние, на котором абсолютно черный предмет еще различим днем на фоне неба у горизонта. Как было сказано ранее, расстояние видимости для остановки характеризуется видимостью предмета с другими характеристиками, поэтому оно зачастую меньше, чем метеорологическая дальность видимости. В связи с этим метеорологическая дальность видимости будет исследована пропорционально расстоянию видимости до остановки.

К природным явлениям, влияющим на метеорологическую дальность видимости, можно отнести: мглу (песчаную бурю), дымку (туман), дождь и снегопад (метель). Влияние снегопада и метели будет рассмотрено в разделе «Изменение психофизиологической модели водителей в зимний период времени»; влияние тумана, дымки и дождя – в разделе «Изменение психофизиологической модели водителей в весенне-осенний период времени»; влияние песчаных бурь и тьмы – в разделе «Изменение психофизиологической модели водителей в летний период времени».

Изменение психофизиологической модели водителей в зимний период времени. Все природные явления, возникающие в зимний период времени, можно условно разделить на две группы – снегопад и метель, которые отличаются между собой скоростью ветра. Рассмотрим подробнее изменение видимости при снегопадах.

Моделирование расстояния видимости при снегопадах. В табл. 4.48 дана классификация РД 52.27.724–2009 «Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения, используемая при краткосрочных прогнозах погоды общего назначения и штормовых предупреждениях».

Таблица 4.48

Классификация осадков согласно их количеству

Осадки	Количество осадков, мм/12 часов
Небольшой снег	0–1
Снег	2–5
Сильный снег	6–19
Очень сильный снег	>20

Зависимость метеорологической дальности видимости от количества осадков в виде снега приведена в издании «Синоптическая метеорология» как рекомендация к составлению прогнозов видимости [15] (рис. 4.14).

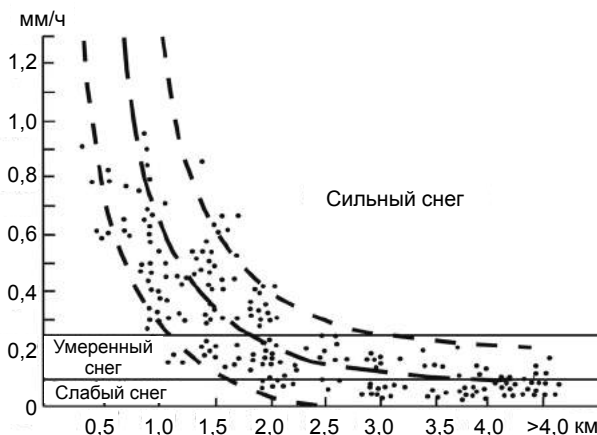


Рис. 4.14. Зависимость метеорологической дальности видимости от осадков – снега

Следует отметить, что прогнозы метеорологической дальности видимости относятся к специализированным прогнозам и проводятся с использованием специальной техники метеоспециалистами.

В табл. 4.49 приведены примерные значения видимости в соответствии с классификацией, приведенной в табл. 4.48, и зависимостью, представленной на рис. 4.14.

Таблица 4.49

Метеорологическая дальность видимости

Природное явление	Дальность видимости, км
Небольшой снег	2–4
Снег	1–3
Сильный снег	0,7–1,5
Очень сильный снег	Менее 0,5

Если принять, что идеальная метеорологическая дальность видимости в городской черте равна 20 км, то можно получить пропорциональную зависимость метеорологической дальности видимости и расстояния видимости до остановки. Значения расстояния видимости до остановки для природных явлений, описанных в табл. 4.48, представлены в табл. 4.50.

Таблица 4.50

Расстояние видимости до остановки

Природное явление	Расстояние видимости до остановки, м
Небольшой снег	80–160
Снег	40–120
Сильный снег	30–60
Очень сильный снег	15–30

Моделирование расстояния видимости при метелях. В зависимости от силы ветра снегопад может превращаться в метель. В «Синоптической метеорологии» приведена зависимость метеорологической видимости от интенсивности снегопада и силы ветра (рис. 4.15).

Из рисунка видно, что даже при количестве снега, равном 3 мм/12 ч, видимость стремится к нулевой. Поэтому значения метеорологического расстояния видимости были рассчитаны только для небольшого и среднего снега (табл. 4.51).

Можно получить пропорциональную зависимость метеорологической дальности видимости и расстояния видимости до остановки. Значения расстояния видимости до остановки для природных явлений, описанных в табл. 4.48, представлены в табл. 4.52.

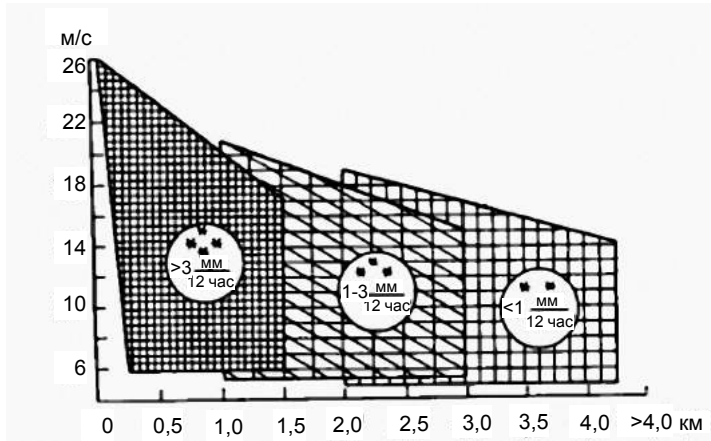


Рис. 4.15. Зависимость метеорологической видимости от интенсивности снегопада и силы ветра

Таблица 4.51

Метеорологическая видимость для разных интенсивностей снегопада

Природное явление	Расстояние видимости, км
Небольшой снег	2–4
Снег	0–3

Таблица 4.52

Расстояние видимости для разных интенсивностей снегопада

Природное явление	Расстояние видимости до остановки, м
Небольшой снег	80–160
Снег	15–120

Изменение психофизиологической модели водителей в весенне-осенний период времени. Как было сказано ранее, в весенне-осенний период времени могут наблюдаться такие природные явления, как туман и дожди.

Моделирование расстояния видимости при дожде. В табл. 4.53 дана классификации РД 52.27.724 – 2009 «Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения, используемая при краткосрочных прогнозах погоды общего назначения и штормовых предупреждениях».

Классификация природных явлений по количеству осадков

Термин	Количество осадков, мм/12 ч
Небольшой дождь	0–2
Дождь	3–14
Сильный дождь	15–49
Очень сильный дождь	>50

Зависимость метеорологической дальности видимости от количества осадков в виде дождя была приведена в издании «Синоптическая метеорология» как рекомендация к составлению прогнозов видимости (рис. 4.16).

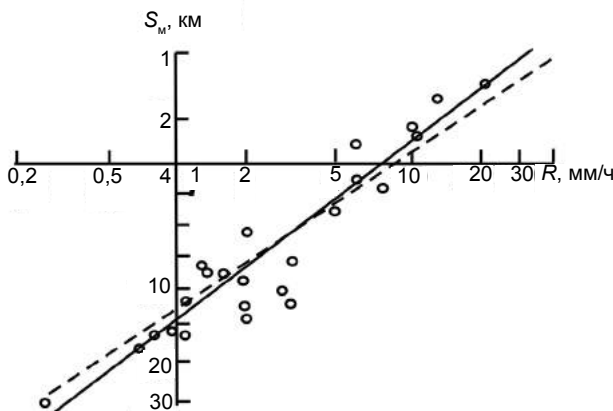


Рис. 4.16. Зависимость метеорологической дальности видимости от количества осадков в виде дождя

В табл. 4.54 приведены примерные значения видимости, в соответствии с классификацией (см. табл. 4.53) и зависимостью, представленной на рис. 4.16.

Можно получить пропорциональную зависимость метеорологической дальности видимости и расстояния видимости до остановки. Значения расстояния видимости до остановки для природных явлений, описанных в табл. 4.54, приведены в табл. 4.55.

Таблица 4.54

**Метеорологическое расстояние видимости
при различных природных явлениях**

Природное явление	Расстояние видимости, км
Небольшой дождь	8–25
Дождь	2–6
Сильный дождь	0–1

Таблица 4.55

**Расстояние видимости до остановки
при различных природных явлениях**

Природное явление	Расстояние видимости до остановки, м
Небольшой дождь	Более 320
Дождь	80–240
Сильный дождь	15–40

Моделирование расстояния видимости при тумане. В «Синоптической метеорологии» приведены значения расстояния видимости при различных природных явлениях (табл. 4.56).

Таблица 4.56

**Метеорологическая дальность видимости
при различных природных явлениях**

Природное явление	Значение дальности видимости, км
Слабая дымка	4–10
Умеренная дымка	2–4
Сильная дымка	1–2
Слабый туман	0,5–1
Умеренный туман	0,2–0,5
Сильный туман	0,05–0,2
Очень сильный туман	Менее 0,05

Под дымкой понимается воздух с различными примесями – выхлопными газами и др. Туман образовывается при добавлении к дымке капелек воды.

В связи с тем, что слабая и умеренная дымка в городской черте – вполне распространенное явление, то при ее моделировании можно использовать стандартные значения параметров расстояния видимости. При моделировании туманов следует использовать значения, представленные выше.

Изменение психофизиологической модели водителей в летний период времени. Как было сказано ранее, в летний период времени может возникнуть и такое природное явление, как пыльная буря или мгла. Мглой называется сероватая или беловатая пелена, ухудшающая видимость до значений менее 10 км. Относительная влажность при этом часто бывает менее 50%. Разновидностью очень сильной мглы является пыльная буря. Значения метеорологической дальности видимости в зависимости от интенсивности мглы приведены в табл. 4.57.

Таблица 4.57

Метеорологическая дальность видимости при различных природных явлениях

Погодное явление	Значение дальности видимости, км
Слабая мгла	4–10
Умеренная мгла	2–4
Сильная мгла	1–2
Очень сильная мгла	<1

4.2. Моделирование особенностей движения в разное время суток

Движение автомобилей в разное время суток может быть различным. При этом отличия касаются не столько модели динамики автомобиля, сколько психофизиологической модели водителя. Рассмотрим изменение некоторых показателей психофизиологической модели водителя.

4.2.1. Моделирование расстояния видимости в темное время суток

Расстояние видимости в темное время суток зависит от степени освещенности проезжей части. Освещение проезжих частей в населенных пунктах регламентируют СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение» [16]. В своде правил используются такие термины, как:

- *средняя освещенность улиц, дорог и площадей* – освещенность, средневзвешенная по площади, лк;

- *средняя яркость дорожной поверхности* – средневзвешенная по площади яркость сухих дорожных покрытий в направлении глаз наблюдателя, находящегося на оси движения транспорта, кд/м.

Значения, предусмотренные СП 52.13330.2011 для разных категорий дорог, приведены в табл. 4.58.

Как видно, при нормативной освещенности 20 лк среднее освещенное расстояние равно 20 м². Таким образом, для улиц и дорог местного значения шаг световых опор должен равняться 6 м, что практически не встречается. Здесь следует учесть, что нормативная яркость покрытия равна 0,4 кд/м² (проще говоря, интенсивность света уменьшена) и горизонтальная освещенность является средней величиной (т.е. на разных участках дороги может наблюдаться разная интенсивность света). В связи с этим при освещении проезжих частей зачастую наблюдается чередование светлых и темных пятен (рис. 4.17).



Рис. 4.17. Искусственное освещение на участке ул. Уральская в г. Перми

В целом, замена естественного освещения на искусственное (при условии освещения всей длины проезжей части) никак не влияет на расстояние видимости в чистом виде и у водителей можно отметить только увеличение зрительной работы, что влияет на скорость его реакции.

Таблица 4.58

Нормативные значения освещенности для разных категорий дорог

Категория объекта по освещению	Улицы, дороги и площади	Число полос движения в обоих направлениях	Пропускная способность, тыс. ед./ч	Средняя яркость покрытия, кд/м ²	Средняя горизонтальная освещенность покрытия, лк
А	Магистральные дороги, магистральные улицы общегородского значения	4–8	>3	1,6	20
Б	Магистральные улицы районного значения	3–6	2–5	1,0	15
В	Улицы и дороги местного значения	2–4	0,5–3	0,4	6

Однако иногда возникают ситуации, когда проезжая часть не освещена. Тогда расстояние видимости следует устанавливать в соответствии с радиусом светового охвата фар автомобиля. Кроме того, рекомендуется на данных участках ввести зоны мало-скоростного движения.

4.2.2. Моделирование временной невнимательности

В крупных городах России ежегодно происходит несколько тысяч дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Одной из основных причин возникновения ДТП является несоблюдение правил дорожного движения из-за невнимательности водителя.

Временная невнимательность – явление, при котором водитель полностью игнорирует любые средства регулирования дорожного движения, в том числе дорожные знаки, светофорное регулирование и др. В PTV Vision® VISSIM предусмотрена возможность моделирования подобных ситуаций. Временная невнимательность задается в программном комплексе двумя показателями: ее продолжительностью и вероятностью возникновения.

Продолжительность временной невнимательности. Для того чтобы вычислить продолжительность временной невнимательности, необходимо проанализировать причины ее возникновения. К таким причинам относятся: усталость, телефонные разговоры, курение, приемы пищи и др.

Следует отметить, что в ночное время суток наиболее частое явление возникновения усталости, которая может характеризоваться не только продолжительностью, но и степенью. Степень усталости напрямую зависит от утомления, в динамике которого выделяют разные стадии. *Первая стадия* утомления характеризуется относительно слабым чувством усталости, при этом производительность труда не падает или падает незначительно. На *второй стадии* утомления понижение производительности становится заметным и все более и более угрожающим, причем часто это понижение относится только к качеству, а не к количеству выработки. *Третья стадия* характеризуется острым переживанием утомления, которое принимает форму переутомления. Кривая работы или резко снижается, или же принимает «лихорадочную» форму, отражающую попытки человека сохранить должный темп работы. На данной стадии утомления он может даже ускориться, но оказывается неустойчивым. В конце концов

рабочие действия могут быть так дезорганизованы, что человек почувствует невозможность продолжения работы, переживая при этом болезненное состояние [17].

Если принять, что водитель совершает транспортную корреспонденцию, постепенно проходя через все три стадии, тогда для каждого города можно выявить среднюю продолжительность невнимательности водителей. Временную невнимательность следует принимать как $2/3$ среднего значения продолжительности транспортной корреспонденции.

Для того чтобы ввести продолжительность временной невнимательности в программный комплекс, необходимо выбрать пункт меню «Базовые данные – Манера езды – Временная невнимательность – Продолжительность».

Вероятность возникновения временной невнимательности. Временная невнимательность отмечается не у всех водителей и возникает непостоянно. Так, некоторые водители предпочитают не садиться за руль, если чувствуют сильную усталость, а кто-то даже вообще не совершает ночные поездки.

Для изучения данного явления была проанализирована статистика дорожно-транспортных происшествий в г. Перми. Было установлено, что за полгода произошло 1895 ДТП, из них в темное время суток 608, т.е. примерно 30% общего их числа.

Необходимо также оценить количество ДТП на моделируемом участке. Если этот показатель равен, например, 20 за полгода, то можно сказать, что шесть из них произошли в темное время суток. Однако доля ДТП по отношению ко всем поездкам по участку за полгода, наверняка, составит меньше 1%, а на практике временная невнимательность у водителей может возникать чаще, чем в 1% случаев. Так, если принять, что в 99% случаев второй участник потенциального ДТП сумел правильно отреагировать на опасность и избежать столкновения, то за вероятность возникновения временной невнимательности можно принять сумму совершившихся и не свершившихся ДТП, в которых, однако, присутствовала временная невнимательность, т.е. вероятность возникновения временной невнимательности составит $1\% + 0,99\% \approx 2\%$.

Чтобы ввести данный параметр в программный комплекс, необходимо задать параметр «Вероятность» в раздел «Временная невнимательность» в пункте меню «Базовые данные» – «Манера езды».

Глава 5

Формирование 3D-моделей окружающей среды при помощи сторонних средств визуализации

Результаты моделирования движения ТС можно отобразить в формате видеоролика либо множества картинок. Для того чтобы окружающая среда в видеоролике выглядела наиболее похожей на существующую ситуацию, необходимо в имитационную модель добавить 3D-модели зданий, деревьев, светофоров и других статических объектов. Также возможно использование сферы с изображением неба и вставка фонов, которые визуализировали бы землю.

Вставка светофоров и статических объектов подробно описана в руководстве пользователя PTV Vision® VISSIM. В данной главе будет рассмотрено быстрое построение реалистичных моделей зданий при помощи модуля V3DM и создание 3D-моделей ландшафта.

5.1. Визуализация строений

Одним из самых быстрых и распространенных способов визуализации строений является создание простых 3D-моделей при помощи модуля V3DM. Модуль V3DM – один из программных продуктов, входящих в программный комплекс PTV Vision® VISSIM и предназначен для создания 3D-моделей.

Для того чтобы создать простую 3D-модель здания, необходимо:

- 1) создать 3D-модель прямоугольника, для чего надо зайти в панель «Library» и выбрать объект «Box Simple», нажать кнопку «App» и нарисовать объект (рис. 5.1);
- 2) через меню «Project» выбрать «Textures» (рис. 5.2), а также фотографию создаваемого дома.

При использовании данного метода можно в кратчайшие сроки осуществить визуализацию строений.

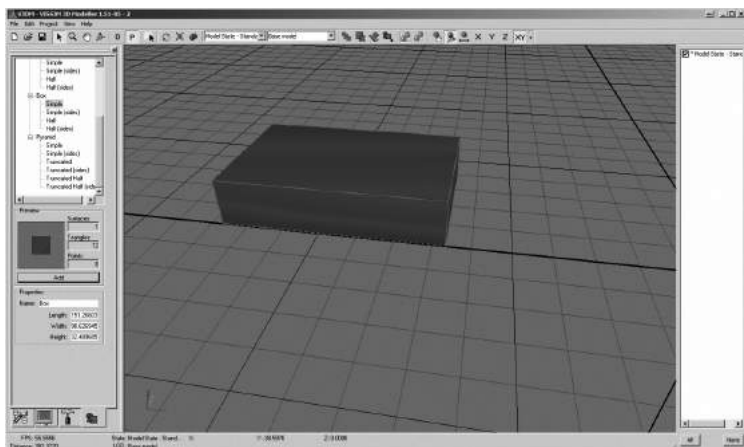


Рис. 5.1. Создание 3D-объекта

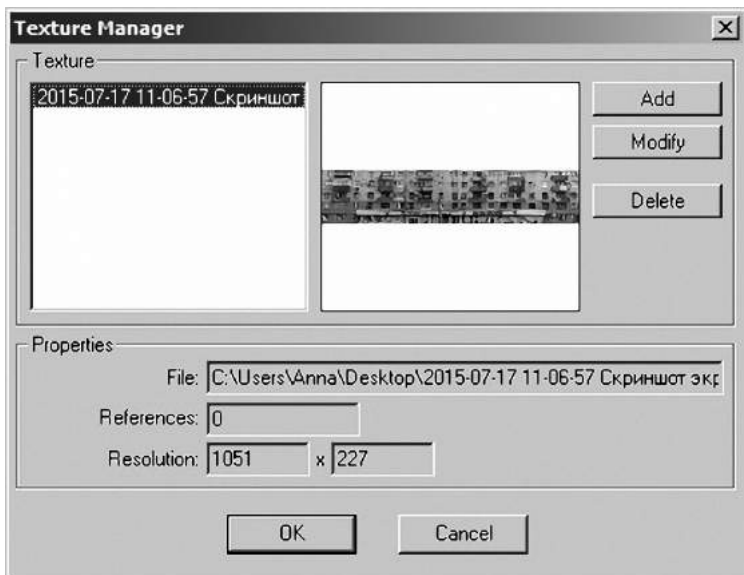


Рис. 5.2. Выбор текстуры

5.2. Визуализация ландшафта

Помимо строений и остальных статических объектов, позволяющих более подробно визуализировать фрагмент участка улично-дорожной сети, можно также в имитационную модель включить

3D-модель ландшафта, предусматривающую перепады высот. Включение такой 3D-модели позволит наиболее наглядно отобразить существующий ландшафт, а также выявить уклоны проезжих частей, что может помочь при моделировании движения ТС.

Экспорт 3D-моделей ландшафта происходит в несколько этапов:

1. *Получение координат точек.* Прежде всего здесь стоит отметить особую съемку поверхности земного SRTM (Shuttle radar topographic mission), которая была осуществлена в феврале 2000 г. с борта космического корабля многоцелевого использования «Шаттл». Данная съемка проведена почти на всей территории земного шара между 60° северной широты и 54° южной широты, а также океанов с помощью двух радиолокационных сенсоров SIR-C и X-SAR, установленных на борту корабля. Результатом съемки стала цифровая модель рельефа 85% поверхности Земли (рис. 5.3) [18].



Рис. 5.3. Данные SRTM с <http://dwtkns.com/srtm/>

При поиске нужных координат точек необходимо руководствоваться координатными сетками. В табл. 5.1 приведены условные обозначения квадратов некоторых городов России.

Таблица 5.1

Квадраты SRTM для городов России

Обозначение	Город
O-37	Вологда
	Ярославль
	Владимир
	Иваново
O-38	Нижний Новгород
	Йошкар-Ола
	Чебоксары
O-39	Киров
	Ижевск
N-37	Москва
	Рязань
	Тула
	Липецк
	Тамбов
N-38	Саранск
	Пенза
N-39	Ульяновск
	Самара
	Казань

2. *Импорт точек в AutoCAD Civil 3D.* Для этого необходимо через навигатор (рис. 5.4) зайти в панель создания точек, найти инструмент «Импорт точек» (рис. 5.5) и далее выбрать формат, который использовался в выводе координат точек (рис. 5.6). После этого в разделе «Исходные данные» выбрать файл, который надо импортировать (рис. 5.7).

Теперь при помощи двойного щелчка на среднюю кнопку мыши перейти к загруженным точкам и через навигатор перейти к разделу «Поверхности». Выбрать тип поверхности в меню «Создание поверхности» (рис. 5.8) и нажать кнопку «ОК».

Через навигатор зайти в созданную поверхность в разделе «*Определение*» выбрать группы точек и пункты «Земля» и «Откосы» (рис. 5.9). Полученную модель сохранить.

3. *Импорт модели ландшафта в PTV Vision® VISSIM.* Импорт модели ландшафта следует производить при помощи обычного алгоритма встраивания статических 3D-моделей (рис. 5.10).

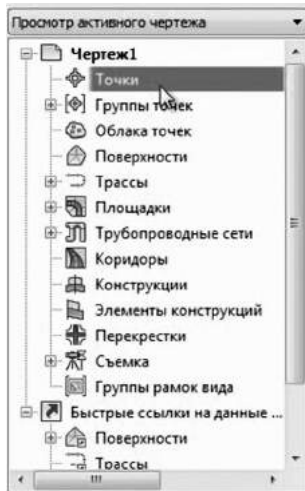


Рис. 5.4. Вид навигатора в AutoCAD Civil 3D 2011

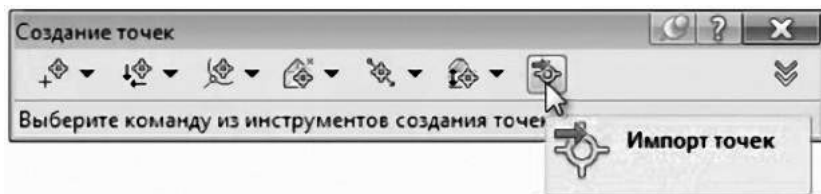


Рис. 5.5. Панель создания точек

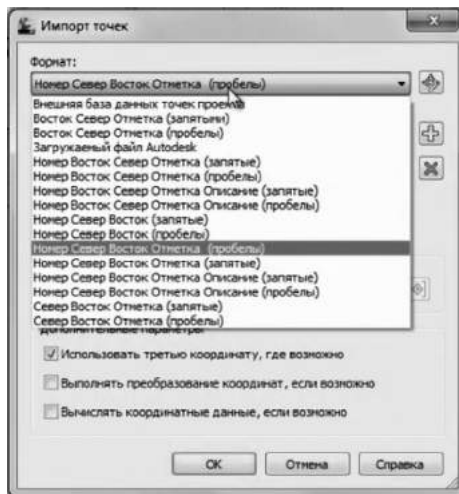


Рис. 5.6. Выбор формата вывода точек

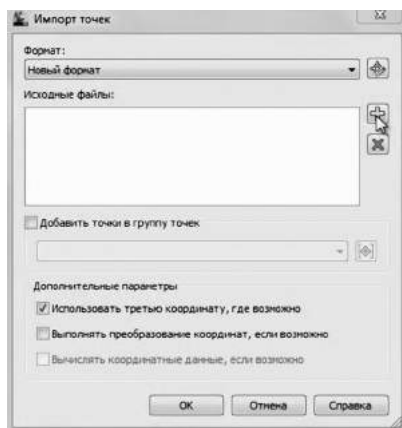


Рис. 5.7. Выбор файла с координатами точек

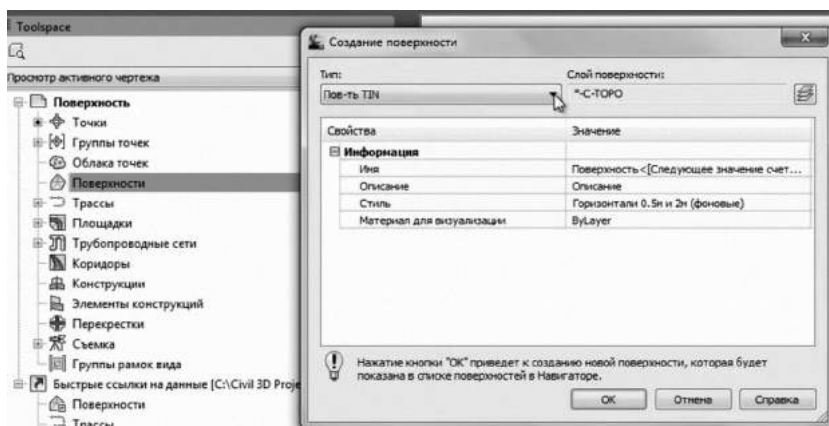


Рис. 5.8. Выбор типа поверхности в меню «Создание поверхности»



Рис. 5.9. Выбор групп точек

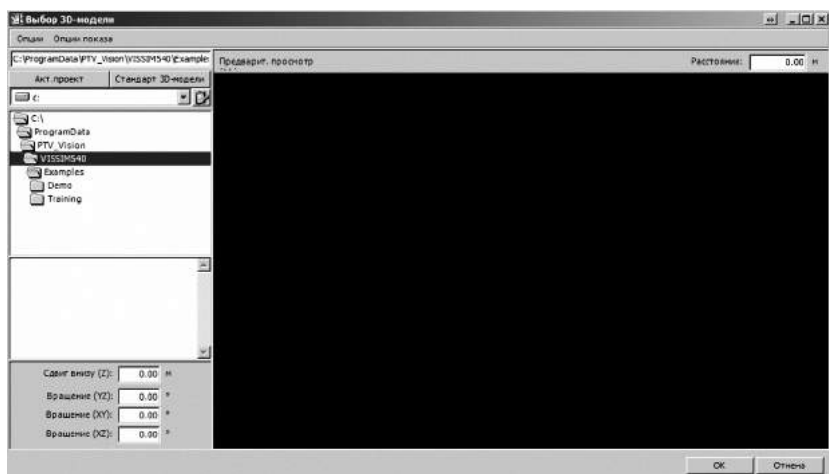


Рис. 5.10. Окно «Выбор 3D-модели»

Отметим, что в 3D-режиме созданные отрезки не будут видны из-за встроенной 3D-модели. Для того чтобы они стали видны, необходимо настроить высоты начала и конца отрезков в соответствии с высотами ландшафта (рис. 5.11.).

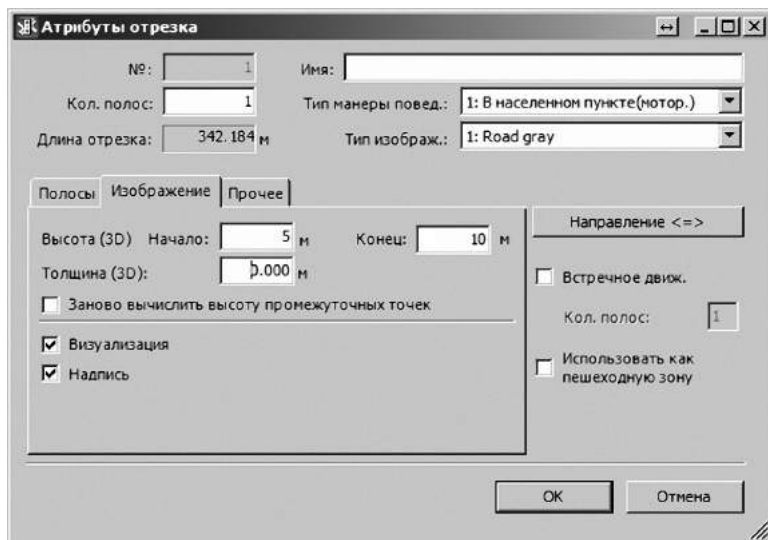


Рис. 5.11. Настройка высоты начала и конца отрезка

Используя такой метод, можно в кратчайшие сроки провести визуализацию ландшафта.

Глава 6

Работа с файлами модели PTV VISION® VISSIM в текстовом режиме

Наряду с изменением характеристик моделирования через графический интерфейс изменение характеристик моделирования можно производить в режиме текста. Так, любой файл программного комплекса PTV Vision® VISSIM с расширением *.INO можно открыть в текстовом режиме.

При помощи файла настроек можно редактировать компоненты сети, настройки модели и даже настройки анализа. В табл. 6.1–6.24 подробно описаны основные разделы текстового файла, отвечающие за настройки модели и компоненты сети.

Под звездочками *, **, *** будут описаны рекомендации к изменению параметров при использовании приема, который применяется авторами для анализа движения транспортных потоков по направлениям. При этом авторами применяется тип анализа: «Анализ сети», в опциях которого устанавливается оценка показателей не только для всех классов ТС, но и каждого класса ТС в отдельности. Предварительно создаются классы, типы ТС и распределения цветов, при этом каждый класс, тип и распределение соответствуют одному или нескольким входящим потокам, которые необходимо оценить отдельно. Стоит отметить, что при использовании этого приема при создании новых типов ТС задаются технические характеристики, идентичные реальным ТС, отличаются же новые типы ТС друг от друга только новым распределением цветов (например, транспортным средствам, следующим с севера, задается синий цвет).

Данный прием позволяет оценить движение ТС по множеству показателей, и, главное, сопоставить результаты при разных конфигурациях моделируемого участка. Кроме того, при помощи применения новых распределений цветов возможна эффективная визуализация движения ТС.

Таблица 6.1

Параметры имитации

Показатель	Описание	Значение по умолчанию	Рекомендуемое значение
Графический интерфейс «Имитация – Параметры»			
RANDOM_SEED	Стартовое случайное число – указанное здесь число служит для инициализации генератора случайных чисел	42	Мультизапуск от 1 до 10
SIMULATION_DURATION	Продолжительность имитации (сек)	3600	1800–3600
SIMULATION_STARTTIME	Время старта имитации (в формате чч.мм.сс)	0:00:00	0:00:00
SIMULATION_SPEED	Скорость имитации указывает количество секунд имитации в секунду реального времени	5	Для записи в реальном времени – 10
TIME_STEP	Частота расчета – как часто заново рассчитывается позиция ТС в пределах секунды имитации	5	5

Таблица 6.2

Мультизапуск

Показатель	Описание	Значение по умолчанию	Рекомендуемое значение
<i>Графический интерфейс «Имитация – Мультизапуск»</i>			
RANDOM_SEED	Начальное стартовое число	1	1
RANDOM_SEED_INCREMENT	Шаг случайного числа	1	1
NUMBER_RUNS	Количество циклов имитации	10	10
DTA_INCREMENT	Увеличение нагрузки динамического распределения	0	0
EVAL_DIRECTORY	Директория сохранения файлов	#data#	Определяется пользователем

Таблица 6.3

Типы ТС

Показатель	Описание	Значение по умолчанию	Рекомендуемое значение
Графический интерфейс «Базовые данные – Типы транспортных средств»			
VEHICLE_TYPE	№ типа ТС	100 200 300 400 500	100 200 300 400 500*
NAME	Имя типа ТС	Легковой транспорт Грузовой транспорт Автобус Трамвай Пешеходы Вело или мото тр.	Легковой транспорт Грузовой транспорт Автобус Трамвай Пешеходы Вело или мото тр.**
COLOR_DIST	№ распределения цветов	1	1***
LENGTH	Длина ТС (v)	4,76 10,215 11,541 15,698 0,456 1,445	Зависит от длины 3d-модели и длины типа ТС (исследование при помощи подхода классификации)

* Номера вновь созданных типов ТС рекомендуется задавать кратными 100.

** Также рекомендуется задавать имена вновь созданных типов ТС согласно ориентиров направлений (например: «на запад», «в город» и т.п.).

*** Номера распределений цветов задаются пользователем.

Продолжение табл. 6.3

Показатель	Описание	Значение по умолчанию	Рекомендуемое значение
WIDTH	Ширина ТС (м)	1,5 2,5 2,5 2,5 0,5 0,5	Зависит от длины 3d-модели и длины типа ТС (исследование при помощи подхода классификации)
MASS	№ распределения массы	1 2 3 4 5 6	Создаваемые (редактируемые) в процессе актуализации распределения
POWER	№ распределения мощности	1 2 3 4 5 6	То же
MAX_ACCELERATION	№ распределения максимального ускорения	1 2 3 4 5 6	>>

Окончание табл. 6.3

Показатель	Описание	Значение по умолчанию	Рекомендуемое значение
DESIRED_ACCELERATION	№ распределения желаемого ускорения	1 2 3 4 5 6	Создаваемые (редактируемые) в процессе актуализации распределения
MAX_DECELERATION	№ распределения максимального замедления	1 2 3 4 5 6	То же
DESIRED_DECELERATION	№ распределения желаемого замедления	1 2 3 4 5 6	>>

Таблица 6.4

Классы ТС

Показатель	Описание	Значение по умолчанию	Рекомендуемое значение
Графический интерфейс «Базовые данные – классы транспортных средств»			
VEHICLE_CLASS	№ класса ТС	10 20 30 40 50 60	10 20 30 40 50 60*
NAME	Имя класса ТС	ЛКЦТР ГРУЗТР Автобус Трамвай Пешеходы Вело- или мототранспорт	ЛКЦТР ГРУЗТР Автобус Трамвай Пешеходы Вело- или мототранспорт**
COLOR	Использование распределения цветов типа ТС		
VEHICLE_TYPES	Тип ТС	100 200 300 400 500 600	100 200 300 400 500 600***

* Номера новых классов ТС рекомендуется задавать кратными 10.

** Также рекомендуется задавать имена вновь созданных типов ТС согласно ориентиров направлений (например: «на запад», «в город» и т.п.).

*** Присваивается номер типа ТС, соответствующий нужному направлению.

Таблица 6.5

Манера езды

Показатель	Описание	Значение по умолчанию	Рекомендуемое значение
DRIVING_BEHAVIOR	Графический интерфейс «Базовые данные – манера езды» № манеры езды	1 2 3 4 5	Создаваемые (редактируемые) в процессе актуализации манеры езды
NAME	Название манеры езды	«В населенном пункте (мотор.)» «Правосторонн. движение (мотор.)» «Вне НП (свободн. выбор полосы)» «Пешех. дорожка (без взаимод.)» «Велодорожка (свободный обгон)»	Зависит от движения тех или иных ТС на моделируемом участке
LANE_CHANGE_BEHAVIOR	Тип основного поведения	FREE_LANESEL RIGHT_HAND_RULE FREE_LANESEL FREE_LANESEL FREE_LANESEL	Зависит от типа движения (правостороннее, левостороннее)

Продолжение табл. 6.5

Показатель	Описание	Значение по умолчанию	Рекомендуемое значение
T_DISAPPEAR	Время ожидания (сек)	60	180
MIN_LC_GAP	Минимальное конфликтное расстояние спереди/сзади (м)	0,5	Более 4,5
MIN_ACCELERATION OWN	1. Необходимая смена полосы (маршрута) (собств. ТС):		
MAX DISTANCE MIN	1.1. Максимальное замедление	-1	-5,43
	1.2. Дистанция	100	100
	1.3. Приемлемое замедление	-4	-0,35
TRAILING_VEHICLE	2. Необходимая смена полосы (маршрута) (впереди идущее ТС):		
MAX DISTANCE MIN	2.1. Максимальное замедление	-1	-5,25
	2.2. Дистанция	100	100
	2.3. Приемлемое замедление	-3	-0,336
COOPERATIVE	Макс. замедление для общего торможения	-3	-5,5
LOOKAHEAD ABXFAC TOR	Фактор для уменьшения дистанции безопасности	0,6	0,73
CAR_FOLLOW_MODEL	Модель поведения за впереди идущим ТС	WIEDEMANN74 WIEDEMANN99 WIEDEMANN99 NO_INTERACTION WIEDEMANN99	WIEDEMANN74 WIEDEMANN99 WIEDEMANN99 NO_INTERACTION WIEDEMANN99

Продолжение табл. 6.5

Показатель	Описание	Значение по умолчанию	Рекомендуемое значение
NUMB_PRECED	Количество видимых впереди идущих ТС	2	Зависит от моделируемых сезонов года и времени суток (см. гл. 4)
OBS_DISTANCE MIN MAX	Расстояние видимости: Минимальное Максимальное	0 250	То же
REAR_OBS_DISTANCE MIN MAX	Предел задней видимости: Минимальный Максимальный	0 150	0 150
AX_AVERAGE; BX_ADD; BX_MULT	Параметры модели Видемана 74: Средняя дистанция при остановке; Аддитивное влияние; Мультипликативное влияние	2; 2; 3	2; 1; 1,5
CC0; CC1; CC2; CC3; CC4; CC5; CC6; CC7; CC8; CC9	Параметры модели Видемана 99	1,5; 0,9; 4; -8; -0,35; 0,5; 1,44; 0,25; 3,5; 1,5	CC1 [35,57...78,78]
LATERAL_BEHAVIOR	Желаемая позиция на полосе	MIDDLE MIDDLE MIDDLE ANY RIGHT	Зависит от наблюдаемого поведения на участке

Окончание табл. 6.5

Показатель	Описание	Значение по умолчанию	Рекомендуемое значение
OVERTAKE RIGHT	Обгон справа с указанием типов ТС	VEHICLE_CLASSES	Зависит от наблюдаемого и разрешенного поведения на участке
OVERTAKE LEFT	Обгон слева с указанием типов ТС	VEHICLE_CLASSES	То же
LAT_DISTANCE DEFAULT	Минимальная боковая дистанция:		
DY_STAND	При 0 км/ч	1	1
DY_50KMH	При 50 км/ч	1	1
AMBER_BEHAVIOR	Модель решения (реакция на светосигнальную установку)	CONT_CHECK	Задается в процессе актуализации психофизиологической модели водителя
AMBER_ALPHA	Факторы вероятности (действуют при модели «Твердое решение»)	1,59	1,59
AMBER_BETA1		-0,26	-0,26
AMBER_BETA2		0,27	0,27

Таблица 6.6

Типы манеры езды

Показатель	Описание	Значение по умолчанию	Рекомендуемое значение
<i>Графический интерфейс «Базовые данные – Типы манеры езды»</i>			
BEHAVIORTYPE	Номер типа манеры езды	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5
NAME	Имя типа манеры езды	«В населенном пункте (мотор.)» «Правосторон. движение (мотор.)» «Вне НП (свободн. выбор полосы)» «Пешех. дорожка (без взаимод.)» «Велодорожка (свободный обгон)»	«В населенном пункте (мотор.)» «Правосторон. движение (мотор.)» «Вне НП (свободн. выбор полосы)» «Пешех. дорожка (без взаимод.)» «Велодорожка (свободный обгон)»
DEFAULT DRIVING_ BEHAVIOR	№ применяемой манеры езды	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5

Таблица 6.7

Типы изображения

Показатели	Описание	Значение по умолчанию	Рекомендуемое значение
Графический интерфейс «Базовые данные – Типы изображения»			
DISPLAYTYPE	Номер типа изображения	1 11 12 21 22 31 32 33 34 35	1 11 12 21 22 31 32 33 34 35
NAME	Имя типа изображения	«Дорога серого цвета» «Железная дорога (щебень)» «Железная дорога (дорога)» «Пешеходная зона серого цвета» «Препятствие» «Ступени эскалатора» «Входная площадка эскалатора» «Поручень эскалатора» «Балюстрада эскалатора» «Основание эскалатора»	«Дорога серого цвета» «Железная дорога (щебень)» «Железная дорога (дорога)» «Пешеходная зона серого цвета» «Препятствие» «Ступени эскалатора» «Входная площадка эскалатора» «Поручень эскалатора» «Балюстрада эскалатора» «Основание эскалатора»

Окончание табл. 6.7

Показатели	Описание	Значение по умолчанию	Рекомендуемое значение
TEXTURE	Наличие текстуры	-1 0 -1 -1 -1 1 2 -1 -1 -1	-1 0 -1 -1 -1 1 2 -1 -1 -1
RAILWAYS	Описание рельсов		

Таблица 6.8

Отрезки

Показатель	Описание	Значение по умолчанию	Рекомендуемое значение
Графический интерфейс «Панель создания объектов – Отрезки»			
LINK	Номер отрезка	–	Создается пользователем
NAME	Имя отрезка		
BEHAVIORTYPE	Тип манеры езды отрезка		
DISPLAYTYPE	Тип изображения		
LENGTH	Длина отрезка (м)		
LANES	Количество полос		
LANE_WIDTH	Ширина полос (м)		
FROM TO	Координаты начала и конца отрезка		

Таблица 6.9

Соединяющие отрезки

Показатель	Описание	Значение по умолчанию	Рекомендуемое значение
Графический интерфейс «Панель создания объектов – Отрезки»			
CONNECTOR	Номер отрезка	–	Создается пользователем
NAME	Имя отрезка		
FROM LINK LANES AT	Номер отрезка Полоса Длина, из которой начинается соединительный отрезок (м)		
TO LINK LANES AT	№ отрезка Полоса Длина, в котором заканчивается соединительный отрезок (м)		
DX_EMERG_STOP	Вынужденная остановка за ... м до отрезка		
DX_LANE_CHANGE	Начать перестроение за ... м до отрезка		

Таблица 6.10

Решения маршрута

Показатель	Описание	Значение по умолчанию	Рекомендуемое значение
<i>Графический интерфейс «Панель создания объектов – Решения маршрута»</i>			
ROUTING_DECISION	Номер решения маршрута	–	Создается пользователем
NAME	Имя решения маршрута		
LINK	Номер конечного отрезка решения маршрута		
AT	Конец решения маршрута относительно отрезка (м)		
TIME	Время действия решения маршрута (сек имитации)		
FROM	С		
UNTIL	До		
VEHICLE_CLASSES	Классы ТС		
ROUTE	Номер маршрута		
DESTINATION_LINK	Номер начального отрезка		
AT	Начало решения маршрута относительно отрезка (м)		
FRACTION	Количество ТС, следующих по решению маршрута (авт./ч)		

Таблица 6.11

Решения желаемой скорости

Показатель	Описание	Значение по умолчанию	Рекомендуемое значение
Графический интерфейс «Панель создания объектов – Решения желаемой скорости»			
DESIRED_SPEED_DECISION	Номер решения желаемой скорости	–	Создается пользователем
NAME	Имя решения желаемой скорости		
POSITION	Позиция		
LINK	Отрезок		
LANE	Полоса		
AT	Начало решения относительно отрезка (м)		
VEHICLE_CLASS	Класс ТС		
DESIRED_SPEED	Номер распределения желаемой скорости		
TIME	Время действия решения		
FROM	С		
UNTIL	До		

Таблица 6.12

Зоны малоскоростного движения

Показатель	Описание	Значение по умолчанию	Рекомендуемое значение
Графический интерфейс «Панель создания объектов – Зоны малоскоростного движения»			
REDUCED_SPEED_AREA	Номер зоны малоскоростного движения	–	Создается пользователем
NAME	Имя зоны малоскоростного движения		
POSITION LINK LANE AT LENGTH	Позиция № отрезка Полоса Начало зоны относительно отрезка (м) Длина зоны (м)		
VEHICLE_CLASS DESIRED_SPEED MAX_DECELERATION	Класс ТС Номер распределения желаемой скорости Номер распределения максимального ускорения		
TIME FROM UNTIL	Время действия зоны С До		

Таблица 6.13

Входящие потоки

Показатель	Описание	Значение по умолчанию	Рекомендуемое значение
<i>Графический интерфейс «Панель создания объектов – Входящие потоки»</i>			
INPUT	Номер входящего потока	–	Создается пользователем
NAME	Имя входящего потока		
LINK	Отрезок входящего потока		
Q	Количество въезжающих ТС		
COMPOSITION	Номер состава транспортного потока		
TIME FROM UNTIL	Время действия С До		

Таблица 6.14

Составы

Показатель	Описание	Значение по умолчанию	Рекомендуемое значение
<i>Графический интерфейс «Базовые данные – Состав транспортного потока»</i>			
COMPOSITION	Номер состава транспортного потока	1	Созданный (отредактированный) в процессе актуализации состав
NAME	Имя состава транспортного потока	«ПО УМОЛЧАНИЮ»	То же
VEHICLE_TYPE FRACTION	Тип ТС Процентное отношение к общему транспортному потоку	100; 200 0,98	100; 200; 300 0,83; 0,12; 0,01
DESIRED_SPEED	Номер распределения желаемой скорости	0,02	Исследуется и создается пользователем

Таблица 6.15

Распределения

Показатель	Описание	Значение по умолчанию	Рекомендуемое значение
Графический интерфейс «Базовые данные – Распределение»			
DESIRED_SPEED NAME	Номер распределения желаемой скорости Имя распределения желаемой скорости Набор точек графика (Y; X)	Приложение 3, таблица 1	Исследуется и редактируется пользователем
MASSES NAME	Номер распределения массы Имя распределения массы Набор точек графика (Y; X)	Приложение 3, таблица 2	Создаваемое в процессе актуализации распределение
POWER NAME	Номер распределения мощности Имя распределения мощности Набор точек графика (Y; X)	Приложение 3, таблица 3	То же
TIMES MEAN STANDARD_DEVIATION	Номер времени пребывания Время (сек) Стандартное отклонение	1 20 2	Наблюдаемые значения
LOCATION NAME	Номер распределения пассажиров по салону Имя Набор точек графика (Y; X)	Приложение 3, таблица 4	То же

Таблица 6.16

Распределения цветов

Показатель	Описание	Значение по умолчанию	Рекомендуемое значение
Графический интерфейс «Базовые данные – Распределения – Цвет»			
COLOR_DIST	Номер распределения	–	По необходимости создается (редактируется) пользователем
NAME	Имя распределения		
FRACTION	Доля от общего количества		
COLOR	Обозначение цвета в RGB		

Таблица 6.17

Распределения моделей транспортных средств

Показатель	Описание	Значение по умолчанию	Рекомендуемое значение
Графический интерфейс «Базовые данные – Распределения 2D/3D моделей»			
VEHICLE_MODEL_DIST	Номер модели ТС	80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10	Задается в составе задания состава транспортного потока
NAME	Имя модели ТС	Мужчина; Пешеходы; Грам-вай; Автобус; ГРУЗТР; ЛПКТР	То же
FRACTION	Доля от общего количества	Приложение 3, таблица 5	Задается пользователем
FILE	Путь файла		
AXLE FRONT	Позиция передней оси	В зависимости от характеристик модели и реальных характеристик ТС	
AXLE REAR	Позиция задней оси		
CLUTCH FRONT	Позиция переднего сочленения		
CLUTCH REAR	Позиция заднего сочленения		
SHAFT	Длина дышла		
MAX_ACCELERATION	Номер максимального ускорения	–	Редактируется пользователем в процессе актуализации психологической модели водителя
NAME	Имя		
BASE_POINT	Начальные и конечные точки (X; Y) Опорные точки (X; Y)		

Таблица 6.18

Кривые

Показатель	Описание	Значение по умолчанию	Рекомендуемое значение
<i>Графический интерфейс «Базовые данные – Распределения 2D/3D моделей»</i>			
DESIRED_ACCELERATION NAME BASE_POINT	№ желаемого ускорения Имя желаемого ускорения Начальная и конечная точки (X; Y) Опорные точки (X; Y)	–	Создается пользователем в процессе создания мо- дели улично-дорожной
MAX_DECELERATION NAME BASE_POINT	№ максимального замедления Имя Начальная и конечная точки (X; Y) Опорные точки (X; Y)		
DESIRED_DECELERATION NAME BASE_POINT	№ желаемого замедления Имя желаемого замедления Начальная и конечная точки (X; Y) Опорные точки (X; Y)		

Таблица 6.19

Правила приоритета

Показатель	Описание	Значение по умолчанию	Рекомендуемое значение
Графический интерфейс «Панель создания объектов – Правила приоритета»			
PRIORITY_RULE NUMBER NAME POSITION LINK LANE AT	Правило приоритета Номер Имя Позиция уступающих Номер отрезка Полоса Начало относительно отрезка (м)	–	Создается пользователем в процессе создания модели uniquely-дорожной сети
VEHICLE_CLASSES BY POSITION LINK LANE AT	Класс ТС Позиция неступающих Номер отрезка Полоса Начало относительно отрезка (м)		
VEHICLE_CLASSES TIME_GAP HEADWAY VMAX	Класс ТС Конф. время Конф. расстояние Макс. скорость		

Таблица 6.20

Знаки «Стоп»

Показатель	Описание	Значение по умолчанию	Рекомендуемое значение
Графический интерфейс «Панель создания объектов – Знаки “Стоп”»			
STOP_SIGN	Номер знака	–	Создается пользователем
NAME	Имя		
POSITION	Позиция		
LINK	Номер отрезка		
LANE	Полоса		
AT	Начало относительно отрезка (м)		
VEHICLE_CLASS	Класс ТС		
TIMES	Номер распределения времени стояния		
RTOR SCJ	Зеленая стрелка, если в данном светофорном объекте сигнал красный		
GROUP	Группы сигналов		

Таблица 6.21

Конфликтные зоны

Показатель	Описание	Значение по умолчанию	Рекомендуемое значение
Графический интерфейс «Панель создания объектов – Конфликтные зоны»			
CONFLICT_AREA LINK	Конфликтная зона Отрезок 1 Отрезок 2	–	Создается пользователем
VISIBILITY	Расстояние видимости Отрезок 1 Отрезок 2		
STATE	Избежать блокировки		
STOPLINE	Учитывать маршрут		
GAP_FRONT	Расстояние до ТС спереди (сек)		
GAP_BACK	Расстояние до ТС сзади (сек)		
S_DISTANCE	Фактор безопасного расстояния		

Таблица 6.22

Светофоры

Показатель	Описание	Значение по умолчанию	Рекомендуемое значение
Графический интерфейс «Панель создания объектов – Светофоры»			
SCJ	Номер светосигнальной установки	–	Создается пользователем
TYPE	Тип светофорного регулирования		
EXTERN	Сдвиг		
OFFSET	Путь файла программы		
PROGRAM_FILE	Путь диалога DLL файла		
GUI_DLL	Путь файла WTT		
WTT_FILE	Путь файла снабжения 1		
IMPORT FILE	Путь файла снабжения 2		
PROGRAM	Номер программы		
SIGNAL_GROUP	Номер группы сигналов		
NAME	Имя		
SCJ	Номер светофорного объекта		
SIGNAL_HEAD	Номер сигнальной головки		
NAME	Имя		
SCJ	Светофорный объект		
GROUP	Группа сигналов		
POSITION	Позиция		
LINK	Отрезок		
LANE	Полоса		
AT	Начало относительно отрезка (м)		
VEHICLE_CLASSES	Класс ТС		

Таблица 6.23

Общественный транспорт

Показатель	Описание	Значение по умолчанию	Рекомендуемое значение
Графический интерфейс «Панель создания объектов – остановки, маршруты ИТ» STOP NAME TYPE LINK LANE AT LENGTH LINE NAME LINK DESIRED_SPEED VEHICLE_TYPE COLOR TIME_OFFSET DESTINATION LINK AT OVER START_TIMES COURSE OCCUPANCY STOP TIMES	Номер остановки Имя остановки Тип расположения (на полосе/ в кармане) Отрезок Полоса Начало относительно отрезка (м) Длина Номер маршрута ОТ Имя Начальный отрезок Номер распределения желаемой скорости Тип ТС Цвет Сдвиг Прибытие № прибывающего отрезка Позиция на отрезке (м) Через отрезки Начало движения единицы ОТ Направление Наполненность Остановка Расписание	-	Создается пользова- телем

Таблица 6.24

Дорожная разметка

Показатель	Описание	Значение по умолчанию	Рекомендуемое значение
<i>Графический интерфейс «Панель создания объектов – разметка»</i>			
DIRECTIONARROW	Направление движения	–	Создается пользователем
LINK	Номер отрезка		
LANE	Полоса		
AT	Позиция на отрезке		
ZEBRA_CROSSING	Пешеходная зебра		
LINK	№ отрезка		
LANE	Полоса	–	Создается пользователем
AT	Позиция на отрезке		

Приложение 1

Результаты анализа баз данных зарегистрированного транспорта

Таблица 1

Базовые модели легковых автомобилей

Марка ТС	Количество зарегистрированных ТС
1. Базовая модель ВАЗ-2107	
ВАЗ-2107	10950
ВАЗ-2109	10949
ГАЗ-31	9450
ВАЗ-2114	9150
ВАЗ-2110	7900
ВАЗ-2106	7670
ВАЗ-2115	6059
ВАЗ-1118 (Калина)	5870
ВАЗ-2112	5399
ВАЗ-2121	5223
ВАЗ-2105	4926
ВАЗ-21099	4392
ВАЗ-2104	4290
ВАЗ-2101 (Жигули)	3149
ВАЗ-2101 (Жигули)	3149
ВАЗ-1111 (Ока)	2849
ВАЗ-217 (Приора)	2786
М-412	2749
ИЖ-2126 (Ода)	2084
М-21	1989
ВАЗ-2108	1987
ЗАЗ-968 (Запорожец)	1912
ВАЗ-2113	1210
ВАЗ-2103	664
ИЖ-2125	575
ВАЗ-2102	329
ГАЗ-69	264

Продолжение табл. 1

Марка ТС	Количество зарегистрированных ТС
ГАЗ-21	187
М-408	123
М-407	116
М-402	42
М-403	37
М-20	26
М-400	20
М-423	10
М-427	9
М-410	4
М-23	3
М-22	2
М-72	1
Всего	118504
% от общего числа	50,79
2. Базовая модель HONDA-CIVIC	
HONDA-CIVIC	1339
HONDA-CR-V	1316
HONDA-ACCORD	766
HONDA-JAZZ	420
HONDA-FIT	159
HONDA-HRV	149
Всего	4149
% от общего числа	14,78
3. Базовая модель NISSAN-ALMERA	
NISSAN-ALMERA	1680
NISSAN-X-TRAIL	1058
NISSAN SIMBOL	894
NISSAN-QASHQAI	803
NISSAN PRIMERA	770
NISSAN-NOTE	630
NISSAN-PATROL	376
NISSAN-MICRA	322
NISSAN-PATHFINDER	292
NISSAN MAXIMA	270
NISSAN TIIDA	259

Продолжение табл. 1

Марка ТС	Количество зарегистрированных ТС
NISSAN-SUNNY	258
NISSAN-MARCH	166
NISSAN MURANO	140
NISSAN CUBE	118
NISSAN-LARGO	5
NISSAN-SKYLINE	31
Всего	8875
% от общего числа	3,80
4. Базовая модель TOYOTA-COROLLA	
TOYOTA-COROLLA	4653
TOYOTA-LANDCRUISER	2721
TOYOTA-RAV4	2236
TOYOTA-CAMRY	1790
TOYOTA-AVENISIS	1363
TOYOTA LANDCRUISER PRADO	842
TOYOTA-AURIS	609
TOYOTA-YARIS	443
TOYOTA-CARINA	370
TOYOTA-VITZ	238
TOYOTA-HI-ACE	12
TOYOTA-TOWN-ACE	8
TOYOTA CALDINA	123
Всего	15404
% от общего числа	6,60
5. Базовая модель FORD-FOCUS	
FORD-FOCUS	3846
FORD-FUSION	1678
FORD-MONDEO	446
FORD-C-MAX	303
FORD-SIERRA	127
FORD SCORPIO	97
Всего	6497
% от общего числа	2,78

Продолжение табл. 1

Марка ТС	Количество зарегистрированных ТС
6. Базовая модель УАЗ-3151 (469)	
УАЗ-3151 (469)	2383
УАЗ Патриот	348
Всего	2731
% от общего числа	1,17
7. Базовая модель MITSUBISHI-LANCER	
MITSUBISHI-LANCER	3033
MITSUBISHI-PAJERO	1232
MITSUBISHI-OUTLANDER	862
MITSUBISHI-COLT	301
MITSUBISHI-CARISMA	289
MITSUBISHI-GALANT	287
Всего	6004
% от общего числа	2,57
8. Базовая модель OPEL-ASTRA	
OPEL-ASTRA	1409
OPEL-CORSA	1013
OPEL VECTRA	399
OPEL-MERIVA	201
OPEL-ZAFIRA	191
OPEL-KADETT	172
Всего	3385
% от общего числа	1,45
9. Базовая модель KIA-SPECTRA	
KIA-SPECTRA	1401
KIA-SPORTAGE	1084
KIA-CERATO	725
KIA-PICANTO	581
KIA CEED	576
KIA RIO	556
KIA-BESTA	3
KIA-SORENTO	449
Всего	5371
% от общего числа	2,30

Продолжение табл. 1

Марка ТС	Количество зарегистрированных ТС
10. Базовая модель AUDI-80	
AUDI-80	347
AUDI-A4	325
AUDI-A6	313
AUDI-100	262
AUDI-Q7	131
AUDI-A3	78
AUDI-A8	50
AUDI-Q5	48
AUDI-TT	30
AUDI ALLROAD	22
AUDI-90	18
AUDI-200	12
AUDI-S5	7
AUDI-S4	4
AUDI-V8	4
Всего	1651
% от общего числа	0,71
11. Базовая модель LAND-ROVER-RANGE-ROVER	
LAND-ROVER-RANGE-ROVER	312
LAND-ROVER-FREELANDER	259
LAND-ROVER-DISCOVERY	220
LAND-ROVER-DEFENDER	220
Всего	1011
% от общего числа	0,43
12. Базовая модель JEEP-GRAND-CHEROKEE	
JEEP-GRAND-CHEROKEE	380
Всего	380
% от общего числа	0,16
13. Базовая модель DODGE-CALIBER	
DODGE-CALIBER	122
DODGE-CARAVAN	31
DODGE INREPID	20
Всего	173
% от общего числа	0,07

Продолжение табл. 1

Марка ТС	Количество зарегистрированных ТС
14. Базовая модель FIAT ALBEA	
FIAT ALBEA	400
FIAT-PUNTO	154
FIAT PANDA	88
Всего	642
% от общего числа	0,28
15. Базовая модель SKODA-OCTAVIA	
SKODA-OCTAVIA	1100
SKODA-FABIA	523
Всего	1623
% от общего числа	0,70
16. Базовая модель PEUGEOT-206	
PEUGEOT-206	629
PEUGEOT-307	441
PEUGEOT-207	109
PEUGEOT-308	106
Всего	1285
% от общего числа	0,55
17. Базовая модель SUZUKI-GRAND-VITARA	
SUZUKI-GRAND-VITARA	1133
SUZUKI-SX4	272
SUZUKI-JIMNY	155
SUZUKI-LIANA	129
SUZUKI-SWIFT	109
SUZUKI IGNIS	88
Всего	2515
% от общего числа	1,08
18. Базовая модель SUBARU-IMPREZA	
SUBARU-IMPREZA	1370
SUBARU-FORESTER	1004
SUBARU-LEGACY	629
Всего	2374
% от общего числа	1,02

Продолжение табл. 1

Марка ТС	Количество зарегистрированных ТС
19. Базовая модель MAZDA-3	
MAZDA-3	1138
MAZDA-6	840
MAZDA DEMIO	258
MAZDA-CX-7	211
MAZDA-626	158
MAZDA-323	99
MAZDA FAMILIA	88
MAZDA-2	58
MAZDA-5	44
MAZDA-CX-9	16
MAZDA-RX8	14
Всего	2924
% от общего числа	1,25
20. Базовая модель HYUNDAI-GETZ	
HYUNDAI-GETZ	2646
HYUNDAI-ACCENT	2140
HYUNDAI-TUCSON	1492
HYUNDAI-ELANTRA	1057
HYUNDAI-SONATA	958
HYUNDAI-SANTA-FE	623
HYUNDAI-MATRIX	419
HYUNDAI VERNA	124
Всего	9459
% от общего числа	4,05
21. Базовая модель VOLVO-460	
VOLVO-460	480
VOLVO-XC90	245
VOLVO-S40	142
VOLVO-S80	65
VOLVO-S60	52
VOLVO-C30	34
VOLVO-740	27
VOLVO-440	23
VOLVO-850	22
VOLVO-244	19

Продолжение табл. 1

Марка ТС	Количество зарегистрированных ТС
VOLVO-340	19
VOLVO-760	16
VOLVO-XC60	8
Всего	1152
<i>% от общего числа</i>	<i>0,49</i>
22. Базовая модель DAEWOO-NEXIA	
DAEWOO-NEXIA	3604
DAEWOO-MATIZ	2457
Всего	6061
<i>% от общего числа</i>	<i>2,60</i>
23. Базовая модель RENAULT-LOGAN	
RENAULT-LOGAN	3345
RENAULT-SYMBOL	894
RENAULT-MEGANE	121
Всего	4360
<i>% от общего числа</i>	<i>1,87</i>
24. Базовая модель CHEVROLET-LANOS	
CHEVROLET-LANOS	2023
CHEVROLET-LACETTI	1750
CHEVROLET-AVEO	1005
CHEVROLET-SPARK	327
CHEVROLET CAPTIVA	161
Всего	5266
<i>% от общего числа</i>	<i>2,26</i>
25. Базовая модель VOLKSWAGEN-PASSAT	
VOLKSWAGEN-PASSAT	1064
VOLKSWAGEN-GOLF	771
VOLKSWAGEN-TOUAREG	598
VOLKSWAGEN-JETTA	377
VOLKSWAGEN-TIGUAN	201
VOLKSWAGEN-POINTER	159
VOLKSWAGEN-CARAVELLE	4
VOLKSWAGEN-POLO	123
Всего	3297
<i>% от общего числа</i>	<i>1,41</i>

Окончание табл. 1

Марка ТС	Количество зарегистрированных ТС
26. Базовая модель LEXUS-RX350	
LEXUS-RX350	459
LEXUS-RX300	353
LEXUS-RX330	305
LEXUS-LX-470	147
LEXUS-LX-570	95
LEXUS-RX-400	59
LEXUS-RX450	13
Всего	1431
% от общего числа	0,61
27. Базовая модель MERCEDES-BENZ-C Класс	
MERCEDES-BENZ-C (+CL, CLS, CLA)	445
MERCEDEC-BENZ-E	413
MERCEDEC-BENZ-M	225
MERCEDEC-BENZ-S	188
MERCEDEC-BENZ-G (+GL, GLK)	142
MERCEDES-BENZ-A	101
MERCEDES-BENZ-100D	14
MERCEDES-BENZ-B	34
Всего	1562
% от общего числа	0,66
28. Базовая модель BMW-X5	
BMW-X5	589
BMW-520	172
Всего	761
% от общего числа	0,33
29. Базовая модель ГАЗ	
ГАЗ-3221	480
ГАЗ-2217	20
Всего	500
% от общего числа	0,23
30. Базовая модель ИЖ-27156	
ИЖ-27156	148
Всего	148
% от общего числа	0,06

Таблица 2

Базовые автомобили грузовых ТС

Марка ТС	Количество зарегистрированных ТС	Базовая модель	% от общего числа транспортного потока
ГАЗ-3310	54	ГАЗ-3310	0,62
ЗИЛ-131	169	ЗИЛ-131	3,98
ЗИЛ-157	58		
ЗИЛ-441	17		
ЗИЛ-5301	105		
КАМАЗ-5320	269	КАМАЗ-5320	5,59
КАМАЗ-5411	175		
КАМАЗ-55102	47		
МАЗ-5432	176	МАЗ-5432	3,22
МАЗ-5516	55		
МАЗ-64229	52		

Таблица 3

Базовые модели автопоездов

Марка ТС	Количество зарегистрированных ТС	Из них самосвалов, %	Из них цистерн, %	Базовая модель	% от общего числа транспортных потока
FORD-TRANSIT	25			FORD-TRANSIT	0,28
FREIGHTLINER	183			FREIGHTLINER CLASSIC	2,09
HINO-RANGER	97			HINO-RANGER	1,11
INTERNATIONAL-9800	28			INTERNATIONAL-9800	0,32
ISUZU-ELF	66			ISUZU-ELF	1,46
ISUZU-FORWARD	62				
IVECO	74			IVECO	0,84
MAN	285			MAN	3,25
MAZDA-TITAN	43			MAZDA-TITAN	0,49
MERCEDES-BENZ	149			MERCEDES-BENZ	1,70
MITSUBISHI-CANTER	50				
MITSUBISHI-FUSO	106			MITSUBISHI-FUSO	1,78
NISSAN-ATLAS	56				
NISSAN-DIESEL	70			NISSAN-DIESEL	1,44

Продолжение табл. 3

Марка ТС	Количество зарегистрированных ТС	Из них самосвалов, %	Из них цистерн, %	Базовая модель	% от общего числа транспортных потока
RENAULT-PREMIUM-420	104			RENAULT-PREMIUM-420	1,19
SCANIA	190	77,37		SCANIA	2,16
TOYOTA-DYNA	33			TOYOTA-DYNA	0,38
VOLVO-F12	44				
VOLVO-FH12	191			VOLVO-FH12	3,21
VOLVO-VNL	47				
ГАЗ-2217	122				
ГАЗ-3302	141				
ГАЗ-3307	240	1,67	7,92		
ГАЗ-3309	252	0,40	0,79	ГАЗ-3309	13,72
ГАЗ-52	166	1,20	2,41		
ГАЗ-53	204	5,88	6,37		
ГАЗ-66	79				

Окончание табл. 3

Марка ТС	Количество зарегистрированных ТС	Из них самосвалов, %	Из них цистерн, %	Базовая модель	% от общего числа транспортных потоков
ЗИЛ-130	197	2,03	3,05		
ЗИЛ-431	201	1,49	3,98		
ЗИЛ-433	180	1,67	3,33		
ЗИЛ-ММЗ-45	221	98,19		ЗИЛ-431	10,00
ЗИЛ-ММЗ-554М	47	95,74			
ЗИЛ-ММЗ-555	32	96,88			
КАМАЗ-5321	371	0,27	1,89		
КАМАЗ-5410	235	2,55			
КАМАЗ-5511	511	91,59		КАМАЗ-5321	16,23
КАМАЗ-6511	238	58,82			
КАМАЗ-6520	69	79,71			
КРАЗ	129	34,88		КРАЗ	1,47
МАЗ-533	85	1,18	11,76		
МАЗ-5549	15	93,33		МАЗ-533	0,01
УАЗ-2206	31				
УРАЛ-4320	155	1,94	2,58		
УРАЛ-5557	84	45,24		УРАЛ-4320	3,08

Таблица 4

Базовые модели автомобилей ТС общего пользования

Марка ТС	Количество зарегистрированных ТС	Базовая модель	% от общего числа транспортных потока
MERCEDES-BENZ-0405	252	MERCEDES-BENZ-0405	21,43
MERCEDES-BENZ-0307	124		
MERCEDES-BENZ-0303	14		
MERCEDES-BENZ-0325	39		
MERCEDES-BENZ-0407	18		
MERCEDES-BENZ-AG-0305	5		
MAN-NG-272	5	MAN-SL-202	14,04
MAN-SU-240	32		
MAN-NL-202	43		
MAN-SL-200	43		
MAN-SUE-240	71		
MAN-SL-202	102		
ПА3-32050R	48		
ПА3-672	12		
ПА3-4234	90	ПА3-3205	14,98
ПА3-3205	166		

Окончание табл. 4

Марка ТС	Количество зарегистрированных ТС	Базовая модель	% от общего числа транзитного потока
ЛУАЗ-969А	31	ЛУАЗ-969А	1,47
РАФ-2203	30	РАФ-2203	1,42
DAIMLER-BENZ-0405	26		
DAIMLER-BENZ-0307	28	DAIMLER-BENZ-0307	3,22
DAIMLER-BENZ-0305	14		
NUSA-522	16	NUSA-522	0,76
КАВЗ-3976	11		
КАВЗ-685	26	КАВЗ-685	1,75
SSANGYONG-ISTANA	14	SSANGYONG-ISTANA	0,66
IKARUS-260	25	IKARUS-260	1,19
ЛАЗ-695Н	15	ЛАЗ-695Н	0,71
МАЗ-103476	8	МАЗ-103476	0,38
SETRA-S-215HR	10		
SETRA-S-215HD	14		
SETRA-S-215SL	21	SETRA-S-215SL	4,18
SETRA-S-215UL	10		
SETRA-S-215H	33		
HEFA3-5299	12	HEFA3-5299	0,57
SCANIA-112	12	SCANIA-112	0,57

Значения вероятности изменения решения водителя о проезде стоп-линии на желтый сигнал. Замедление перед стоп-линией

Таблица 1

Изменение вероятности выезда за стоп-линию в зависимости от расстояния до стоп-линии и скорости ТС согласно стандартным параметрам PTV Vision® VISSIM

Скорость, км/ч	Дистанция, м									
	1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
1-10	0,791378	0,978419	0,999637	0,999976	0,999998	1	1	1	1	1
11-20	0,315055	0,80506	0,980385	0,998625	0,999907	0,999994	1	1	1	1
21-30	0,04425	0,332897	0,818134	0,978829	0,998756	0,999916	0,999994	1	1	1
31-40	0,003608	0,048437	0,351158	0,735315	0,983814	0,998874	0,999924	0,999995	1	1
41-50	0,000187	0,003984	0,052978	0,369797	0,842444	0,985304	0,998981	0,999931	0,999995	1
51-60	0	0,000276	0,004073	0,053716	0,366444	0,835137	0,984113	0,998893	0,999925	0,999996

Таблица 2

**Наблюдаемое изменение вероятности выезда за стоп-линию
в зависимости от расстояния до стоп-линии и скорости ТС**

Скорость, км/ч	Дистанция, м										
	1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100	
1-10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
11-20	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
21-30	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
31-40	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	
41-50	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	
51-60	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	

Таблица 3
Значения требуемого замедления для различных значений скорости и дистанции

Скорость, км/ч	Дистанция, м									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	-0,13889	-0,06944	-0,0463	-0,03472	-0,02778	-0,02315	-0,01984	-0,01736	-0,01543	-0,01389
20	-0,27778	-0,13889	-0,09259	-0,06944	-0,05556	-0,0463	-0,03968	-0,03472	-0,03086	-0,02778
30	-0,41667	-0,20833	-0,13889	-0,10417	-0,08333	-0,06944	-0,05952	-0,05208	-0,0463	-0,04167
40	-0,55556	-0,27778	-0,18519	-0,13889	-0,11111	-0,09259	-0,07937	-0,06944	-0,06173	-0,05556
50	-0,69444	-0,34722	-0,23148	-0,17361	-0,13889	-0,11574	-0,09921	-0,08681	-0,07716	-0,06944
60	-0,83333	-0,41667	-0,27778	-0,20833	-0,16667	-0,13889	-0,11905	-0,10417	-0,09259	-0,08333

Продолжение табл. 1

№	Название	Значение скорости 1		Доля транспортното		Значение скорости 2		Доля транспортното		Значение скорости 3		Доля транспортното		Значение скорости 4		Доля транспортното		Значение скорости 5		Доля транспортното		Значение скорости 6		Доля транспортното		Значение скорости 7		Доля транспортното													
		30,00	40,00	0,00	0,00	35,00	1,00	0,00	0,00	45,00	1,00	0,00	0,00	58,00	1,00	0,00	0,00	68,00	1,00	0,00	0,00	78,00	1,00	0,00	0,00	80,00	0,05	0,80	0,80	100,00	0,95	0,95	110,00	1,00	1,00	120,00	1,00	1,00	130,00	1,00	1,00
30	30 km/h	30,00	0,00	0,00	1,00	35,00	1,00	0,00	0,00	45,00	1,00	0,00	0,00	58,00	1,00	0,00	0,00	68,00	1,00	0,00	0,00	78,00	1,00	0,00	0,00	80,00	0,05 <td>0,80</td> <td>0,80</td> <td>100,00</td> <td>0,95</td> <td>0,95</td> <td>110,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>120,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>130,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td>	0,80	0,80	100,00	0,95	0,95	110,00	1,00	1,00	120,00	1,00	1,00	130,00	1,00	1,00
40	40 km/h	40,00	0,00	0,00	1,00	45,00	1,00	0,00	0,00	58,00	1,00	0,00	0,00	68,00	1,00	0,00	0,00	78,00	1,00	0,00	0,00	80,00	0,05 <td>0,80</td> <td>0,80</td> <td>100,00</td> <td>0,95</td> <td>0,95</td> <td>110,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>120,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>130,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>130,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td>	0,80	0,80	100,00	0,95	0,95	110,00	1,00	1,00	120,00	1,00	1,00	130,00	1,00	1,00	130,00	1,00	1,00	
50	50 km/h	48,00	0,00	0,00	1,00	58,00	1,00	0,00	0,00	68,00	1,00	0,00	0,00	78,00	1,00	0,00	0,00	80,00	0,05 <td>0,80</td> <td>0,80</td> <td>100,00</td> <td>0,95</td> <td>0,95</td> <td>110,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>120,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>120,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>120,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>130,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td>	0,80	0,80	100,00	0,95	0,95	110,00	1,00	1,00	120,00	1,00	1,00	120,00	1,00	1,00	120,00	1,00	1,00	130,00	1,00	1,00		
60	60 km/h	58,00	0,00	0,00	1,00	68,00	1,00	0,00	0,00	78,00	1,00	0,00	0,00	80,00	0,05 <td>0,80</td> <td>0,80</td> <td>100,00</td> <td>0,95</td> <td>0,95</td> <td>110,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>120,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>120,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>120,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>120,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>130,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>130,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td>	0,80	0,80	100,00	0,95	0,95	110,00	1,00	1,00	120,00	1,00	1,00	120,00	1,00	1,00	120,00	1,00	1,00	120,00	1,00	1,00	130,00	1,00	1,00	130,00	1,00	1,00
70	70 km/h	68,00	0,00	0,00	1,00	78,00	1,00	0,00	0,00	80,00	0,05 <td>0,80</td> <td>0,80</td> <td>100,00</td> <td>0,95</td> <td>0,95</td> <td>110,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>120,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>120,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>120,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>120,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>120,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>120,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>130,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td>	0,80	0,80	100,00	0,95	0,95	110,00	1,00	1,00	120,00	1,00	1,00	120,00	1,00	1,00	120,00	1,00	1,00	120,00	1,00	1,00	120,00	1,00	1,00	120,00	1,00	1,00	130,00	1,00	1,00	
80	80 km/h	75,00	0,00	0,00	1,00	80,00	0,05 <td>0,80</td> <td>0,80</td> <td>88,00</td> <td>1,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>90,00</td> <td>0,80</td> <td>0,80</td> <td>100,00</td> <td>0,95</td> <td>0,95</td> <td>110,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>120,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>120,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>120,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>120,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>120,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>130,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td>	0,80	0,80	88,00	1,00	0,00	0,00	90,00	0,80	0,80	100,00	0,95	0,95	110,00	1,00	1,00	120,00	1,00	1,00	120,00	1,00	1,00	120,00	1,00	1,00	120,00	1,00	1,00	120,00	1,00	1,00	130,00	1,00	1,00	
85	85 km/h	84,00	0,00	0,00	1,00	88,00	1,00	0,00	0,00	90,00	0,05 <td>0,80</td> <td>0,80</td> <td>100,00</td> <td>0,95</td> <td>0,95</td> <td>110,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>120,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>120,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>120,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>120,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>120,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>120,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>130,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td>	0,80	0,80	100,00	0,95	0,95	110,00	1,00	1,00	120,00	1,00	1,00	120,00	1,00	1,00	120,00	1,00	1,00	120,00	1,00	1,00	120,00	1,00	1,00	120,00	1,00	1,00	130,00	1,00	1,00	
90	90 km/h	85,00	0,00	0,00	1,00	90,00	0,05 <td>0,80</td> <td>0,80</td> <td>95,00</td> <td>0,03 <td>0,10</td> <td>0,10</td> <td>100,00</td> <td>0,10</td> <td>0,10</td> <td>110,00</td> <td>0,70</td> <td>0,70</td> <td>120,00</td> <td>0,91</td> <td>0,91</td> <td>120,00</td> <td>0,91</td> <td>0,91</td> <td>120,00</td> <td>0,91</td> <td>0,91</td> <td>120,00</td> <td>0,91</td> <td>0,91</td> <td>120,00</td> <td>0,91</td> <td>0,91</td> <td>120,00</td> <td>0,91</td> <td>0,91</td> <td>130,00</td> <td>0,91</td> <td>0,91</td> </td>	0,80	0,80	95,00	0,03 <td>0,10</td> <td>0,10</td> <td>100,00</td> <td>0,10</td> <td>0,10</td> <td>110,00</td> <td>0,70</td> <td>0,70</td> <td>120,00</td> <td>0,91</td> <td>0,91</td> <td>120,00</td> <td>0,91</td> <td>0,91</td> <td>120,00</td> <td>0,91</td> <td>0,91</td> <td>120,00</td> <td>0,91</td> <td>0,91</td> <td>120,00</td> <td>0,91</td> <td>0,91</td> <td>120,00</td> <td>0,91</td> <td>0,91</td> <td>130,00</td> <td>0,91</td> <td>0,91</td>	0,10	0,10	100,00	0,10	0,10	110,00	0,70	0,70	120,00	0,91	0,91	120,00	0,91	0,91	120,00	0,91	0,91	120,00	0,91	0,91	120,00	0,91	0,91	120,00	0,91	0,91	130,00	0,91	0,91	
100	100 km/h	88,00	0,00	0,00	1,00	95,00	0,03 <td>0,10</td> <td>0,10</td> <td>100,00</td> <td>0,03 <td>0,10</td> <td>0,10</td> <td>100,00</td> <td>0,10</td> <td>0,10</td> <td>110,00</td> <td>0,70</td> <td>0,70</td> <td>120,00</td> <td>0,91</td> <td>0,91</td> <td>120,00</td> <td>0,91</td> <td>0,91</td> <td>120,00</td> <td>0,91</td> <td>0,91</td> <td>120,00</td> <td>0,91</td> <td>0,91</td> <td>120,00</td> <td>0,91</td> <td>0,91</td> <td>120,00</td> <td>0,91</td> <td>0,91</td> <td>130,00</td> <td>0,91</td> <td>0,91</td> </td>	0,10	0,10	100,00	0,03 <td>0,10</td> <td>0,10</td> <td>100,00</td> <td>0,10</td> <td>0,10</td> <td>110,00</td> <td>0,70</td> <td>0,70</td> <td>120,00</td> <td>0,91</td> <td>0,91</td> <td>120,00</td> <td>0,91</td> <td>0,91</td> <td>120,00</td> <td>0,91</td> <td>0,91</td> <td>120,00</td> <td>0,91</td> <td>0,91</td> <td>120,00</td> <td>0,91</td> <td>0,91</td> <td>120,00</td> <td>0,91</td> <td>0,91</td> <td>130,00</td> <td>0,91</td> <td>0,91</td>	0,10	0,10	100,00	0,10	0,10	110,00	0,70	0,70	120,00	0,91	0,91	120,00	0,91	0,91	120,00	0,91	0,91	120,00	0,91	0,91	120,00	0,91	0,91	120,00	0,91	0,91	130,00	0,91	0,91	

Окончание табл. 1 (по горизонтали)

№	Название	Значение скорости 8	Доля транспортногo потока со значением 8	Значение скорости 9	Доля транспортногo потока со значением 9	Значение скорости 10	Доля транспортногo потока со значением 10	Значение скорости 11	Доля транспортногo потока со значением 11	Значение скорости 12	Доля транспортногo потока со значением 12	Значение скорости 13	Доля транспортногo потока со значением 13	Значение скорости 14	Доля транспортногo потока со значением 14	Значение скорости 15	Доля транспортногo потока со значением 15
1003	Predt-Milinski	3,90	0,79	4,50	0,85	5,10	0,89	5,70	0,927	6,30	0,95	6,90	0,98	4,50	0,99	8,10	1,00
1004	Fruin 1	5,28	0,96	5,73	0,98	6,18	0,99	-	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-
1005	Fruin 2	5,28	0,89	5,73	0,97	6,18	0,99	-	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-
1006	Stairs Kretz 1	4,68	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1007	Stairs Kretz 2	1,80	0,97	1,98	0,99	2,16	0,99	2,34	0,992	2,52	1,00	2,70	1,00	4,14	1,00	-	-

Таблица 2

**Распределения массы, предложенные в PTV
Vision® VISSIM по умолчанию**

№	Название	Значение 1	Доля транспортного потока со значением 1	Значение 2	Доля транспортного потока со значением 2	Значение 3	Доля транспортного потока со значением 3
1	ЛГКТР	800.00	0.000	2000.00	1.000	–	–
2	ГРУЗТР	2800.00	0.000	40000.00	1.000	–	–
3	Автобус	4000.00	0.000	12000.00	1.000	–	–
4	Трамвай	23000.00	0.000	58000.00	1.000	–	–
5	Пеш.	30.00	0.000	120.00	1.000	–	–
6	Bike	40.00	0.000	130.00	1.000	–	–
7	Dreyfuss M	73.70	0.000	83.10	1.000	–	–
8	Dreyfuss F	53.40	0.000	62.50	0.500	78.80	1.000

Таблица 3

**Распределение мощности, предложенные
в PTV Vision® VISSIM по умолчанию**

№	Значение 1	Доля транспортного потока со значением 1	Значение 2	Доля транспортного потока со значением 2
1	55.00	0.000	160.00	1.000
2	150.00	0.000	400.00	1.000
3	150.00	0.000	300.00	1.000
4	300.00	0.000	600.00	1.000
5	0.50	0.000	0.70	1.000
6	0.50	0.000	0.70	1.000

Таблица 4

**Распределения пассажиров по салону, предложенные
в PTV Vision® VISSIM по умолчанию**

№	Название	Значение 1	Доля транспортного потока со значением 1	Значение 2	Доля транспортного потока со значением 2	Значение 3	Доля транспортного потока со значением 3	Значение 4	Доля транспортного потока со значением 4
1	Равномерно распределено	0.00	0.000	1.00	1.000				
2	Центр	0.00	0.000	0.30	0.200	0.70	0.800	1.00	1.000
3	Впереди	0.00	0.000	0.30	0.800	1.00	1.000		
4	Сзади	0.00	0.000	0.70	0.200	1.00	1.000		
5	Впереди и сзади	0.00	0.000	0.30	0.400	0.70	0.600	1.00	1.000

Таблица 5

Распределение 3d-моделей, предложенные в PTV Vision® VISSIM по умолчанию

Название распределения моделей	Доля от общего потока	Путь файла	Длина	Позиция передней оси	Позиция задней оси	Длина лысла	Позиция переднего сочленения	Позиция заднего сочленения
Женщина	0.100	#3dmodels#vehicles\Woman20Fram4Col-01.v3d	0.360	-0.030	0.000	0.000	-0.030	0.000
	0.100	#3dmodels#vehicles\Woman20Fram4Col-02.v3d	0.342	-0.033	0.000	0.000	-0.033	0.000
	0.100	#3dmodels#vehicles\Woman20Fram4Col-03.v3d	0.397	-0.030	0.000	0.000	-0.030	0.000
	0.100	#3dmodels#vehicles\Woman20Fram4Col-04.v3d	0.310	-0.030	0.000	0.000	-0.030	0.000
Мужчина	0.100	#3dmodels#vehicles\Man20Fram4Col-01.v3d	0.456	-0.065	0.000	0.000	-0.065	0.000
	0.100	#3dmodels#vehicles\Man20Fram4Col-02.v3d	0.409	-0.026	0.000	0.000	-0.026	0.000
	0.100	#3dmodels#vehicles\Man20Fram4Col-03.v3d	0.442	-0.030	0.000	0.000	-0.030	0.000
	0.100	#3dmodels#vehicles\Man20Fram4Col-04.v3d	0.435	-0.027	0.000	0.000	-0.027	0.000
Вело или мото гр.	0.100	#3dmodels#vehicles\bike.v3d	1.445	0.232	1.097	0.000	0.000	1.408

Продолжение табл. 5

Название распределения моделей	Доля от общего потока	Путь файла	Длина	Позиция передней оси	Позиция задней оси	Длина дышла	Позиция переднего сочленения	Позиция заднего сочленения
Пешеходы	0.100	#3dmodels#vehicles\Man20Frames1.v3d	0.456	-0.065	0.000	0.000	-0.065	0.000
	0.100	#3dmodels#vehicles\Man20Frames2.v3d	0.409	-0.026	0.000	0.000	-0.026	0.000
	0.100	#3dmodels#vehicles\Man20Frames3.v3d	0.442	-0.030	0.000	0.000	-0.030	0.000
	0.100	#3dmodels#vehicles\Man20Frames4.v3d	0.435	-0.027	0.000	0.000	-0.027	0.000
	0.100	#3dmodels#vehicles\Woman20Frames1.v3d	0.360	-0.030	0.000	0.000	-0.030	0.000
	0.100	#3dmodels#vehicles\Woman20Frames2.v3d	0.342	-0.033	0.000	0.000	-0.033	0.000
	0.100	#3dmodels#vehicles\Woman20Frames3.v3d	0.397	-0.030	0.000	0.000	-0.030	0.000
	0.100	#3dmodels#vehicles\Woman20Frames4.v3d	0.310	-0.034	0.000	0.000	-0.034	0.000
	0.100	#3dmodels#vehicles\tram.v3d	15.698	3.385	12.346	1.224	0.144	15.819
	0.100	#3dmodels#vehicles\bus.v3d	11.541	2.567	8.446	0.000	0.000	11.262
ГРУЗТР	0.100	#3dmodels#vehicles\truck.v3d	10.215	1.559	7.333	0.000	0.000	9.940

Окончание табл. 5

Название распределения моделей	Доля от общего потока	Путь файла	Длина	Позиция передней оси	Позиция задней оси	Длина дышла	Позиция переднего сочленения	Позиция заднего сочленения
ЛГКТР	0.260	#3dmodels#vehicles\car1.v3d	4.110	0.850	3.336	0.000	0.000	4.026
	0.180	#3dmodels#vehicles\car2.v3d	4.550	0.808	3.494	0.000	0.000	4.550
	0.180	#3dmodels#vehicles\car3.v3d	4.610	0.935	3.695	0.000	0.000	4.600
	0.180	#3dmodels#vehicles\car4.v3d	4.760	0.910	3.695	0.000	0.000	4.713
	0.160	#3dmodels#vehicles\car5.v3d	4.400	0.800	3.298	0.000	0.000	4.400
	0.020	#3dmodels#vehicles\car6.v3d	4.340	0.873	3.212	0.000	0.000	4.340

Список литературы

1. *Якимов М.Р., Попов Ю.А.* Транспортное планирование: практические рекомендации по созданию транспортных моделей городов в программном комплексе PTV Vision® VISUM: монография. – М.: Логос, 2014. – 200 с.
2. *Трофименко Ю.В., Якимов М.Р.* Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов: монография. – М.: Логос, 2013. – 464 с.
3. Концепция транспортного планирования и организации движения в крупных городах. – Пермь: Перм. гос. тех. ун-т., 2011. – 175 с.
4. ГОСТ Р 52051-2003 Механические транспортные средства и прицепы. Классификация и определения.
5. *Селифонов В.В., Хусаинов А.Ш., Ломакин В.В.* Теория автомобиля: учеб. пособие. – М.: МГТУ «МАМИ», 2007. – 102 с.
6. Тягово-динамический и топливно-экономический расчет автомобиля: Методические рекомендации по выполнению курсовой работы. – М.: Изд-во МГАУ, 2002. – 39 с.
7. *Нарбут А.Н.* Теория автомобиля: учеб. пособие: Часть 1. – М.: Изд-во МАДИ (ТУ). 2000. – 39с.
8. ГОСТ 30413 – 96 Дороги автомобильные. Метод определения коэффициента сцепления колеса автомобиля с дорожным покрытием.
9. *Клинковштейн Г.И., Афанасьев М.Б.* Организация дорожного движения: учебник.– 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 2001. – 247 с.
10. ГОСТ 51709 – 2001 Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки.
11. *Коноплянко В.И.* Основы безопасности дорожного движения. – М.: ДОСААФ, 1978. – 128 с.
12. VISSIM 5.30. Руководство пользователя. СПб.: А+С Консалт, 2011.
13. Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах. / Росавтодор Минтранса России. – М., 2002. – 220 с.
14. ГОСТ Р 52399 – 2005 Геометрические элементы автомобильных дорог.

-
15. Зверев А.С. Синоптическая метеорология: учеб. пособие. – 2-е изд. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1997. – 712с.
 16. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.
 17. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда): учеб. пособие для вузов/П.П. Кукин, В.Л. Лапин, Н.Л. Пономарев и др. – 4-е изд., перераб. – М.: Высш. шк., 2007. – 335 с.
 18. SRTM [Эл. ресурс] – Режим доступа: <http://wiki.risk.ru/index.php/SRTM>

Научное издание

Михаил Ростиславович Якимов
Анна Алексеевна Арепьева

Транспортное планирование:
особенности моделирования транспортных
потоков в крупных российских городах

Монография

Редактор *Комарова Е.В.*
Корректор *Нотик А.А.*
Верстка и оформление *Моисеев А.М.*

Подписано в печать 01.12.2015. Формат 60×90/16.
Печать офсетная. Печ. л. 17,5.
Тираж 500 экз. Заказ №

Издательская группа «Логос»

Юридический адрес: 123104, Москва,
Б. Палашевский пер., д. 9, стр. 1

Почтовый адрес: 111024, Москва,
ул. Авиамоторная, д. 55, корп. 31, офис 305

Тел. (495) 981-51-12; 955-78-30; +7 (985) 165-36-36

Электронная почта: universitas@mail.ru

Сайт <http://www.logos.ru>