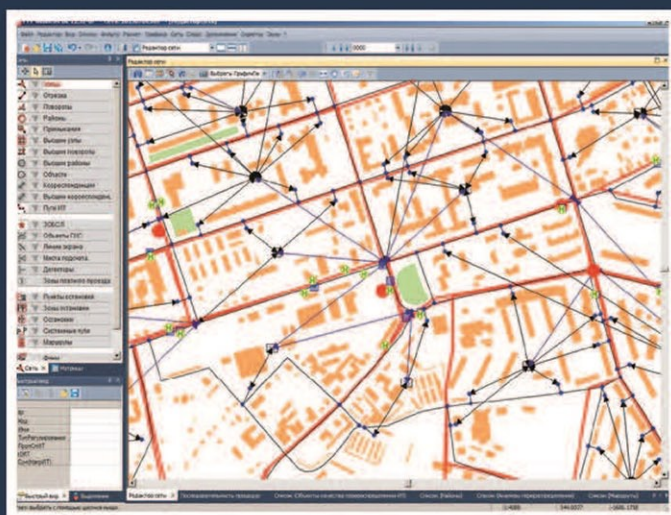


М.Р. ЯКИМОВ
Ю.А. ПОПОВ



ТРАНСПОРТНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО СОЗДАНИЮ ТРАНСПОРТНЫХ МОДЕЛЕЙ
ГОРОДОВ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ
PTV Vision® VISUM

УДК 656.02
ББК 39.11
Я45

Рецензенты:

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

В.В. Калинина, начальник отдела транспортного планирования ЗАО «Институт «Стройпроект»

Я45 **Якимов М.Р., Попов Ю.А.**

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.

ISBN 978-5-98704-488-9

В монографии рассмотрены практические аспекты процесса создания прогнозных транспортных моделей городов с использованием программного комплекса PTV Vision® VISUM. Подробно представлены как особенности рассматриваемого программного комплекса, так и общие практические приемы и подходы к созданию, калибровке и последующей работе с транспортными моделями. Даны подробные практические рекомендации по методам и технологиям калибровки транспортной модели. Особое внимание уделено особенностям работы с транспортной моделью: рассмотрены виды прогнозных сценариев, основные подходы к их формированию, приведены примеры реально выполненных работ по моделированию различных прогнозных сценариев. Даны практические рекомендации по анализу и представлению результатов моделирования и обмену данными с другими программными продуктами.

Книга предназначена для специалистов в области транспортного планирования и моделирования, студентов, аспирантов и преподавателей транспортных вузов и специальностей. Данные в книге рекомендации были выработаны в результате восьмилетнего опыта авторов по созданию транспортных моделей ряда российских городов и регионов.

УДК 656.02
ББК 39.11

ISBN 978-5-98704-488-9

© Якимов М.Р.,
Попов Ю.А., 2014
© Логос, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
Раздел 1. ЦЕЛИ МОДЕЛИРОВАНИЯ. ЭТАПЫ СОЗДАНИЯ МОДЕЛИ	9
Раздел 2. СОЗДАНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ МОДЕЛИ	11
2.1. Создание модели транспортного предложения	11
2.1.1. Транспортное предложение индивидуального транспорта	12
2.1.1.1. Узлы.....	12
2.1.1.2. Отрезки	20
2.1.1.3. Транспортные районы.....	26
2.1.1.4. Примыкания.....	29
2.1.2. Транспортное предложение городского пассажирского транспорта общего пользования.....	33
2.1.2.1. Иерархия остановок	34
2.1.2.2. Маршруты, варианты маршрута, расписание.....	38
2.2. Создание модели транспортного спроса	42
2.2.1. Объекты транспортного спроса	43
2.2.1.1. Системы транспорта, режимы, сегменты спроса.....	43
2.2.1.2. Слои спроса	47
2.2.1.3. Матрицы затрат.....	50
2.2.1.4. Матрицы корреспонденций	54
2.2.2. Перераспределение транспортного спроса	56
2.2.2.1. Перераспределение индивидуального транспорта	57
2.2.2.2. Перераспределение пассажиропотока на общественном транспорте.....	61
Раздел 3. КАЛИБРОВКА ТРАНСПОРТНОЙ МОДЕЛИ	67
3.1. Привязка натуральных данных об интенсивности движения транспортных потоков.....	67

3.2. Сбор исходных данных о транспортной системе с использованием глобальной сети Интернет.....	71
3.3. Работы по калибровке и верификации модели.....	77
3.3.1. Калибровка транспортной модели по скоростным характеристикам транспортных потоков	77
3.3.1.1. Оценка общего распределения временных затрат при реализации транспортного спроса.....	79
3.3.1.2. Оценка временных затрат между произвольными точками города.....	87
3.3.2. Калибровка транспортной модели по интенсивности движения транспортных потоков.....	90

Раздел 4. ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ С ТРАНСПОРТНОЙ МОДЕЛЬЮ	102
4.1. Виды сценариев.....	102
4.1.1. Развитие транспортной системы в пространстве или во времени.....	102
4.1.1.1. Развитие транспортного спроса	103
4.1.1.2. Развитие транспортного предложения	104
4.1.2. Временной период прогнозирования – краткосрочные и долгосрочные сценарии	104
4.2. Формирование сценариев.....	106
4.2.1. Исходные данные для транспортного предложения	106
4.2.2. Исходные данные для транспортного спроса	109
4.3. Примеры моделирования сценариев	111
4.3.1. Пример 1. Оценка целесообразности перевода в односторонний режим участка улицы	111
4.3.2. Пример 2. Расчет прогнозного пассажиропотока на новом маршруте троллейбуса	119
4.3.3. Пример 3. Определение очередности реализации первоочередных сценариев оптимизации работы транспортного комплекса	124

Раздел 5. АНАЛИЗ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ	134
5.1. Параметры оценки результатов моделирования	134
5.1.1. Суммарный суточный пробег индивидуального транспорта	135
5.1.2. Суммарный суточный пассажиропоток общественного транспорта	138
5.1.3. Баланс использования индивидуального транспорта и общественного транспорта.....	139
5.1.4. Среднее время реализации транспортных корреспонденций	141

5.1.4.1. Расчет среднего времени реализации транспортных корреспонденций на индивидуальном транспорте в PTV Vision® VISUM	143
5.1.4.2. Расчет среднего времени реализации транспортных корреспонденций, реализуемых на общественном транспорте	145
5.2. Обмен данными с другими программными продуктами и приложениями	148
5.2.1. Обмен данными с программным продуктом PTV Vision® VISSIM	148
5.2.2. Обмен данными с программным продуктом PTV Vistro	153
ПРИЛОЖЕНИЯ	165
Приложение 1. «Подключение нового объекта недвижимости (название объекта) к существующей улично-дорожной сети города _____» (<i>Вариант 1</i>)	167
Приложение 2. «Подключение нового объекта недвижимости (название объекта) к существующей улично-дорожной сети города _____» (<i>Вариант 2</i>)	181
Список литературы	198

Раздел 1

Цели моделирования. Этапы создания модели

Данное издание посвящено некоторым особенностям и практической реализации создания прогнозных транспортных моделей. В связи с этим далее под термином «транспортная модель» будем иметь в виду именно прогнозную транспортную модель. Подробнее о транспортных моделях и их видах можно прочитать в изданиях, посвященных методическим основам их создания [1, 2, 3].

Прогнозные транспортные модели предназначены для моделирования объемов транспортной работы в сетях при известном размещении потокообразующих объектов города. При помощи прогнозных моделей можно прогнозировать последствия изменений в транспортной сети города, происходящих в процессе изменения либо транспортного спроса, либо транспортного предложения.

Модели этого типа применяются для поддержки принятия решений в области транспортного планирования города, для анализа последствий тех или иных альтернативных проектов развития транспортной сети и др. [3].

Прогнозные модели можно разделить на две группы по основным задачам прогнозирования:

- прогнозирование во времени;
- прогнозирование в пространстве.

Основные задачи прогнозирования будут подробнее рассмотрены в разд. 4.

Основные этапы создания транспортной модели:

- создание модели транспортного предложения;
- создание модели транспортного спроса;
- калибровка транспортной модели.

Далее в книге подробно рассмотрены особенности реализации каждого из этапов создания транспортных моделей. Каждый из разделов соответствует одному из этапов создания транспортной модели. Все этапы представлены в том порядке, в котором они должны реализовываться в процессе создания транспортных моделей.

После этапов создания модели подробно рассмотрен непосредственно процесс моделирования, в том числе виды сценариев для моделирования и необходимые исходные данные. Также приведены примеры типичных сценариев для проведения моделирования, способы анализа результатов моделирования.

Раздел 2

Создание транспортной модели

2.1. Создание модели транспортного предложения

Транспортное предложение включает в себя инфраструктуру систем транспорта, которые включены в транспортную модель. Основными системами транспорта в транспортных моделях обычно выступают индивидуальный транспорт и городской пассажирский транспорт общего пользования. Стоит отметить, что в локализованной версии PTV Vision® VISUM вместо термина «городской пассажирский транспорт общего пользования» используется термин «общественный транспорт». В связи с этим далее систему городского пассажирского транспорта общего пользования будем для удобства называть «общественный транспорт».

Основные элементы транспортного предложения для системы индивидуального транспорта [4] (рис. 1):

- «узлы» (nodes) – перекрестки, пересечения;
- «перегоны» (links) – участки улично-дорожной сети;
- «транспортные районы» (zones) – источники и цели совершения корреспонденций;
- «примыкания» (connectors) – соединяют центры транспортных районов с сетью индивидуального и общественного транспорта.

Для системы общественного транспорта дополнительно к данным элементам добавляются:

- *остановки* общественного транспорта (stops);
- *маршруты* движения общественного транспорта (lines).

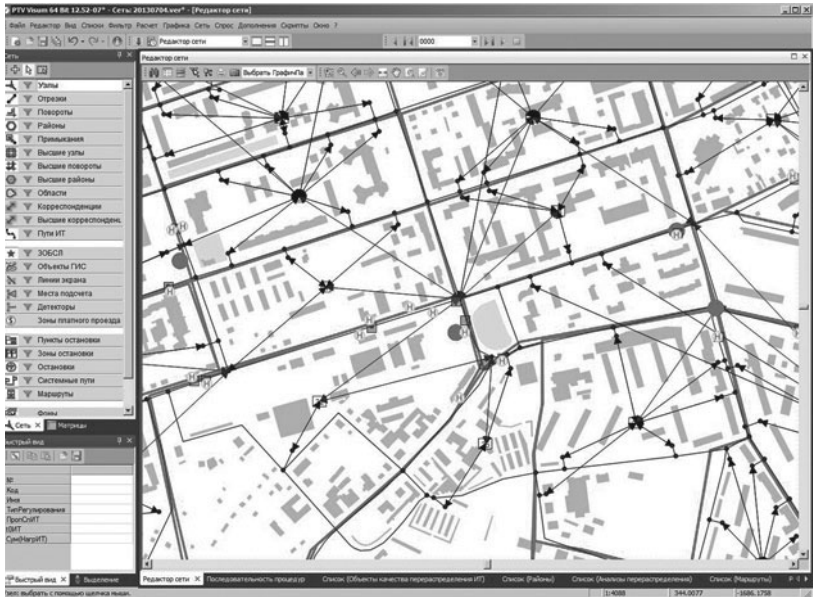


Рис. 1. Транспортное предложение в транспортной модели г. Перми

Далее рассмотрим особенности создания каждого из элементов транспортного предложения.

2.1.1. Транспортное предложение индивидуального транспорта

2.1.1.1. Узлы

«Узлы» (nodes) определяют положение перекрестков, являются начальными и конечными точками перегонов. При создании узлов в транспортной модели в программном комплексе PTV Vision® VISUM задаются следующие характеристики:

- номер узла;
- тип узла – определяется пользователем;
- координаты узла (x, y);
- пропускная способность узла – максимальное количество транспортных средств, способное пройти узел в единицу времени, авт./ч, авт./сут.;
- t_0 – время, затрачиваемое на прохождение узла в незагруженной сети для индивидуального транспорта, с;
- номера отрезков главного потока [4];

Редактор входящих отрезков (рис. 3): задаются параметры входящих отрезков (количество полос, пропускная способность, скорость).

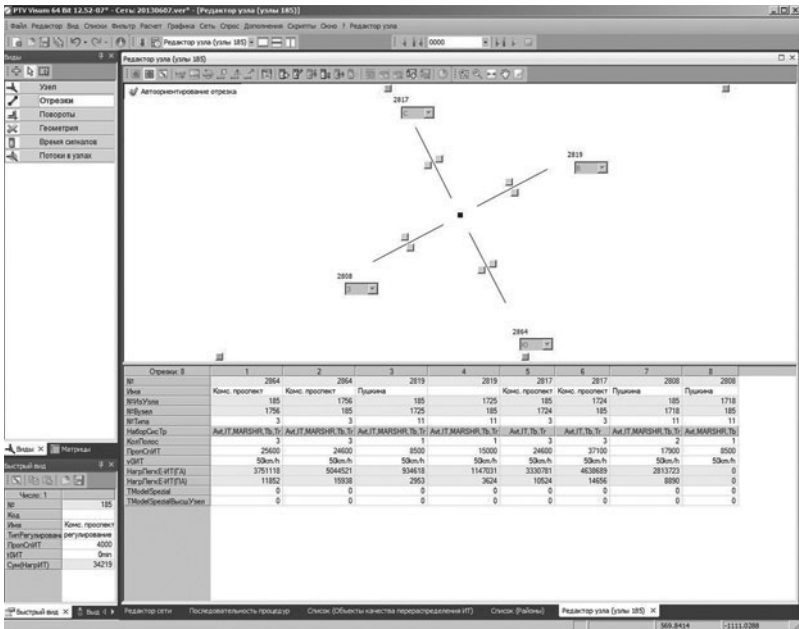


Рис. 3. Окно редактора входящих отрезков в PTV Vision® VISUM версии 12.5

Редактор поворотов (рис. 4): задаются параметры для всех возможных маневров на данном перекрестке.








Для каждого из возможных маневров на перекрестке важно задать величины задержек при совершении данных маневров. В связи с этим при создании транспортного предложения важно правильно назначить типы перекрестков и задать значения задержек для каждого типа возможных маневров (поворотов).

Обычно используются основные типы перекрестков и поворотов, приведенные в классификации, представленной в табл. 1.

Для каждого типа маневров из табл. 1 можно задать значения начальной задержки для расчета *функции сопротивления* в случае отсутствия модуля ICA (Intersection Capacity Analysis). Значения задержек для разных типов узлов и маневров вносятся в меню «Сеть – Стандарты поворота» (рис. 5).


Таблица 1

Классификация узлов и поворотов

Узлы (по типу регулирования)	Повороты		
	По направлению	По видам потоков «из» и «в»	
		Из потока	В поток
			
			
1		—	—
2		—	✓
3		✓	—
4		✓	✓
			
5		—	—
6		—	✓
7		✓	—
8		✓	✓
			
9		—	—
10		—	✓
11		✓	—
12		✓	✓
Нерегулируемые	По направлению	По видам потоков «из» и «в»	
		Из потока	В поток
			
13		—	—
14		—	✓
15		✓	—
16		✓	✓
			
17		—	—
18		—	✓

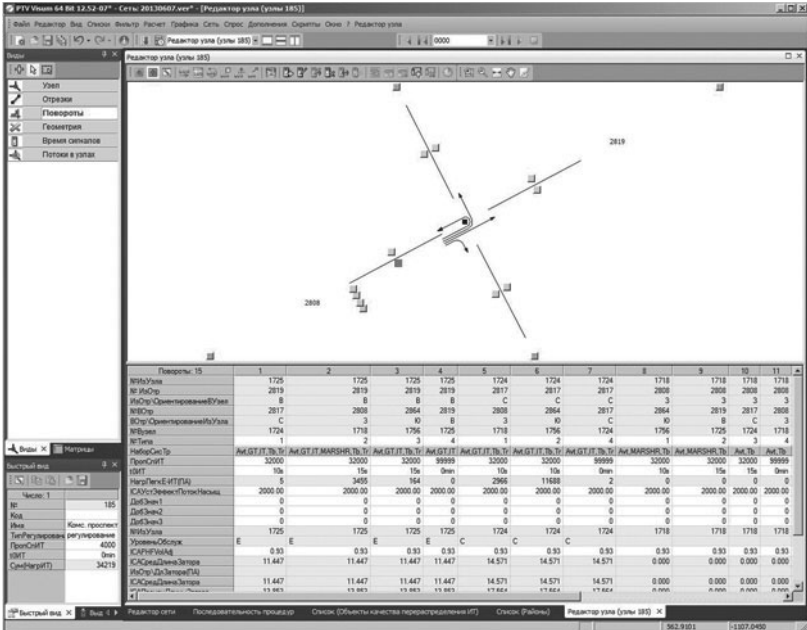
Окончание табл. 1

Классификация узлов и поворотов

Нерегулируемые	По направлению	По видам потоков «из» и «в»	
		Из потока	В поток
19		✓	—
20		✓	✓
21		—	—
22		—	✓
23		✓	—
24		✓	✓

Используемые в таблице обозначения:

«✓» – главный поток; «—» – второстепенный поток



The screenshot displays the 'Редактор узла (узлы 185)' window in PTV Vision 12.5.2. The main area shows a 3D perspective view of a road intersection with four approaches. Below the view is a data table for 'Повороты: 15' (Turns: 15) and 'Регионы' (Regions).

Повороты: 15	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11	
	W/U/Ул	W/U/Ср	W/U/Ср	W/U/Ср	W/U/Ср	W/U/Ср	W/U/Ср	W/U/Ср	W/U/Ср	W/U/Ср	W/U/Ср	W/U/Ср	W/U/Ср	W/U/Ср	W/U/Ср	W/U/Ср	W/U/Ср	W/U/Ср	W/U/Ср	W/U/Ср	W/U/Ср	
W/U/Ул	1725	1725	1725	1725	1724	1724	1724	1724	1724	1724	1724	1718	1718	1718	1718	1718	1718	1718	1718	1718	1718	
W/U/Ср	2819	2819	2819	2819	2817	2817	2817	2817	2817	2817	2817	2808	2808	2808	2808	2808	2808	2808	2808	2808	2808	
W/U/Ср	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
W/U/Ср	2817	2808	2864	2819	2808	2864	2817	2864	2817	2864	2819	2817	2808	2817	2864	2819	2817	2808	2817	2808	2817	
W/U/Ср	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
W/U/Ср	1724	1718	1736	1725	1718	1736	1724	1736	1724	1736	1725	1724	1736	1724	1736	1725	1724	1736	1724	1736	1725	
W/U/Ср	1	2	3	4	1	2	4	1	2	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	
W/U/Ср	1725	1725	1725	1725	1724	1724	1724	1724	1724	1724	1718	1718	1718	1718	1718	1718	1718	1718	1718	1718	1718	
W/U/Ср	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	
W/U/Ср	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
W/U/Ср	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
W/U/Ср	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	
W/U/Ср	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
W/U/Ср	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
W/U/Ср	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
W/U/Ср	1725	1725	1725	1725	1724	1724	1724	1724	1724	1724	1718	1718	1718	1718	1718	1718	1718	1718	1718	1718	1718	
W/U/Ср	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	
W/U/Ср	11.447	11.447	11.447	11.447	14.571	14.571	14.571	14.571	14.571	14.571	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
W/U/Ср	11.447	11.447	11.447	11.447	14.571	14.571	14.571	14.571	14.571	14.571	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
W/U/Ср	11.447	11.447	11.447	11.447	14.571	14.571	14.571	14.571	14.571	14.571	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

Рис. 4. Окно редактора поворотов в PTV Vision® VISUM версии 12.5

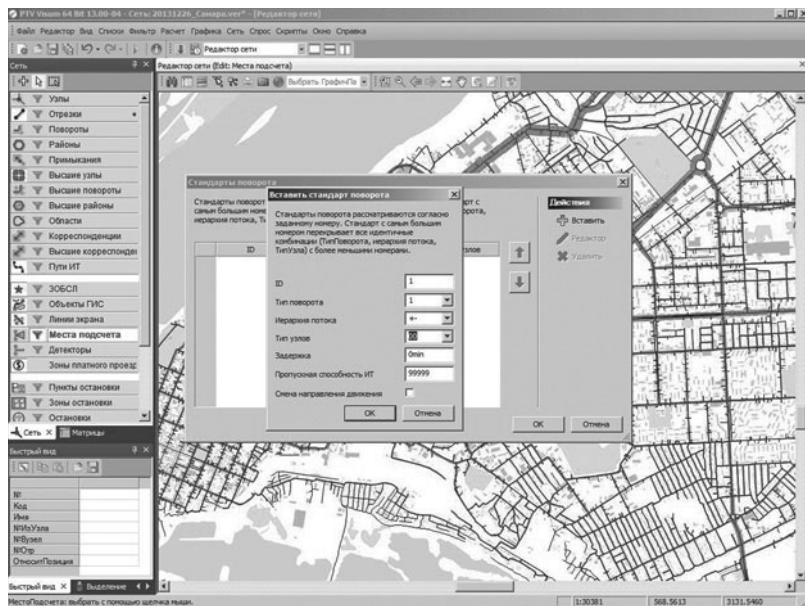


Рис. 5. Переход в меню «Стандарты поворота» в PTV Vision® VISUM версии 13

В открывшемся окне необходимо выбрать (рис. 6):

- *тип поворота* (прямо, направо, налево);
- *тип узла* (определяется пользователем, например: 1 – регулируемые узлы, 2 – нерегулируемые узлы);
- *иерархия потока* (аналогично обозначениям в табл. 1: «✓» – главное направление, «–» – второстепенное направление);
- *задержка* в секундах;
- *пропускная способность*.

Авторы рекомендуют вместо стандартов поворота использовать модуль для детального моделирования перекрестков – ICA. Данный модуль позволяет проводить редактирование геометрии перекрестка, параметров светофорных объектов, а также расчет параметров качества функционирования перекрестков.

Расчет параметров качества функционирования перекрестков в модуле ICA основывается на модели, описанной в [7]. Это издание разработано «US Transportation Research Board» и содержит рекомендации по расчету задержек, длины затора, уровня сервиса (Level of Service, LOS) и других параметров. Расчеты основаны на анализе геометрии перекрестка, вида регулирования на перекрестке, а также интенсивностей транспортных потоков.

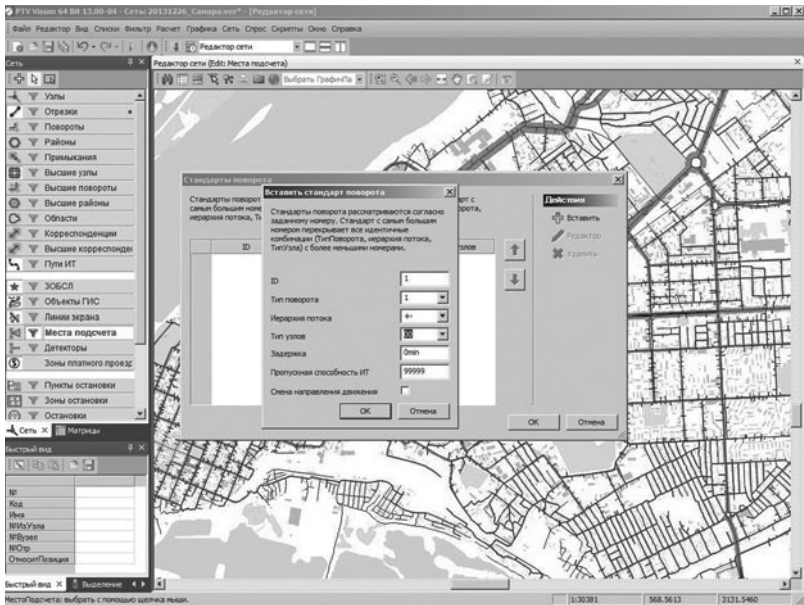


Рис. 6. Меню редактирования «Стандарты поворота» в PTV Vision® VISUM версии 13

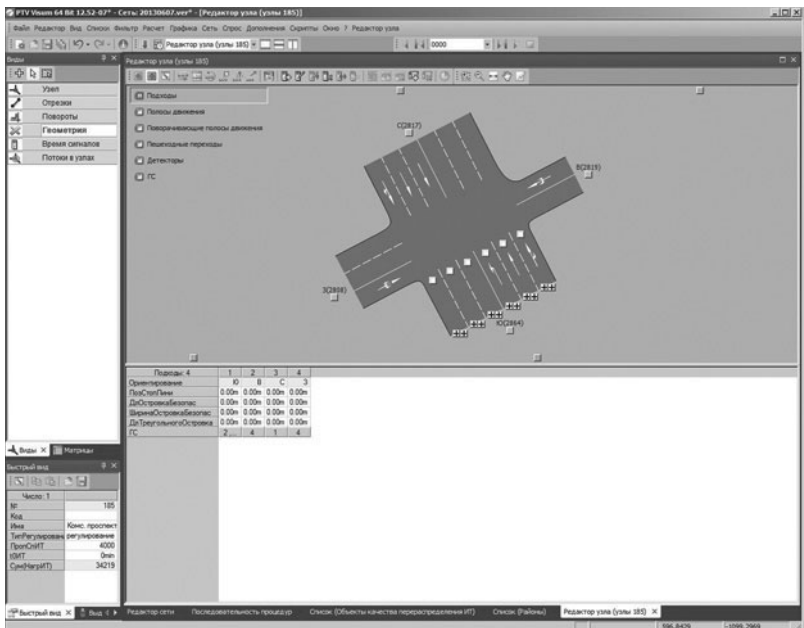


Рис. 7. Окно редактора геометрии узла в PTV Vision® VISUM версии 12.5

При использовании модуля ICA в редакторе узла появляются новые вкладки:

Редактор геометрии узла (рис. 7): задаются полосы движения и разрешенные направления движения по этим полосам. Также есть возможность задать уширения на перекрестке. Полученная геометрия учитывается не только при расчетах задержек на поворотах, но и при экспорте данного перекрестка в другие программные продукты, такие как PTV Vision® Vissim и PTV Vistro.

Редактор светофорного объекта (рис. 8): здесь задаются фазы, сигнальные группы, для каждой сигнальной группы задаются полосы движения, для которых разрешено движение в указанную фазу. В этом же окне редактора возможно провести оптимизацию фаз светофорного регулирования для существующих транспортных потоков.

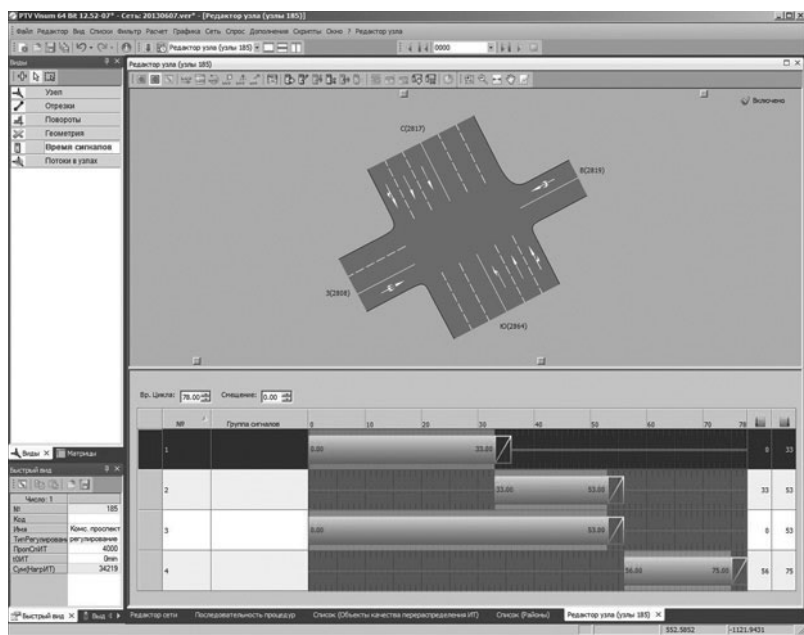


Рис. 8. Редактор светофорного объекта в PTV Vision® VISUM версии 12.5

В результате расчетов в модуле ICA для каждого поворачивающего направления перекрестка, а также для всего перекрестка в целом рассчитываются такие параметры, как *среднее время задержки*, *средняя длина очереди*, *нагрузка*, *LOS (Level of Service)*.

Опыт авторов показывает, что данный способ расчета параметров качества функционирования узлов дает более качественные результаты, чем расчет задержек в узлах и поворотах с помощью обычной функции сопротивления.

Прежде всего, стоит отметить, что лежащая в основе алгоритма расчета модуля ICA методика HCM2000 успешно используется во всем мире. Кроме того, при расчете задержек в узле с помощью модуля ICA, в отличие от обычной функции сопротивления, производится расчет максимальной пропускной способности и задержек для каждого поворота с учетом таких параметров, как геометрия узла, тип регулирования, параметры светофорных объектов, интенсивности транспортных потоков. Особенно важно упомянуть, что при расчете задержек в узле с помощью модуля ICA учитываются интенсивности конфликтующих потоков.

В модуле ICA заложены алгоритмы для 5 видов регулирования на перекрестках:

1. Нерегулируемые перекрестки без знаков приоритета («помеха справа»);
2. Нерегулируемые перекрестки со знаками приоритета;
3. Перекрестки со светофорным регулированием;
4. Перекрестки с круговым движением;
5. Перекрестки с регулированием типа «All way stops» (на всех направлениях висят знаки «движение без остановки запрещено») – широко применяется в Северной Америке.

Важным моментом в использовании детального расчета параметров узла с помощью модуля ICA является возможность более простого экспорта из макромоделли в микромодель для дальнейшей оптимизации участка сети. Экспортировать можно как всю городскую сеть, так и отдельные ее фрагменты. Основное достоинство такого технологического приема заключается в том, что в микромодель экспортируются рассчитанные значения интенсивности транспортных потоков и распределение их по маршрутам движения. Переход на микроуровень моделирования возможен как с суточными значениями интенсивности, так и с интенсивностями в утренний и вечерний часы пик. Для анализа в микромоделли целесообразным представляется моделирование сети с нагрузками, соответствующими часу пик.

2.1.1.2. Отрезки

«Отрезки» (links) – это объекты транспортного предложения, которые описывают улично-дорожную сеть. *Отрезки* соединяют

узлы и имеют направление, при этом, прямое и обратное направления являются самостоятельными объектами сети, которым присваивается общий номер отрезка.

При создании отрезков в транспортной модели в программном комплексе PTV Vision® VISUM задаются следующие характеристики (рис. 9):

- номер отрезка;
- номер ИзУзла (номер узла в начале отрезка);
- номер ВУзел (номер узла в конце отрезка);
- имя отрезка (чаще всего – название улицы);
- тип отрезка (определяется пользователем);
- длина отрезка, км;
- список допущенных систем транспорта;
- пропускная способность индивидуального транспорта (максимальное количество транспортных средств, способное проехать через отрезок в единицу времени), авт./сут., авт./ч;
- допустимая скорость индивидуального транспорта при свободном транспортном потоке (для индивидуального транспорта совпадает с максимально разрешенной скоростью движения), км/ч [4].

Редактировать отрезок

Номер: 2216 Тип: 13 РЗ-3 полосы

Из узла: 134

В узел: 1313 СисТр: Avt,IT,MARSH...

База	ИТ-СисТр	ОТ-СисТр	Затор	DUE	ICA	Опр. пользо
ДлВоздЛин	0.159km	∅0 ИТ			60km/h	
Длина	0.176km	Полосы движения			3	
ДЗнач 1	0	ПропСпос ИТ			30000	
ДЗнач 2	0	Доля ГРУЗТР [%]			0	
ДЗнач 3	0	Загрузка-ИТ			47 %	
№Гплана	0	Нагрузка ИТ [ТС]			14095	
Надпись балки	<input checked="" type="checkbox"/>	Нагрузка ОТ [чел]			0	
Имя	Ленина					

Туда/Обрат. ОК Отмена

Рис. 9. Окно редактора параметров «отрезка» в PTV Vision® VISUM версии 12.5

Самый распространенный способ создания транспортного предложения в PTV Vision® VISUM – импорт из геоинформационных систем (ГИС). Наиболее часто используется формат файлов геоинформационной системы ArcGIS – *shape*-файлы. В общем случае *shape*-файл состоит из трех файлов:

- файл формата *.shp* – содержит информацию о геометрических объектах;
- файл формата *.dbf* – содержит атрибутивную информацию геометрических объектов в формате dBase;
- файл формата *.shx* – файл связи между файлами *.shp* и *.dbf* (связь геометрических объектов с атрибутами).

Обычно используется следующий порядок создания транспортного предложения с использованием *shape*-файлов:

1. Создание графа сети или импорт графа сети из *shape*-файла. Есть возможность считывать *shape*-файл как аддитивно к существующим данным, так и с заменой данных (рис. 10);

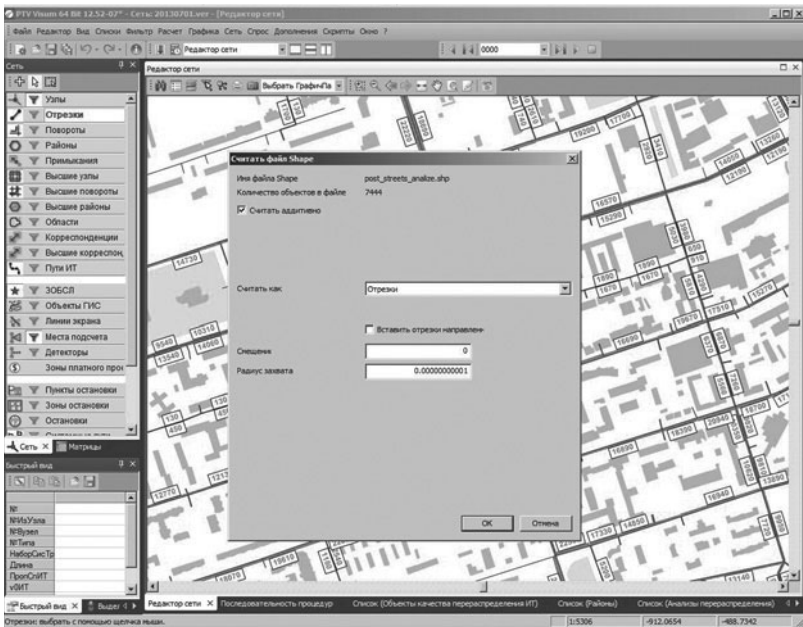


Рис. 10. Интерфейс импорта *shape*-файла улично-дорожной сети в транспортную модель в PTV Vision® VISUM версии 12.5

2. Задание характеристик для всех элементов сети. Обычно необходимые атрибуты и их значения, такие как количество полос движения на отрезке, скорость движения, содержатся в ГИС, кото-