Приложение 3
к постановлению
администрации МОГО «Инта»
от 10 февраля 2020 года № 2/189

«Комплексная схема организации дорожного движения по дорогам общего пользования на территории муниципального образования городского округа «Инта»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Том № 2 (всего 3 тома)

Разработка транспортной модели муниципального образования

Санкт-Петербург
2018 год

СОДЕРЖАНИЕ

№	Наименование	Стр.
	Обозначения и сокращения	4
1.	Проведение транспортного районирования на базе социально-экономической статистики	5
2.	Ввод параметров улично-дорожной сети, транспортных инфраструктурных объектов	7
3.	Ввод маршрутной сети, остановок и интервалов движения пассажирского транспорта	11
4.	Разработка методики и создание модели расчёта транспортного спроса для транспортных и пассажирских перемещений	12
5.	Расчёт перераспределения транспортных (легкового и грузового транспорта) и пассажирских потоков, создание матрицы корреспонденции.	15
6.	Калибровка мультимодальной макромодели по интенсивности транспортных (легкового и грузового транспорт) и пассажирских потоков	21
7.	7.1 Разработка варианта транспортной модели на краткосрочную перспективу (0-5 лет)	23
	7.2 Разработка варианта транспортной модели на среднесрочную перспективу (6-10 лет)	24
	7.3 Разработка варианта транспортной модели на долгосрочную перспективу (более 10 лет)	25
8.	Разработать микромодели транспортных узлов (не менее 3х микромоделей).	27
	8.1 Обоснование выбора транспортных узлов для осуществления микромоделирования	27
	8.2 Описание методов и инструментального комплекса моделирования	31
	8.3 Расчёт времени в пути, а также распределение средней скорости транспортного потока в ключевых транспортных узлах	40
	8.4 Определение проблем и причин недостаточности пропускной способности в ключевых транспортных узлах	41

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ		
ОиБДД	-	организация и безопасность дорожного движения
ОДД	-	организация дорожного движения
УДС	-	улично-дорожная сеть
ТП	-	транспортный поток
КСОДД	-	комплексная схема организации дорожного движения
ТС	-	транспортное средство
ДТП	-	дорожно-транспортное происшествие
ПДД	-	правила дорожного движения
НГПТ	-	наземный городской пассажирский транспорт
СО	-	светофорный объект
ТСОДД	-	технические средства организации дорожного движения
БДД	-	безопасность дорожного движения
ИДН	-	искусственная дорожная неровность
ОРП	-	отстойно-разворотная площадка
АСУДД	-	автоматизированная система управления дорожным движением
ТПУ	-	транспортно-пересадочный узел
о.п.	-	остановочный пункт
ПП	-	пешеходный поток

1 Проведение транспортного районирования на базе социально-экономической статистики

Транспортные районы – элементарные единицы пространственной структуры области планирования.

Транспортные районы выполняют в модели две основных функции:

- отражают структуру распределения функционально-пространственного потенциала области моделирования;

- формируют основу агрегированного описания состояния транспортной системы области моделирования.

При районировании в транспортной модели наиболее важным является расположение центров притяжения районов и примыканий (линий связи с УДС), геометрические границы второстепенны и служат для удобства восприятия. Выполнено условное разделение исследуемого объекта на 6 внутренних транспортных районов. После разбивки города на расчетные зоны, в каждой определяем центр тяжести его пассажиропотоков, который обозначаем точкой. В качестве центра тяжести также может быть принят геометрический центр площади района.

Критерием для обозначения границ транспортных районов является наличие искусственных и естественных преград, таких как реки, овраги, парки и полосы зеленых насаждений.

Для каждого транспортного района использовались следующие данные:

- численность постоянного населения;

- численность населения в трудоспособном возрасте;

- численность несовершеннолетних;

- численность учебных мест в дошкольных, школьных, средних, средне специальных и высших учебных заведениях;

- численность рабочих мест на предприятиях всех видов и форм собственности.

Данные социально-экономической статистики по транспортным районам получены на основе исходных данных, предоставленных Заказчиком, и собранных материалов из открытых источников.

Полученные данные были проанализированы, введены в модель и откалиброваны при первичной калибровке модели. Эти показатели необходимы для расчета объемов создания транспортного движения и формирования матриц корреспонденций. Для ввода данных в транспортную модель созданы пользовательские атрибуты "Население", "Трудоспособный", "Рабочие места".

На рисунке 1.1 представлено транспортное районирование МОГО «Инта».

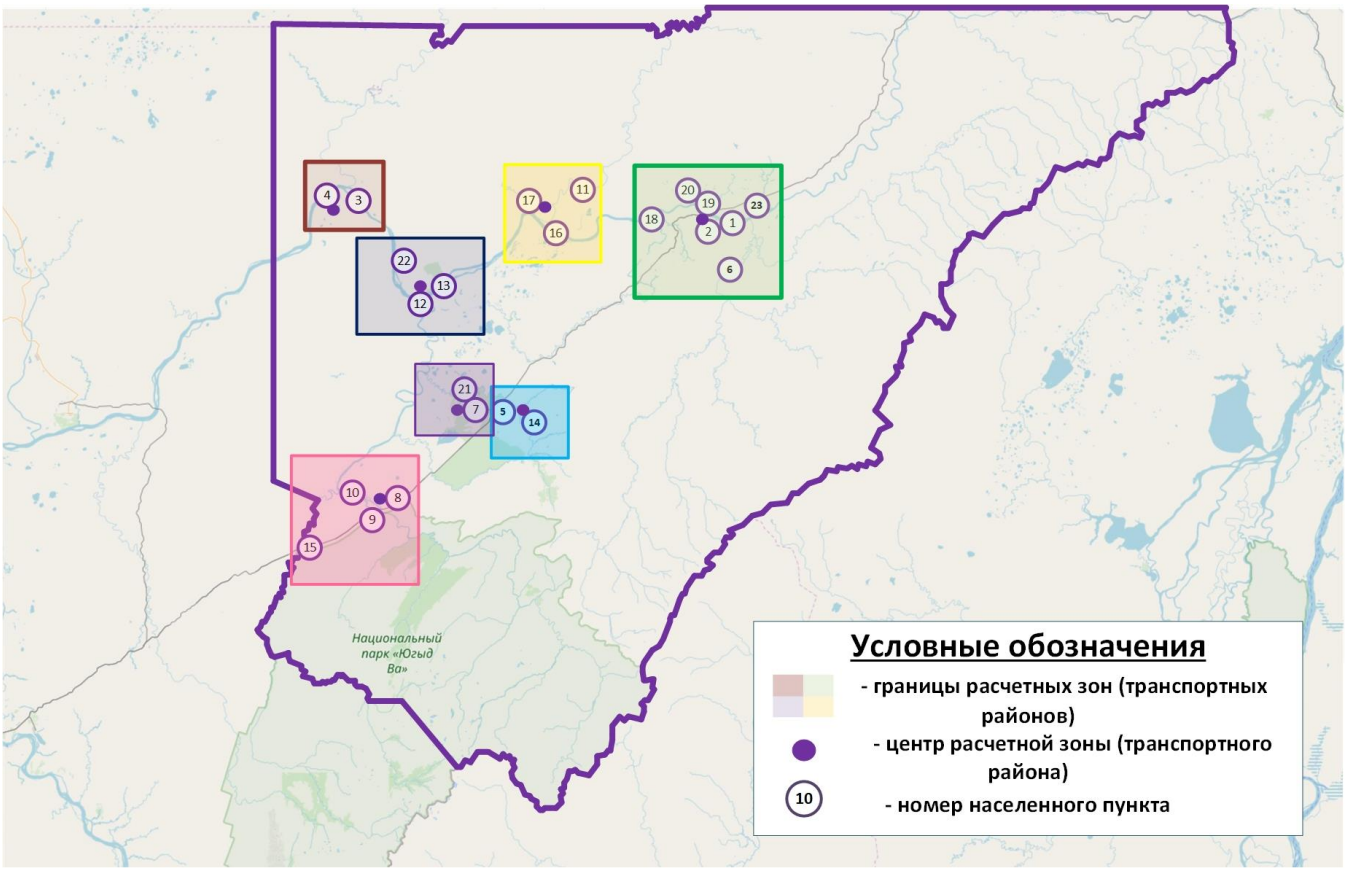

Рисунок 1.1 – Разбивка города на расчетные зоны (транспортные районы)

2 Ввод параметров улично-дорожной сети, транспортных инфраструктурных объектов

Транспортная сеть сформирована на базе геоинформационных данных и данных открытых источников (Openstreetmaps и др.). Параметры элементов УДС уточнены в ходе полевых обследований. Уровень детализации графа ограничен улицами местного значения включительно, оказывающими влияние на интенсивность движения опорной улично-дорожной сети.

В целях системного анализа транспортной сети разработана классификация из 15 условных типов дорог, детализирующих основные технические и транспортно-эксплуатационные параметры элементов сети в соответствии с «Рекомендациями по проектированию улиц и дорог городов и сельских поселений». Разработанная классификация дорог обеспечивает дифференцированный подход к описанию транспортной сети с учетом специфики конкретного участка.

Для каждого участка дороги с учетом направления движения заданы конкретные показатели основных параметров: категория дороги, разрешенные для движения системы транспорта, длина, количество полос движения, пропускная способность, максимально допустимая скорость движения, скорость движения в ненагруженной сети.

Места пересечения транспортных потоков классифицированы по шести типам:

- Светофорное регулирование;
- Кольцевое пересечение;
- Помеха справа;
- Приоритет проезда «стоп»;
- Приоритет проезда «уступи дорогу»;
- Всем стоп.

Ввод данных о видах транспортных средств

Для модельного описания состава и структуры транспортных потоков, формирующих нагрузку на транспортную сеть, а также допустимых видов транспорта для движения на отрезках транспортной сети и поворотах в модель были введены данные обо всех видах транспортных средств, посредством которых осуществляются перевозки на территории МОГО «Инта».

Различные виды транспорта представляются в модели с помощью систем транспорта, как показано на рисунке 2.1.

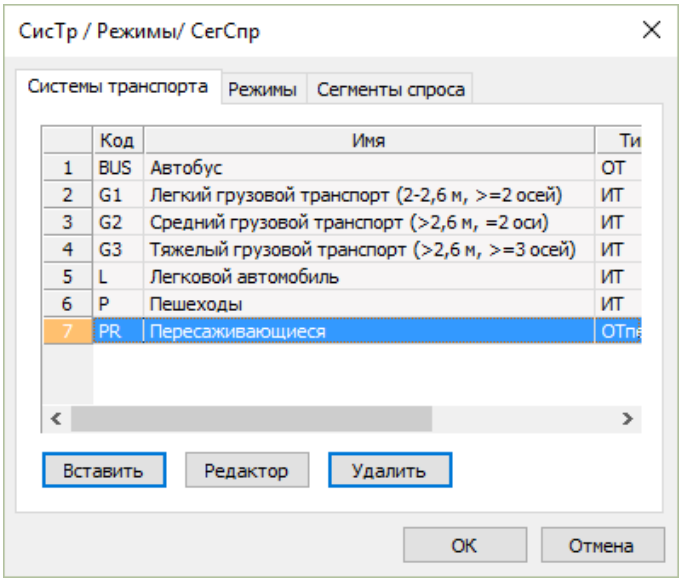

Рисунок 2.1 – Системы транспорта

Каждая система транспорта относится к одному или нескольким сегментам спроса. Сегменты спроса описывают поездки с использованием одной или нескольких систем транспорта различных групп людей и связаны с матрицами корреспонденций. Участники движения одного сегмента спроса общественного транспорта имеют возможность сменить систему транспорта в рамках одной поездки, например, в результате пересадки. Каждому сегменту спроса соответствует ровно одна матрица корреспонденций. Иллюстрация сегментов спроса показана на рисунке 2.2.

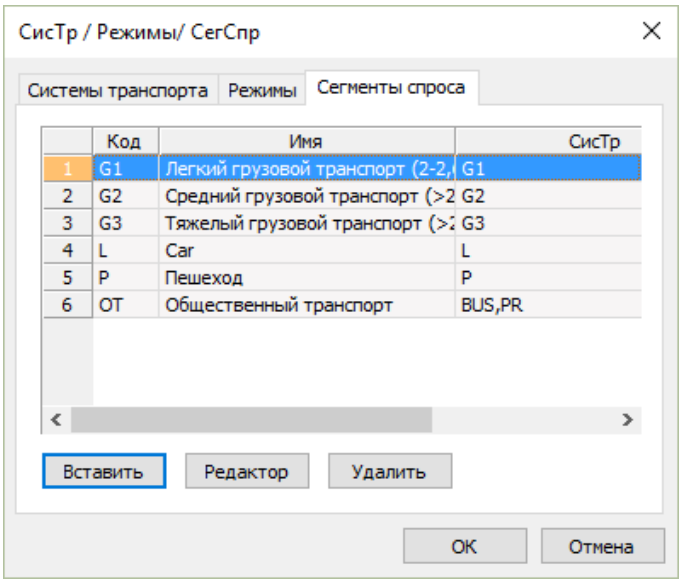

Рисунок 2.2 – Сегменты спроса

Ввод узлов транспортного графа

Для определения положения перекрестков и пересечений в транспортной модели используются узлы транспортного графа. В редакторе узлов, изображенном на рисунке 2.3, были заданы приоритеты движения и способ регулирования перекрестков.

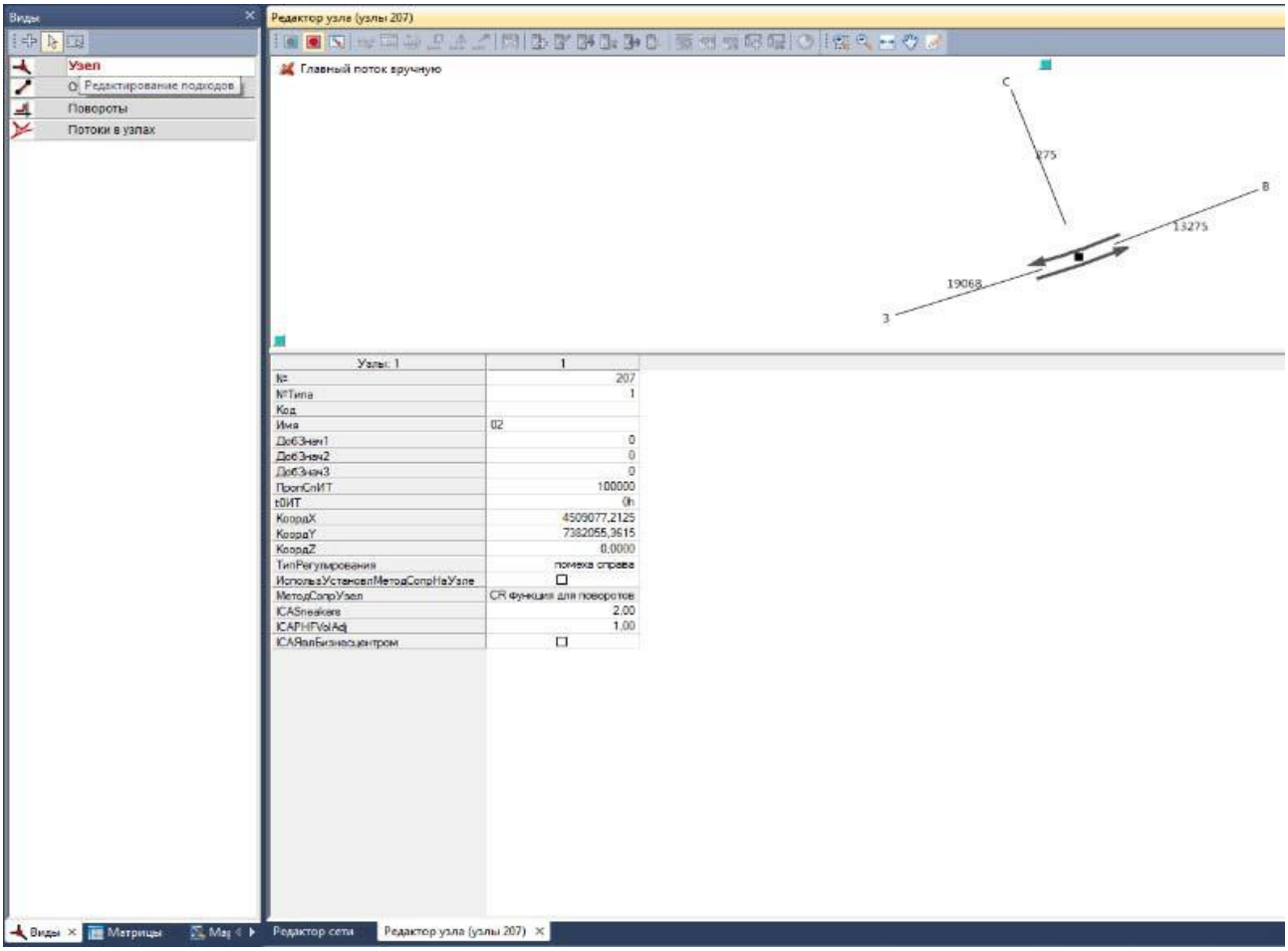

Рисунок 2.3 – Редактирование узла

В редакторе поворотов были заданы параметры для всех возможных маневров на каждом из перекрестков. Исходной информацией для создания узлов и имитации в модели организации дорожного движения послужили данные, импортированные из OpenStreetMap с дополнительной самостоятельной отрисовкой при помощи спутниковых карт (панорам) улиц. Данный подход рекомендован ведущими специалистами в области транспортного планирования и моделирования. Количество узлов в модели – 7.

Ввод отрезков транспортного графа

Отрезки транспортного графа используют также при описании улично-дорожной сети МОГО «Инта». Характеристики этих отрезков: длина, допустимая скорость различных видов транспорта при свободном транспортном потоке, пропускная способность, количество полос, название.

Все данные о расположении отрезков получены из OpenStreetMap. Произведена дополнительная обработка по слиянию несвязанных участков улично-дорожной сети.

Количество отрезков в модели – 42.

Результатом создания и редактирования отрезков, соединяющих узлы, является граф дорожной сети, изображенный на рисунке 2.4. Номера населенных пунктов указаны в соответствии с таблицей 1.1, этапа 1.

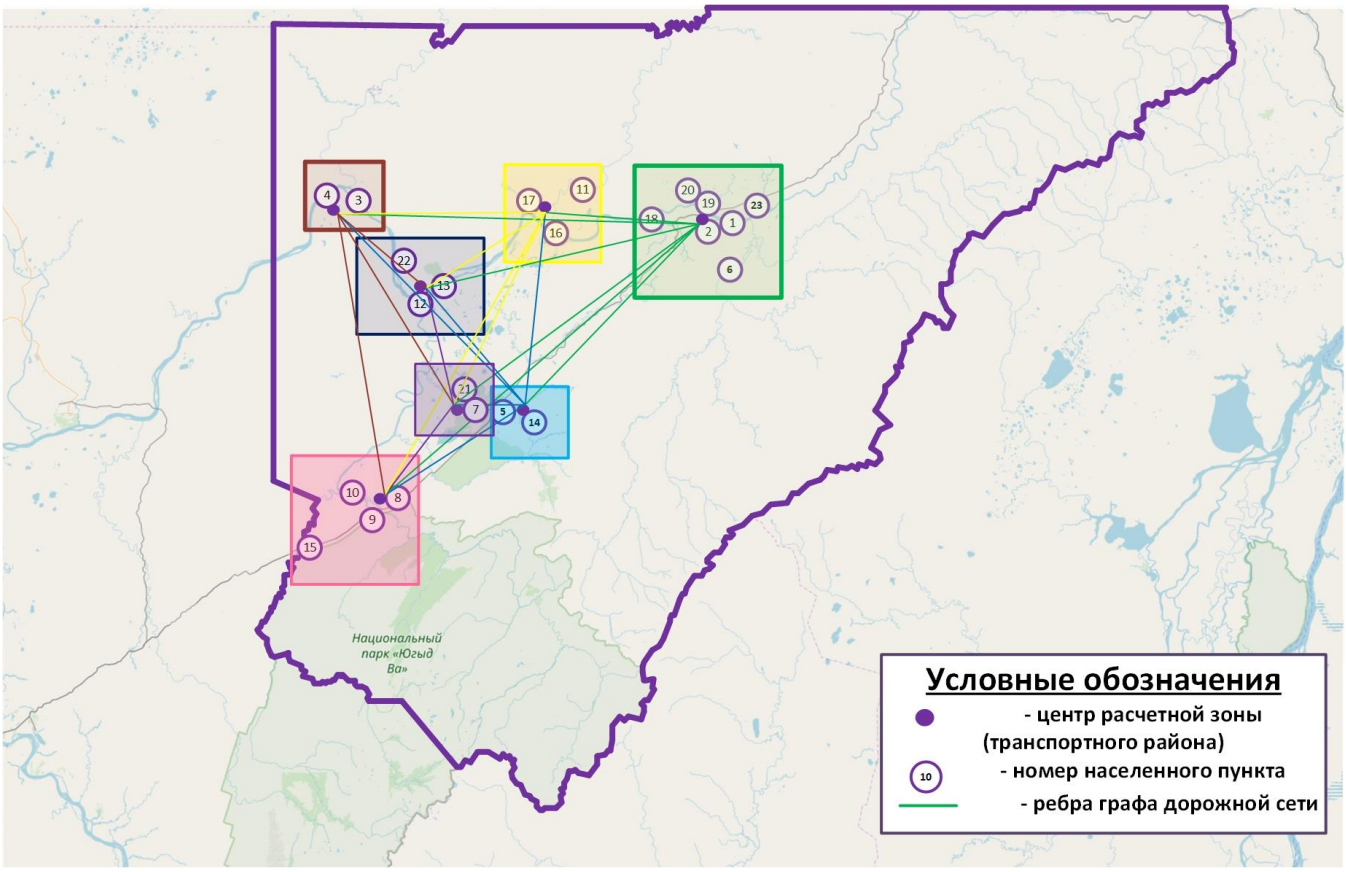

Рисунок 2.4 – Граф дорожной сети МОГО «Инта»

3. Ввод маршрутной сети, остановок и интервалов движения пассажирского транспорта

Система общественного транспорта представлена в транспортной модели объектами транспортной сети, позволяющими детализировать информацию о количестве транспортных средств по конкретным маршрутам. Интенсивность движения транспортных средств общественного транспорта не рассчитывается, а принимается в виде исходных данных из расписания движения по маршруту или установленному интервалу следования. Транспортное предложение общественного транспорта описано на базе 4 маршрутов. Схема маршрутной сети МОГО «Инта» представлена на рисунке 7.3 в этапе№ 1 настоящего отчета.

Ввод информации о расположении остановочных пунктов

Для моделирования общественного транспорта принималось во внимание информация, предоставляемая заказчиком, о расположении остановочных пунктов и данные о видах городского пассажирского транспортна , проходящего через каждую из рассматриваемых остановок.

Ввод информации об единицах подвижного состава

Информация о подвижном составе необходима для оценки способности городского общественного транспорта к провозу пассажиров.

К такой относятся:

- Общая вместимость транспортоного средства;
- Количество сидячх мест.

Ввод информации в модель данных представлен на рисунке 3.1.

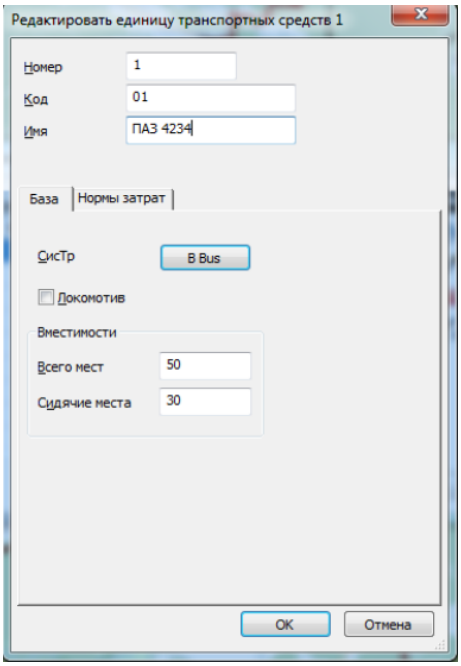

Рисунок 3.1 – Ввод параметров для единицы подвижного сосотава

4 Разработка методики и создание модели расчёта транспортного спроса для транспортных и пассажирских перемещений

Создание модели расчета спроса основано на создании последовательного набора процедур, с назначением определенных параметров каждой из них, рассчитанных по результатам социологического опроса подвижности населения. В модели определены следующие слои спроса, описывающие транспортное поведение населения:

- Дом-Работа;
- Работа-Дом.

Расчет транспортного движения реализован в отдельном программном модуле, использующем современные математические инструменты и позволяющем упростить процедуру расчета транзитных потоков с помощью комплекса PTV Vision® VISUM. Перечисленные слои, введенные в программу, отражены на рисунке 4.1. Для расчета объемов генерации и поглощения в расчетные процедуры добавлена процедура «Создание транспортного движения» (рисунок 4.2), в параметрах которой для каждого слоя спроса были заданы коэффициенты генерации для расчета объемов создания и притяжения и параметры нормирования в соответствии с проведенным социологическим опросом и исследованиями, проводимыми в других городах.

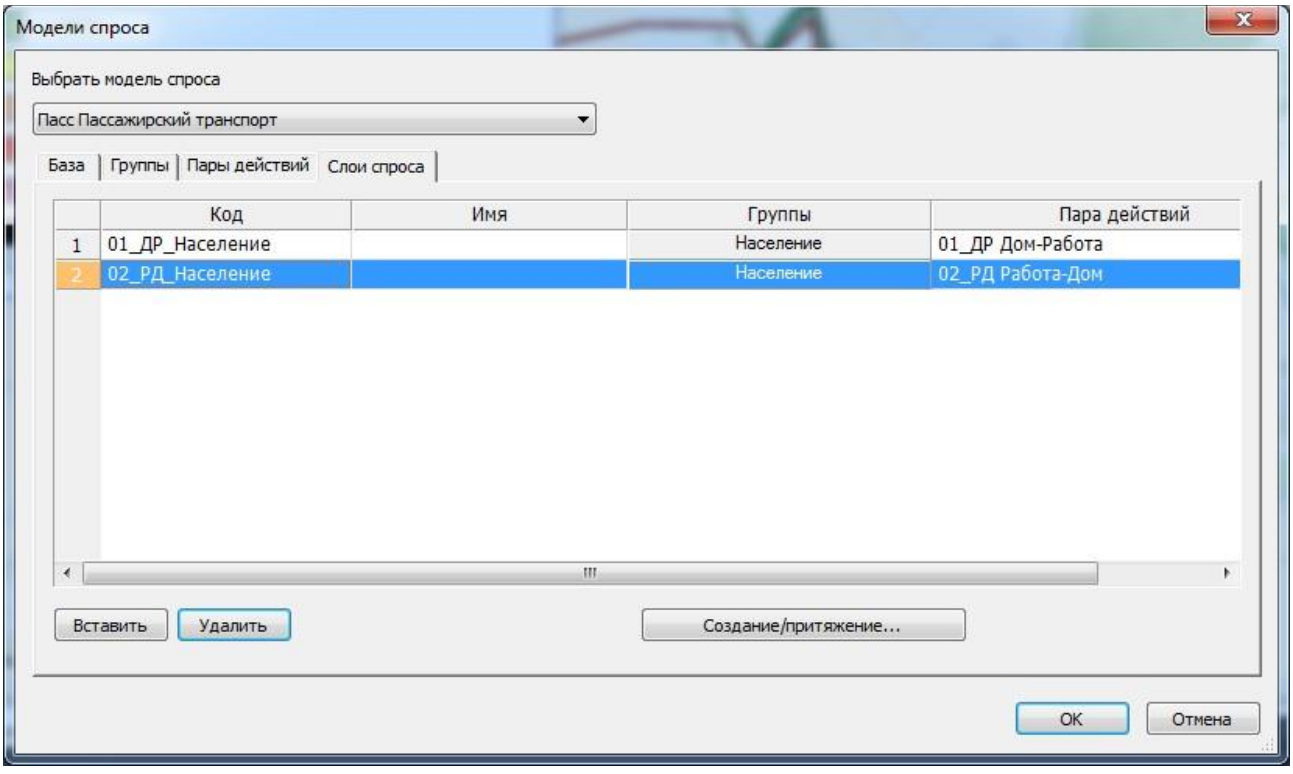

Рисунок 4.1 – Слои спроса

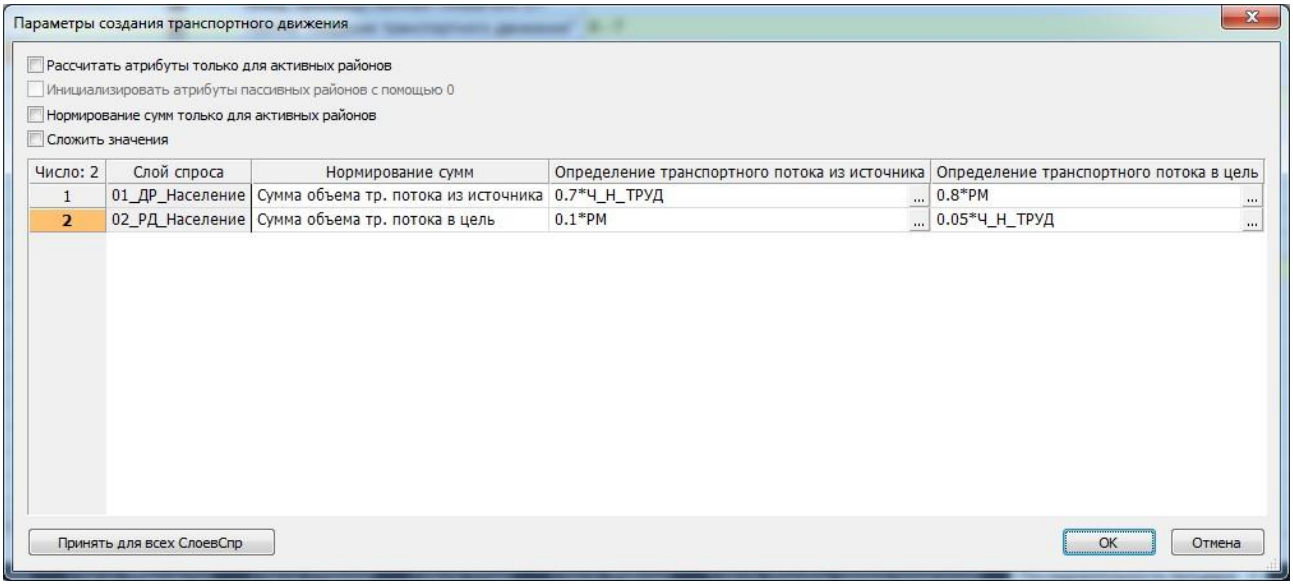

Рисунок 4.2 – Процедура создания транспортного движения

Распределение сгенерированных на предыдущем шаге транспортных потоков по корреспонденциям осуществляется на основе гравитационной модели с использованием матриц затрат и оценочных функций. Используется процедура «Распределение транспортного движения». В ее параметрах указаны матрицы затрат и параметры функции предпочтения, находящиеся в допустимых пределах. График функции Logit для слоя спроса «Дом-Работа» изображен на рисунке 4.3.

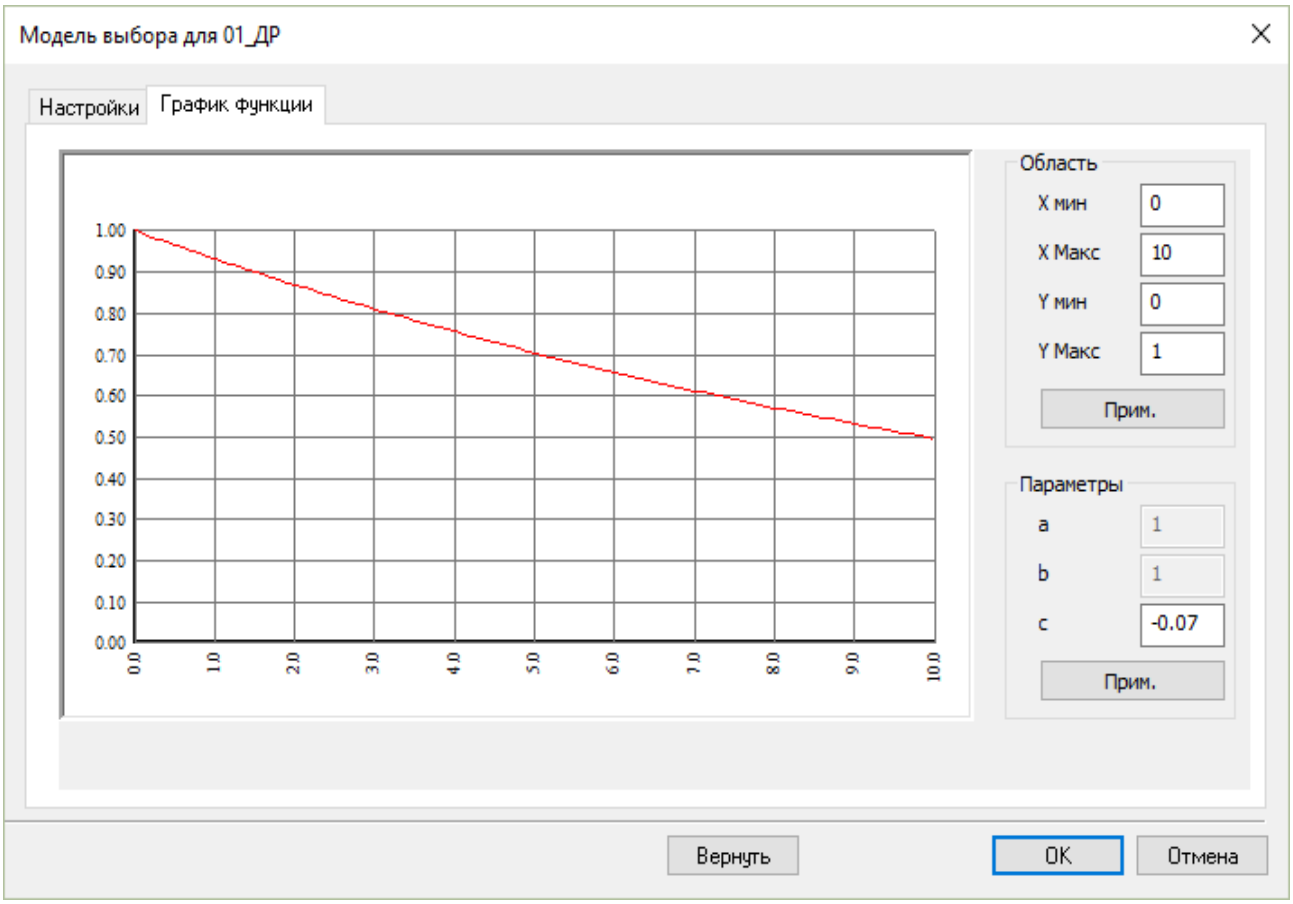

Рисунок 4.3 – График функции предпочтения

Распределение спроса на поездки по видам транспорта осуществляется в процедуре «Выбор режима». Корреспонденции между транспортными районами по сегментам спроса

распределяются на разные виды транспорта с помощью матрицы затрат и оценочных функций. Перед распределением поездок по сети были просуммированы полученные на предыдущем шаге матрицы по слоям спроса для получения единой матрицы корреспонденций на определенном виде транспорта с помощью процедуры «Комбинация матриц и векторов», предварительно создав итоговые матрицы корреспонденций и привязав их к сегментам спроса, как показано на рисунке 4.4. На рисунке 4.5 представлен набор параметров процедур, используемый при расчете модели спроса в разрабатываемой транспортной модели.

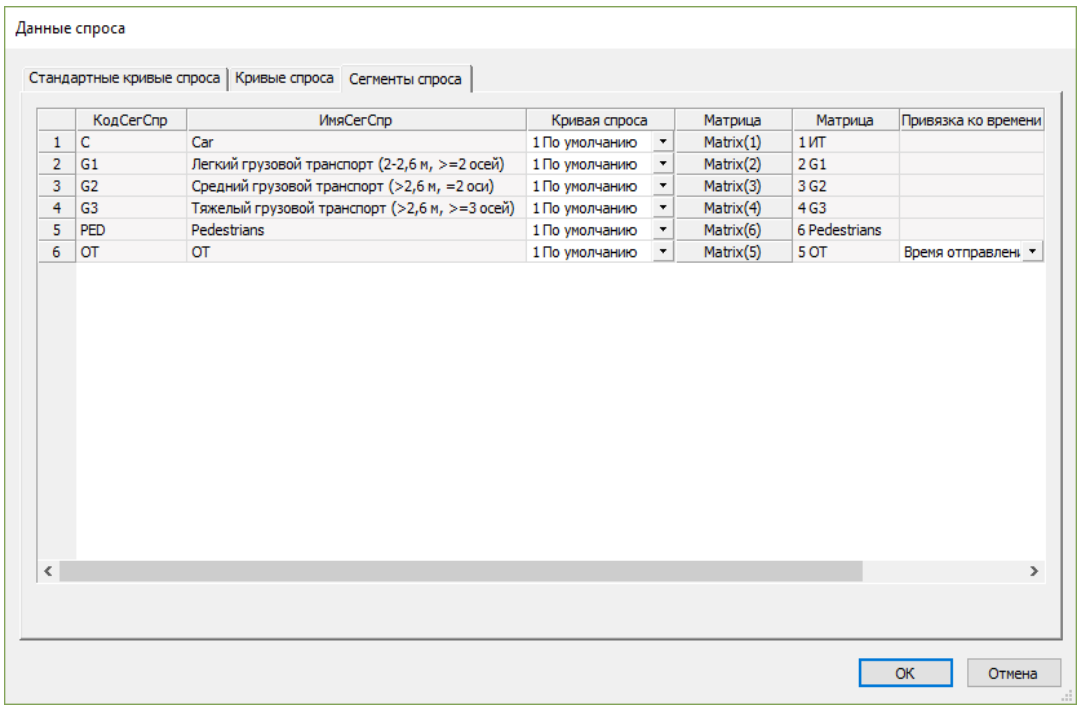

Рисунок 4.4 – Привязка сегментов спроса к матрицам корреспонденций

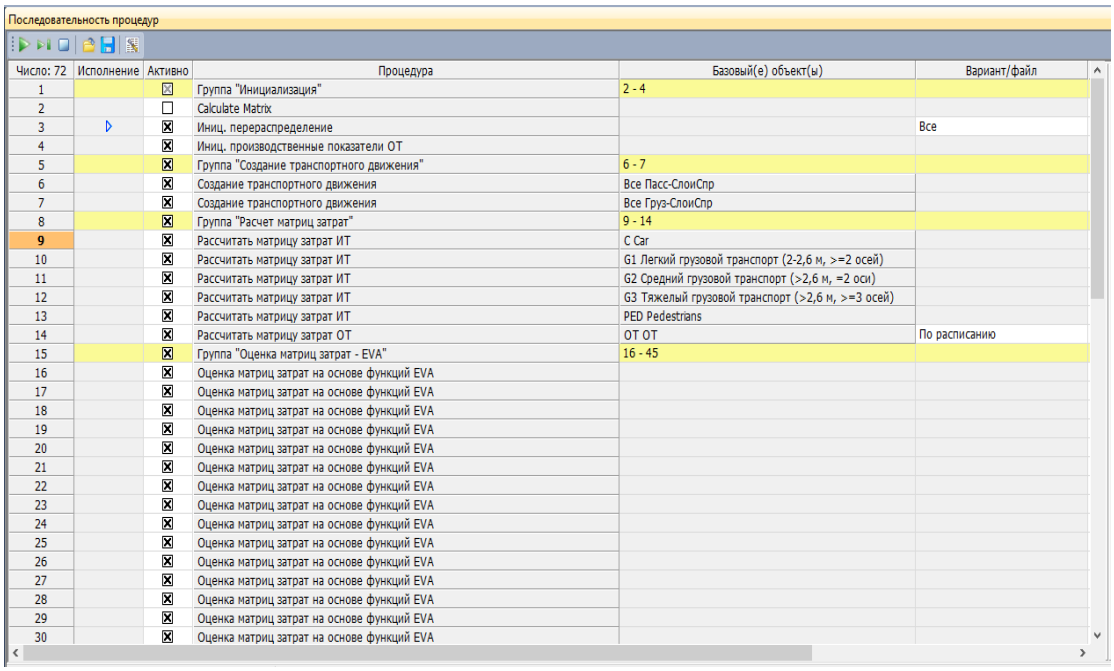

Рисунок 4.5 – Набор параметров последовательности процедур

5 Расчёт перераспределения транспортных (легкового и грузового транспорта) и пассажирских потоков, создание матрицы корреспонденции

Расчет объема пассажирских перемещений между транспортными районами

Таблица 5.1 - Расстояние между центрами районов в км

Номер района	1	2	3	4	5	6	7
1	—	21	53,4	87,4	66,9	34	58,3
2	21	—	68,8	74,7	82,7	49,2	55,8
3	53,4	68,8	—	142	94,1	77	111
4	87,4	74,7	142	—	109	85,9	44,3
5	66,9	82,7	94,1	109	—	35,7	65,5
6	34	49,2	77	85,9	35,7	—	43,8
7	58,3	55,8	111	44,3	65,5	43,8	—

Таблица 5.2 - Среднее время, необходимое для преодоления расстояния между расчетными зонами пешком, ч

Номер района	1	2	3	4	5	6	7	Среднее время передвижений
1	-	4,2	10,7	17,5	13,4	6,8	11,7	10,7
2	4,2	-	13,8	14,9	16,5	9,8	11,2	11,7
3	10,7	13,8	-	28,4	18,8	15,4	22,2	18,2
4	17,5	14,9	28,4	-	21,8	17,2	8,9	18,1
5	13,4	16,5	18,8	21,8	-	7,1	13,1	15,1
6	6,8	9,8	15,4	17,2	7,1	-	8,8	10,9
7	11,7	11,2	22,2	8,9	13,1	8,8	-	12,6

На основании данных таблицы длины передвижений (таблица 5.1) и таблицы времени передвижения между расчетными зонами (таблица 5.2) устанавливают коэффициенты передвижений d_1, d_2, d_3, …, d_n. Из таблицы берут те значения, которые соответствуют максимальному времени сообщения. Сумма всех коэффициентов для каждого пункта, в который совершаются передвижения, должна быть равна 1. Но так как в границах

отдельных интервалов времени могут быть несколько пунктов отправления или же вообще пунктов отправления может не оказаться, то сумма всех коэффициентов, как правило, не будет равна 1. Поэтому необходимо привести их к 1, умножая на коэффициент ψ:

$$\psi = 1/(d_1 + d_2 + d_3 + \ldots + d_n),$$

где d1, d2, d3, …, dn – коэффициенты распределения передвижения.

Полученные коэффициенты также сводят в табличную форму (таблица 5.3):

Таблица 5.3 – Расчет коэффициентов распределения передвижений

Назначение dij												
Номер района	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**Итого**	**Sp**	**Sp, км2**	**H**	**Кн**
1	—	0,279	0,114	0,078	0,279	0,155	0,096	1,000	4840,0	484,00	26659	0,32
2	0,264	—	0,152	0,076	0,264	0,152	0,094	1,000	4876,0	487,60	1105	7,85
3	0,113	0,154	—	0,154	0,154	0,271	0,154	1,000	14440,0	1444,00	21	1223,96
4	0,097	0,097	0,195	—	0,123	0,144	0,344	1,000	16800,0	1680,00	724	41,30
5	0,232	0,232	0,129	0,080	—	0,232	0,095	1,000	4400,0	440,00	98	79,92
6	0,123	0,123	0,221	0,090	0,221	—	0,221	1,000	10080,0	1008,00	201	89,27
7	0,092	0,092	0,153	0,276	0,112	0,276	—	1,000	7840,0	784,00	511	27,31

Передвижения между расчетными зонами происходит пропорционально численности населения зон отправления, емкости мест тяготения и коэффициентам относительной густоты расселения. Коэффициенты пропорциональности по численности населения определяют следующим образом:

$$K_1 = \frac{H_1}{H};\ K_2 = \frac{H_2}{H};\ K_3 = \frac{H_3}{H}\ \text{и т. д.}$$

где K_1, K_2, K_3, … - коэффициенты пропорциональности для расчетных зон 1, 2, 3, …; H_1, H_2, H_3, … - численность категории населения расчетных зон 1, 2, 3, …;

H – общая численность населения города.

Таблица 5.4 – Расчетное число передвижений из пунктов отправления, в %

Число передвижений из пунктов отправления, %								
Номер района	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**Итого**
1	—	0,2785	0,1142	0,0776	0,2785	0,1553	0,0959	1,0000
2	0,2635	—	0,1516	0,0758	0,2635	0,1516	0,0939	1,0000
3	0,1134	0,1538	—	0,1538	0,1538	0,2713	0,1538	1,0000
4	0,0974	0,0974	0,1949	—	0,1231	0,1436	0,3436	1,0000
5	0,2319	0,2319	0,1293	0,0798	—	0,2319	0,0951	1,0000
6	0,1230	0,1230	0,2213	0,0902	0,2213	—	0,2213	1,0000
7	0,0918	0,0918	0,1531	0,2755	0,1122	0,2755	—	1,0000

Таблица 5.5 – Расчетное число передвижений из пунктов отправления, в сут

Число передвижений из пунктов отправления								
Номер района	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**Итого**
1	—	7426	3044	2070	7426	4139	2557	26662
2	292	—	168	84	292	168	104	1108
3	3	4	—	4	4	6	4	25
4	71	71	142	—	90	104	249	727
5	23	23	13	8	—	23	10	100
6	25	25	45	19	45	—	45	204
7	47	47	79	141	58	141	—	513

Расчет объема транспортных перемещений между транспортными районами

Таблица 5.6 - Среднее время, необходимое для преодоления расстояния между расчетными зонами на транспорте, ч

Время передвижений между зонами								
Номер района	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**Среднее время передвижения**
1	-	0,60	1,53	2,50	1,91	0,97	1,67	1,53
2	0,60	-	1,97	2,13	2,36	1,41	1,59	1,68
3	1,53	1,97	-	4,06	2,69	2,20	3,17	2,60
4	2,50	2,13	4,06	-	3,11	2,45	1,27	2,59
5	1,91	2,36	2,69	3,11	-	1,02	1,87	2,16
6	0,97	1,41	2,20	2,45	1,02	-	1,25	1,55
7	1,67	1,59	3,17	1,27	1,87	1,25	-	1,80

Таблица 5.7 – Расчетный объем транспортных перемещений между районами (годовая работа транспорта)

Число передвижений из пунктов отправления								
Номер района	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**Итого**
1	—	155946	162550	180918	496799	140726	149073	1286012
2	6132	—	11558	6275	24148	8266	5803	62182
3	160	275	—	568	376	462	444	2286
4	6205	5304	20164	—	9810	8934	11031	61447
5	1539	1902	1223	872	—	821	655	7012
6	850	1230	3465	1632	1607	—	1971	10755
7	2740	2623	8769	6246	3799	6176	—	30353

Расчет распределения транспортного спроса по видам транспорта

Закономерности выбора цели и способа совершения передвижений установлены на основе результатов обследования интенсивности движения и откорректированы с учетом прогнозируемых изменений в его социально-демографической структуре, развития объектов трудового и культурно-бытового тяготения. Основным инструментом описания транспортного поведения населения при выборе пары «район отправления – район прибытия» в разработанной модели является функция «предпочтения» (рисунок 5.1).

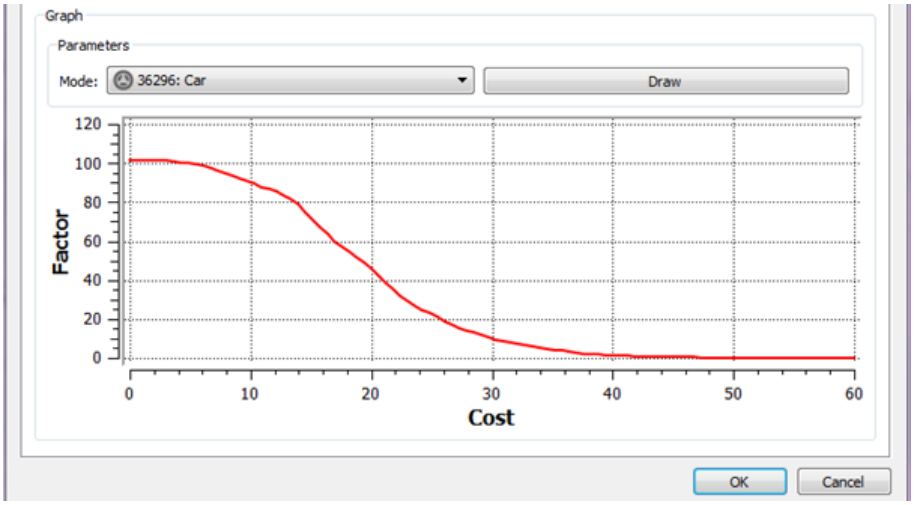

Рисунок 5.1 – Окно настройки функции предпочтения

Выбор района отправления и прибытия осуществляется в зависимости от затрат времени на передвижения. Для индивидуального транспорта затраты времени определяются с помощью функций снижения пропускной способности в нагруженной сети.

Выбор между общественным и индивидуальным транспортом

Выбор между общественным и индивидуальным видами транспорта зависит в основном от двух факторов:

- Уровня доходов и образа жизни населения;
- Уровня развития общественного (массового) транспорта.

Увеличение потребности в использовании индивидуальных видов транспорта происходит вследствие усложнения поведения человека при планировании деловых и трудовых передвижений. Усложнение обусловлено:

- Увеличением числа мест приложения труда, приходящихся на одного трудящегося;
- Увеличением потребности в индивидуальном общении (в том числе с деловыми целями).

Ограничивают использование индивидуального транспорта такие факторы как: высокие затраты на приобретение и эксплуатацию транспортных средств (включая затраты на хранение), ограничения для водителей (водитель вынужден выполнять строго регламентированную работу в процессе вождения), а также возрастные ограничения (школьники и студенты до 18 лет не имеют возможности водить автомобиль) и ограничения по состоянию здоровья.

Общественный (массовый) транспорт привлекателен для населения, совершающего регулярные поездки к местам приложения труда и местам проведения досуга, расположенным

около крупных узлов общественного транспорта, либо в центр города. Важнейшее значение для выбора в качестве основного вида общественного транспорта имеет его надежность.

В современных условиях развития транспортной системы можно полагать, что администрация города может влиять на перераспределение пассажиров между массовым и индивидуальным транспортом двумя способами:

- Увеличением привлекательности общественного (массового) транспорта;
- Введением запретов и ограничений на въезд в определенные районы города, установлением платы за парковку автомобилей.

На выбор пути следования в разработанной модели влияет ряд факторов, сводящихся к затратам времени на передвижение по тому или иному пути следования.

Базовые затраты времени на каждом участке транспортной сети определяются исходя из его длины и заданной максимальной скорости движения. Также учитываются затраты времени, обусловленные снижением пропускной способности в нагруженной улично-дорожной сети. При расчете фактической скорости движения учитываются следующие факторы:

- Доля тихоходных видов транспорта;
- Уплотнение потока транспортных средств;
- Уровень помех для движения по крайней правой полосе

Задержка на регулируемом пересечении определяется исходя из параметров цикла регулирования, количества транспортных средств, подходящих к пересечению, наличия «зеленой волны», наличия разрешенного левого поворота. Время движения подвижного состава общественного транспорта на участках улично-дорожной сети определяется временем движения потока с учетом дополнительного времени, необходимого для входа и выхода пассажиров

6. Калибровка мультимодальной макромодели по интенсивности транспортных (легкового и грузового транспорт) и пассажирских потоков

Данные исследований изменения интенсивности движения введены в модель транспортной сети в качестве исходных данных на 7 объектах сети с целью последующей оценки результатов математического моделирования. Значения замеренной интенсивности движения введены в модель в качестве атрибута соответствующего поворота. Для каждого поворота созданы атрибуты, позволяющие хранить информацию о структуре транспортного потока с учетом времени суток. Использование объекта сети «Поворот» (Turn) для хранения данных о замеренной интенсивности движения позволяет агрегировать её на уровень отрезков (перегонов между перекрестками), в которые входит или из которых выходит группа поворотов, что, в свою очередь, обеспечивает возможность как калибровки матрицы корреспонденций на уровне поворотов, так и удобного представления графической информации на уровне отрезков.

После завершения первого цикла расчета спроса на транспорт была проведена калибровка транспортной модели. В процессе калибровки проводилась серия вычислительных экспериментов с моделью, при этом менялись параметры функций предпочтения по критерию соответствия результатов расчета натурным обследованиям.

В результате были определены показатели, обеспечивающие точность модели. Калибровка транспортной модели проводилась в один этап – непосредственная калибровка модели транспортной сети.

Анализ и оценка точности модели

Транспортная модель является упрощенным представлением реальной транспортной ситуации. После ввода исходных данных и расчета транспортного спроса проведена проверка модели. Определено, насколько точно модель отражает реальную транспортную ситуацию. При отклонении заранее определенных показателей от допустимой нормы проводится калибровка модели.

Оценка реалистичности результата перераспределения транспортной модели проведена путем статистического сравнения наблюдаемых данных и расчетной нагрузки в модели. Для проверки адекватности модели определены значения ряда показателей на основе сравнения расчетных значений интенсивностей движения из модели и данных натурных обследований. Количество мест наблюдения (поворотов) – 25.

Ниже перечислены основные показатели, которые используются для оценки качества модели.

Средняя относительная ошибка – среднее отклонение абсолютных значений (разница между наблюдаемыми на местах подсчета и рассчитанными в модели значениями) в процентах. Вычисленная средняя относительная ошибка – 11.1058%.

Коэффициент корреляции – является мерой тесноты линейной связи между фактическими данными об интенсивностях потоков на местах подсчета и рассчитанной на основе модели нагрузкой. Он принимает значения в диапазоне: от -1 до 1. Чем ближе значение

коэффициента корреляции к 1, тем точнее ряд расчетных значений нагрузки аппроксимирует ряд фактических данных интенсивностей потоков, то есть модель точнее показывает поведение транспортного потока. Вычисленный коэффициент корреляции модели нулевого состояния – 0.8857.

Значения показателей качества перераспределения не являются абсолютными показателями достоверности модели в силу того, что в наблюдаемых значениях нагрузки легкового или грузового транспорта на местах подсчета могут содержаться ошибки. Ошибки получаются в результате присутствия человеческого фактора при сборе данных, их обработке, а также при дальнейшем приведении из часовых интенсивностей в суточные.

Полученные значения показателей качества модели говорят о том, что модель отражает существующую ситуацию с точностью, достаточной для использования построенной модели в целях долгосрочного прогнозирования.

7.1 Разработка варианта транспортной модели на краткосрочную перспективу (0-5 лет)

В качестве исходных данных для построения имитационной макромодели использовались следующие данные:

- Геометрия дорожной сети, включая ширины проезжих частей и полос движения, конфигурация перекрестков, радиусы закруглений;
- Схема ОДД;
- Состав транспортного потока;
- Часовые интенсивности движения транспорта на моделируемой магистрали в час «пик».

Построение транспортного движения осуществлялось путем определения состава транспортного потока. Данные о составе ТП были получены путем натурных обследований. Состав ТП определяет долю каждого класса ТС в каждом входящем потоке.

После определения состава ТП задавались ТП, входящие в сеть. В качестве исходных данных для входящих ТП задавалась часовая интенсивность движения ТС. В течение установленного периода времени ТС вводились на отрезок согласно распределению Пуассона.

Распределение Пуассона – вероятностное распределение дискретного типа, моделирует случайную величину, представляющую собой число событий, произошедших за фиксированное время, при условии, что данные события происходят с некоторой фиксированной средней интенсивностью и независимо друг от друга.

Если возникали сложности при введении ТС в сеть по причине ее занятости, происходило выстраивание ТС в очередь вне сети, а затем осуществлялся ввод в сеть по мере освобождения места.

Нерегулируемые пересечения моделировались путем регулирования права проезда конфликтных мест с помощью правил приоритета.

Правило приоритета состоит из стоп-линии, где ТС ждет на позиции вынужденной остановки и одного или нескольких мест, вызывающих помехи. В зависимости от текущих условий на конфликтных линиях стоп-линия «разрешает» проезд или нет. При подъезде ТС к стоп-линии проверяются два условия, которые отсчитываются от конфликтной линии по направлению навстречу движения: минимальное конфликтное расстояние, минимальное конфликтное время. Если значения этих параметров меньше установленных, то ТС ждет до тех пор, пока они не станут достаточно большими.

Для учета перспективного перераспределения пассажирского и грузового потока по сети учитываются мероприятия по строительству и реконструкции объектов транспортной инфраструктуры на расчетные сроки. Обработка информации осуществляется посредством создания в модели дополнительных сценариев с вводом вариантов развития перспективной сети.

Транспортная модель сроком до 5 лет представлена на рисунке 7.1.

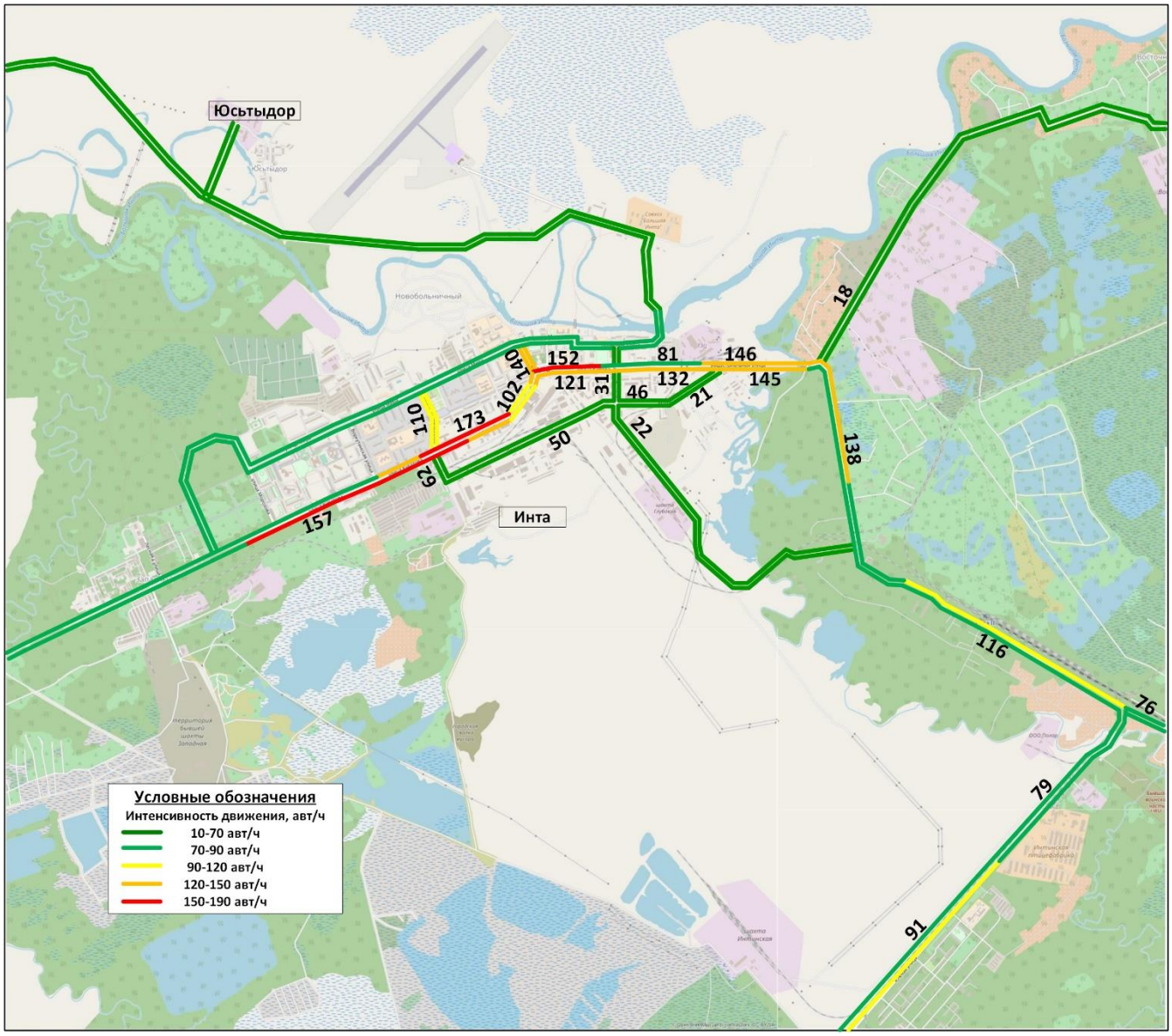

Рисунок 7.1 – Картограмма расчетной интенсивности движения на 2023 г.

7.2 Разработка варианта транспортной модели на среднесрочную перспективу (6-10 лет)

В транспортной модели на расчетный 2028 год учитывается следующее развитие дорожной сети:

- Содержание дорог общего пользования;
- Ввод светофорного регулирования на пересечении улиц;
- Размещение и обустройство пешеходных переходов;
- Устройство дорожных знаков для устранения помех движению и факторов опасности.
- Разработка Паспортов дорожной безопасности образовательных учреждений
- Реконструкция, строительство, приведение ООТ к нормативному состоянию, устройство заездных карманов и установка остановочных павильонов.

На рисунке 7.2 представлена картограмма расчетной интенсивности движения с классификацией по уровню загрузки в вечерний час пик на расчетный 2028 год.

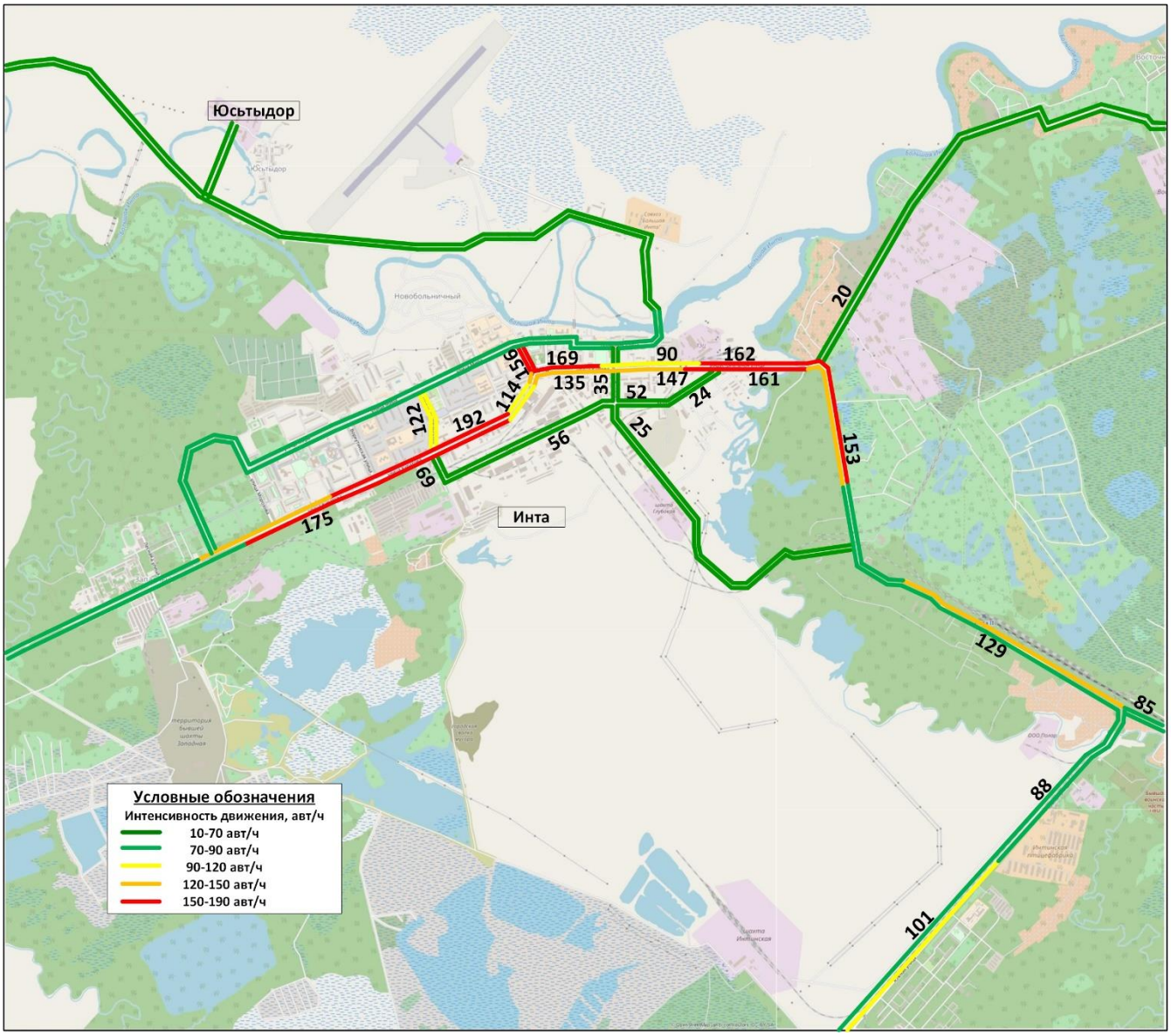

Рисунок 7.2 – Картограмма расчетной интенсивности движения на 2028 г.

7.3 Разработка варианта транспортной модели на долгосрочную перспективу (более 10 лет)

В соответствии с методикой, разрабатывается вариант транспортной модели на долгосрочную перспективу (более 10 лет).

В транспортной модели год учитывается следующее развитие дорожной сети:

- Организация систем мониторинга на пересечениях;
- Реализация мероприятий по созданию без барьерной среды для лиц с ограниченными физическими возможностями на существующих остановочных пунктах;
- Реконструкция, строительство, приведение ООТ к нормативному состоянию, устройство заездных карманов и установка остановочных павильонов на остановочных пунктах;
- Содержание дорог общего пользования;

– Капитальный ремонт автомобильных дорог общего пользования

На рисунке 7.3 представлена картограмма расчетной интенсивности движения с классификацией по уровню загрузки в утренний час пик на расчетный 2033 год.

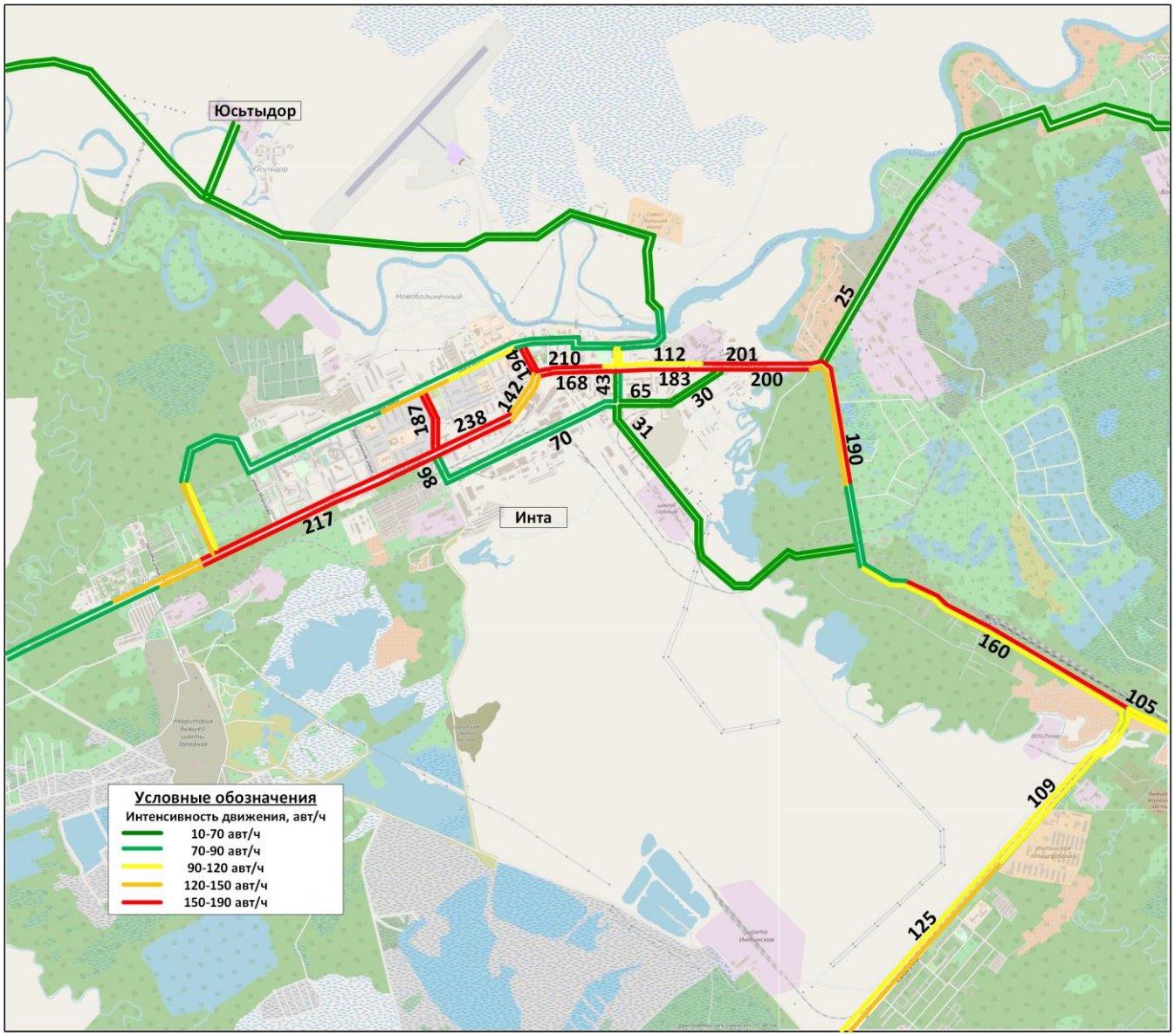

Рисунок 5.2 – Картограмма расчетной интенсивности движения на 2033 г.

Таким образом, была построена макромодели пересечения дорог в МОГО «Инта» и проведен анализ транспортной ситуации в модели. В результате анализа выявлены минимальные транспортные проблемы, так как интенсивности транспортных потоков имеют низкие значения, что не порождает транспортных проблем.

8 Разработка моделей ключевых транспортных узлов на территории МОГО «Инта»

8.1 Обоснование выбора транспортных узлов для осуществления микромоделирования;

В качестве транспортных узлов, на которых проводилось обследования, были выбраны следующие пересечения:

1. Ул. Дзержинского – ул. Куратова;
2. Ул. Индустриальная – ул. Мартовская;
3. Ул. Предшахтная – ул. Южная;

Определение параметров транспортных потоков в ключевых узлах

На рисунках 8.1 – 8.3 изображены ключевые пересечения с указанием условных обозначений каждого из направлений.

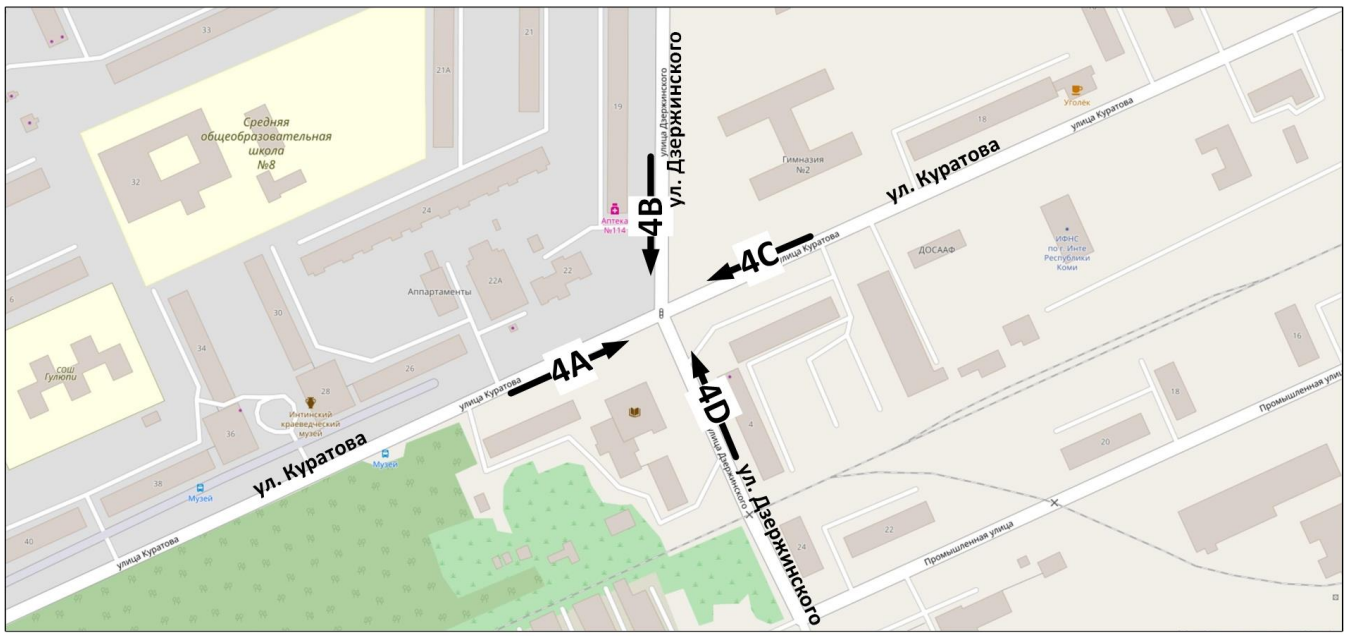

Рисунок 8.1 – Карта-схема пересечения ул. Дзержинского – ул. Куратова

Рисунок 8.2 – Карта-схема пересечения ул. Индустриальная – ул. Мартовская

Рисунок 8.3 – Карта-схема пересечения ул. Предшахтная – ул. Южная

Анализ результатов натурного обследования транспортных потоков, проведенного в рамках первого этапа разработки КСОДД выявил период пиковой загрузки улично-дорожной сети в вечерние часы с 18:00 до 19:00.

Основными характеристиками уровней обслуживания являются: коэффициент (уровень) загрузки дороги движением, интенсивность движения, пропускная способность. Коэффициент загрузки определяется отношением фактической интенсивности движения к практической пропускной способности участка дороги:

$$Z = N / P$$

где N - интенсивность движения, авт/ч;

P - практическая пропускная способность участка дороги (подхода), авт/ч.

$$\mathrm{P} = n * P_{\text{пол}}$$

где n – количество полос;

$P_{\text{пол}}$ – пропускная способность одной полосы, авт/ч.

Интенсивность транспортных потоков определяется на основе данных визуального или автоматизированного учета движения, а для вновь проектируемых дорог расчетными методами, в соответствии с действующим нормативно-техническим документом. Данные по интенсивности транспортных потоков и направлениям движения транспортных средств представлены в первом этапе разработки КСОДД.

Различают шесть уровней обслуживания движения на дорогах, характеристика которых приведена в табл.8.1

Таблица 8.1 Характеристика уровней обслуживания движения.

Уровень обслуживания движения	**Z**	**Характеристика потока автомобилей**	**Состояние потока**	**Эмоциональная загрузка водителя**	**Удобство работы водителя**	**Экономическая эффективность работы дороги**
A	<0,2	Автомобили движутся в свободных условиях, взаимодействие между автомобилями отсутствует	Свободное движение одиночных автомобилей с большой скоростью	Низкая	Удобно	Неэффективная
B	0,2-0,45	Автомобили движутся группами, совершается много обгонов	Движение автомобилей малыми группами (2-5 шт.). Обгоны возможны	Нормальная	Мало удобно	Мало эффективная
C	0,45-0,7	В потоке еще существуют большие интервалы между автомобилями, обгоны запрещены.	Движение автомобилей большими группами (5-14 шт.). Обгоны затруднены.	Высокая	Неудобно	Эффективная
D	0,7-0,9	Сплошной поток автомобилей, движущихся с малыми скоростями.	Колонное движение автомобилей с малой скоростью. Обгоны невозможны	Очень высокая	Очень неудобно	Неэффективная

E	0,9-1,0	Поток движется с остановками, возникают заторы, режим пропускной способности	Плотное	Очень высокая	Очень неудобно	Неэффективная
F	>1,0	Полная остановка движения, заторы	Сверх плотное	Крайне высокая	Крайне неудобно	Неэффективная

(Примечание. К участкам автомобильной дороги, обслуживающих движение в режиме перегрузки, относятся участки автомобильной дороги с уровнем обслуживания D, E или F.)

Произведен расчет коэффициента загрузки для каждого из выбранных перекрестков. Данные ключевые пересечения выбраны для моделирования на основании полученной информации об интенсивности движения транспортных средств.

В таблице 8.2 представлен уровень загрузки дорог и уровень обслуживания в ключевых транспортных узлах.

Таблица 8.2 Уровень загрузки дорог и уровень обслуживания в ключевых транспортных узлах.

№п/п	**Наим. уч.**	**Итого привед.ед. в час**	**Количество полос**	**Пропускная способность полосы**	**Пропускная способность подхода**	**Коэф. загрузки**
Ул. Дзержинского – ул. Куратова						
1	4A	157	1	1300	1300	0,12 (A)
2	4B	110	1	1300	1300	0,08 (A)
3	4C	173	1	1300	1300	0,13 (A)
4	4D	62	1	1300	1300	0,05 (A)
Ул. Индустриальная – ул. Мартовская						
1	2A	132	1	1300	1300	0,1 (A)
2	2B	146	1	1300	1300	0,11 (A)
3	2C	21	1	1300	1300	0,02 (A)
Ул. Предшахтная – ул. Южная						
1	5A	116	1	1300	1300	0,09 (A)
2	5B	76	1	1300	1300	0,06 (A)
3	5C	79	1	1300	1300	0,06 (A)

Уровень обслуживания **А** соответствует условиям, при которых отсутствует взаимодействие между автомобилями. Максимальная интенсивность движения не превышает 20% от пропускной способности. Водители свободны в выборе скоростей. Скорость практически не снижается с ростом интенсивности движения. По мере увеличения загрузки число дорожно-транспортных происшествий несколько уменьшается, но практически все они имеют тяжелые последствия.

В рамках первого этапа разработки КСОДД были собраны все необходимые данные для создания микромодели: геометрия пересечения, картографические основы для моделирования, параметры транспортных потоков пересечения.

Геометрические параметры пересечений определялись натурными обследованиями, а также топосъемкой без координатной привязки при помощи тахеометра и были представлены в первом этапе разработки КСОДД.

8.2 Описание методов и инструментального комплекса моделирования

Задачи по определению узких мест транспортной системы и оценке эффективности мероприятий по ее организации позволяет решать транспортное микромоделирование. В рамках данного проекта создается микромодель исследуемого участка, проводится проверка ее адекватности, определяются критерии оценки различных вариантов организации дорожного движения, проводится оптимизация исходной модели для максимального приближения моделируемой ситуации к реальной. Микромоделирование позволяет воссоздавать реальные ситуации в максимальном приближении к действительности и проводить транспортные исследования оперативно и действенно.

В качестве средства микромоделирования использовалось программное обеспечение PTV VISSIM. Основными компонентами микромодели являются:

- масштабированная графическая основа, представляющая моделируемый участок;
- конфигурация дорожной сети с разметкой;
- расположение светофорных объектов;
- состав и интенсивность транспортных потоков на всех входах дорожной сети;
- маршрутная сеть с распределенной по типу ТС относительной нагрузкой.

Vissim базируется на моделях транспортного потока и регулировании с помощью светосигнальных установок. Они обмениваются данными измерений детекторов и данными о состоянии светофорного регулирования. Многие важные транспортно-технические параметры наглядно отображаются в окнах или выводятся в файлы или базы данных, к примеру, распределение времени в пути и распределение времени задержки, дифференцированные по группам пользователей.

Модель транспортного потока определяет модель поведения за впереди идущим с целью отображения движения в колонне транспортного средства по одной полосе движения, а также модель смены полосы движения.

Транспортные средства перемещаются в сети с помощью модели транспортного потока. Качество модели транспортного потока оказывает существенное влияние на качество имитации. В отличие от более простых моделей, в которых за основу берутся постоянные скорости и неизменное поведение следования за впереди идущими транспортными средствами.

Модель следования за впереди идущим была принята эталонной после многочисленных эмпирических исследований, проведенных техническим университетом г. Карлсруэ. Более актуальные измерения доказывают, что изменившаяся за последние годы манера езды и технические возможности транспортных средств корректно отображаются в данной модели.

В модели Vissim на проезжих частях с несколькими полосами движения водитель учитывает не только впереди едущие транспортные средства, но и ТС на соседних полосах.

Последовательность действий по разработке базовой микромодели в Vissim выглядит следующим образом.

На первом этапе микромоделирования решаются такие задачи как изучение и анализ исходной информации и документации, уточнение имеющейся информации (план-схемы, карты и пр.), определение недостающей информации, разработка плана съемки ключевых элементов моделируемого участка и расчета транспортных потоков, проходящих через район моделирования.

Далее осуществляется построение микромодели анализируемого участка и ввод всей необходимой информации. После построения микромодели осуществляется первоначальное моделирование с целью измерения параметров разработанной модели для последующих процедур оценки адекватности и калибровки. Процедура оценки адекватности модели и ее калибровки состоит из проверки ряда основополагающих факторов:

- визуальное отсутствие столкновения транспортных средств (проезд через друг друга) при пересекающихся потоках;
- взаимодействие со светофорами (остановка ТС у стоп линий на запрещающий сигнал светофора);
- после каждой итерации (запуск имитации) в папке с проектом появляется файл с расширением *.err, в котором присутствует описание найденных в модели ошибок. Необходимо, чтобы их количество было минимальным (в зависимости от размера модели);
- визуальное отсутствие пропадания транспортных средств при движении по маршрутам с одного отрезка на другой;
- проконтролировать внесенные исходные данные (состав транспортного потока, интенсивности входящих потоков, распределение по маршрутам, расписания движения ОТ, время ожидания на остановках ОТ и т.д.).

После осуществления процедур калибровки получается микромодель, адекватно отражающая реальную транспортную ситуацию на анализируемом участке УДС. Следующим шагом в построении модели является анализ параметров дорожного движения. Для проведения данного анализа необходимо включить в модель различные датчики и детекторы, которые позволят получить данные о средней скорости, плотности и загрузке транспортных потоков, длине заторов и времени в пути на подъездах к пересечениям. После анализа полученных данных можно делать вывод о необходимости введения мероприятий по оптимизации дорожного движения или о ее отсутствии.

Разработка микромоделей исследуемых пересечений

В качестве растровой основы для построения микромодели использовалась базовая картографическая подложка программы Vissim: OpenStreetMap, в дальнейшем переведенная в карту вида со спутника, для более понятной визуализации ситуации. Основа для пересечения улиц приведена на рисунках 8.4-8.6.

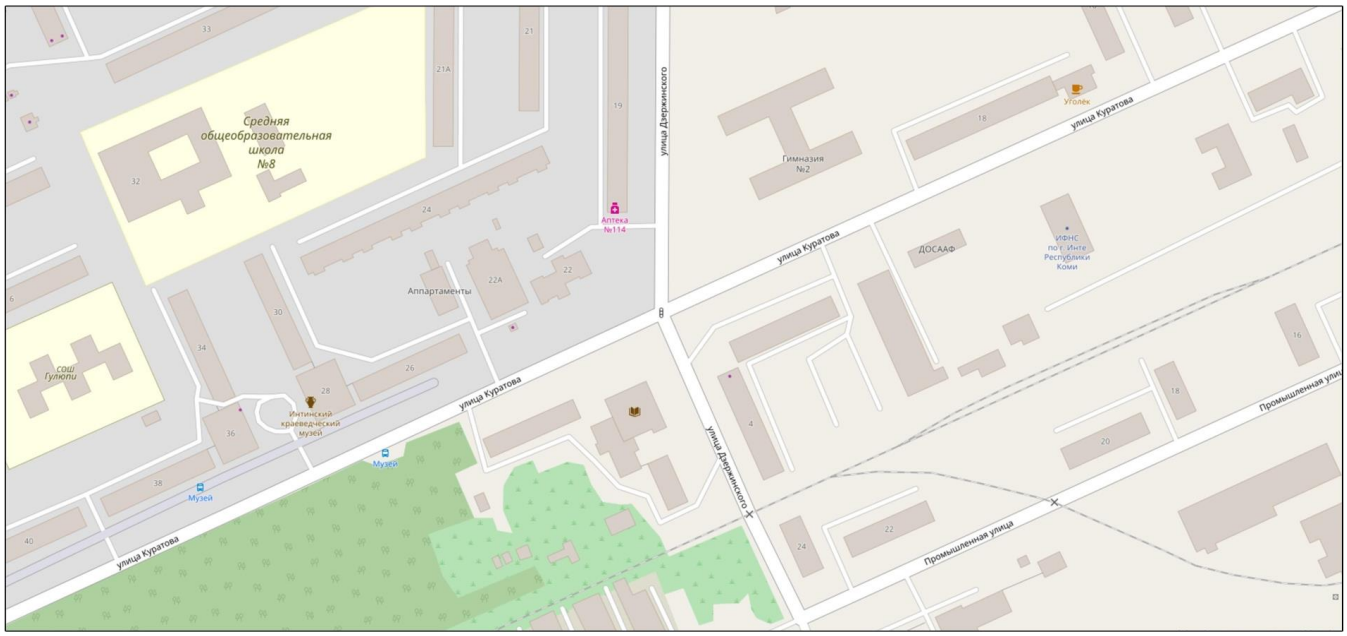

Рисунок 8.4 – Графическая основа микромодели (ул. Дзержинская – ул. Куратова)

Рисунок 8.5 – Графическая основа микромодели (ул. Индустриальная – ул. Мартовская)

Рисунок 8.6 – Графическая основа микромодели (ул. Предшахтная – ул. Южная)

В программе VISSIM были построены транспортные схемы пересечения, которые состоят из дорожных и соединительных отрезков с шириной, соответствующей исходным данным о геометрических характеристиках моделируемых объектов.

Отрезки представляют собой проезжую часть дороги в разных направлениях с установленным количеством полос движения, которое задается как параметр соответствующих отрезков. Схемы создавались на масштабированной спутниковой графической основе, что позволило построить геометрию пересечений в соответствии с существующими конфигурациями узлов – рисунки 8.7- 8.12.

Рисунок 8.7 – Геометрия пересечения дорог (Ул. Дзержинская - Ул. Куратова)

Согласно установленным на пересечении дорожным знакам улица Куратова является главной дорогой. Т.к. перекресток регулируемый, в модели порядок проезда конфликтных точек определен светофорным регулированием. На рисунке 8.8 представлен фрагмент моделирования транспортной ситуации пересечения ул. Дзержинской – ул. Куратова. Зеленым цветом выделена полоса движения, находясь на которой, транспортное средство обладает приоритетом проезда, а красным цветом выделена полоса движения, движения по которой является второстепенным. Определение правил проезда пересечения позволяет более точно смоделировать конфликтные ситуации на пересечении и обеспечить высокую точность моделирования.

Рисунок 8.8 – Фрагмент моделирования транспортной ситуации пересечения ул. Дзержинская ул.Куратова

Рисунок 8.9 – Геометрия пересечения дорог (ул. Индустриальная – ул. Мартовская)

Согласно установленным на пересечении дорожным знакам ул. Индустриальная является главной дорогой. Т.к. перекресток нерегулируемый, в модели порядок проезда конфликтных точек определен на основании правил дорожного движения. На рисунке 8.10 представлен фрагмент моделирования транспортной ситуации пересечения ул. Индустриальной – ул. Мартовской.

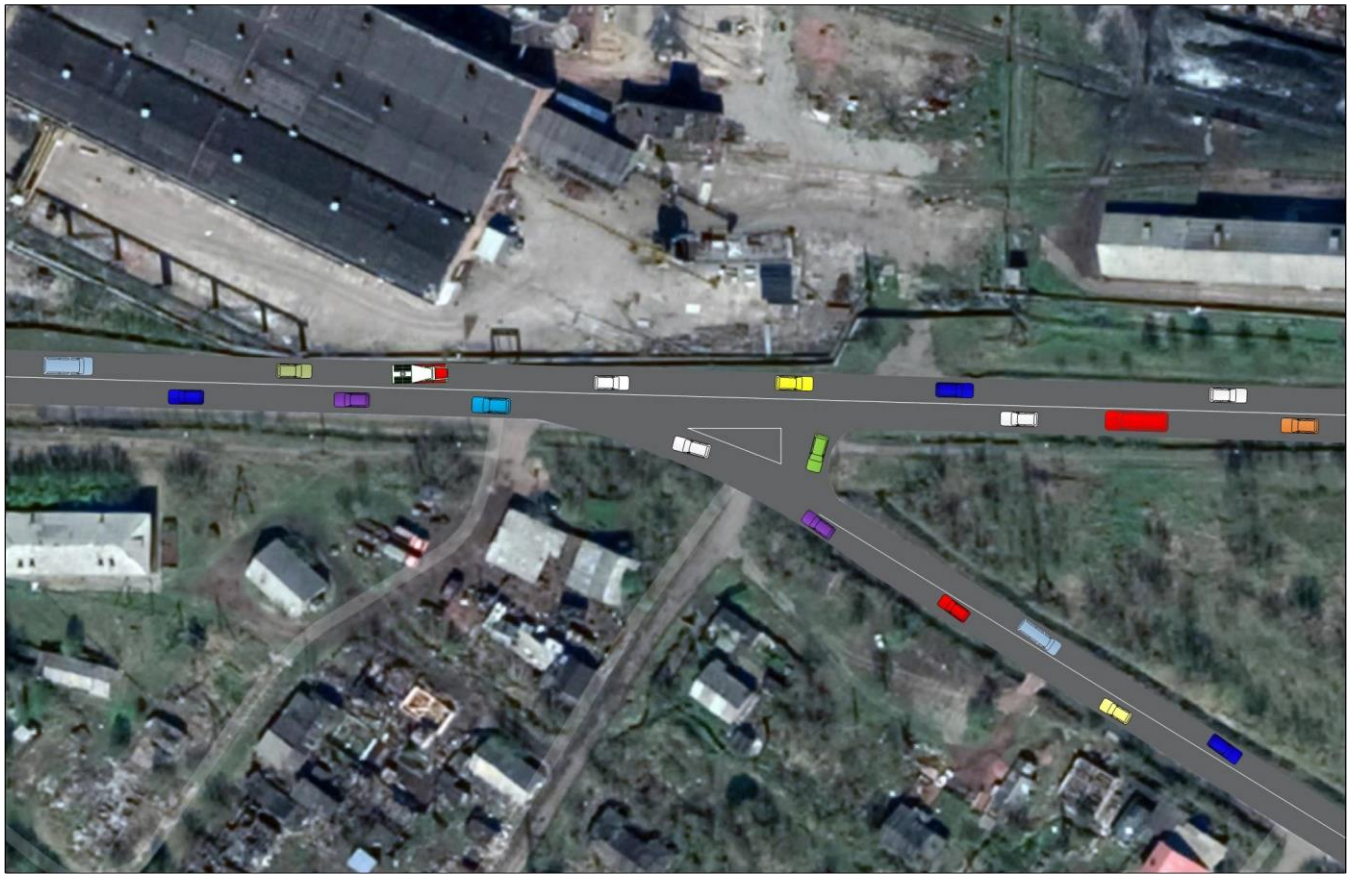

Рис. 8.10 – Фрагмент моделирования транспортной ситуации пересечения ул. Индустриальная – ул. Мартовская.

Рисунок 8.11 – Геометрия пересечения дорог (ул. Предшахтная – ул. Южная)

Согласно установленным на пересечении дорожным знакам улица Предшахтная является главной дорогой. Т.к. перекресток нерегулируемый, в модели порядок проезда конфликтных точек определен на основании правил дорожного движения. На рисунке 8.12

представлен фрагмент моделирования транспортной ситуации пересечения ул. Предшахтной – ул. Южной.

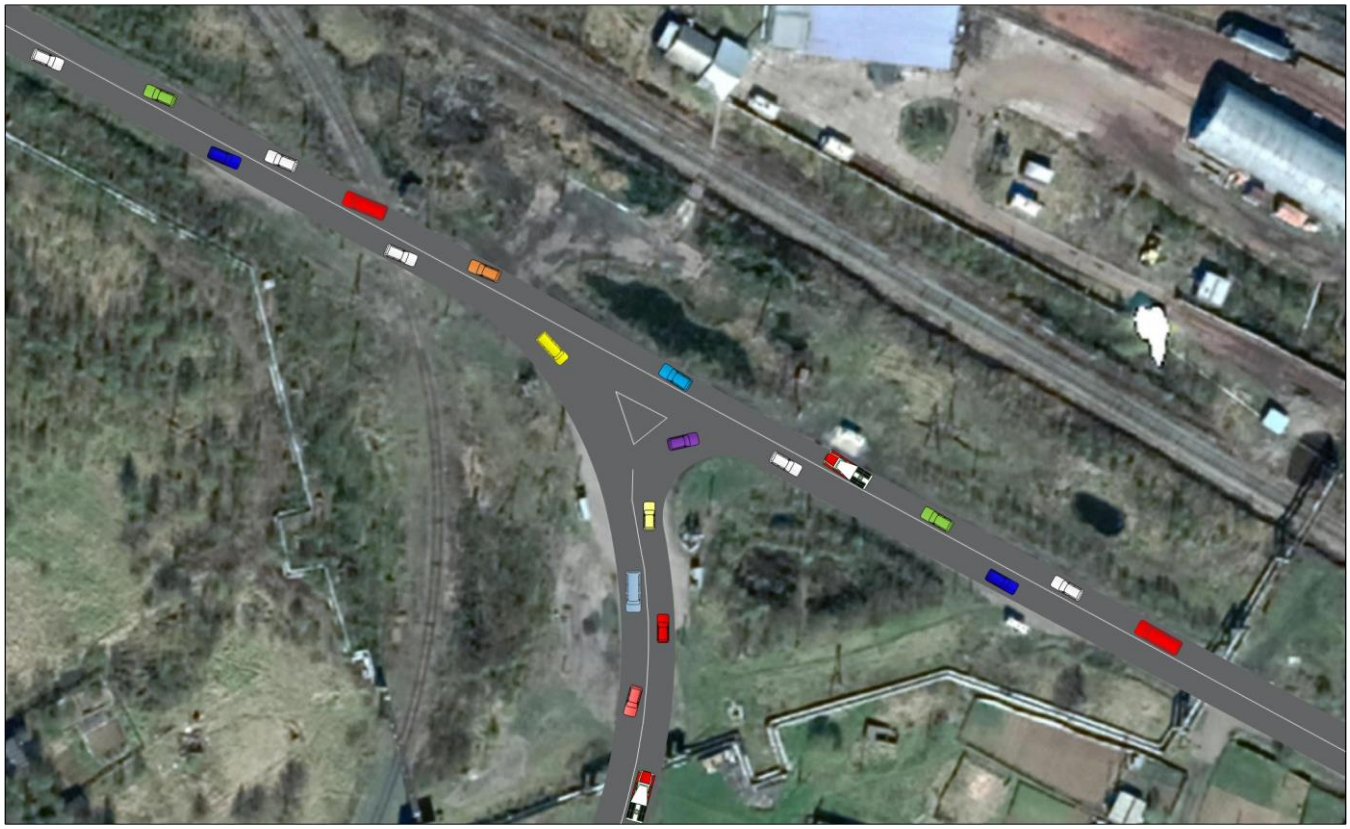

Рис. 8.12 – Фрагмент моделирования транспортной ситуации пересечения ул. Предшахтная – ул. Южная

Также на основании полученных из паспортов замеров данных были заданы маршруты движения ТС в модели и введены нагрузки по каждому направлению.

Для дальнейшего анализа были установлены детекторы измерения длины затора и измерения времени в пути на пересечении. Счетчик затора используется для определения максимальной длины затора, средней длины затора и количества остановок, совершаемых транспортными средствами. Время в пути измеряется на интересующих участках узла. Полученные с измерителей данные будут использоваться в дальнейшем анализе существующей на перекрестке ситуации.

На данном этапе моделирования была проведена симуляция функционирования транспортной сети, проверка адекватности построенной модели и ее калибровка. Проверку адекватности построенная модель прошла успешно:

- столкновения транспортных средств (проезд через друг друга) при пересекающихся потоках отсутствуют;
- пропадание транспортных средств при движении по маршрутам с одного отрезка на другой отсутствует;
- калибровка микромодели проводилась по результатам натурного обследования существующей транспортной ситуации.

После проверки модели производится ее итоговая симуляция и запись информации с измерительных пунктов.

8.3 Расчет времени в пути, а также распределение средней скорости транспортного потока в ключевых транспортных узлах

На основе данных, полученных с помощью датчиков, проводится анализ транспортной ситуации и проблем, возникающих на пересечении. На рисунках 8.13, 8.14, 8.15 показано распределение скоростей движения транспортных средств на ключевых пересечениях.

Также на рисунках отображена таблица с цветными обозначениями скорости на отрезках. Полученные схемы распределения скорости движения характерны для заторного движения на немного загруженных пересечениях.

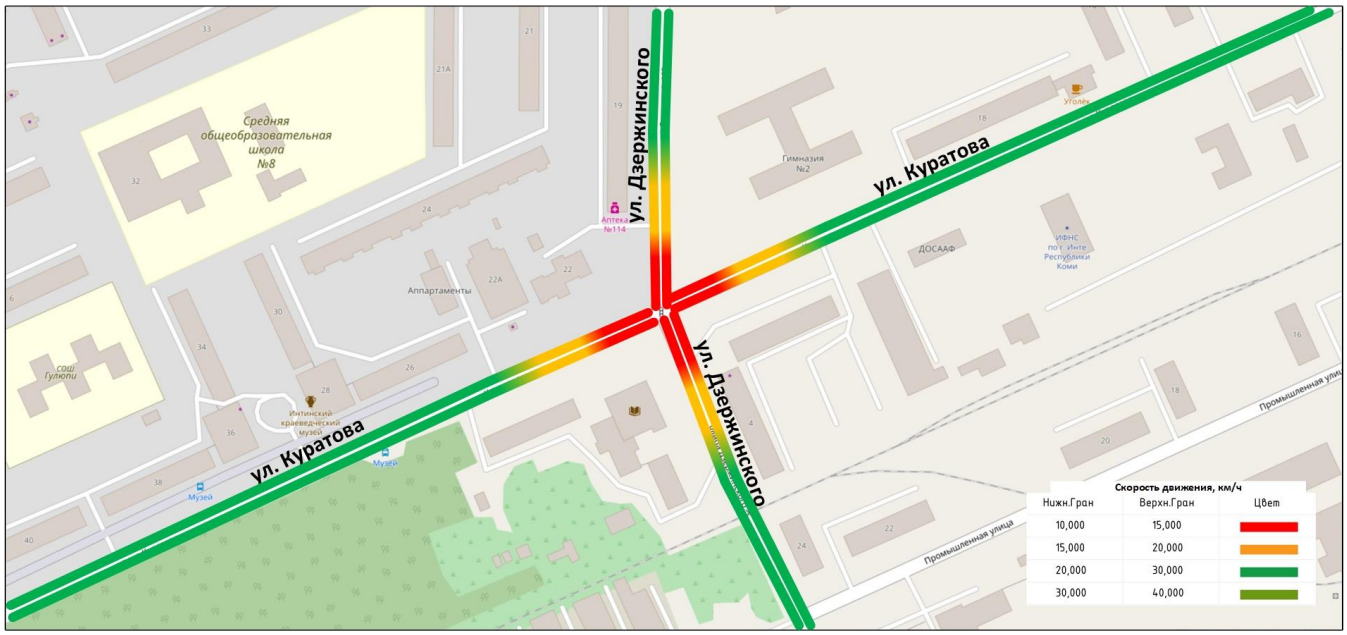

Рис. 8.13 – Распределение скоростей движения транспортных средств (пересечение Ул. Дзержинского – Ул. Куратова)

Рис. 8.14 – Распределение скоростей движения транспортных средств (пересечение ул. Индустриальная – ул. Мартовская)

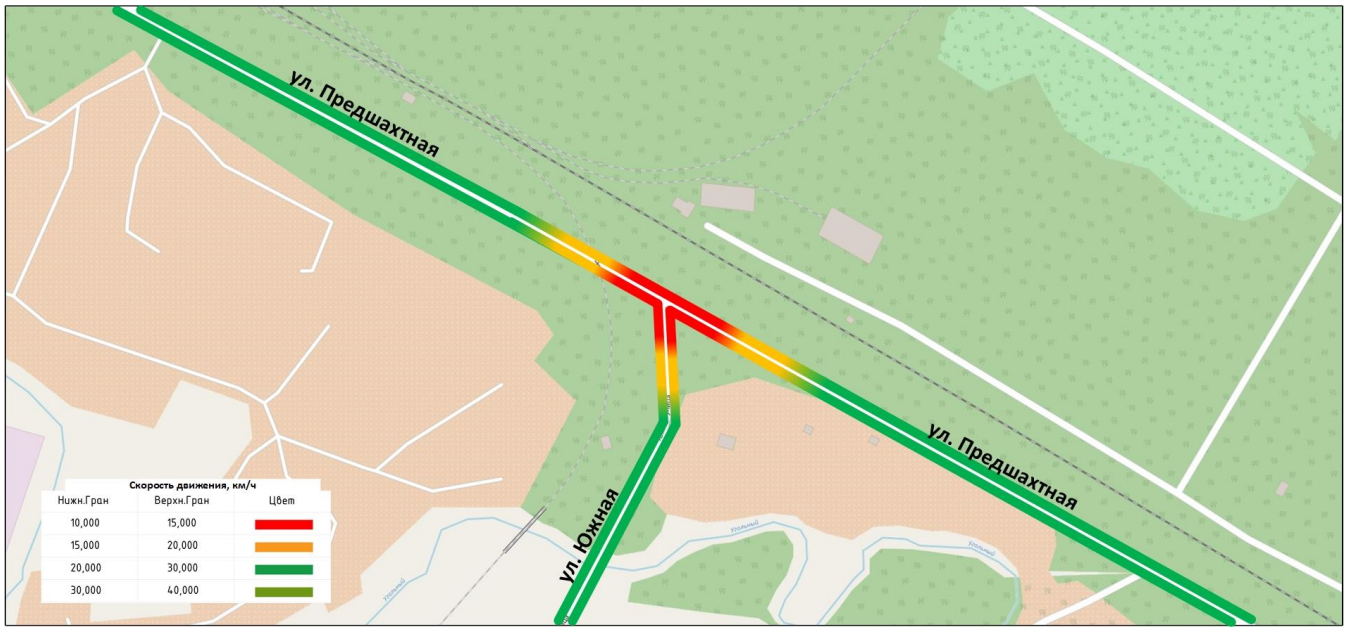

Рис. 8.15 – Распределение скоростей движения транспортных средств (пересечение ул. Предшахтная – ул. Южная)

Существенное снижение скорости на данных транспортных узлах происходит при выполнении маневра левого поворота. На подъездах к пересечению движение затруднено из-за повышенного потока машин.

8.4 Анализ причин недостаточной пропускной способности и определение оптимального варианта организации дорожного движения в ключевых транспортных узлах

Анализ транспортного узла Ул. Дзержинского – Ул. Куратова.

Анализ времени в пути транспортных средств показал, что среднее время проезда пересечения транспортным средством составляет от 13 с до 19 с, с учетом действующего

скоростного режима и конфигурации узла, полученные значения свидетельствует о небольшом снижении скорости ТС на пересечении. Небольшая задержка движения образуется на главной улице (ул. Куратова). На основе результатов, полученных с измерителей микромодели на пересечении выявлены небольшие очереди на проезд. Однако интенсивность движения транспортных средств по второстепенной улице (ул. Дзержинской) составляет менее 300 ед./ч в обоих направлениях в «час пик» рабочего дня недели, интенсивность движения пешеходов невысокая, пересекающих проезжую часть этой же дороги в одном направлении, поэтому на данном пересечении нецелесообразно рассматривать размещение светофора.

Анализ транспортного узла ул. Индустриальная – ул. Мартовская.

Анализ времени в пути транспортных средств показал, что среднее время проезда пересечения транспортным средством составляет от 15 с до 20 с, с учетом действующего скоростного режима, конфигурации узла, полученные значения свидетельствует о небольших заторах на пересечениях. На основе результатов, полученных с измерителей микромодели на пересечении выявлены небольшие очереди на проезд. Интенсивность движения транспортных средств по ул. Мартовской составляет менее 400 ед./ч в обоих направлениях в «час пик» рабочего дня недели, поэтому на данном пересечении нецелесообразно рассматривать размещение светофора

Анализ транспортного узла ул. Предшахтная – ул. Южная.

Анализ времени в пути транспортных средств показал, что среднее время проезда пересечения транспортным средством составляет от 20 с до 25 с, с учетом действующего скоростного режима, конфигурации узла, полученные значения свидетельствует о небольших заторах на пересечениях. На основе результатов, полученных с измерителей микромодели на пересечении выявлены небольшие очереди на проезд. Интенсивность движения транспортных средств по улице Южной составляет менее 200 ед./ч в обоих направлениях в «час пик» рабочего дня недели, на данном пересечении нецелесообразно рассматривать размещение светофора.