



ООО «Магистральсервис»

УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор

_____ О.А.Власенко

« » _____ 2018 г.

**КОМПЛЕКСНАЯ СХЕМА ОРГАНИЗАЦИИ
ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ
НА ТЕРРИТОРИИ МУНИЦИПАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
ГОРОД ГОРЯЧИЙ КЛЮЧ**

**Разработка математической транспортной модели муниципального
образования город Горячий Ключ**

**2 этап
(промежуточный)**

Руководитель темы

В. В. Лазарев

Темрюк, 2018г.

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы	_____ Лазарев В.В.
Главный специалист	_____ Москаленко Д.В.
Заместитель директора по техническим вопросам	_____ Колтунов Е.А.
Начальник отдела Транспортного планирования	_____ Лазарев В.В.
Инженер отдела Транспортного планирования	_____ Уланов Н.М.
Инженер отдела Транспортного планирования	_____ Орлова И.И.
Начальник отдела Генерального плана	_____ Лазарева О.А.
Инженер отдела Генерального плана	_____ Говорухин Т.С.
Начальник отдела Транспортного моделирования	_____ Утка В.Д.
Инженер отдела Транспортного моделирования	_____ Безруков Д.А.
Начальник отдела проектирования ОДД	_____ Ижутов Н.В.
Инженер отдела проектирования ОДД	_____ Галайковский Д.В.
Нормоконтролер	_____ Власенко О.А.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. Исходные данные для создания мультимодальной математической модели работы транспорта территории	6
1.1. Методика создания транспортной модели	10
1.2. Модель создания транспортного движения	13
1.3. Модель распределения транспортного движения	14
1.4. Модель выбора режима	15
1.5. Модель перераспределения.....	15
1.6. Расчет спроса для грузовых перемещений.....	16
1.7. Расчет кордонных корреспонденций	17
2. Создание транспортного графа.....	19
2.1. Ввод параметров улично-дорожной сети, транспортных инфраструктурных объектов	19
2.2. Ввод маршрутной сети, остановок и интервалов движения пассажирского транспорта	25
2.3. Ввод объектов светофорного регулирования.....	27
2.4. Четырёхшаговая модель расчета транспортного спроса	28
Этап 1 – Модель создания (генерации) транспортного движения.	28
Этап 2 – Модель распределения транспортного движения по районам.....	29
Этап 3 – Модель выбора транспорта.....	29
Этап 4 – Модель перераспределения (выбора пути).	29
2.5. Расчет с помощью разработанной модели спроса данных об источнике, цели, количестве желаемых поездок	30
2.6. Транспортная модель Ярославской агломерации.....	32
3. Калибровка транспортной модели	34
3.1. Приведение различных групп транспортных средств к легковому автомобилю.....	34
3.2. Ввод в транспортную модель результатов замеров интенсивности транспортных потоков	35

3.3. Калибровка базовой транспортной модели на текущую ситуацию по данным замеров интенсивности транспортных потоков.....	36
3.4. Оценка показателей качества транспортной модели	37
4. Расчет транспортного потока грузовых автомобилей.....	40
5. Микромоделирование транспортных потоков.....	42
5.1. Проведение транспортных обследований с целью установления параметров транспортных потоков в ключевом транспортном узле	42
5.2. Описание программного продукта AnyLogic, используемого для разработки модели ключевого транспортного узла.....	43
5.3. Микромоделирование транспортного потока	45
5.4. Анализ результатов микромоделирования.....	47

ВВЕДЕНИЕ

Транспорт и создающая условия его работы транспортная инфраструктура являются одной из системообразующих отраслей региональной экономики, обеспечивающей территориальную целостность регионов и единство его экономического пространства.

Развитие транспортной инфраструктуры является необходимым условием реализации инновационной модели экономического роста и улучшения качества жизни населения, как региона, так и отдельно взятого муниципального образования.

В последние десятилетия во многих крупных городах исчерпаны возможности экстенсивного развития транспортной инфраструктуры. Поэтому особую роль приобретает оптимальное планирование сетей, улучшение организации дорожного движения, оптимизация системы маршрутов общественного транспорта. Решение таких задач невозможно без моделирования транспортных сетей. Главная задача транспортной модели – определение и прогноз всех параметров функционирования транспортной сети, таких как интенсивность движения на всех элементах сети, объемы перевозок в сети общественного транспорта, средние скорости движения, задержки движения и т.д.

На основании полученных результатов I этапа работ сформированы матрицы корреспонденций, описывающие направления и интенсивность транспортных и пассажирских потоков на территории города Горячий Ключ.

Анализ результатов обследования, включающего все виды транспорта, а также существующего социально-экономического развития области исследования позволил разработать и откалибровать транспортную модель существующего состояния развития транспортной инфраструктуры.

Базовая транспортная модель города Горячий Ключ стала основой при разработке моделей прогнозных лет транспортной системы.

На основании исходных данных были разработаны прогнозные транспортные модели города Горячий Ключ: краткосрочный прогноз (до 2023г.), среднесрочный прогноз (до 2028г.), и долгосрочный прогноз (до 2033г.). Данные транспортные модели учитывают прогноз социально-экономического развития г.п. Янино-1, рост уровня автомобилизации, а также мероприятия, запланированные целевыми адресными программами.

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАБОТЫ ТРАНСПОРТА ТЕРРИТОРИИ

Сравнение различных способов сбора исходных данных об интенсивности транспортных потоков. На практике существуют и применяются различные способы и методы сбора информации об интенсивности транспортных и пешеходных потоков. Сбор такой информации проводят с различными целями. Так, информация об интенсивности движения транспортных средств на перегоне является основой для расчета характеристик дорожной одежды при реконструкции улично- дорожной сети. Информация об интенсивности движения транспортных и пешеходных потоков на перекрестке с различных направлений движения является основой проектов организации дорожного движения, в том числе с использованием различных технических средств регулирования. Процесс разработки проектных предложений по организации дорожного движения и реконструкции участков улично-дорожной сети обычно начинается со сбора информации об интенсивности транспортных и пешеходных потоков.

Интенсивность движения на улично-дорожной сети в городах неравномерна в течение суток, поэтому сбор данных, которые необходимо получить для каждого конкретного объекта, следует проводить, как минимум, в течение дневного периода времени с 7-00 часов до 20-00 часов.

Кроме того, для получения объективной и достоверной информации об интенсивности движения транспортных и пешеходных потоков на исследуемых объектах необходимо провести сбор данных одновременно в нескольких точках обследования. Получение дневных данных таким способом является дорогостоящим мероприятием. В ходе исследования были использованы несколько способов сбора информации, касающейся интенсивности транспортных потоков.

Качество получаемой информации зависит от способа сбора данных об интенсивности движения. Для оценки качества получаемой информации проводится сравнительный анализ данных по интенсивности транспортных и пешеходных потоков, полученных различными способами.

Разработка транспортной модели города Горячий Ключ

Спрос на транспорт возникает, если определенная последовательность действий (дом – работа – магазин – дом) не может быть выполнена в одном и том же месте, и поэтому необходима смена места деятельности.

Спрос на транспорт рассчитывается и сохраняется в матрице, в которой в столбцах и строках расположены все районы, содержащиеся в транспортной модели.

- Элемент матрицы индивидуального транспорта имеет единицу измерения Поездка ТС, а элемент матрицы пассажирского транспорта общего пользования – Пассажирская

поездка. Данный параметр содержит количество желаемых поездок из транспортного района i в транспортный район j .

- Матрица корреспонденций относится к определенному интервалу времени (периоду исследования), поэтому она содержит только те поездки, которые осуществляются в пределах рассматриваемого интервала времени.
- Поездки матрицы корреспонденций могут относиться ко всей системе транспорта, к частичным системам транспорта (например, пешком, транспорт общего пользования, индивидуальный транспорт), к группам людей (например, трудящиеся, школьники) или к причинам поездки (например, работа, магазин, свободное время).
- Каждая матрица корреспонденций присваивается одному конкретному сегменту спроса.

При определении спроса на транспорт в модели применяются параметры спроса на перемещения, полученные в результате опроса подвижности населения.

Спрос на транспорт, полученный в результате расчетов, (т.н. рассчитанный спрос на транспорт) содержит предположения относительно количества и распределения поездок. Для расчета спроса на транспорт применяются модели спроса на транспорт.

- Рассчитанный спрос на транспорт обозначается как сегодняшний спрос на транспорт, если в основу расчета была положена имеющаяся на сегодняшний день инфраструктура, структура населения и экономики, а также актуальное транспортное предложение.
- В основе прогнозируемого спроса на транспорт лежат данные прогнозов относительно будущей структуры населенных пунктов, будущей структуры населения и экономики и будущего транспортного предложения.

В ходе работ по созданию транспортной модели Ярославской городской агломерации с применением ПО PTVVISUM для расчета модели спроса использовалась 4-ступенчатая модель, т.е. помимо перераспределения транспортного движения (выбор и загрузка маршрута с целью передвижения из района источника в район цели) еще три дополнительных ступени: создание транспортного движения, распределение транспортного движения и выбор режима (выбор транспортного средства).

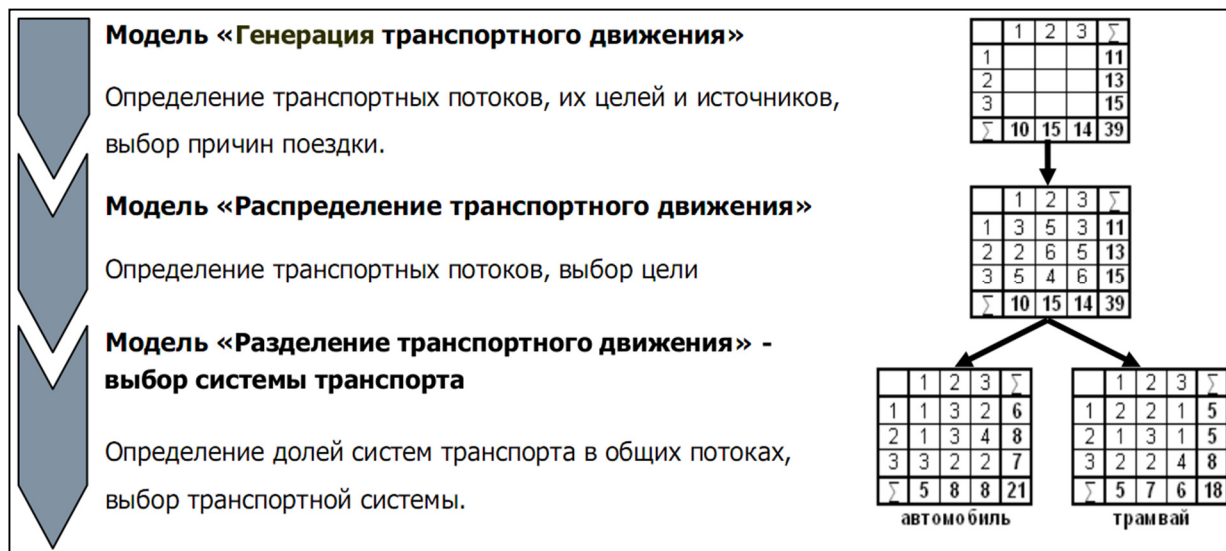


Рисунок 1. Последовательность расчета спроса на транспорт с помощью 4-х ступенчатой модели

На первой ступени классической модели – в создании транспортного движения – устанавливаются точки создания и притяжения (движение из источника и в цель) для каждого района на основе доступных демографических данных (в транспортной модели города Сочи это численность населения, количество рабочих мест и вместимость точек притяжения интереса на территории определенного транспортного района).

Эти значения создания и притяжения задают суммы матрицы всего транспортного потока, которая определяется на второй ступени – в распределении транспортного движения – с помощью релевантных параметров (например, время поездки, стоимость проезда).

Затем на третьей ступени суммарная матрица корреспонденций на транспорт распределяется на отдельные режимы транспортного движения (например, индивидуальный транспорт, транспорт общего пользования), для этого используются параметры, характерные для того или иного режима.

Получившиеся в результате матрицы корреспонденций, содержащие тот или иной режим, на четвертой ступени могут распределяться на транспортное предложение (УДС и маршруты НТОП) с помощью процедуры перераспределения для индивидуального транспорта и транспорта общего пользования, для того чтобы получить нагрузки для отрезков и пассажиропоток на маршрутах НТОП. В свою очередь, эти параметры могут использоваться как исходные данные для перераспределения транспортного движения или для выбора режима при проведении нового расчета спроса.

Группы – это «поведенчески однотипные» группы людей. Различия в поведении относительно использования транспорта между различными группами должны быть отчетливыми, в то время как в пределах одной группы поведение должно быть максимально схожим.

Модель спроса исходит из того, что цель поездки или деятельность вне дома выступают причиной передвижений в пространстве. Пара действий соответствует пути между двумя следующими друг за другом действиями, которые человек совершает в течение дня.

В транспортной модели города Горячий Ключ выделено 15 пар действий: Дом-Работа, Работа-Дом, Дом-Учеба, Учеба-Дом, Дом-Прочее, Прочее-Дом, Работа, Прочее, Прочее-Работа, Работа-Работа, Прочее-Прочее, Дом-ВУЗ, ВУЗ-Дом, Работа-ВУЗ, ВУЗ-Работа, ВУЗ-Прочее.

В соответствии с вышеизложенным была проработана структура объектов притяжения населения.

Основные объекты притяжения – места приложения труда: заводы, фабрики, учреждения, научные и проектные институты, строительные площадки, объекты торговли, культуры и многие другие, т. е. все места, где используется труд человека.

Другие объекты притяжения – учебные заведения, магазины, рынки, предприятия коммунально-бытового обслуживания, детские учреждения (ясли, сады, школы), пункты зрелищного и культурного обслуживания, сооружения внешнего транспорта и т. п.

Передвижения в зависимости от цели разделяют на 6 основных групп:

- связанные с местами приложения труда;
- деловые, совершаемые в течение рабочего дня;
- учебные к вузам, техникумам и школам;
- связанные с посещениями общегородского центра;
- к объектам обслуживания, расположенным за пределами общегородского центра;
- к зонам отдыха в городе и за городом.

За основу исследования будем принимать следующие цели перемещения:

- - места проживания (ИЖС, многоквартирные дома, гостиницы);
- - учебные заведения (школы, профучилища, средние специальные и ВУЗы);
- - рабочие места (в т.ч. рынки, временные объекты);
- - получение услуг (поликлиники и больницы, коммерческая медицина, дошкольные образовательные учреждения, торговые объекты);
- - культурно-досуговые (музеи, театры, кинотеатры, общепит, парки, храмы, площади, спортивные объекты).

В рамках данного этапа работ проведено построение транспортных моделей территории Ярославской агломерации с использованием программного обеспечения мирового уровня PTV Vision® VISUM.

PTV Vision® VISUM представляет собою информационно-аналитическую систему, которая позволяет осуществлять стратегическое и оперативное транспортное планирование, прогнозирование интенсивностей движения, обоснование инвестиций в развитие транспортной инфраструктуры, оптимизацию транспортных систем городов и регионов, а также систематизацию, хранение и визуализацию транспортных данных. Программный комплекс PTV Vision® VISUM 14 интегрирует всех участников движения (автомобили, различные классы грузовиков, общественный транспорт, пешеходов и прочее) в единую математическую транспортную модель. Система объединяет геоинформационные, статистические данные в единую многоуровневую базу данных.

1.1. Методика создания транспортной модели

Моделирование транспортных потоков состоит из двух основополагающих моделей – модели транспортного предложения и модели транспортного спроса.



Рисунок 2 - Структура транспортной модели

Модель транспортного предложения – это транспортная сеть, состоящая из узлов (перекрестков, развязок и т.д.) и соединяющих их ребер (улиц, дорог и т.д.), предоставляющая возможность перемещения для участников транспортного движения и описывающая затраты на эти перемещения. Модель транспортного предложения также включает информацию об остановках и маршрутах общественного транспорта.

Модель спроса на транспорт описывает перемещения качественно и количественно и учитывает причины возникновения и выбор цели транспортного потока, выбор транспортного средства и выбор пути.

Базовым понятием и целью построения транспортной модели является определение интенсивностей движения (пассажиропотоков) на улично-дорожной сети. Модель позволяет формировать обоснованные прогнозы изменения транспортных ситуаций с учетом различных факторов, зависящих от социально-экономического развития региона или изменений в его транспортной инфраструктуре.

Алгоритм транспортной модели, описывающий основные взаимосвязи процессов при ее создании и использовании, представлен на рисунке.

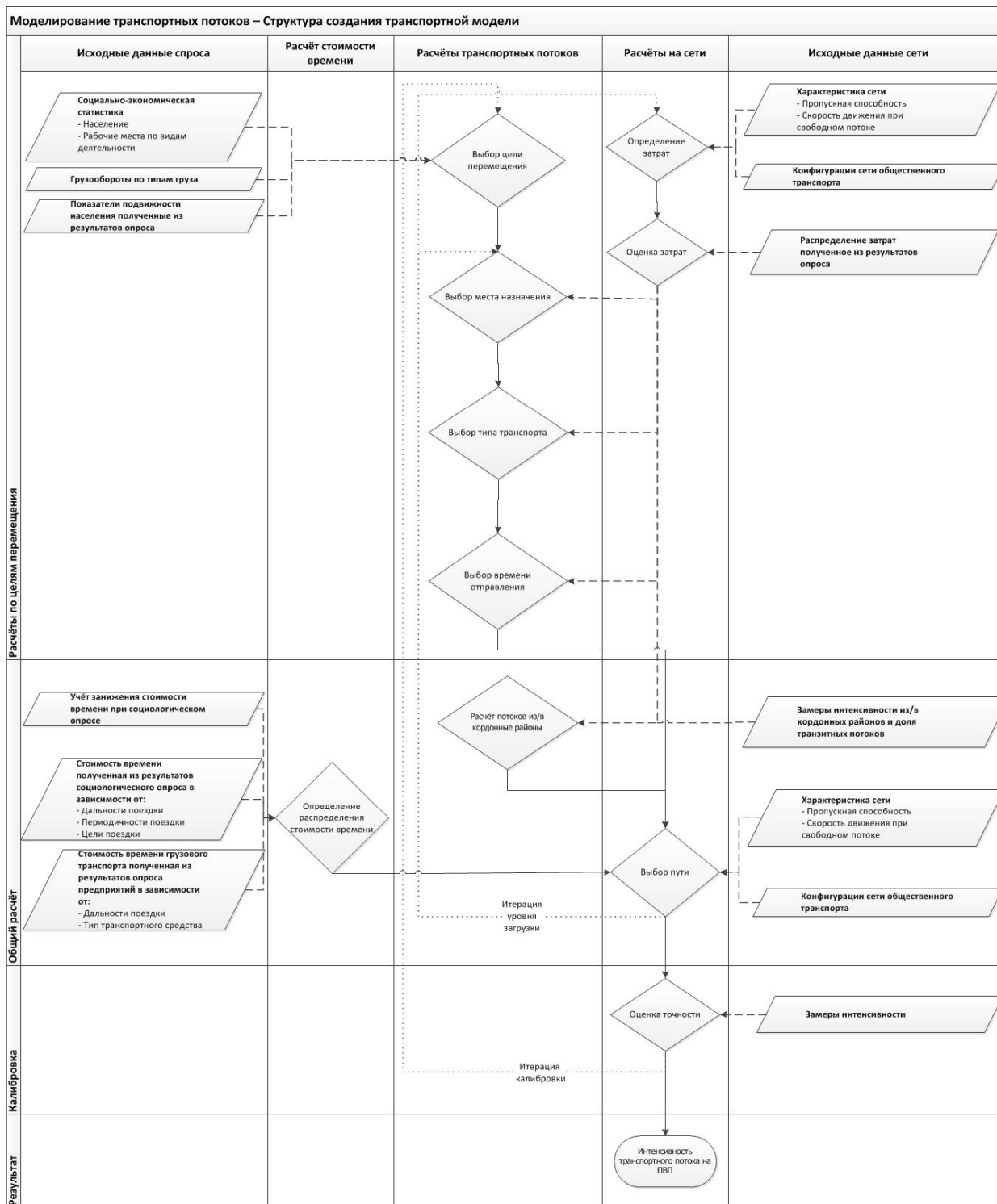


Рисунок 3 - Алгоритм создания транспортной модели

Для построения транспортной модели территорий проектирования были использованы следующие исходные данные:

- транспортное районирование территории;
- данные графа транспортной сети;
- данные социально-экономической статистики;

- данные фактической интенсивности движения.

1.2. Модель создания транспортного движения

Транспортный спрос рассчитывается на основе данных о количестве генерирующих и поглощающих транспортные потоки сущностей (например, количество населения, количество рабочих мест), затрат на корреспонденции между транспортными районами и показателей подвижности (общее количество перемещений, количество перемещений определенным видом транспорта, по целям поездки), которые являются исходными данными к задаче генерации транспортного спроса.

Конечным результатом является оценка общего количества перемещений, выходящих и входящих в каждый транспортный район. Таким образом, результатами расчета являются суммы по строкам и столбцам матриц корреспонденций, которые содержат данные об объемах движения из источника и движения в цель по каждому транспортному району и слою спроса. Выбор той или иной функции зависит от имеющихся данных о транспортной подвижности населения моделируемой области.

Создание наборов функций, адаптирующих разрабатываемую транспортную модель к условиям работы транспортной сети зависит от имеющихся данных о транспортной подвижности населения моделируемой области. Такие данные могут быть получены из социологических опросов населения. Во время проведения социологического опроса респондентов опрашивают обо всех поездках, совершенных в предыдущий день. На основе информации о времени начала и окончания совершаемых поездок может быть получено распределение количества перемещений в зависимости от времени в пути. Таким образом, по результатам опроса могут быть построены графики, показывающие относительное количество респондентов в каждом промежутке времени. Такие точки на графике называются опорными, как показано рисунке.

На основе опорных точек выбирается функция полезности с подходящими параметрами.

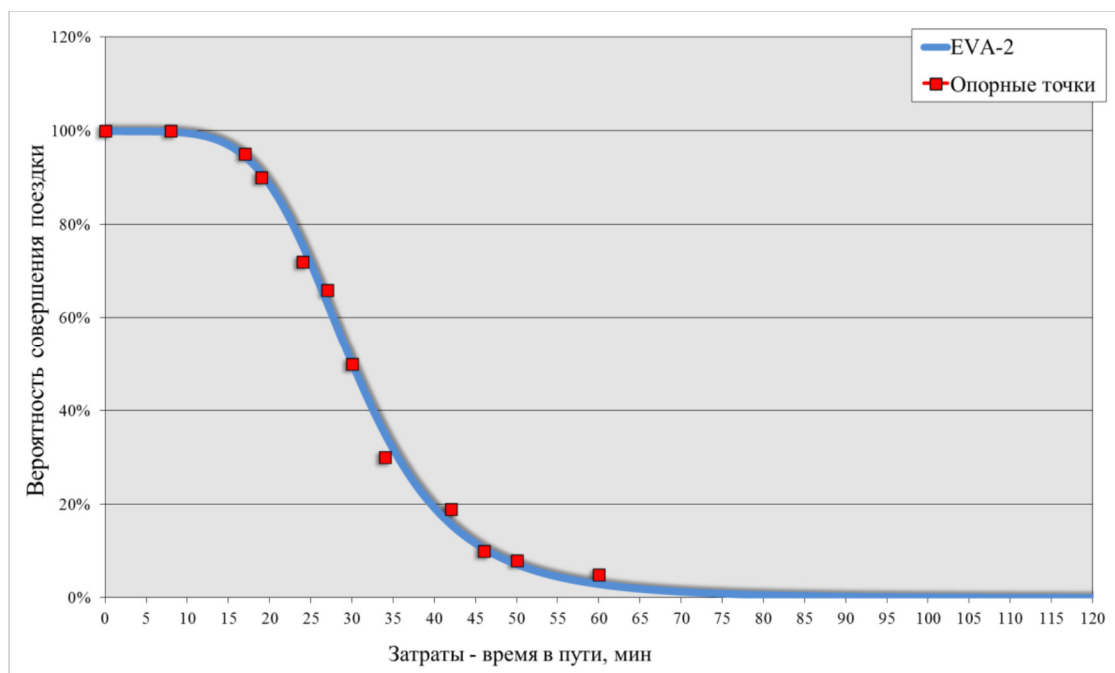


Рисунок 4 - Пример графика функции полезности EVA-2, построенный на основе опорных точек по результатам опроса.

Основным критерием выбора функции полезности является минимум среднеквадратического отклонения между опорными точками и значениями функции полезности.

1.3. Модель распределения транспортного движения

Целью данного шага расчета транспортного спроса является определение объема корреспонденций (числа поездок/перемещений, объема транспортного потока) между каждой парой транспортных районов в моделируемой области.

Исходными данными для распределения транспортного движения по районам являются значения выходящего и входящего объема корреспонденций по каждому району, полученные на предыдущем шаге (создание транспортного движения), а также данные о затратах на перемещение между каждой парой районов (матрицы затрат).

Для расчета распределения по районам используется гравитационная модель, формула которой аналогична физической формуле гравитационного взаимодействия тел. Модель основана на предположении, что величина взаимодействия пропорциональна произведению показателей значимости (объемы входящих и выходящих перемещений) объектов и убывает с ростом «транспортной дальности» (выраженной в затратах) между ними.

Формула расчёта транспортного потока на отношении i, j на основе обобщенной гравитационной модели имеет вид:

$$v_{ij} = f(U_{ij})Q_iZ_j\alpha_i\beta_j, \text{при условии:}$$

$$\begin{cases} \sum_j v_{ij} = Q_i \\ \sum_i v_{ij} = Z_j \end{cases} \quad (1)$$

где: α_i, β_j - поправочные коэффициенты, обеспечивающие выполнение условий контрольных сумм;

U_{ij} – затраты на поездку из района i в район j , например, время в пути или расстояние;

Q_i – общее число отправок из района i ;

Z_j – общее число прибытий в район j ;

v_{ij} – объем корреспонденций между районами i и j ;

$F(U_{ij})$ – функция (неотрицательная, монотонно убывающая) полезности/выгодности совершения поездки из района i в j .

1.4. Модель выбора режима

Целью данного шага является определение объема корреспонденций (числа поездок/перемещений) (v_{ijk}) между всеми районами моделируемой территории по каждому виду транспорта k .

Исходными данными на этапе выбора транспорта являются:

- матрицы межрайонных пассажирских корреспонденций, рассчитанных на этапе распределения по районам;
- матрицы затрат для каждого вида транспорта.

Таким образом, в результате расчета данного этапа четырехшаговой модели получены матрицы межрайонных корреспонденций, детализированные по видам транспорта.

1.5. Модель перераспределения

Распределение корреспонденций по конкретным путям в сети, производимое для всех видов транспорта с учетом их взаимного влияния, позволяет получить модельные значения интенсивности транспортных потоков.

Этот этап является завершающим в цикле расчёта спроса. Для расчета данного шага используется равновесный подход.

Распределение потоков по сети равновесно, если оно удовлетворяет принципу Уордроба: нагрузка должна распределяться по сети таким образом, чтобы затраты на передвижения по всем путям, используемым представителями одной корреспонденции, были одинаковыми, т.е., для каждого участника движения затраты на всех альтернативных путях превосходят или равны

затратам на его текущем пути, и любой переход на другой путь не приводит к уменьшению личных затрат участника движения.

Результатом выполнения данного шага моделирования является получение нагрузки на каждый элемент транспортного графа и по каждому типу транспортных средств.

1.6. Расчет спроса для грузовых перемещений

Объектами генерации и притяжения грузопотоков в городах и регионах являются промышленные и сельскохозяйственные предприятия, логистические центры, стройки, объекты торговли и сферы услуг, офисы, различные учреждения, а также население.

Эмпирические исследования показывают, что существует взаимосвязь между числом прибытий и отправлений грузовых транспортных средств, видом деятельности (торговля, промышленность и т.д.) и ее масштабами (объемами производства, продаж, поставок и т.д.). Число прибытий и отправлений (степени создания и притяжения) грузовых транспортных средств линейно зависит от количества рабочих мест и численности населения (количества домохозяйств).

$$\begin{aligned} Q_{ikl} &= Z = R_{ikl} X_{il}, \\ X_{il} &= \begin{cases} E_{il}, l = 1, 2, 3, 4 \\ N_i, l = 5 \end{cases} \end{aligned} \quad (2)$$

где: Q_{ikl} – число отправлений транспортных средств типа k из зоны i по виду деятельности l ;

Z_{ikl} – число прибытий транспортных средств типа k в зону i по виду деятельности l ;

E_{il} – количество работников в зоне i по виду деятельности l ;

N_i – численность населения (или количество семей) в зоне i ;

K_{ikl} – коэффициенты (степени создания/притяжения).

В итоге, моделирование грузовых перемещений состоит из трех шагов:

- создание грузового транспортного движения (определение объемов прибытий и отправлений грузовых транспортных средств по видам деятельности по каждому транспортному району);
- распределение по районам грузового транспортного движения (аналогично шагу распределения по районам при расчете пассажирского транспортного движения);
- распределение по сети (выбор пути) – аналогично шагу распределения по сети пассажирских перемещений на индивидуальном транспорте.

Данный этап учитывает взаимное влияние нагрузки грузовых и легковых транспортных средств и проводится одновременно.

1.7. Расчет кордонных корреспонденций

Кордонными называются корреспонденции, въезжающие в область моделирования или выезжающие из нее через границы области (кордонные корреспонденции, проходящие через область насквозь, называются транзитными). Особенность рассматриваемых корреспонденций состоит в том, что:

- районы отправления и/или прибытия этих корреспонденций расположены в неопределенных местах за пределами области моделирования;
- для этих корреспонденций не определяется обобщенная цена пути, т.к. неконтролируемая часть путей находится за пределами области моделирования.

Объемы прибытия и отправления для кордонных районов не рассчитываются, а оцениваются на основе обследований интенсивности на аналогичных сечениях дорог. Для расчета принимается гравитационная модель, однако чувствительность этих корреспонденций к фактору дальности меньше по сравнению с корреспонденциями внутри области исследования.

Расчет кордонных корреспонденций происходит по следующему алгоритму:

Расчет транспортного движения в кордонные районы из районов области моделирования

Данный расчет проводится на основе взвешенной модели Logit, имеет следующую формулу для расчета:

$$v_{ij} = \frac{e^{-\beta A_{ij}} E_i}{\sum_k e^{-\beta A_{ik}} E_k} Z_j \quad (3)$$

где: β – коэффициент модели Logit;

A_{ij} – обобщенные затраты на перемещение между районом i и кордонным районом j ;

Z_j – входящий поток кордонного района j ;

E_i – население i -го района области моделирования.

Важно, что входящий поток Z_j берётся с учётом доли транзитного движения в кордонных районах. В качестве E_i могут быть выбраны иные данные статистики по району i , если считается, что они более достоверно показывают «степень создания» транспортных потоков кордонных районов.

Расчет транспортного движения из кордонных районов в районы области моделирования

Эта часть матрицы может быть также рассчитана на основе взвешенной модели Logit. Формула для расчета представлена ниже:

$$v_{ij} = \frac{e^{-\beta A_{ij}} E_j}{\sum_k e^{-\beta A_{kj}} E_k} Q_i \quad (4)$$

где: β – коэффициент модели Logit;

A_{ij} – обобщенные затраты на перемещение между районом i и кордонным районом j ;

Q_j – выходящий поток кордонного района j ;

E_i – население i -го района области моделирования.

Важно, что выходящий поток Q_i берётся с учётом доли транзитного движения в кордонных районах. В качестве E_j могут быть выбраны иные данные статистики по району j , если считается, что они более достоверно показывают «степень притяжения» транспортных потоков кордонных районов.

Расчет транзитного движения - движения между кордонными районами.

Результаты расчета соответствуют транзитным и внешним транспортным потокам. Эта часть матрицы может быть рассчитана на основе гравитационной модели с учетом затрат.

2. СОЗДАНИЕ ТРАНСПОРТНОГО ГРАФА

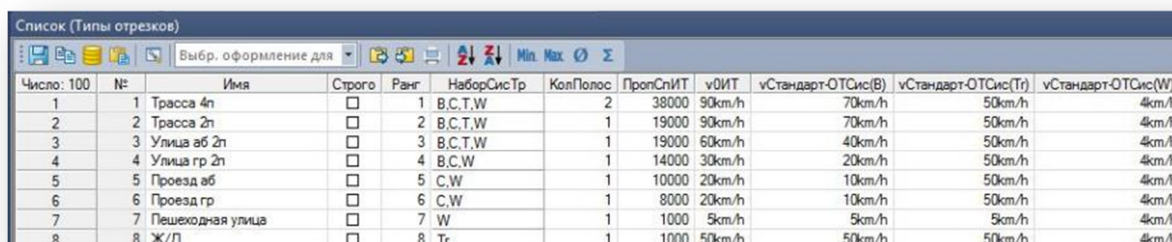
2.1. Ввод параметров улично-дорожной сети, транспортных инфраструктурных объектов

Улично-дорожная сеть города Горячий Ключ сформирована на основе картографических данных с привязкой к местности, данных спутниковой аэрофотосъемки Яндекс, Google, Bing.

С целью приведения данных к необходимому формату была проведена дополнительная обработка: слияние несвязанных участков УДС, детализация неразделенных участков, уточнение геометрических характеристик дорог, ввод информации о существующей организации движения. Для этих целей был проведен дополнительный анализ с использованием данных панорамных съемок улиц с сервисов Google и Яндекс, позволяющих определить существующие параметры УДС объекта моделирования.

В программном комплексе PTV Vision® VISUM классификация участков УДС выполняется при помощи «Типов отрезков», содержащих набор стандартных параметров, присваиваемых "по умолчанию" каждому направленному отрезку:

- номер и сокращенное наименование для удобства присвоения отрезкам при построении;
- ранг;
- количество полос движения;
- максимальная разрешенная скорость (скорость движения в ненагруженной сети);
- максимальная практическая пропускная способность участка в одном направлении (прив. ед. ТС/сут.);
- разрешенные системы транспорта для движения;
- максимально допустимая скорость движения для каждой системы транспорта.



Число: 100	N°	Имя	Строго	Ранг	НаборСисТр	КолПолос	ПропСнИТ	v0ИТ	vСтандарт-ОТСис(B)	vСтандарт-ОТСис(Tr)	vСтандарт-ОТСис(W)
1	1	Трасса 4л	<input type="checkbox"/>	1	B,C,T,W	2	38000	90km/h	70km/h	50km/h	4km/h
2	2	Трасса 2л	<input type="checkbox"/>	2	B,C,T,W	1	19000	90km/h	70km/h	50km/h	4km/h
3	3	Улица аб 2л	<input type="checkbox"/>	3	B,C,T,W	1	19000	60km/h	40km/h	50km/h	4km/h
4	4	Улица гр 2л	<input type="checkbox"/>	4	B,C,W	1	14000	30km/h	20km/h	50km/h	4km/h
5	5	Проезд аб	<input type="checkbox"/>	5	C,W	1	10000	20km/h	10km/h	50km/h	4km/h
6	6	Проезд гр	<input type="checkbox"/>	6	C,W	1	8000	20km/h	10km/h	50km/h	4km/h
7	7	Пешеходная улица	<input type="checkbox"/>	7	W	1	1000	5km/h	5km/h	5km/h	4km/h
8	8	Ж/Д	<input type="checkbox"/>	8	Tr	1	1000	50km/h	50km/h	50km/h	4km/h

Рисунок 5. Типы отрезков в PTV Vision® VISUM

Оцифровка сети осуществлялась на следующих объектах УДС:

- отрезок – объект модели транспортного предложения, являющийся модельным образом элементарного участка дороги. Каждый отрезок характеризуется рядом геометрических параметров (длина, количество полос для движения ТС, кривизна и др.) и динамических параметров (максимальная разрешенная скорость, пропускная способность), а также списком систем транспорта, для движения которых открыт данный отрезок;
- узел – объект модели транспортного предложения, являющийся модельным образом перекрестка, развязки, примыкания дороги. Отрезки в транспортной модели всегда начинаются и заканчиваются в узлах. В узлах учитываются разрешенные и запрещенные повороты для каждого вида транспорта, при наличии светофорного регулирования – длительность разрешенных сигналов, задержка на совершение маневра и др.

Транспортная сеть представлена в виде ориентированного графа со следующими геометрическими и техническими параметрами:

- геометрия дороги (пространственное положение и конфигурация изображения автодороги, максимально приближенные к реальному пространственному положению и параметрам плана дороги);
- расположение перекрестков, пересечений, примыканий в виде точечных объектов;
- конфигурация съездов транспортных развязок;
- длина элемента УДС;
- категория автодороги;
- количество полос движения в каждом направлении;
- расчетная и разрешенная скорости движения по участку сети;
- пропускная способность каждого направления перегона улицы или дороги;
- запреты движения по элементу УДС;
- разрешенные направления движения на перекрестках, примыканиях, пересечениях;
- ранг автомобильной дороги (привлекательность для пользователя).

После построения отрезков к максимальной практической пропускной способности, присвоенной Типам отрезков в соответствии с п.5.1.13 ОДМ 218.2.020-2012, применяются понижающие коэффициенты, учитывающие конкретные условия движения для каждого участка УДС:

- скоростные ограничения;
- доля грузового транспорта в потоке;

- ширина полос;
- наличие парковки, количество маневров в час;
- наличие и тип остановок ОТ, количество останавливающихся единиц ОТ в час;
- отношение к центральным районам населенного пункта;
- наличие пешеходных переходов;
- наличие искусственных дорожных неровностей.

Затем к полученным значениям применяется коэффициент доли максимального "часа пик", принятый для города Ярославль равным 0,073 на этапе определения местных коэффициентов неравномерности K_t (коэффициент, зависящий от часа суток) по результатам проведенных исследований интенсивности ТП.

Значения коэффициентов						
K_r - месяца года		K_n - дни недели		K_t - часы суток по ОДМ		K_t - часы суток для г.п.Янино-1
		коэффициент	день недели	коэффициент	час	коэффициент
0,064	январь	0,14	понедельник	0,022	0:00 – 1:00	0,013
				0,02	1:00 – 2:00	0,012
0,074	февраль	0,14	вторник	0,02	2:00 – 3:00	0,012
				0,02	3:00 – 4:00	0,012
0,078	март			0,022	4:00 – 5:00	0,013
				0,024	5:00 – 6:00	0,014
0,079	апрель	0,145	среда	0,04	6:00 – 7:00	0,024
				0,06	7:00 – 8:00	0,057
0,085	май			0,055	8:00 – 9:00	0,067
				0,055	9:00 – 10:00	0,065
0,091	июнь	0,145	четверг	0,05	10:00 – 11:00	0,065
				0,05	11:00 – 12:00	0,065
0,091	июль			0,052	12:00 – 13:00	0,061
				0,05	13:00 – 14:00	0,068
0,094	август	0,16	пятница	0,06	14:00 – 15:00	0,073
				0,06	15:00 – 16:00	0,072
0,094	сентябрь			0,065	16:00 – 17:00	0,066
				0,065	17:00 – 18:00	0,072
0,09	октябрь	0,15	суббота	0,05	18:00 – 19:00	0,070
				0,05	19:00 – 20:00	0,03
0,084	ноябрь			0,04	20:00 – 21:00	0,024
				0,03	21:00 – 22:00	0,018
0,076	декабрь	0,13	воскресенье	0,03	22:00 – 23:00	0,018
				0,02	23:00 – 24:00	0,012

Рисунок 6. Расчетные значения местных коэффициентов неравномерности для города Ярославль

Полученные значения практической пропускной способности для конкретных дорожных условий вносятся в атрибуты отрезков. Визуализация пропускной способности улично-дорожной сети города Ярославль представлена на рисунке ниже.



Рисунок 7. Фрагмент визуализации пропускной способности улично-дорожной сети.

Приведённый набор параметров дороги достаточно полно описывает все основные составляющие, оказывающие существенное влияние на динамику транспортных потоков, движущихся по автомобильной дороге или улице, накладывает все основные ограничения при распределении потоков по УДС.

Для каждой транспортной развязки, представляемой узлом в разрабатываемом графе транспортной сети, заданы следующие параметры:

- - тип регулирования;
- - направление главного потока;
- - разрешенные/запрещенные маневры;
- - пропускная способность в каждом направлении с учетом количества полос движения;
- - допустимые виды транспорта.

Ниже на рисунках представлены фрагменты транспортной сети в модели с учетом данных по организации дорожного движения.

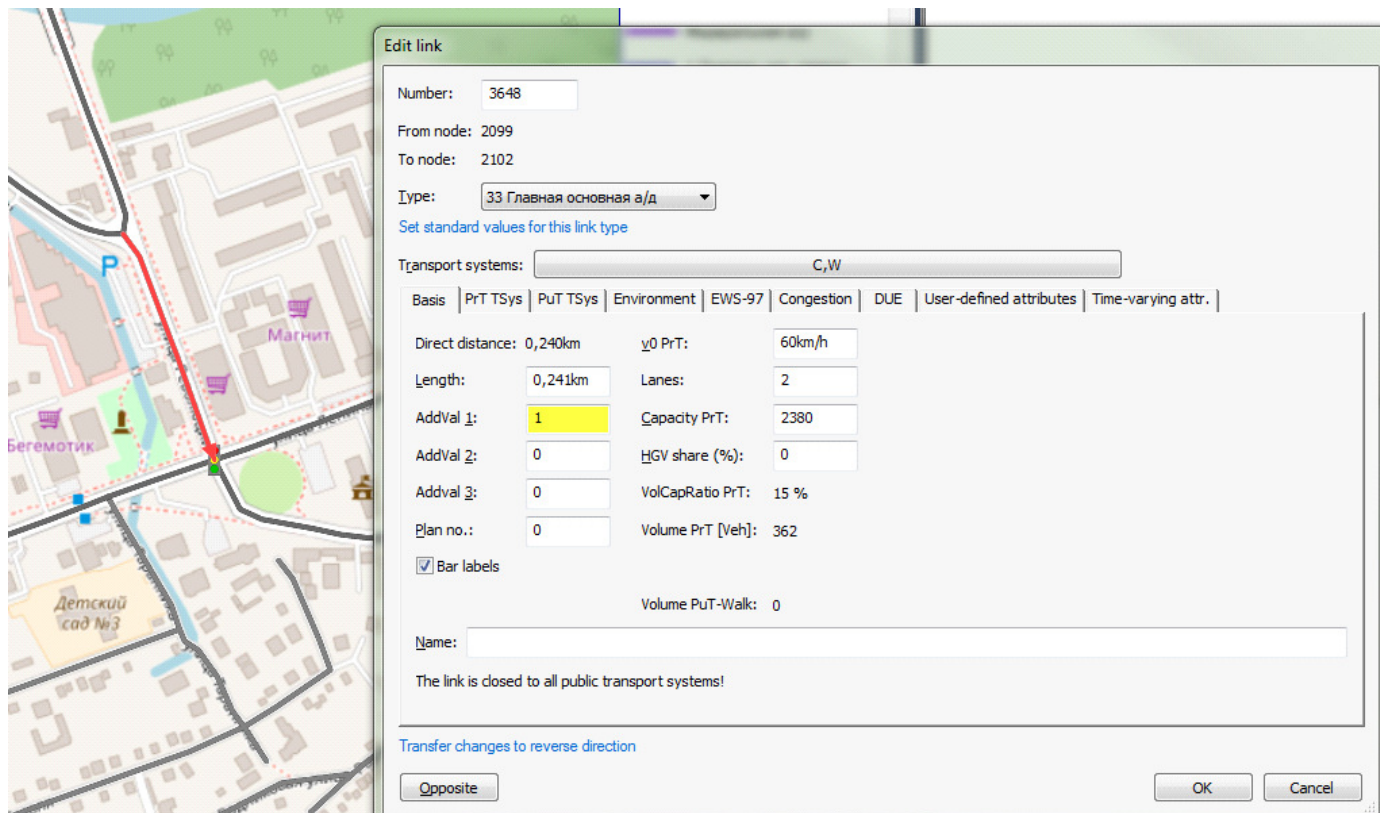


Рисунок 7. Атрибуты отрезка

На рисунке ниже показаны основные характеристики транспортного узла. В данном случае маневр, выделенный красным цветом, разрешен для определенных видов транспорта, а маневр, выделенный пунктиром – запрещен для всех видов транспорта.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
108	108	108		22	22	22	18	18	18
186	186	186		42	42	42	41	41	41
C	C	C	3	3	3	3	B	B	B
42	41	186		41	186	42	186	42	41
3	B	C	B	C	3	C	3	B	
22	18	108		18	108	22	108	22	18
1	3	0	2	3	4	1	2	0	
B,C,T	B,C	...	B,C,T	B,C,T	C,T	B,C,T	B,C,T	...	
520	520	520	530	530	530	600	530	650	
2s	12s	0min	1s	12s	20s	2s	1s	0min	

Рисунок 8. Атрибуты узла

Пропускная способность каждого поворота принимается в зависимости от минимальной пропускной способности входящего либо исходящего отрезка и номинальной задержки на узле, зависящей от типа регулирования, типа поворота и иерархии потока с учетом правил приоритета.

Регулирование на узле подразделяется на следующие типы:

- - помеха справа;
- - уступите дорогу;
- - движение без остановки запрещено;
- - светофорное регулирование;
- - кольцевое пересечение.

Типы поворотов делятся на правый поворот, проезд прямо, левый поворот, и разворот.

Данный набор параметров определяется посредством "стандартов поворота"

ID	Тип поворота	Иерархия потока	Тип узлов
1	4	??	06
2	1	--	06
3	1	+-	06
4	1	+-	06
5	1	++	06
6	2	--	06
7	2	+-	06
8	2	+-	06
9	2	++	06
10	3	--	06
11	3	+-	06
12	3		
13	3		
14	1		
15	2		
16	3		
17	4		
18	1		
19	2		
20	3		
21	4		
22	1		
23	2		
24	3		
25	4		

Редактировать стандарт поворота

Стандарты поворота рассматриваются согласно заданному номеру. Стандарт с самым большим номером перекрывает все идентичные комбинации (ТипПоворота, иерархия потока, ТипУзла) с более меньшими номерами.

ID

Тип поворота

Иерархия потока

Тип узлов

Задержка

Рисунок 9. Стандарты поворота

Также в транспортной модели учитываются геометрические параметры перекрестков.

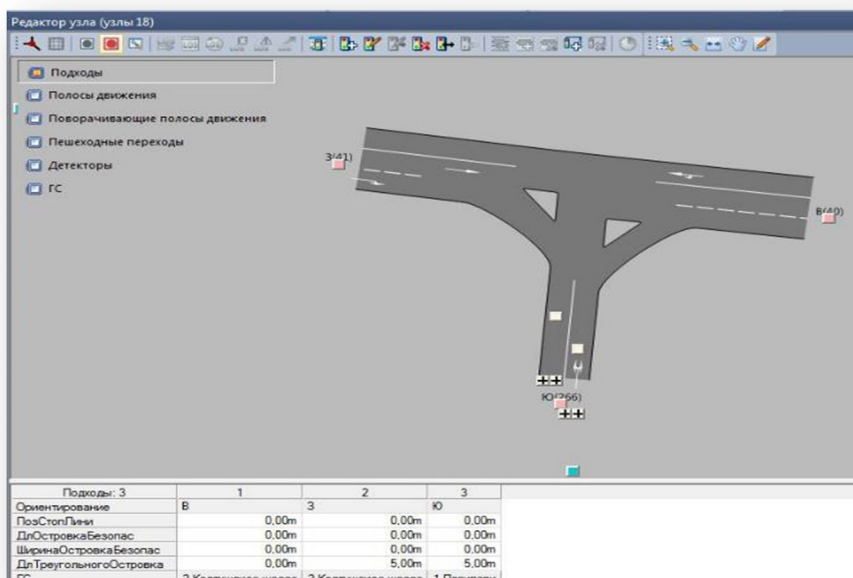


Рисунок 10. Настройка параметров перекрестков

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

В качестве основы графа для ввода маршрутной сети в модель выступала сеть, сформированная на этапе ввода параметров УДС.

Методика внесения в модель остановочных пунктов предполагает следующую иерархию: остановка – зона остановки – пункт остановки. Каждый из элементов данной иерархии является отдельным объектом сети. Остановка – наибольшая единица в этой иерархии, общий ТПУ, внутри которого происходит пересадка пассажиров с одного вида транспорта на другой. Зона остановки – это остановочный павильон, внутри которого происходит пересадка между конкретными остановочными пунктами без временных потерь. Пункт остановки – конкретное место высадки/посадки пассажиров. Каждый «Пункт остановки» привязан к определенной «Зоне остановки». Каждая «Зона остановки» привязана к «Остановке».



Рисунок 11. Структура остановки общественного транспорта в модели

На рисунке видно, что имеется одна остановка, в неё включена зона остановки, к которой прикреплены пункты остановки. Таким образом, несмотря на то что, остановка, пункт остановки и зона остановки являются отдельными объектами сети, между ними имеется иерархическая связь. Такой метод внесения в модель остановок общественного транспорта позволяет обеспечить возможность пересадки между различными маршрутами, различными видами транспорта, а также задавать время, затрачиваемое пешеходами на пересадку.

Для каждого остановочного пункта указывается стандартное время остановки пассажирского транспорта.

Редактировать пункт остановки 397

Номер: 397
Код:
Имя: Вокзал
Тип: 0
Пункт ост.: на отрезке 23 (200 => 311)
Базовый узел: 311 0 ☒ направлено
Остановка ОТ:
Зона остановки: 311
Остановка: 311

Вкладка: **База** | Системы транспорта | Затраты | ПрофВрДвиж | Дело |

ДЗнач 1: 0
ДЗнач 2: 0
ДЗнач 3: 0
Стандарт. вр. ост: 20s

Позиция на отрезке 23:
Абс. позиция перед базовым узлом: 0m
Относительная позиция: 0,949
Расстояние от узла 200: 0m 186m
175m

Рисунок 12. Параметры остановочного пункта

В модели маршруты общественного транспорта делятся на варианты маршрута, как правило, это прямое и обратное направления. По каждому такому маршруту задается следующая информация:

- - геометрия прохождения маршрута;
- - наименование маршрута;
- - длина маршрута;
- - остановочные пункты (в т.ч. и время остановки) на маршруте;
- - точное расписание движения.

Для каждого маршрута общественного транспорта выполняется настройка точного расписания движения и состава транспортных средств с указанием общего количества мест и количества сидячих мест.

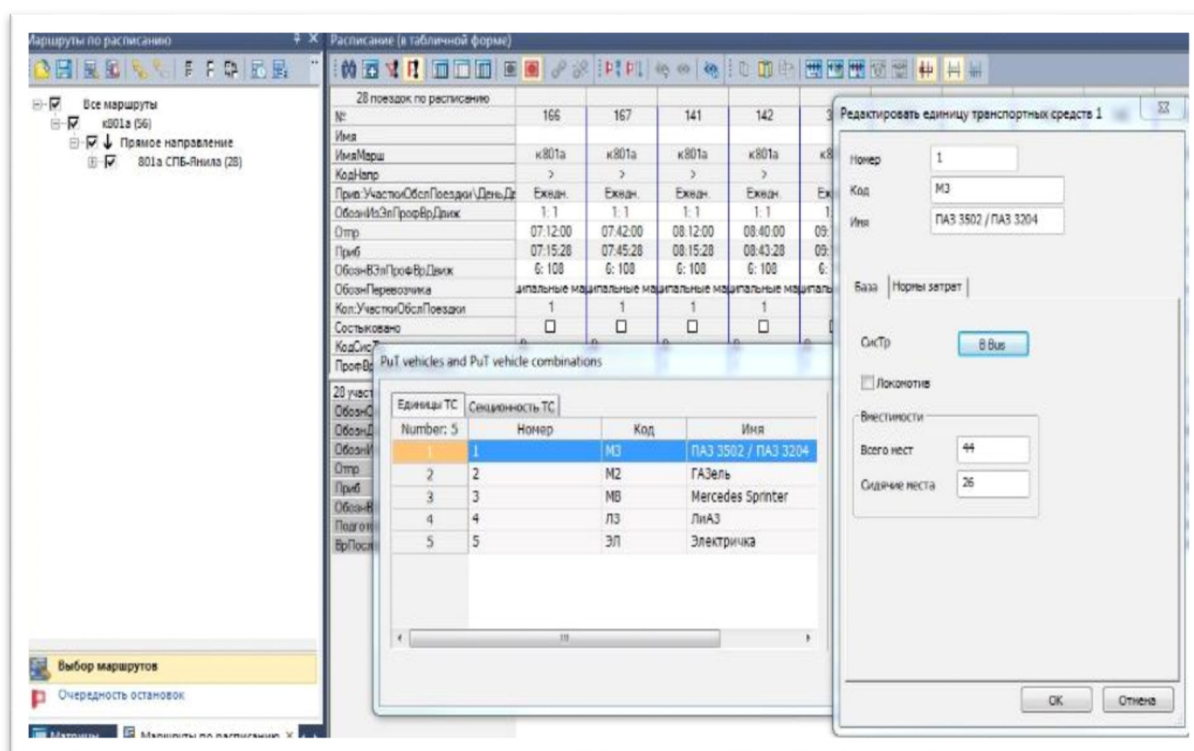


Рисунок 13. Расписание движения общественного транспорта

2.3. Ввод объектов светофорного регулирования

Также в транспортной модели учитываются параметры светофорных объектов на регулируемых перекрестках. Каждому светофорному объекту задаются циклы регулирования ССУ (светофорносигнальной установки) и режим координирования (при наличии).

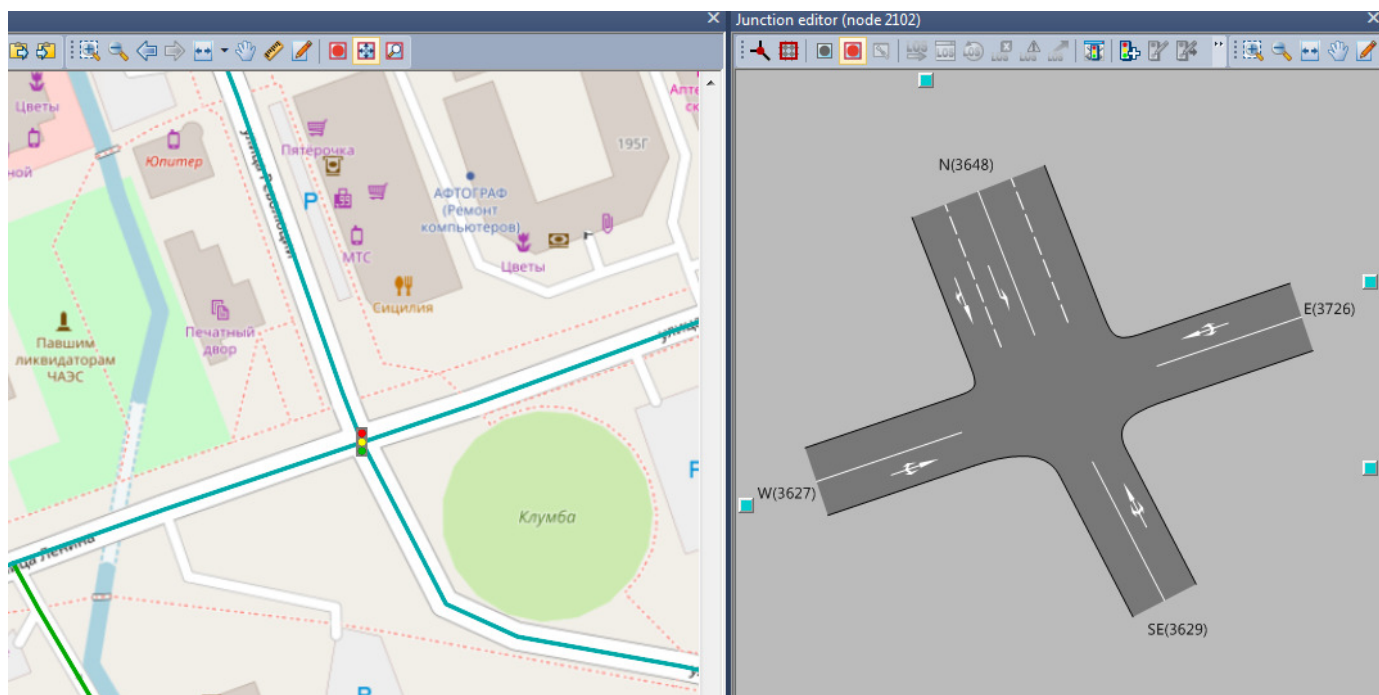


Рисунок 14. Настройка параметров регулирования светофорного объекта

2.4. Четырёхшаговая модель расчета транспортного спроса

При разработке транспортной модели используется стандартная четырёхшаговая модель расчета транспортного спроса. Преимущества использования именно этой модели связаны с тем, что она достаточно точно описывает этапы формирования спроса на транспорт, при этом позволяя работать с агрегированными данными без потери в качестве результатов моделирования, что, в свою очередь, сокращает время расчета и позволяет оценивать большее количество сценариев в единицу времени. Расчет проводится по отдельным слоям спроса. Результатом работы вычислительного алгоритма модели являются расчетные (модельные) значения интенсивности движения.

Стандартная четырехшаговая модель состоит из следующих этапов:

Этап 1 – Модель создания (генерации) транспортного движения.

На данном этапе рассчитываются объемы движения из источника и объемы движения в цель для всех транспортных районов, детализированные по слоям спроса. Результатами расчета являются итоговые строки и столбцы матриц корреспонденций.

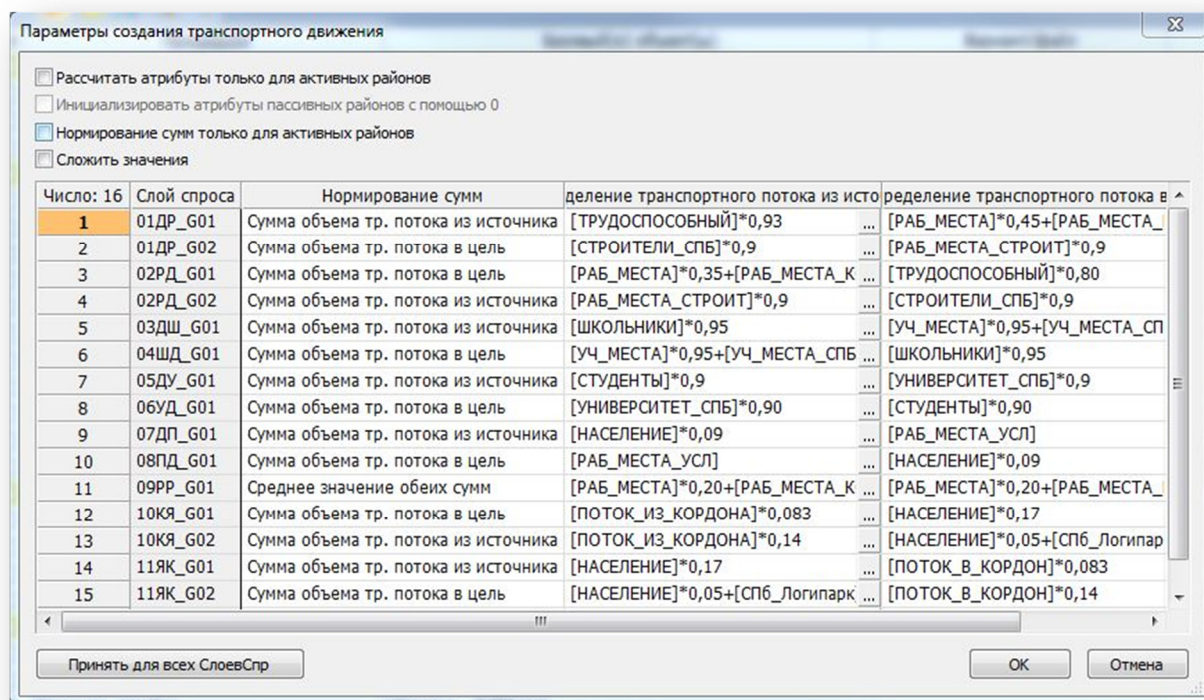


Рисунок 15. Параметры создания транспортного движения

Этап 2 – Модель распределения транспортного движения по районам.

На этапе распределения транспортного движения по районам рассчитываются объемы ТП между всеми транспортными районами, детализированные по слоям спроса, но без детализации по видам транспорта. Результатами расчета являются элементы матриц корреспонденций.

Этап 3 – Модель выбора транспорта.

На этапе выбора транспорта рассчитываются матрицы корреспонденций, каждая из которых соответствует поездкам с использованием определенного вида транспорта.

Этап 4 – Модель перераспределения (выбора пути).

Расчет перераспределения, дифференцированный по видам транспорта, позволяет получить модельные значения интенсивности транспортных потоков. Этап перераспределения является завершающим в цикле расчёта спроса.

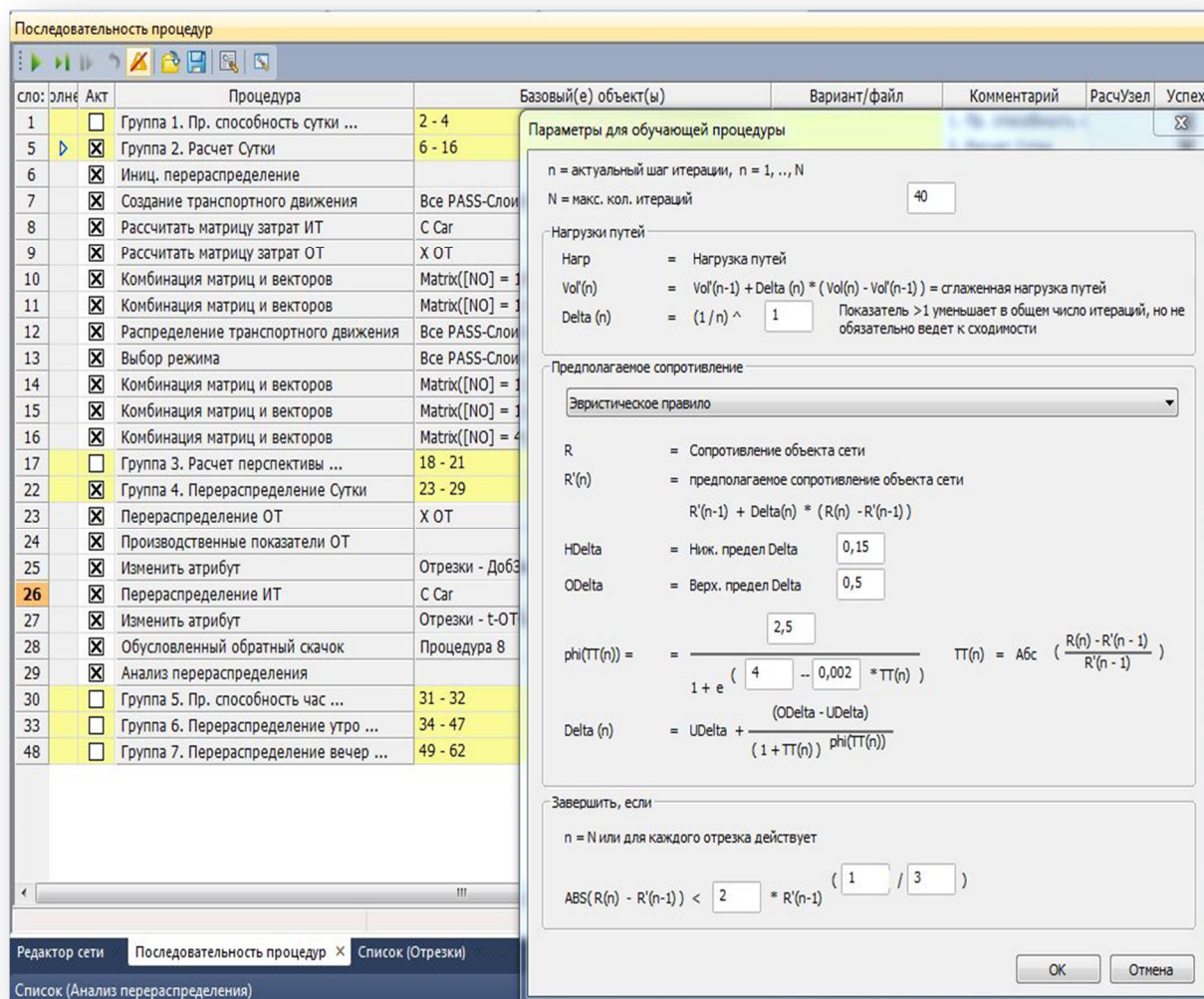


Рисунок 16. Параметры перераспределения индивидуального транспорта

2.5. Расчет с помощью разработанной модели спроса данных об источнике, цели, количестве желаемых поездок

Спрос на транспорт представляется в виде матрицы (матрицы корреспонденций): для элемента матрицы корреспонденций личного транспорта единицей измерения является «поездка автомобиля», для элемента матрицы корреспонденций пассажирского транспорта – «поездка человека».

Каждый элемент матрицы корреспонденций представляет собой количество необходимых перемещений из транспортного района i в транспортный район j . Матрица корреспонденций относится к интервалу времени (время моделирования) и поэтому содержит только поездки, которые совершаются в пределах этого интервала времени, которым может быть час, сутки, год.

Поездки, сведенные в матрицу, могут относиться к системам транспорта (например пешком, на велосипеде, на пассажирском транспорте, на личном транспорте), к группе людей (например работающие, учащиеся) или к целям поездки (поход за покупками, свободное время и развлечения).

В ходе анализа данных социально-экономической статистики транспортных районов определяются так называемые коэффициенты создания и притяжения. Эти коэффициенты показывают, какая доля от общего числа людей конкретного слоя спроса (референтных лиц) в каждом транспортном районе будет перемещаться с определенной целью и какая доля от числа объектов притяжения (например, рабочих мест) каждого транспортного района будет заполнена перемещающимися референтными лицами в рамках данного слоя спроса.

Например, коэффициент создания для референтных лиц «Трудоспособное население», равный 0,8, будет означать, что 80% проживающих трудоспособных лиц в данном районе будут перемещаться из этого района. Также в этом районе существуют рабочие места, являющиеся источником притяжения для перемещающихся, коэффициент притяжения 0,9 будет значить, что район притягивает число людей, эквивалентное 90% от количества рабочих мест, причем некоторая часть трудоспособного населения будет притягиваться в свой район проживания, к этим рабочим местам.

На основании данных о среднем времени поездки каждого слоя спроса каждым видом транспорта рассчитываются корреспонденции между референтными лицами из источника (например, трудоспособное население) и цели (например, рабочие места). Таким образом, получаются матрицы корреспонденций для всех слоев спроса для каждого вида транспорта.

Полученные матрицы корреспонденций содержат данные о количестве людей, совершающих перемещения на личном транспорте между районами. Так как модель распределяет по сети ТС, а не людей, полученную на предыдущем этапе матрицу корреспонденций необходимо разделить на коэффициент наполненности автомобилей, характерный для данного населенного пункта.

Кордонные районы.

Для кордонных районов, в отличие от стандартных транспортных районов, данные социально-экономической статистики не вводят. Это связано с тем, что показатели подвижности населения указанных населенных пунктов будут отличаться. Кордонные районы имеют связь с сетью посредством примыканий к магистралям. Исходными данными для таких районов служит информация о количестве входящих и выходящих транспортных единиц, полученная в ходе проведения транспортного обследования. Эти ТС делят на транзитный трафик, который проходит УДС города насквозь, и трафик, который распределяют между транспортными районами в соответствии с указанным параметром притяжения. Таким параметром притяжения является один из атрибутов транспортных районов, соответствующий данным социально-экономической статистики.

Соотношение между количеством ТС, которые являются транзитным трафиком и теми, которые имеют целью перемещения один из транспортных районов города, задают показателем доли транзита отдельно для каждого кордонного района.

Таким образом, часть выходящего из кордонного района потока притягивается в транспортные районы области моделирования, а часть потока, соответствующая доли транзита, распределяется между другими кордонными районами в соответствии с заданными для них входящими потоками.

В результате получены все перемещения из источника в цель для всех транспортных и кордонных районов, содержащиеся в соответствующих матрицах корреспонденций, но не известны пути следования по этим корреспонденциям.

На заключительном этапе четырехшагового расчета транспортного спроса модель определяет пути движения для каждого ТС – это перераспределение транспортных потоков по сети.

Задача сводилась к следующему: каждое ТС каждого сегмента спроса, еще не выехавшее из транспортного (или кордонного) района, имело источник и цель перемещения, но не имело пути следования. Необходимо было распределить их по сети. Решение осуществлялось итерационным методом, т.е. программа поэтапно распределяла потоки сначала по кратчайшим, с точки зрения временных затрат, путям, затем, с учетом появившейся загрузки УДС, по новым путям, которые, с учетом изменившегося уровня загрузки, становятся наиболее привлекательными с точки зрения времени в пути. Таким образом, в результате множества проходов, транспортные потоки распределялись моделью по УДС таким образом, как если бы эта задача стояла перед реальными людьми, которыми движет желание избежать «пробок» и сократить свое время в пути.

Аналогичным образом модель перераспределяет людей, совершающих поездки на пассажирском транспорте, учитывая при этом существующий уровень загрузки УДС, маршруты пассажирского транспорта и их расписание движения.

Распределение корреспонденций по конкретным путям в сети, производимое для всех видов транспорта с учетом их взаимного влияния, позволяет получить модельные значения интенсивности транспортных потоков.

Результатом выполнения данного шага моделирования является получение нагрузки на каждый элемент транспортного графа и по каждому типу транспорта.

2.6. Транспортная модель Ярославской агломерации

В результате ввода вышеперечисленных параметров и расчёта перемещений мы получили транспортную модель агломерации. Строго говоря, такого понятия как «транспортная модель» не существует, но, тем не менее, этот термин часто употребляется в кругах так или иначе связанных с транспортным моделированием. Мы под транспортной моделью понимаем модель загрузки транспортной сети, то есть математический инструмент, предназначенный для моделирования

транспортных потоков и служащая для их прогноза в транспортных сетях. Говоря транспортная сеть, мы подразумеваем улицы, дороги, линии внеуличного транспорта (трамвай), а также маршруты общественного транспорта.

Транспортная модель Ярославской агломерации состоит из 251 транспортного района, из которых 242 внутренних района и 9 внешних, каждый из которых, в свою очередь, имеет по одному центроиду. Транспортная сеть состоит из 5192 настроенных транспортных узлов, соединённых 2630 отрезками. Под настройкой узла мы понимаем установку разрешённых поворотов в узле, задержки транспорта при движении через узел и тип регулирования проезда в узле. Под настройкой отрезков же – использующие отрезок системы транспорта, разрешённая скорость движения, пропускная способность и т.п. Многие отрезки однотипны, поэтому в модели принято 7 основных типов отрезков. Транспорт агломерации условно поделён на 8 систем транспорта. Сеть общественного транспорта состоит из 1079 остановочных пунктов и 177 маршрутов транспорта общего пользования. Для понимания предпочтительных перемещений населения было опрошено около 10000 человек разных возрастов и социальных статусов.

Согласно расчётам, весь транспорт агломерации совершает 16211 поездок в сутки, в том числе автобусы, совершающие 6275 поездок, Маршрутные такси – 7441 поездок в сутки, троллейбусы – 1627 поездок в сутки и трамвай – 842 поездки в сутки.

3. КАЛИБРОВКА ТРАНСПОРТНОЙ МОДЕЛИ

Транспортная модель является модельным представлением реальной транспортной ситуации. После ввода исходных данных и расчета транспортного спроса проводится проверка модели и определяется, насколько точно модель совпадает с реальной ситуацией. При отклонении заранее определенных показателей от допустимой нормы – проводится калибровка модели.

3.1.Приведение различных групп транспортных средств к легковому автомобилю

При калибровке транспортной модели используются данные о входящих транспортных потоках на пересечениях. Для ввода натурных данных в модель выполнено приведение различных групп транспортных средств к условному легковому автомобилю на основании коэффициентов согласно ОДМ 218.2.020-2012.

Таблица 1. Коэффициенты приведения различных транспортных средств к легковым автомобилям на регулируемых пересечениях (п.8.6 ОДМ 218.2.020-2012)

Транспортные средства	Коэффициенты приведения
Легковой автомобиль	1,0
Грузовой автомобиль	
грузоподъемностью, т:	
до 2 включительно	1,2
2 - 6	1,5
более 6	1,6
Микроавтобус	1,1
Автобус:	
малой вместимости	1,4
большой вместимости	1,8
Сочлененный автобус (троллейбус)	2,4
Автопоезд	2,2

Затем был выполнен переход от показателей часовой интенсивности транспортных потоков к среднегодовой суточной интенсивности с применением местных коэффициентов неравномерности для города Ярославль, рассчитанных по результатам проведенных исследований интенсивности ТП.

Для пунктов учета, на которых проводились 12-часовые замеры интенсивности ТП (с 7:00 до 19:00), был определен процент от общей суточной интенсивности и выполнен дорасчет на ночное время суток.

Для пунктов учета, на которых замеры проводились в утренние и вечерние часы пиковой интенсивности, дорасчет на остальные часы суток выполнялся в соответствии со значениями коэффициентов неравномерности K_t (коэффициент, зависящий от часа суток) для города Ярославль.

Переход к среднегодовой суточной интенсивности выполнялся в соответствии с п.3 Приложения В ОДМ 218.2.020-2012 по формуле:

$$N_{сут} = \frac{4N_{ч}}{K_t K_n K_g 365},$$

где $N_{ч}$ - часовая интенсивность движения, прив. ед. ТС/ч;

K_t , K_n , K_g - коэффициенты неравномерности соответственно по часам суток, дням недели, месяцам года определяются как ориентировочно средние и могут уточняться по результатам проведенных исследований интенсивности транспортных потоков.

3.2. Ввод в транспортную модель результатов замеров интенсивности транспортных потоков

Добавление в транспортную модель результатов замеров интенсивности транспортных потоков выполняется посредством установки мест проведения замеров на каждом входящем отрезке перед перекрестками, на которых выполнялись замеры интенсивности. Также местам подсчета добавлены пользовательские атрибуты для ввода показателей среднегодовой суточной и часовых пиковых интенсивностей приведенных ед. ТС по результатам проведенных исследований.

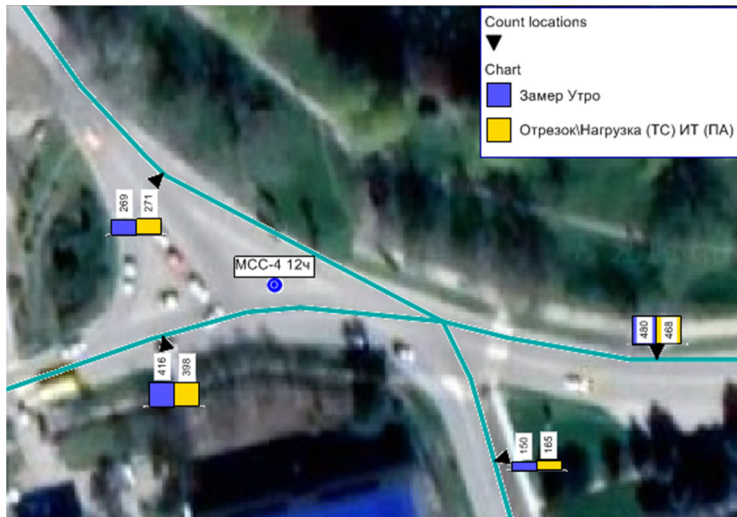


Рисунок 17. Установка мест подсчета на перекрестках

3.3. Калибровка базовой транспортной модели на текущую ситуацию по данным замеров интенсивности транспортных потоков

В процессе калибровки разработанной модели проводилась серия вычислительных экспериментов с моделью, при этом менялись определенные характеристики или параметры модели с целью достижения максимально возможного уровня соответствия данных натурных обследований расчетным значениям интенсивности.

В результате были вычислены значения стандартного набора показателей, характеризующих точность модели. Общие параметры, используемые при калибровке транспортной модели, представлены в таблице ниже.

Таблица 2. Параметры калибровки транспортной модели

Объект калибровки	Изменение
Данные структуры пространственного развития	Количество перемещений по слоям и сегментам спроса
Функции оценки – параметры и вид функций, оценивающих вероятность совершения поездки в зависимости от длины и/или времени в пути в моделях распределения транспортного движения и выбора транспорта	Распределение длительности и/или дальности поездок и пропорции между индивидуальным и пассажирским транспортом
Элементы главных диагоналей матриц затрат	Изменение количеств перемещений внутри района
Скорость и пропускная способность на отрезках	Выбор пути при перераспределении
Функции ограничения пропускной способности: параметры и вид функций, показывающих зависимость задержек в пути от загрузки дороги (отношение интенсивности движения к пропускной способности)	Выбор пути при перераспределении
Местоположение привязки примыканий к сети	Выбор пути при перераспределении
Доли входящих/выходящих	Изменение пропорций

потоков, приходящихся на каждое примыкание, в общем потоке транспортного района-источника/района-цели	распределения выходящего и входящего потоков района по примыканиям, изменение путей при перераспределении
---	---

Результатом калибровки транспортной модели является достижение перераспределения транспортных потоков, максимально приближенного к реальной ситуации.

3.4. Оценка показателей качества транспортной модели

Оценка результатов калибровки транспортной модели проводится посредством сравнения показателей, полученных при исследовании интенсивности транспортных потоков, с данными интенсивности, полученными в транспортной модели на местах подсчета.

Основными показателями оценки качества транспортной модели являются "коэффициент корреляции" и "средняя относительная ошибка".

Коэффициент корреляции - это мера тесноты линейной связи между фактическими данными интенсивности транспортных потоков и расчетными значениями в транспортной модели. Значения коэффициента колеблются в диапазоне от -1 до 1. Чем ближе данное значение к 1, тем точнее транспортная модель показывает распределение нагрузки на УДС.

Коэффициент корреляции определяется по формуле:

$$r = \frac{\sum (Z_i - \bar{Z}) \cdot (U_i - \bar{U})}{\sqrt{\sum (Z_i - \bar{Z})^2 \cdot \sum (U_i - \bar{U})^2}},$$

$$\bar{Z} = \frac{1}{N} \cdot \sum Z_i, \quad \bar{U} = \frac{1}{N} \cdot \sum U_i,$$

где

Z_i - наблюдаемое значение;

U_i - значение, полученное расчетным путём из транспортной модели;

N - количество точек наблюдения.

Для суточной транспортной модели города Горячий Ключ коэффициент корреляции составил 0.984; для модели утреннего пикового часа - 0.989.

Средняя относительная ошибка - это среднее отклонение абсолютных значений (разница между фактическими данными интенсивности транспортных потоков и расчетными значениями в транспортной модели) в процентном соотношении.

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

где

U_i- значение, полученное расчетным путём из транспортной модели.

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

В результате выполнения указанных процедур, на выходе получена комплексная транспортная модель, позволяющая установить информацию об интенсивности движения на перегонах, состоящих движения на различных участках, уровнях загрузки участков УДС, времени реализации перемещений различными видами транспорта. Модель позволяет вносить изменения в

существующую УДС и данные о социально-экономической статистике транспортных районов, позволяя прорабатывать различные мероприятия по оптимизации транспортного движения в городе, анализировать их эффективность и сравнивать возможные последствия от различных сценариев развития транспортной инфраструктуры.

4. РАСЧЕТ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Расчет грузового транспортного потока произведен в программном комплексе PTV VISUM.

PTV Vision - пакет программного обеспечения по планированию транспортных потоков и организации дорожного движения. PTV Vision объединяет в себе полный пакет программного обеспечения для планирования, анализа и организации транспортного движения. Область применения PTV Vision обширна: начиная от подготовки проектов организации и анализа схем движения на перекрестках и развязках, вплоть до исследований комплексных транспортных систем городов и регионов, включая также создание перспективных интегрированных транспортных концепций для индивидуального и общественного транспорта. Одновременно с этим PTV Vision решает задачи оперативного и стратегического транспортного планирования.

На первом этапе производят создание системы транспорта T - Truck для потока грузовых автомобилей

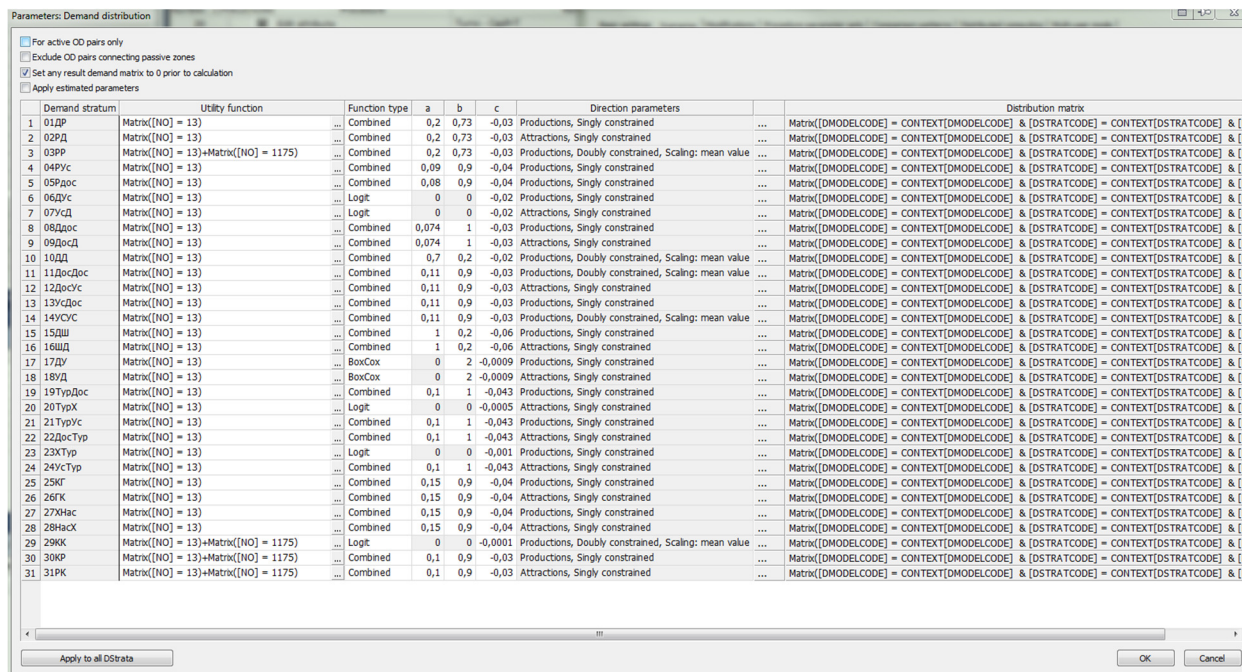


Рисунок 19 - Распределение транспортного движения по функции

Далее производится выбор режима транспортных средств и формируется комбинация матриц затрат для ГТ

Parameters: Mode choice

☒ Set any result demand matrix to 0 prior to calculation

	Key	Demand stratum	Mode	Utility function	Function type	a	b	c			
1	01ДР/С	01ДР	С Car	Matrix([NO] = 8)	...	Combined	0,3	0,13	-0,07	...	Matr
2	01ДР/Т	01ДР	Т Truck	Matrix([NO] = 1174)	...	Combined	0,3	0,13	-0,07	...	Matr
3	01ДР/Х	01ДР	Х ОТ	Matrix([NO] = 62)	...	Combined	0,3	0,13	-0,07	...	Matr
4	01ДР/П	01ДР	П Пешеходы	Matrix([NO] = 61)	...	Combined	0,3	0,13	-0,07	...	Matr
5	02РД/С	02РД	С Car	Matrix([NO] = 8)	...	Combined	0,3	0,13	-0,07	...	Matr
6	02РД/Т	02РД	Т Truck	Matrix([NO] = 1174)	...	Combined	0,3	0,13	-0,07	...	Matr
7	02РД/Х	02РД	Х ОТ	Matrix([NO] = 62)	...	Combined	0,3	0,13	-0,07	...	Matr
8	02РД/П	02РД	П Пешеходы	Matrix([NO] = 61)	...	Combined	0,3	0,13	-0,07	...	Matr
9	03РР/С	03РР	С Car	Matrix([NO] = 8)	...	Combined	0,3	0,13	-0,07	...	Matr
10	03РР/Т	03РР	Т Truck	Matrix([NO] = 1174)	...	Combined	0,3	0,13	-0,07	...	Matr
11	03РР/Х	03РР	Х ОТ	Matrix([NO] = 62)	...	Combined	0,3	0,13	-0,07	...	Matr
12	03РР/П	03РР	П Пешеходы	Matrix([NO] = 61)	...	Combined	0,3	0,13	-0,07	...	Matr
13	04РУС/С	04РУС	С Car	Matrix([NO] = 8)	...	Combined	0,3	0,13	-0,07	...	Matr
14	04РУС/Т	04РУС	Т Truck	Matrix([NO] = 1174)	...	Combined	0,3	0,13	-0,07	...	Matr
15	04РУС/Х	04РУС	Х ОТ	Matrix([NO] = 62)	...	Combined	0,3	0,13	-0,07	...	Matr
16	04РУС/П	04РУС	П Пешеходы	Matrix([NO] = 61)	...	Combined	0,3	0,13	-0,07	...	Matr

Apply to all DStrata

OK Cancel

Рисунок 20 – комбинация матриц затрат для ГТ

И затем производится перераспределение потоков

Parameters: Equilibrium_Lohse

n = current iteration step, n = 1, ..., N
N = maximum number of iterations

Route volumes

Vol = Route volume
Vol'(n) = Vol'(n-1) + Delta(n) * (Vol(n) - Vol'(n-1)) = smoothed route volume
Delta(n) = (1/n) ^ 1 Generally, an exponent > 1 reduces the number of iterations, but does not necessarily reach convergence

Estimated impedances

Heuristic rule

R = Impedance of a network object
R'(n) = Estimated impedance of a network object
R'(n) = R'(n-1) + Delta(n) * (R(n) - R'(n-1))

LDelta = Lower limit of Delta 0,15
ODelta = Upper limit of Delta 0,5

phi(TT(n)) = $\frac{1}{1 + e^{(4 - 0,002 * TT(n))}}$ TT(n) = ABS ($\frac{R(n) - R'(n-1)}{R'(n-1)}$)

Delta(n) = LDelta + $\frac{(UDelta - LDelta)}{(1 + TT(n)) * phi(TT(n))}$

Termination condition

n = N or to each link applies

ABS(R(n) - R'(n-1)) < 2 * R'(n-1) (1 / 3)

OK Cancel

Рисунок 21 – Перераспределение транспортных потоков

5. МИКРОМОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

5.1. Проведение транспортных обследований с целью установления параметров транспортных потоков в ключевом транспортном узле

Для имитационного моделирования ключевого транспортного узла МО Горячий Ключ использовались данные, полученные в результате натурного обследования на 1 этапе работы «Сбор и анализ исходных данных».

Ключевой транспортный узел, выбранный для моделирования и утвержденный Заказчиком, представлен в таблице 7.2.1.1 и на рисунке 7.2.1.1.

Таблица 7.2.1.1 – Перечень транспортных узлов, выбранных для моделирования

№	Адрес транспортного узла
1	ул. Ленина/ ул. Революции

На рисунке 7.2.1.1 представлена схема расположения ключевого транспортного узла для микромоделирования.

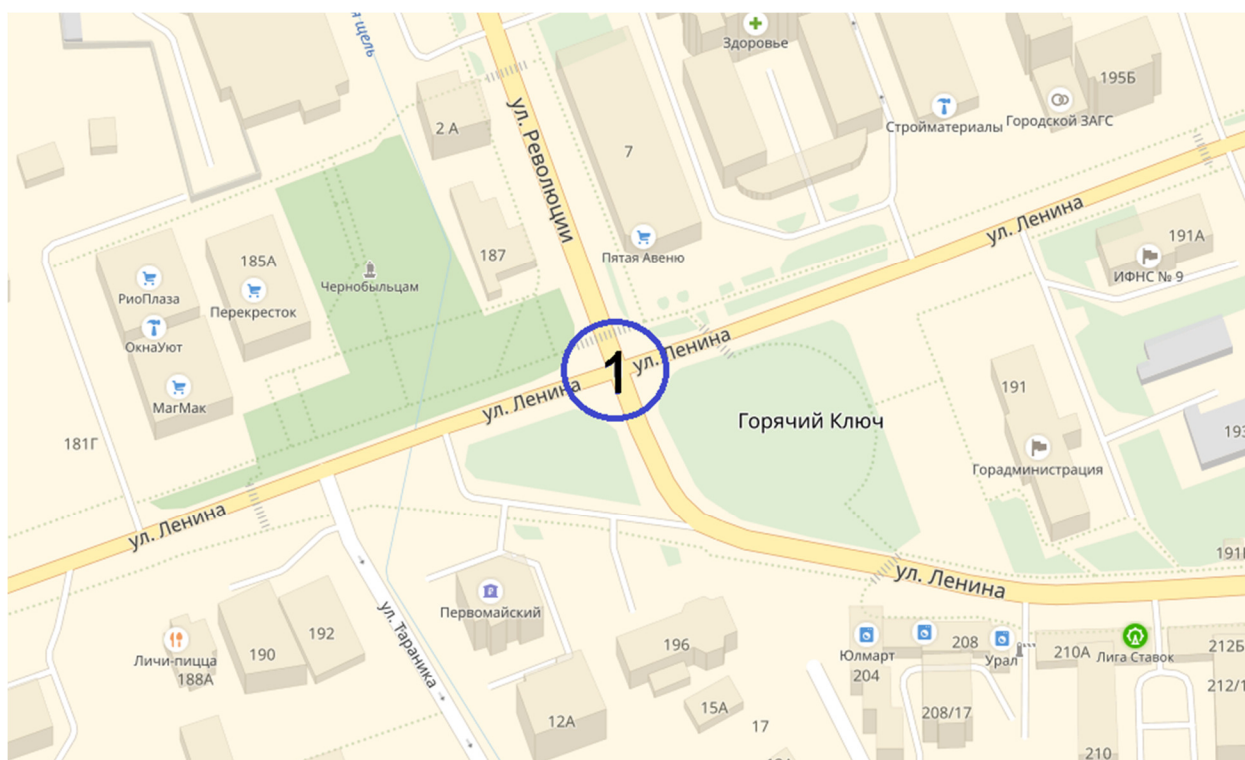


Рисунок 7.2.1.1 – Схема расположения ключевого транспортного узла для микромоделирования

На рисунке 7.2.1.2 представлена визуализация движения транспортных потоков в ключевом транспортном узле МО Горячий Ключ.



Рисунок 7.2.1.2 – Визуализация движения ТП в ключевом транспортном узле №1.

Выбранный ключевой транспортный узел характеризуется наиболее высокой интенсивностью движения на исследуемом объекте. В данных узлах пропускная способность дорог не исчерпана, задержки в пути на пересечениях нет, средняя скорость движения ТП высокая.

5.2. Описание программного продукта AnyLogic, используемого для разработки модели ключевого транспортного узла

Модели ключевых транспортных узлов на территории города Горячий Ключ разрабатывались в среде современного программного комплекса транспортного микромоделирования AnyLogic.

AnyLogic позволяет моделировать дорожные сети, используя Библиотеку дорожного движения — гибкий и мощный инструмент для создания реалистичных имитационных моделей и принятия наиболее эффективных решений при проектировании и оснащении дорог. Визуализация помогает быстро построить модель и оценить её работу: карты плотности показывают загруженность дорог, а анимация демонстрирует поток машин и узкие места. AnyLogic даёт полную свободу в экспериментах и позволяет оптимизировать модель в виртуальной среде для последующей успешной реализации проекта в реальном мире.

Программа характеризуется следующими возможностями:

- - оценка влияния типа пересечения дорог на пропускную способность (нерегулируемый перекрёсток, регулируемый перекрёсток, круговое движение, ж/д переезд, развязка в разных уровнях);

- - проектирование, тестирование и оценка влияния режима работы СО на характер ТП;
- - оценка транспортной эффективности мероприятий;
- - анализ управления дорожным движением на автострадах и городских улицах, контроль за направлениями движения, как на отдельных полосах, так и на всей проезжей части дороги;
- - анализ возможности предоставления приоритета пассажирскому транспорту;
- - детальная имитация движения каждого участника движения;
- - моделирование остановок пассажирского транспорта;
- - расчет аналитических показателей (более 50 различных оценок и аналитических коэффициентов), построение графиков временной загрузки сети и т.п.

Программными методами были описаны условия движения по моделируемым участкам автомобильных дорог – указаны зоны снижения скорости, зоны перестроения, конфигурации пересечений, состав ТП и т.д. Визуальный анализ проведенного пробного имитационного моделирования потребовал уточнения некоторых параметров условий движения. В результате были получены реалистичные модели движения транспорта на рассматриваемых участках автомобильных дорог.

В AnyLogic предусмотрен ряд программных инструментов, позволяющих анализировать параметры движения ТП и вносить соответствующие коррективы, как в планировочные решения элементов УДС, так и в условия проезда – ограничения и правила проезда, которые в реальных условиях лимитируются дорожными знаками, разметкой и другими средствами ОДД.

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

- - геометрия дорожной сети, включая ширины проезжих частей и полос движения, конфигурация перекрестков, радиусы закруглений;
- - схема ОДД;
- - режимы работы СО;
- - состав ТП;
- - часовые интенсивности движения транспорта на моделируемой магистрали в часы «пик».

Построение транспортного движения осуществлялось путем определения состава ТП. 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. 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.

В AnyLogic различают нерегулируемые и регулируемые пересечения. Нерегулируемые пересечения моделировались путем регулирования права проезда конфликтных мест с помощью правил приоритета.

Регулируемые пересечения моделировались в AnyLogic путем использования встроенной системы регулирования. Светофоры закодированы в AnyLogic для каждой полосы индивидуально и располагаются рядом со стоп-линией. Транспортные средства, приближающиеся к желтому сигналу светофора, проедут на него, если не смогут совершить безопасную остановку перед стоп-линией.

Для того, чтобы создаваемая модель наиболее точно отражала характер движения ТС были обозначены зоны малоскоростного движения, т.е. участки УДС, где автомобили принудительно снижают скорость. Примером зон малоскоростного движения служат кривые в плане и повороты на перекрестках.

Основными показателями состояния ТП, полученными в результате моделирования, являются:

- - время в пути между перекрестками;
- - картограммы средней скорости проезда перекрёстков.

5.3. Микромоделирование транспортного потока

На данном этапе работ была выполнена отрисовка пересечения ул. Ленина и ул. Революции города Горячий Ключ с помощью отрезков и перекрёстков.

Весь транспортный состав был поделен на типы и классы.

Тип транспортных средств – группа транспортных средств, которая описывается свойствами технических пробегов и исходными данными для возможного расчета эмиссии.

Класс транспортных средств – один или несколько типов транспортных средств объединяются в класс транспортного средства по набору характеристик (скорость, манера, поведение и т.д.).

Таблица 7.2.1.2 Классы/типы транспортных средств

Классы транспортного средства	Типы транспортного средства
Легковые автомобили	Легковые автомобили

	Мотоциклы
Грузовые автомобили	Грузовые транспортные средства с грузоподъемностью до 2-х тонн; Грузовые транспортные средства с грузоподъемностью от 2-х до 5-ти тонн; Грузовые транспортные средства с грузоподъемностью от 5-ти до 8-ми тонн; Грузовые транспортные средства с грузоподъемностью от 8-ми тонн
Общественный транспорт	Микроавтобусы; Автобусы; Автобусы с 3 осями

После распределения ТС для каждого направления движения был сформирован состав транспортного потока с помощью заданных типов. AnyLogic автоматически рассчитывает абсолютные доли исходя из того, что сумма всех относительных нагрузок это 100%.

Следующим этапом было определение интенсивности входящего потока и создание маршрутов движения транспортных средств.

Маршрут - это фиксированная последовательность отрезков и соединительных отрезков от места решения маршрута до места назначения. Каждое место решения может иметь множество мест назначения. Маршрут может иметь любую длину – от маршрута, определяющего движение транспортных средств на перекрестке, до маршрута который простирается через всю AnyLogic сеть.

Для решений маршрута можно указать как доли, отношения, так и конкретную интенсивность. В нашей модели мы использовали данные, которые получили в результате видеосъемки, а это конкретная интенсивность транспортных потоков.

Следом необходимо было ввести правила приоритета при прохождении ТС конфликтных зон.

Также в модели выполнен ввод общественного транспорта. Общественный транспорт может передвигаться как в смешанном потоке, так и по отдельной полосе или дороге. Для организации движения общественного транспорта необходимо ввести:

- - Остановки
- - Маршруты общественного транспорта с указанием необходимых остановок и расписания движения.
- Остановки для общественного транспорта могут создаваться как на полосе, так и в кармане:

- - Остановки на полосе. Общественный транспорт останавливается в специальном уширении полосы (предназначенной для более медленного движения) выбранного отрезка.

Транспортные средства, приближающие к общественному транспорту, который остановился для посадки и высадки пассажиров, пытаются обогнать его по соседней полосе, но если полоса для движения одна, то они остановятся позади транспортного средства, совершающего посадку/высадку пассажиров. Общественный транспорт следует по специально отведенному маршруту и остается в сети даже после окончания маршрутной линии. После того как мы создали остановки, мы задали расписание общественному транспорту и активировали остановки.

После разработки модели транспортного движения в AnyLogic можно получить ряд данных для анализа выполненной работы. Основными задачами было вычислить время в пути по направлениям за определенный промежуток времени и пропускную способность перекрестков.

5.4. Анализ результатов микромоделирования

В результате микромоделирования были получены данные о времени нахождения транспортных средств в пути и интенсивности ТП. Расчет времени в пути и распределение средней скорости ТП в транспортных узлах производились в моделировании AnyLogic.

На рисунках ниже представлена существующая визуализация движения транспортных потоков на пересечении улицы Ленина и улицы Революции, картограмма скорости и результат анализа на данном перекрестке.



Рисунок 7.2.4.1 Существующая визуализация движения ТП в транспортном узле



Рисунок 7.2.4.2 Существующая картограмма скорости ТП в ключевом транспортном узле №1 в утренний пиковый период

времяПроезда			
Кол-во	1,002		
Среднее	63.43		
мин	27.542		
Макс	164.172		
Среднеквадр. отклонение	23.659		
Доверит. интервал для среднего	1.465		
Сумма	63,556.893		
От	До	Плотность вероятности	функция распределения
25.9	42.7	258	258
42.7	59.5	206	464
59.5	76.3	239	703
76.3	93.1	189	892
93.1	109.9	84	976
109.9	126.7	19	995
126.7	143.5	3	998
143.5	160.3	2	1,000
160.3	177.1	2	1,002

Рисунок 7.2.4.3 Результат анализа в ключевом транспортном узле № 1 в утренний пиковый период существующая ситуация

Существующая ситуация на пересечении улицы Ленина и улицы Революции не имеет проблем с пропускной способностью и интенсивностью движения. Внесём изменения на данный перекрёсток в виде кругового движения.

На рисунках ниже представлена визуализация перспективной ситуации движения транспортных потоков на пересечении улицы Ленина и улицы Революции, картограмма скорости и результат анализа на данном перекрестке.



Рисунок 7.2.4.4 Перспективная визуализация движения ТП в транспортном узле №1.



Рисунок 7.2.4.5 Перспективная картограмма скорости ТП в ключевом транспортном узле №1 в утренний пиковый период

времяПроезда				
кол-во	1,004			
Среднее	58.484			
мин	27.444			
макс	187.532			
Среднеквадр. отклонение	20.588			
Доверит. интервал для среднего	1.274			
сумма	58,718.098			
От	До	Плотность вероятности	Функция распределения	
-0.3	28.5	7	7	
28.5	57.3	554	561	
57.3	86.1	346	907	
86.1	114.9	82	989	
114.9	143.7	11	1,000	
143.7	172.5	2	1,002	
172.5	201.3	2	1,004	

Рисунок 7.2.4.6 Результат анализа в ключевом транспортном узле №1 с перспективой

Перспективная ситуация на пересечении улицы Ленина и улицы Революции приведёт к сокращению транспортных задержек на 8,5% и увеличению уровня безопасности движения за счёт уменьшения количества конфликтных точек на данном узле.