



Российская академия транспорта
**ИНСТИТУТ
ТРАНСПОРТНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ**



Методические рекомендации
**ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ТРАНСПОРТНОГО
ПЛАНИРОВАНИЯ В ГОРОДАХ**

Н1

Москва 2016

Рецензент

Начальник управления транспортного планирования АО «Институт «Стройпроект»

Калинина В.В.

Методические рекомендации по оценке качества транспортного планирования в городах: Методические рекомендации/ Российская академия транспорта – Москва, 2016. – 25 с.

Настоящие Методические рекомендации предназначены для оценки качества транспортного планирования в городах. Методические рекомендации позволяют с использованием прогнозных транспортных моделей оценить качество транспортного планирования в сформированной в городе структуре расселения людей и неизменном транспортном спросе. Позволяют получить сравнительные характеристика качества транспортного планирования в различных городах, а также оценить проектные сценарии развития транспортной системы города. Методические рекомендации предназначены специалистам, занимающимся транспортным планированием и организацией дорожного движения в городах.

Методические рекомендации разработаны специалистами Института транспортного планирования Российской академии транспорта.

УДК 656.13

© Институт транспортного планирования Российской академии транспорта, 2016

© Якимов М.Р., 2016

Оглавление

Введение	4
1 Транспортная зависимость территорий города	7
1.1 Понятие транспортной зависимости территорий города.....	7
1.2 Анализ транспортной зависимости территорий города.....	9
2 Транспортное движение территорий города	14
3 Оценка качества транспортного планирования.....	17
4 Пример оценки качества транспортного планирования.....	19
Литература	25

Введение

Задачей исполнительной власти городских округов и сельских поселений при реализации полномочий, закрепленных в законе РФ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» №131 от 06.10.2003 является создание эффективной транспортной системы на основе дорожной деятельности и организации транспортного обслуживания населения.

Согласно ст. 13 Федерального закона от 8 ноября 2007 г. N 257-ФЗ «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» к полномочиям органов местного самоуправления городских поселений, муниципальных районов, городских округов в области использования автомобильных дорог и осуществления дорожной деятельности относится разработка основных направлений инвестиционной политики в области развития автомобильных дорог местного значения.

Согласно ст. 8 Градостроительного кодекса РФ к полномочиям органов местного самоуправления поселений в области градостроительной деятельности относятся, в том числе принятие решений о развитии застроенных территорий и разработка, и утверждение программ комплексного развития систем коммунальной инфраструктуры поселений, программ комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, программ комплексного развития социальной инфраструктуры поселений.

Приказ Министерства транспорта РФ от 17 марта 2015 г. N 43 «Об утверждении Правил подготовки проектов и схем организации дорожного движения» содержит требование о том, что при разработке комплексных схем организации дорожного движения необходимо проводить укрупненную оценку предлагаемых вариантов проектирования. Оценка, сравнение и выбор предлагаемого к реализации варианта осуществляются на основании

результатов прогнозирования параметров дорожного движения, в том числе с использованием программных средств и математического моделирования.

Создание эффективной транспортной системы города является одним из важных инструментов повышения качества жизни на территориях. Инструментами формирования эффективной транспортной системы города являются, в первую очередь, транспортное планирование, организация дорожного движения, формирование маршрутной сети городского пассажирского транспорта общего пользования и парковочная политика.

Наиболее действенным, значимым и ресурсоемким инструментом формирования эффективной транспортной системы города является транспортное планирование. Основной задачей транспортного планирования является определение направлений развития транспортной системы города. Оценка эффективности капитальных вложений в новые объекты транспортной инфраструктуры является сложной задачей, требующей качественного научно-методического обоснования и применения высокотехнологичных инструментов моделирования. Одним из таких инструментов являются прогнозные транспортные модели городов.

Цель данной методической разработки – предоставить органам исполнительной власти, принимающим решения по развитию или изменению состояния действующей транспортной инфраструктуры, методику оценки качества и эффективности принимаемых ими решений в области транспортного планирования.

Методика оценки эффективности реализации транспортного спроса на урбанизированной территории основывается на сопоставлении моделей функционирования различных типов сетей на ней с неизменным транспортным спросом. Оценку эффективности реализации транспортного спроса предлагается производить путем сопоставления параметров движения транспортных и пассажирских потоков на идеальной и свободной сети на основе прогнозной транспортной модели. Основная идея заключается в

сопоставлении выходных параметров функционирования транспортной системы (транспортной зависимости и транспортного движения территорий) и оценки корреляции между этими двумя параметрами на всей территории города.

Основываясь на данных методических рекомендациях, органы исполнительной власти муниципальных образований и городских округов, имея прогнозную транспортную модель, могут оценить как текущее состояние качества транспортного планирования на вверенных им территориях, так и оценить разрабатываемые и внедряемые управленческие решения с точки зрения их влияния на обобщенные показатели качества транспортного планирования.

1 Транспортная зависимость территорий города

1.1 Понятие транспортной зависимости территорий города

Введем понятие транспортной зависимости территории. Транспортная зависимость территории - это однозначно и точно определяемый расчетным путем показатель, связывающий пространственные характеристики отдельных городских территорий с общим объемом транспортного спроса в городе, имеющий размерность – чел*км в сутки. Транспортная зависимость территории – это объем перемещения пассажиров (грузов) по данной территории (чел*км) в течение дня при идеальном удовлетворении существующего транспортного спроса. Это характеристика, описывающая предельное (идеальное) состояние транспортной сети на отдельной городской территории.

Для понимания смысла параметра удобна его геометрическая интерпретация.

При создании транспортных моделей территория города делится на транспортные районы, которые в модели транспортного спроса являются генераторами и потребителями транспортных потоков (источниками и стоками транспортного движения). Точность итоговой модели транспортного спроса в большой степени определяется детализацией области (количеством транспортных районов, на которые разбита территория города).

Для транспортных районов рассчитываются матрицы корреспонденций, то есть количество корреспонденций, совершаемых между районами на индивидуальном транспорте (ИТ) и на общественном транспорте (ОТ).

Элемент матрицы транспортных корреспонденций на ИТ - $x_{ij_{ИТ}}$ измеряется в корреспонденциях индивидуальных автомобилей (авт./сутки). Значения $x_{ij_{ИТ}}$ получаются путем деления соответствующих элементов матрицы корреспонденций ИТ, измеряемых в корреспонденциях людей, на среднюю наполненность автомобиля. Элемент матрицы транспортных корреспонденций на ОТ - $x_{ij_{ОТ}}$ измеряется в корреспонденциях людей (людей/сутки).

Рассмотрим графическое представление транспортного спроса (матрицы корреспонденций) в виде «паука корреспонденций» (рисунок 1). Центры транспортных районов соединены отрезками по воздушной линии,

толщина отрезка пропорциональна количеству корреспонденций, совершаемых из района в район).

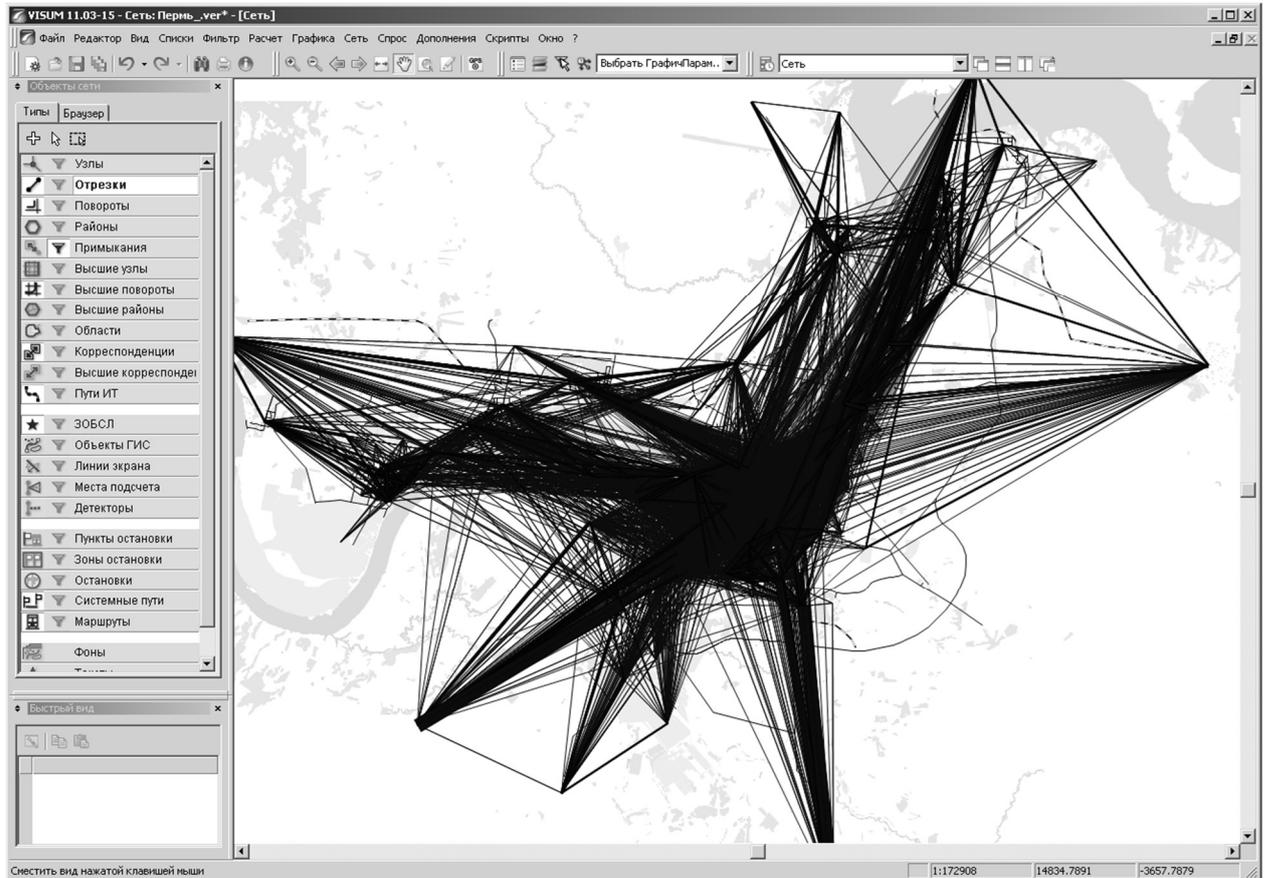


Рисунок 1 - Паук транспортных корреспонденций

Выделив произвольный фрагмент территории города r (рисунок 2), можно аналитически получить суммарный средневзвешенный объем долей транспортных корреспонденций, проходящих через выделенную территорию. На рисунке 2 эта территория представлена в виде выпуклого пятиугольника.

В дальнейшем такой фрагмент территории будем называть областью исследования.

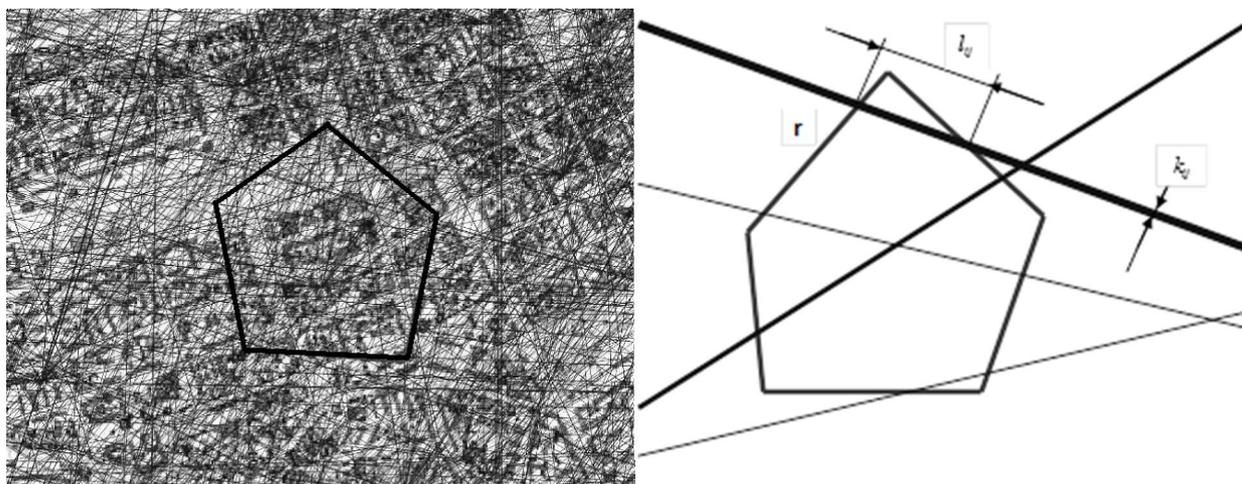


Рисунок 2 - Область исследования в виде выпуклого пятиугольника

На рисунке 2: x_{ij} - объем корреспонденций из i - го района в j - ий; l_{ijr} - доля транспортных корреспонденций i - го района в j - ий, проходящих через область исследования r .

Транспортная зависимость будет вычисляться как:

$$J_r = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_{ij} \cdot l_{ijr}, \quad i \neq j; \quad (1),$$

где:

J_r – транспортная зависимость области r [чел*км в сутки];

x_{ij} - значение элемента матрицы (объем) корреспонденций между i -ым и j -ым транспортными районами,

l_{ijr} - доля корреспонденции между i -ым и j -ым транспортными районами, попадающая в исследуемую область r ,

N – количество транспортных районов.

1.2 Анализ транспортной зависимости территорий города

Методика оценки эффективности реализации транспортного спроса на урбанизированной территории основывается на сопоставлении моделей функционирования различных типов сетей на ней с неизменным транспортным спросом.

При моделировании распределения движения транспорта по территории города можно выделить три вида состояния транспортной сети:

- *идеальная сеть* - «воздушные» линии, соединяющие центры транспортных районов»;

- *свободная сеть* - реальная действующая УДС города, каждый элемент которой обладает бесконечной пропускной и провозной способностью. При таких допущениях определяющей характеристикой транспортного предложения является только геометрия моделируемой сети.

- *нагруженная сеть* - реальная действующая УДС города, каждый элемент которой обладает конечной пропускной способностью.

Рассмотрим подходы к моделированию каждого из описанных выше видов состояния сети.

Используем разбиение территории города регулярной сеткой с шагом 500 м. Для каждой исследуемой области (ячейки) k можно рассчитать транспортную зависимость J_k^{ud} . Термин транспортной зависимости территории будем использовать только для идеальной сети.

Для свободной сети эквивалентом термина транспортной зависимости будет являться транспортное движение, так в свободных сетях учитывается реальная действующая УДС города. Транспортное движение на территории – это объем перемещения пассажиров по данной территории (чел*км) в течение дня при реализации существующего транспортного спроса в реальной транспортной сети.

Для того чтобы в дальнейшем иметь возможность сравнивать работу идеальной и свободной сети, выделим из общего объема транспортного движения в свободной сети для каждой ячейки k регулярной сетки две составляющие: транспортное движение в свободной сети для индивидуального транспорта J_{ITk}^{ce} и транспортное движение для общественного транспорта J_{OTk}^{ce} . С учетом средней загруженности индивидуального автомобиля в течение суток в последующем перейдем к значениям транспортного движения по каждой территории. Таким образом, J_{ITk}^{ce} будет измеряться в авт*км, J_{OTk}^{ce} в чел*км.

На рисунке 3 приведен фрагмент «паука» корреспонденций в регулярной сетке. Для идеальной сети при нахождении транспортной зависимости территории необходимо найти длину отрезка, попадающего в зону исследования и умножить её на количество корреспонденций, совершаемых по этому отрезку.

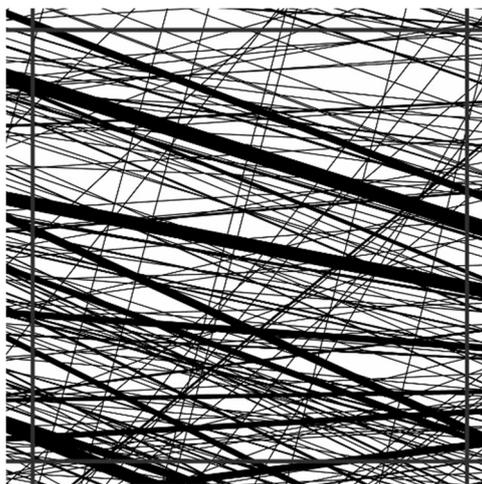


Рисунок 3 - Фрагмент «паука» корреспонденций в ячейке сетки разбиения территории города

Для каждой ячейки k регулярной сетки рассчитываются итоговые параметры: транспортная зависимость территории для индивидуального транспорта $J_{ИТ k}^{uo}$ и транспортная зависимость территории для общественного транспорта $J_{ОТ k}^{uo}$.

Для каждого отрезка, соединяющего центры транспортных районов i и j , проверяется принадлежность его части исследуемой ячейке. Если часть отрезка принадлежит ячейке, то рассчитывается длина $l_{ij k}$.

Тогда показатели транспортной зависимости для индивидуального и для общественного транспорта в k -ой ячейке $J_{ИТ k}$ и $J_{ОТ k}$ находятся из соотношений:

$$J_{ИТ k}^{uo} = \sum_i \sum_j l_{ij k} \cdot x_{ИТ ij} \quad (2),$$

где

$J_{ИТ k}^{uo}$ - транспортная зависимость индивидуального транспорта в k -ой ячейке идеальной сети;

l_{ij_k} - длина части отрезка, соединяющего i -й и j -й районы, лежащей в k -й ячейке идеальной сети;

$x_{IT_{ij}}$ - количество корреспонденций на индивидуальном транспорте из района i в район j .

$$J_{OT_k}^{ud} = \sum_i \sum_j l_{ij_k} \cdot x_{OT_{ij}} \quad (3),$$

где

$J_{OT_k}^{ud}$ - транспортная зависимость общественного транспорта в k -ой ячейке идеальной сети;

l_{ij_k} - длина части отрезка, соединяющего i -й и j -й районы, лежащей в k -й ячейке идеальной сети;

$x_{OT_{ij}}$ - количество корреспонденций на общественном транспорте из района i в район j .

Результат распределения транспортной зависимости для индивидуального транспорта на регулярной сетке приведен на рисунке 4.

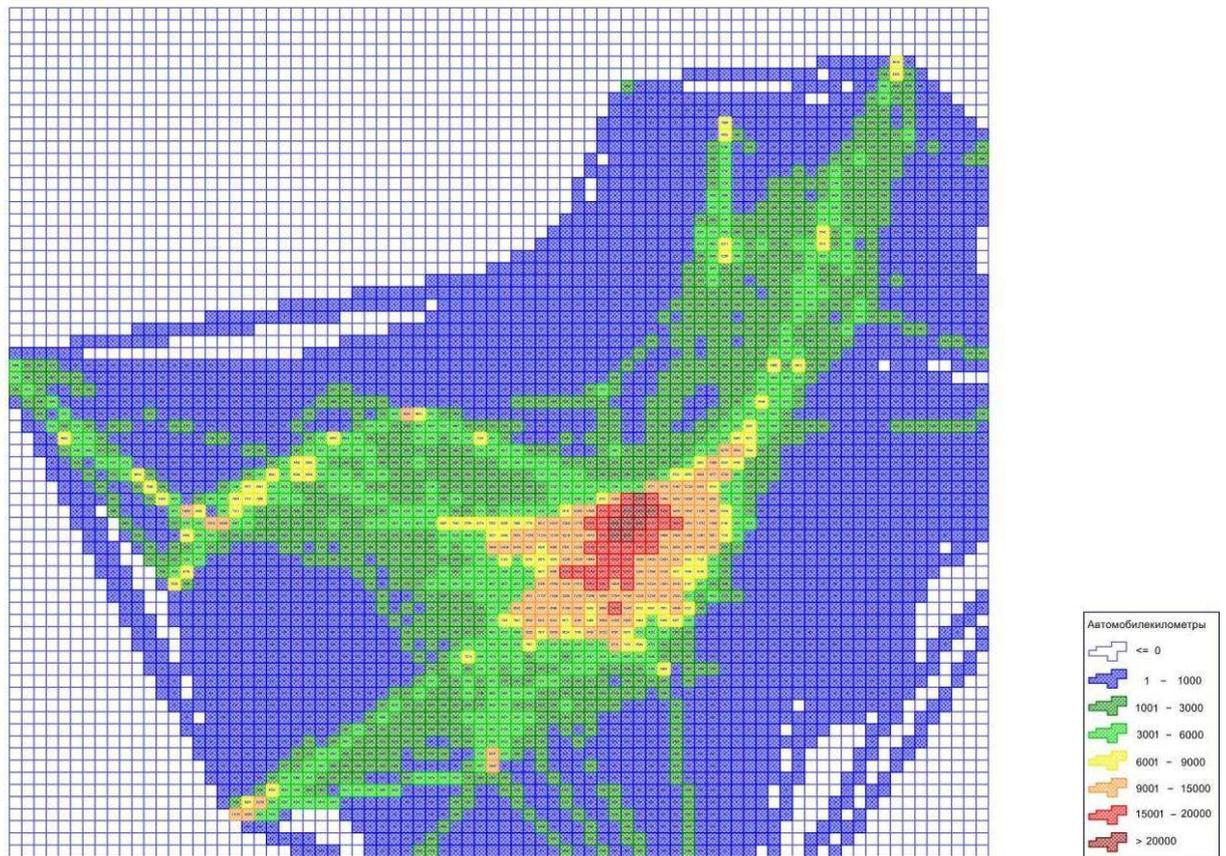


Рисунок 4 - Распределение транспортной зависимости для ИТ на регулярной сетке (авт.*км/сутки)

На рисунке 4 видно, что наибольшая транспортная зависимость наблюдается в центральной части города, так как именно центральные районы города являются целью значительной доли транспортных корреспонденций. Кроме того, большая доля транзитно-транспортных корреспонденций проходит через центральные территории.

2 Транспортное движение на территориях города

Для перехода к анализу существующего транспортного предложения необходимо оценить распределение транспортного движения на свободной сети города.

Для анализа свободной сети в транспортной модели вместо отрезков паука корреспонденций используется существующая в городе улично-дорожная сеть. Объем транспортных корреспонденций из района i в район j обозначим x_{ij} . Распределение корреспонденций на свободной сети осуществляется по существующей УДС по кратчайшему расстоянию. Пример участка УДС в выбранной ячейке изображен на рисунке 5.



Рисунок 5 - Фрагмент участка УДС и сетки разбивки.
Плотность УДС в ячейке 2,459 км/км²

Далее проводится расчет объема транспортного движения в сутки в каждой ячейке регулярной сетки.

Улично-дорожная сеть задается ломаными линиями с координатами начала, конца и промежуточных точек. Для каждой ячейки рассчитываются длины участков УДС, которые принадлежат хотя бы частично рассматриваемой ячейке. Рассчитанную длину i -го участка сети в k -ой ячейке

обозначим l_{ik} . Распределение транспортного спроса в свободной сети создает нагрузку на УДС в виде интенсивностей $q_{ИТi}^{св}$. Тогда объем транспортного движения для ИТ в свободной сети для k -ой ячейки обозначается $J_{ИТk}^{св}$ и рассчитывается из соотношения:

$$J_{ИТk}^{св} = \sum_i l_{ik} \cdot q_{ИТi}^{св} \quad (4),$$

где

$J_{ИТk}^{св}$ - объем транспортного движения для ИТ в свободной сети для k -ой ячейки;

l_{ik} - длина i -го участка сети в k -ой ячейке;

$q_{ИТi}^{св}$ - интенсивность ИТ на i -м участке УДС свободной сети.

Аналогично транспортное движение рассчитывается для общественного транспорта $J_{ОТk}^{св}$. Распределение пассажиропотоков по маршрутной сети выражается в виде интенсивности пассажиропотока на УДС $q_{ОТi}^{св}$.

$$J_{ОТk}^{св} = \sum_i l_{ik} \cdot q_{ОТi}^{св} \quad (5),$$

где

$J_{ОТk}^{св}$ - объем транспортного движения для ОТ в свободной сети для k -й ячейки,

l_{ik} - длина i -го участка сети в k -ой ячейке;

$q_{ОТi}^{св}$ - интенсивность пассажиропотока на i -м участке УДС свободной сети.

Результат распределения транспортного движения на индивидуальном транспорте в свободной сети приведен на рисунке 6.

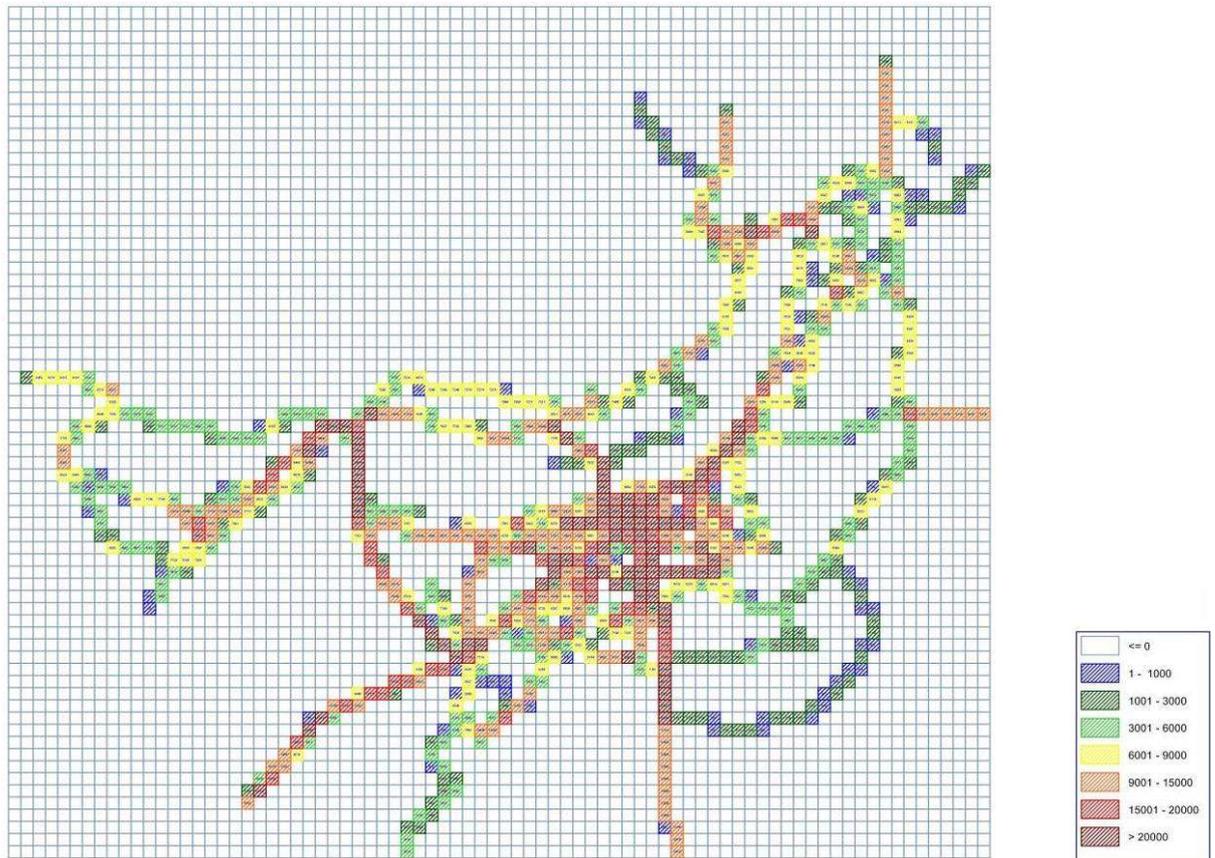


Рисунок 6 - Распределение транспортного движения на индивидуальном транспорте в свободной сети города (авт.*км/сутки)

При сопоставлении картограмм для идеальной и свободной сети можно произвести графический анализ качественного соответствия конфигурации реальной УДС её идеальному прототипу. Такое сопоставление позволяет сделать вывод о качественном соответствии распределения потенциального транспортного спроса и конфигурации действующей УДС. Кроме того, на картограмме можно выделить отдельные элементы сети, объем движения на которых предполагает наличие максимального транспортного предложения (площади проезжих частей УДС).

3 Оценка качества транспортного планирования

Для оценки качества транспортного планирования необходимо произвести сравнение объемов транспортного движения для идеальной и свободной сети. Для каждой области исследования были получены значения транспортной зависимости для ИТ и ОТ (для идеальной сети) и объемы транспортного движения для ИТ и ОТ (для свободной сети). Для идеальной сети полученные значения транспортной зависимости обозначим для индивидуального транспорта $J_{ИТ k}^{ид}$ и для общественного транспорта $J_{ОТ k}^{ид}$. Для свободной сети полученные значения обозначим для транспортного движения индивидуального транспорта $J_{ИТ k}^{св}$ и общественного транспорта $J_{ОТ k}^{св}$.

Оценку качества транспортного планирования на территории предлагается проводить на основе оценки взаимосвязи двух ключевых показателей: транспортной зависимости и транспортного движения. Чем сильнее связь этих двух показателей на исследуемой территории, тем ближе к идеальной по своему функциональному назначению находится реальная улично-дорожная сеть города, соответственно - тем выше качество транспортного планирования в городе. Итоговую оценку качества транспортного планирования будем проводить с помощью показателя – коэффициента корреляции, который будет оценивать силу связи между вышеупомянутыми параметрами. При расчете коэффициента корреляции будем использовать данные, полученные различными способами с учетом каждой исследуемой области.

Коэффициент корреляции полученных данных для индивидуального транспорта будет рассчитываться из соотношения:

$$r_{ИТ} = \frac{\sum_k (J_{ИТ k}^{ид} - \overline{J_{ИТ k}^{ид}})(J_{ИТ k}^{св} - \overline{J_{ИТ k}^{св}})}{\sqrt{\sum_k (J_{ИТ k}^{ид} - \overline{J_{ИТ k}^{ид}})^2 \sum_k (J_{ИТ k}^{св} - \overline{J_{ИТ k}^{св}})^2}} \quad (6),$$

где $r_{ИТ}$ - коэффициент корреляции транспортной зависимости и транспортного движения для ИТ;

$$\overline{J_{ITk}^{ud}} = \frac{\sum_k J_{ITk}^{ud}}{N} - \text{среднее значение транспортной зависимости в отдельной}$$

области для идеальной сети, авт. *км;

$$\overline{J_{ITk}^{ce}} = \frac{\sum_k J_{ITk}^{ce}}{N} - \text{среднее значение транспортного движения в отдельной}$$

области для свободной сети, авт. *км;

N - количество ячеек регулярной сети.

Коэффициент корреляции полученных данных для общественного транспорта будет рассчитываться из соотношения:

$$P_{OT} = \frac{\sum_k (J_{OTk}^{ud} - \overline{J_{OTk}^{ud}})(J_{OTk}^{ce} - \overline{J_{OTk}^{ce}})}{\sqrt{\sum_k (J_{OTk}^{ud} - \overline{J_{OTk}^{ud}})^2 \sum_k (J_{OTk}^{ce} - \overline{J_{OTk}^{ce}})^2}} \quad (7),$$

где k_{OT} - коэффициент корреляции транспортной зависимости и транспортного движения для ОТ;

$$\overline{J_{OTk}^{ud}} = \frac{\sum_k J_{OTk}^{ud}}{N} - \text{среднее значение транспортной зависимости в отдельной}$$

области для идеальной сети, чел*км;

$$\overline{J_{OTk}^{ce}} = \frac{\sum_k J_{OTk}^{ce}}{N} - \text{среднее значение транспортного движения в отдельной}$$

области для свободной сети, чел*км;

N - количество ячеек регулярной сетки.

С помощью коэффициента корреляции можно оценить качество транспортного планирования на всей территории города. Чем ближе значение коэффициента корреляции к 1, тем лучше качество транспортного планирования, так как в этом случае совпадает относительное распределение транспортной зависимости и транспортного движения по территории города.

Можно отметить, что недостаточно сильная связь между рассматриваемыми показателями (при полученных коэффициентах корреляции меньше 0,75) свидетельствует о низком качестве транспортного планирования в рассматриваемом городе.

4 Пример оценки качества транспортного планирования

По представленной методике проведены расчеты для города Перми на основе транспортной модели города, разработанной в программном комплексе PTV Vision VISUM.

В транспортной модели города Перми была сгенерирована регулярная сетка с шагом 500м в виде объектов «области» для идеальной (рисунок 7) и свободной (рисунок 8) сети.

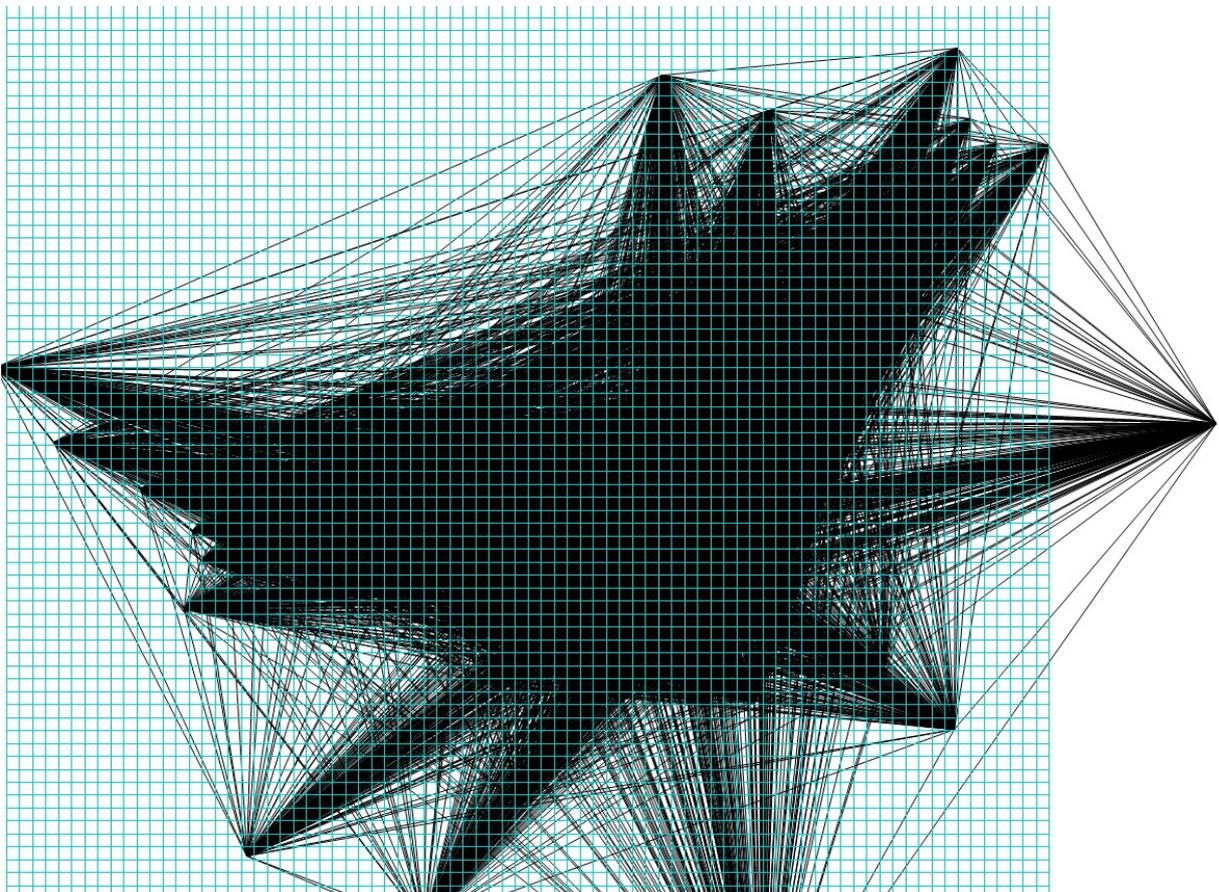


Рисунок 7 - Регулярная сетка, наложенная на идеальную сеть для города Перми

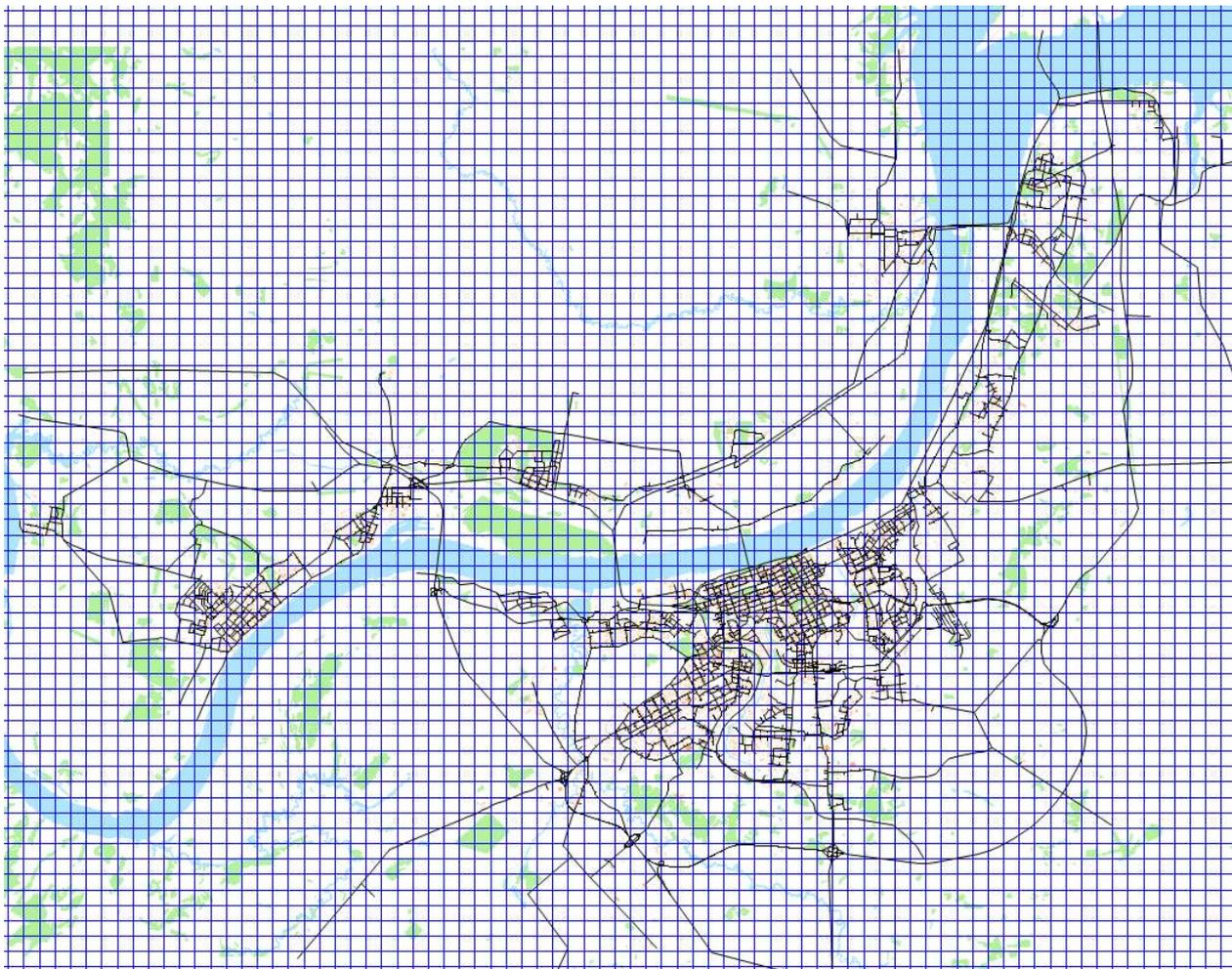


Рисунок 8 - Регулярная сетка, наложенная на свободную сеть для города Перми

Для генерации графа идеальной сети и регулярной сетки можно воспользоваться разработанным специалистами Российской академии транспорта программным продуктом.

Далее для каждого отрезка идеальной сети и свободной сети были рассчитаны значения $k_{ij} \cdot l_{ijr}$, то есть длина отрезка умножалась на количество корреспонденций для идеальной сети и на интенсивность движения для свободной сети (рисунок 9).

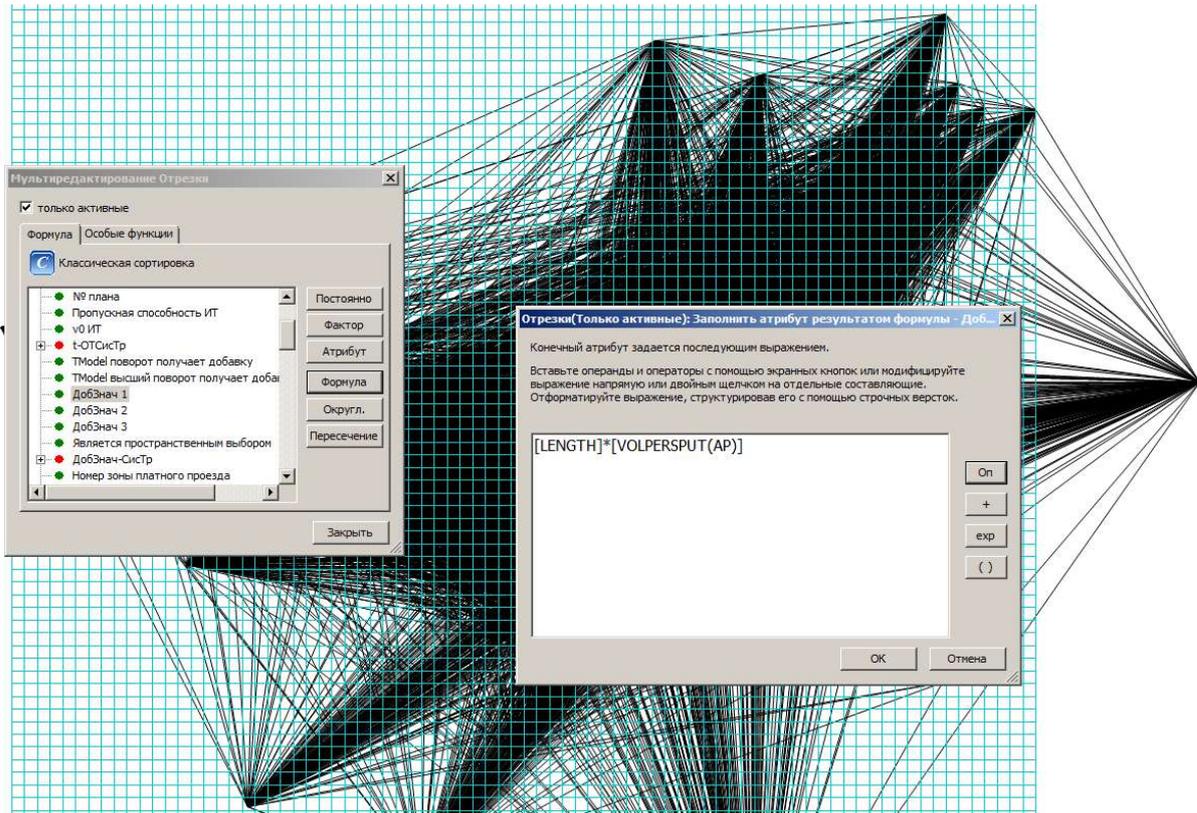


Рисунок 9 - Диалоговое окно редактора формул в PTV Vision VISUM при расчете произведений длин отрезков и интенсивностей движения

После расчета данных показателей, полученные атрибуты отрезков были просуммированы для каждой ячейки регулярной сетки с помощью операции «пересечение». В результате выполнения данной операции для каждой ячейки регулярной сетки были получены значения транспортной зависимости ИТ и ОТ для идеальной сети, а также значения транспортного движения ИТ и ОТ для свободной сети (рисунки 10-13).

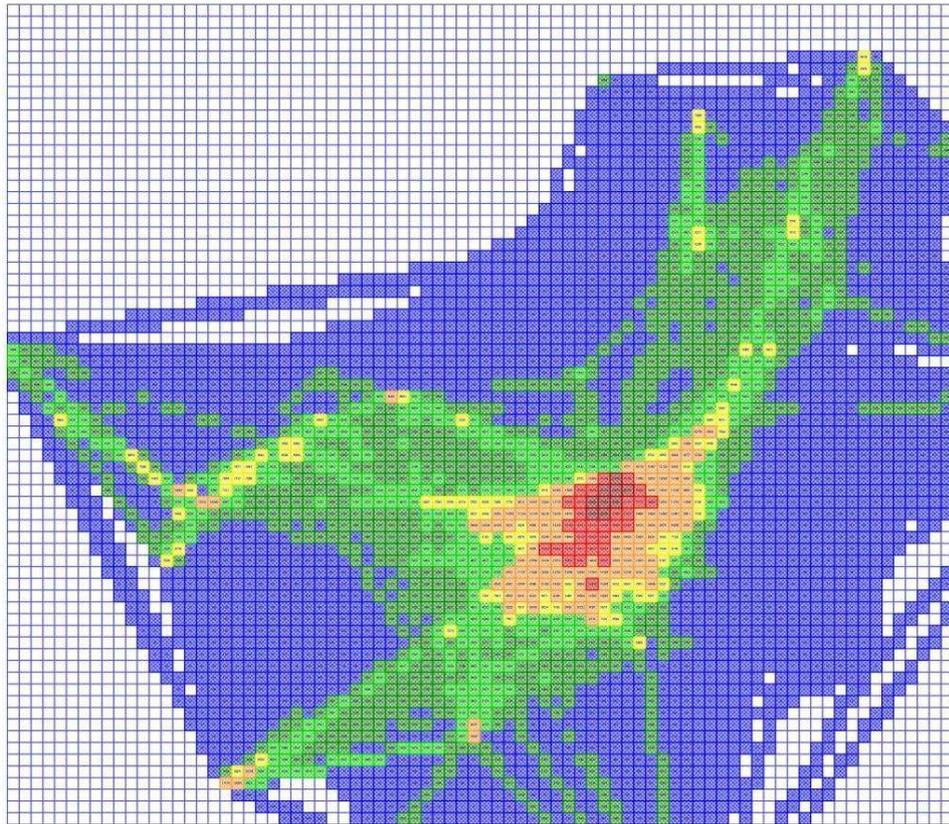


Рисунок 10 - Картограмма значений транспортной зависимости ИТ для идеальной сети города Перми

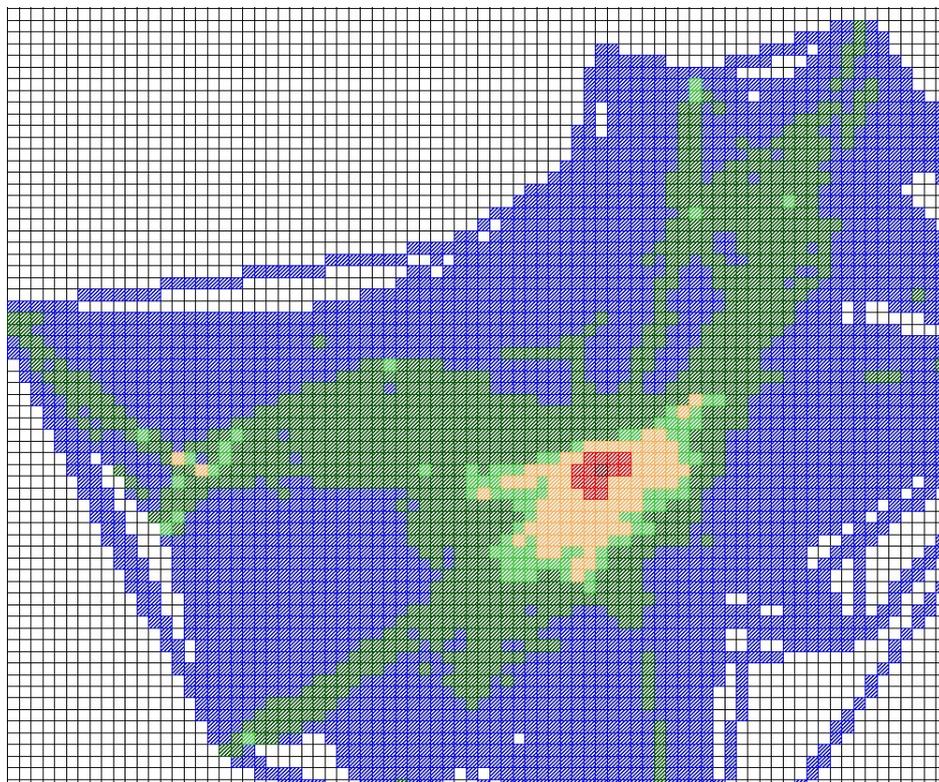


Рисунок 11 - Картограмма значений транспортной зависимости ОТ для идеальной сети города Перми

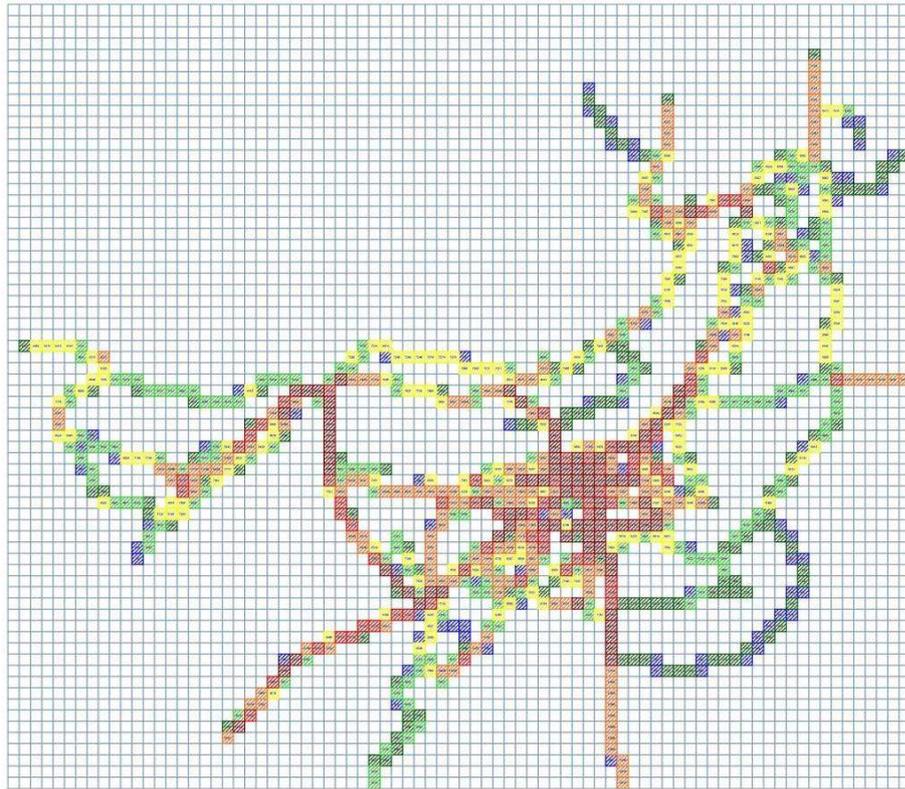


Рисунок 12 - Картограмма значений транспортного движения ИТ для свободной сети города Перми

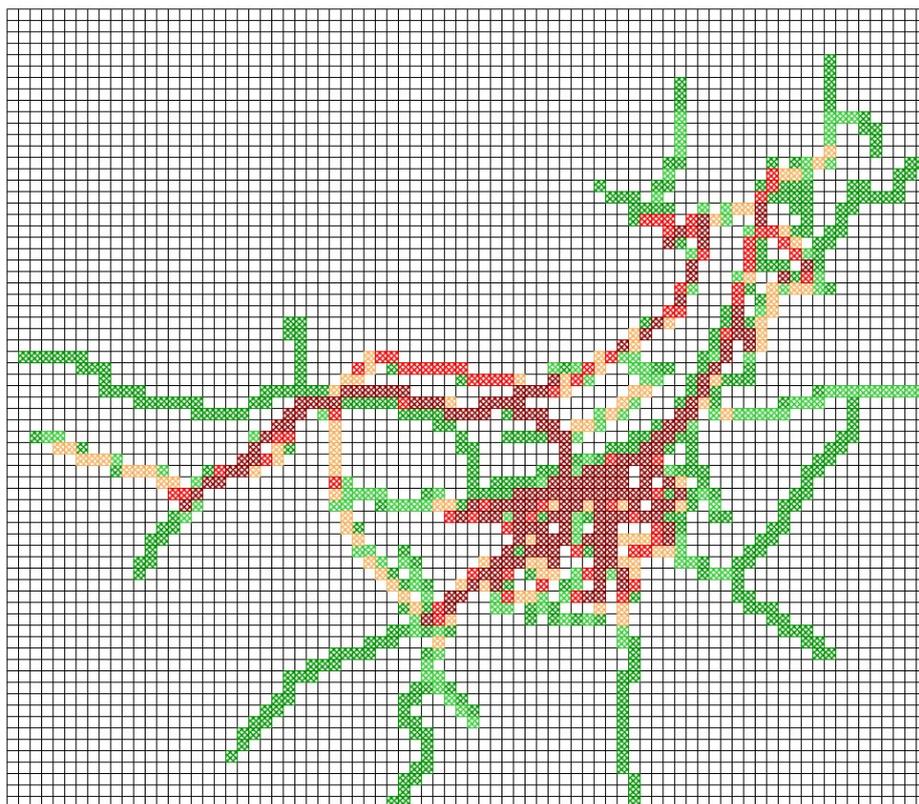


Рисунок 13 - Картограмма значений транспортного движения ОТ для свободной сети города Перми

Для оценки качества транспортного планирования для полученных значений транспортной зависимости и транспортного движения было получено значение коэффициента их корреляции. Расчет коэффициента корреляции проводился отдельно для ИТ и для ОТ.

Значение коэффициента корреляции транспортной зависимости и транспортного движения для ИТ составило $p_{ИТ} = 0,558971$. Значение коэффициента корреляции транспортной зависимости и транспортного движения для ОТ составило $p_{ОТ} = 0,616194$.

Можно отметить, что недостаточно сильная связь между рассматриваемыми показателями (при полученных коэффициентах корреляции меньше 0,75) свидетельствует о низком качестве транспортного планирования в городе Перми.

Прежде всего, это объясняется историческими факторами развития городов. В разные периоды жизни происходят процессы изменения границ городов. Особенно сильно эти процессы наблюдались в России в середине 20-го века. Преследуя политические цели, искусственные процессы формирования новых городов на основе слияния отдельных разрозненных поселений порождали негативные тенденции в развитии и функционировании транспортных систем таких новообразований, результаты которых жители многих российских городов (в том числе и Перми) ощущают и в настоящее время.

Литература

1. Трофименко Ю.В., Якимов М.Р. Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов: монография / – М.: Логос, 2013. – 464 с.
2. Якимов М.Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: монография / М.Р. Якимов. – М.: Логос, 2013. – 188 с.
3. Якимов М.Р., Попов Ю.А. Транспортное планирование: Практические рекомендации по созданию транспортных моделей городов в программном комплексе PTV Vision® VISUM: монография / М.Р. Якимов., А.Ю. Попов. – М.: Логос, 2014. – 200 с.
4. Якимов М.Р., Арепьева А.А. Транспортное планирование: Особенности моделирования транспортных потоков в крупных российских городах: монография / М.Р. Якимов., А.А. Арепьева. – М.: Логос, 2016. – 280 с.