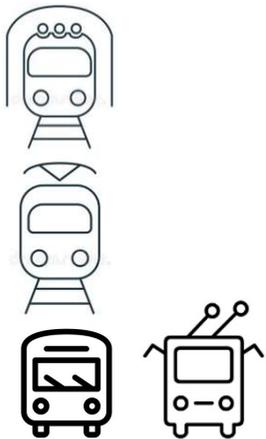




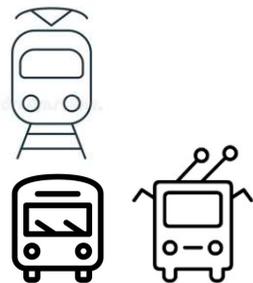
Обоснование необходимости организации регулярных маршрутов транспорта большой провозной способности в городах

Якимов Михаил Ростиславович
доктор технических наук, директор Института
транспортного планирования Российской
академии транспорта

Актуальность обоснования необходимости организации регулярных маршрутов транспорта большой провозной способности в городах



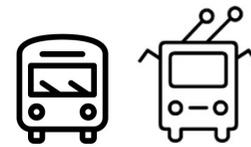
- ✓ Москва
- ✓ Санкт-Петербург
- ✓ Новосибирск
- ✓ Екатеринбург
- ✓ Казань
- ✓ Нижний Новгород
- ✓ Самара



- ✓ Челябинск
- ✓ Омск
- ✓ Ростов-на-Дону
- ✓ Уфа
- ✓ Красноярск
- ✓ Волгоград
- ✓ Краснодар
- ✓ Саратов
- ✓ Ижевск



- ✓ Пермь



- ✓ Воронеж
- ✓ Тольятти



- ✓ Тюмень

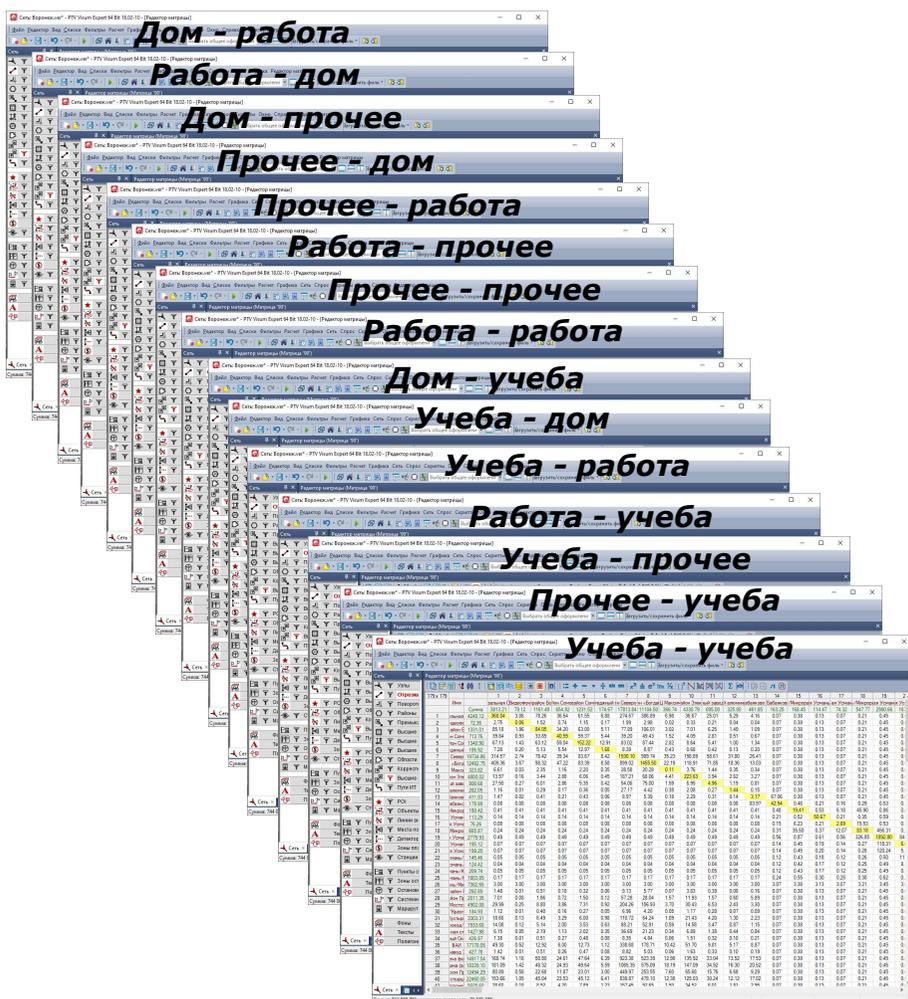
Цель – поиск транспортных коридоров эффективной работы общественного транспорта большой провозной способности

Задачи:

1. Построение модели транспортного спроса
2. Графическое представление транспортного спроса на территории города
3. Определение параметров коридоров для функционирования транспорта большой провозной способности
4. Использование алгоритма поиска транспортных коридоров в поле транспортного спроса

Построение модели транспортного спроса

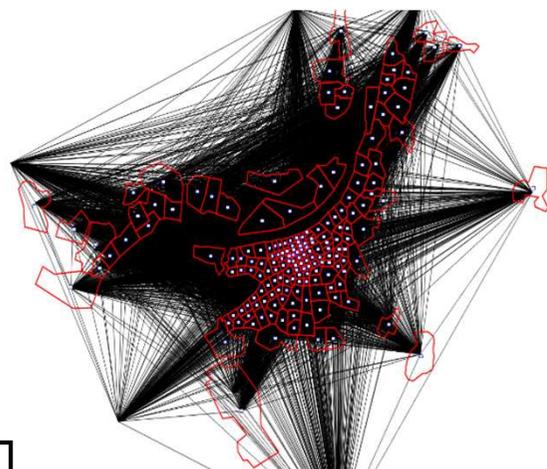
Транспортный спрос – это устойчивый объем совершаемых транспортных перемещений, сложившийся в результате социально-экономических процессов, проходящих на отдельной территории (Якимов М.Р. Транспортное планирование: терминологический словарь / М. Р. Якимов. – М: Агентство РАДАР, 2022. – 86 с.)



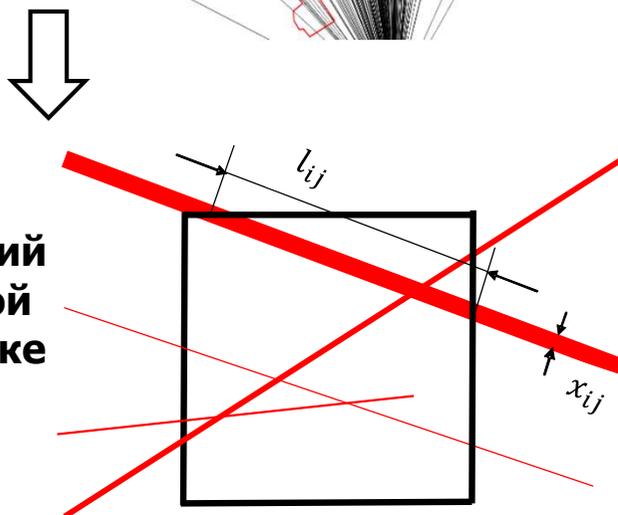
Слои спроса	Источник	Цель
Дом - Работа	Трудящееся население	Места приложения труда
Работа - Ром	Места приложения труда	Трудящееся население
Дом - Прочее	Трудящееся население	Места приложения труда в сфере услуг
Прочее - Дом	Места приложения труда в сфере услуг	Трудящееся население
Работа - Прочее	Места приложения труда	Места приложения труда в сфере услуг
Прочее - Работа	Места приложения труда в сфере услуг	Места приложения труда
Работа - работа	Места приложения труда	Места приложения труда
прочее - прочее	Места приложения труда в сфере услуг	Места приложения труда в сфере услуг
Дом - учеба	Студенты	Учебные места
Учеба – дом	Учебные места	Студенты
Работа – учеба	Места приложения труда	Учебные места
Учеба – работа	Учебные места	Места приложения труда
Учеба – прочее	Учебные места	Места приложения труда в сфере услуг
Прочее – учеба	Места приложения труда в сфере услуг	Учебные места
Учеба - учеба	Учебные места	Учебные места

Визуальное представление транспортного спроса на территории города

Графическое представление матрицы корреспонденций в виде «паука» корреспонденций:



Фрагмент «паука» корреспонденций на элементарной площадке в сетке разбиения территории города:



Наибольшую транспортную зависимость имеет территория в центральной части города

Транспортная зависимость территории – это объем перемещения пассажиров (грузов) по данной территории (чел.•км) в течение определенного промежутка времени при идеальном удовлетворении существующего транспортного спроса:

$$G_r = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot l_{ijr}$$

r - номер ячейки регулярной сетки

n – количество отрезков (воздушных линий), соединяющих транспортные районы, проходящих через ячейку r регулярной сетки

i, j – номера транспортных районов

G_r - транспортная зависимость ячейки регулярной сетки r , чел • км в сутки

x_{ij} - значение элемента матрицы (объем)

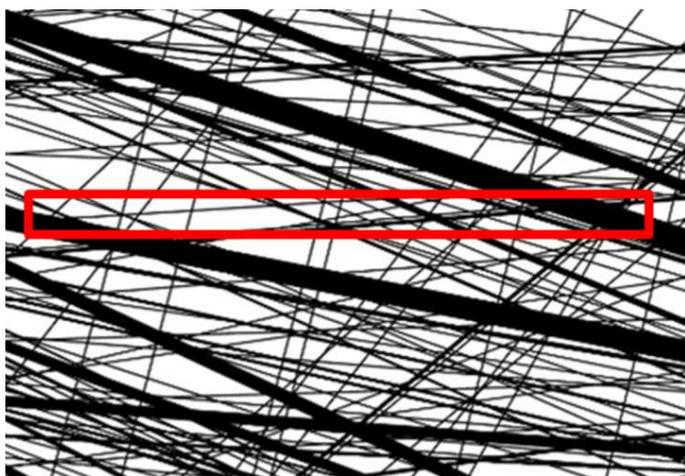
корреспонденций между i -м и j -м транспортными районами, чел./сутки

l_{ijr} - доля длины корреспонденции между i -м и j -м транспортными районами, попадающая в ячейку регулярной сетки r , км

Принципы поиска потенциальных коридоров для движения транспорта большой провозной способности

Параметром **целесообразности** либо **нецелесообразности** организации транспорта **большой провозной способности** на **выделенных транспортных коридорах** является **объем транспортного спроса**, на них приходящийся. Расчет объемов транспортного спроса в произвольном транспортном коридоре осуществляется через определение транспортной зависимости территории внутри транспортного коридора

Порядок расчета транспортной зависимости для ячеек регулярной сетки:



Для каждого отрезка, соединяющего центры транспортных районов i и j , проверяется его принадлежность выделенному транспортному коридору. Если часть отрезка принадлежит транспортному коридору p , то рассчитывается длина l_{ijp} .

$$G_p = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot l_{ijp}$$

где

G_p – транспортная зависимость потенциального транспортного коридора p , чел • км в сутки

p – номер потенциального транспортного коридора p

n – количество отрезков (воздушных линий), соединяющих транспортные районы, попадающих в потенциальный транспортный коридор p

i, j – номера транспортных районов

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

l_p – сумма долей длин всех корреспонденций, попадающих в потенциальный транспортный коридор p

l_{ijp} – доля длины корреспонденции между i -м и j -м транспортными районами, попадающая в потенциальный транспортный коридор p

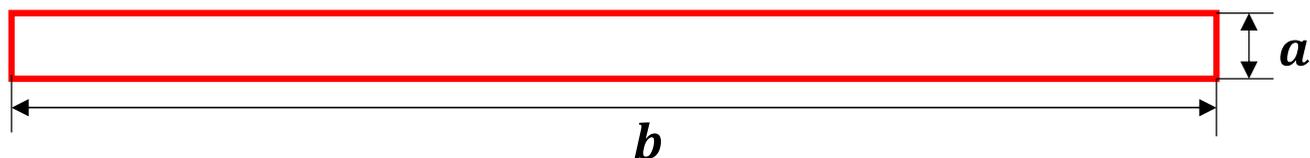
Принципы поиска потенциальных коридоров для движения транспорта большой провозной способности

В качестве потенциального транспортного коридора будет рассматриваться **прямоугольный контур**. Начало потенциального коридора будет находиться в точке территории или ячейке регулярной сетки с наибольшим значением транспортной зависимости.

Ширина a прямоугольного контура потенциального транспортного коридора **будет составлять 500 м**, что соответствует 250 метровому буферу пешей доступности с двух сторон от предполагаемой линии (СП 42.13330.2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89*»)

Длина b прямоугольного контура потенциального транспортного коридора должна соответствовать средней длине трамвайного маршрута в крупных городах. Средняя длина трамвайного маршрута для крупного города составляет 12 км

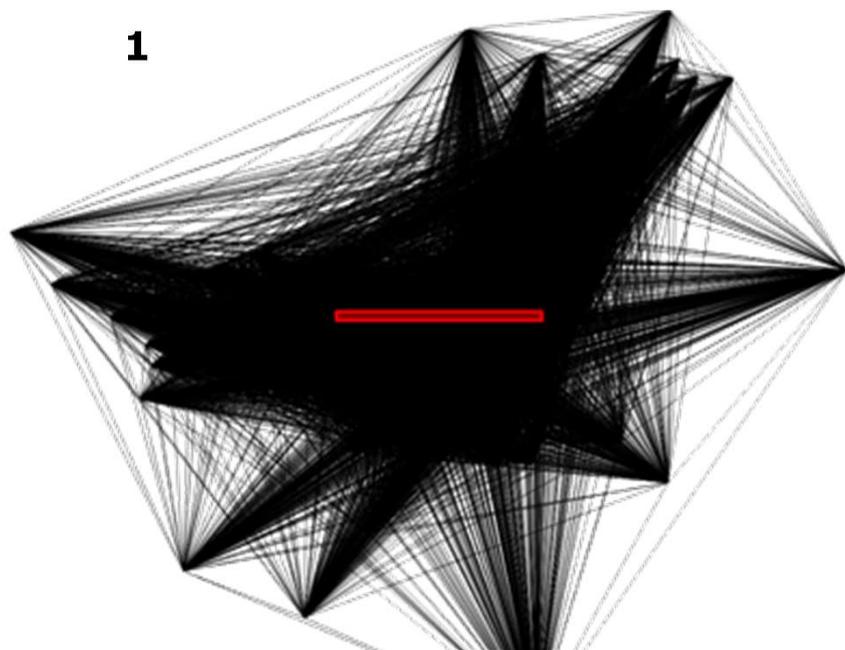
Размеры прямоугольного контура: $a=0,5$ км, $b=12$ км



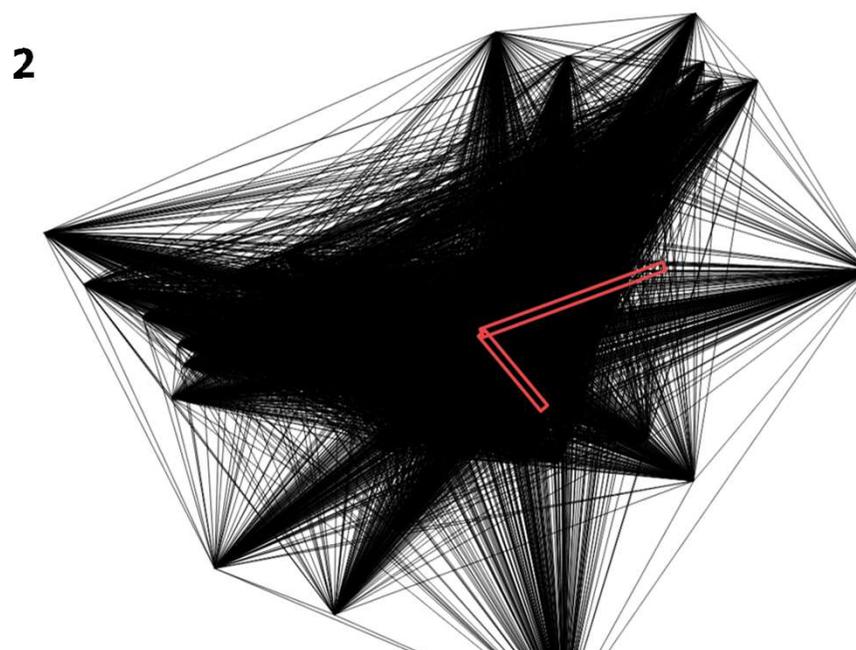
Организация трамвайного движения в крупном городе целесообразна в случае если найдется потенциальный транспортный коридор, проходящий через точку территории или ячейку регулярной сетки с наибольшим значением транспортной зависимости, для которого объем транспортного спроса будет соответствовать экономически обоснованному пассажиропотоку для трамвайной линии

Принципы поиска потенциальных коридоров для движения транспорта большой провозной способности

Варианты поиска транспортного коридора для движения транспорта большой провозной способности:



- **простой в реализации**
- **показывает целесообразность трамвайного движения только в случае наличия большого транспортного спроса из отдаленного района в центр города**



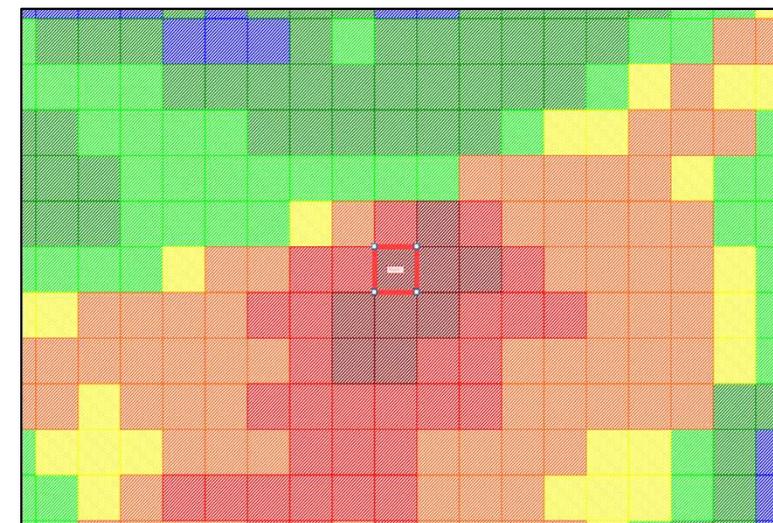
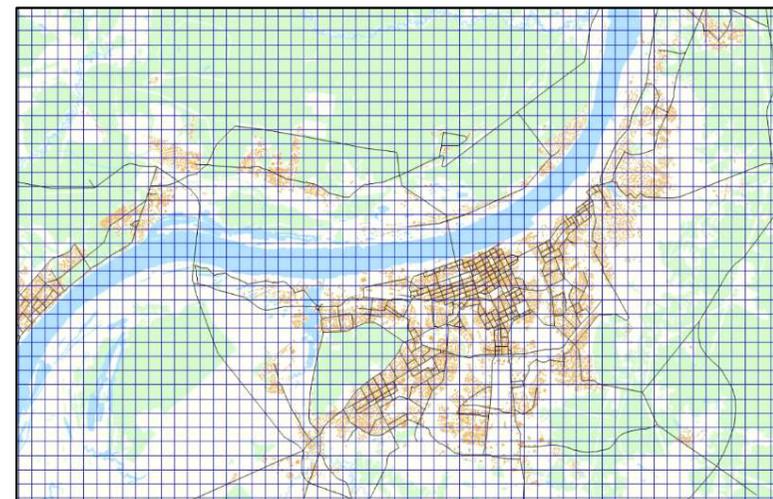
- **сложный в реализации**
- **позволяет найти конфигурацию транспортного коридора, близкую к реальной трассировке потенциальной трамвайной линии**

Алгоритм поиска транспортных коридоров для движения пассажирского транспорта большой провозной способности

1. Расчет суммарной матрицы транспортных корреспонденций
2. Разбивка территории города регулярной сеткой с шагом не более 500 м
3. Вычисление значения транспортной зависимости для каждой ячейки регулярной сетки
4. Выделение ячейки с максимальным значением транспортной зависимости. Данная ячейка станет центром потенциальной трамвайной линии.
5. Построение потенциальных коридоров в виде прямоугольников размером 0,5 * 12 км
6. Расчет значений транспортной зависимости и сумм длин транспортных корреспонденций
7. Переход от транспортной зависимости к определению объема транспортного спроса

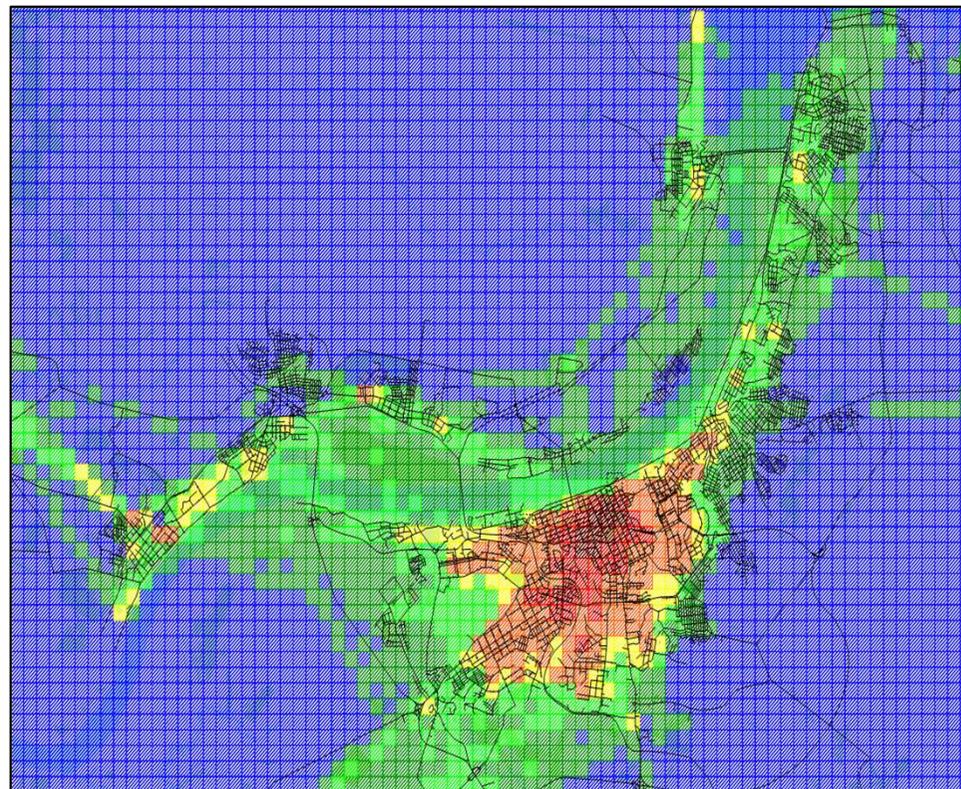
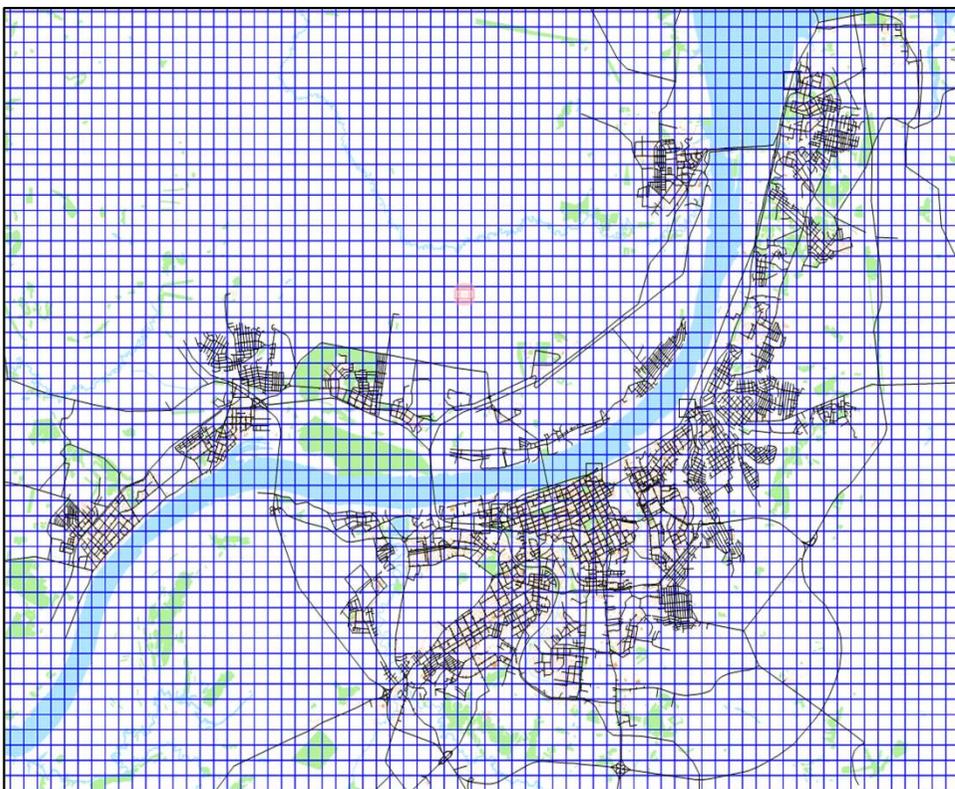
$$X_p = \frac{G_p}{l_p} = \frac{\sum_{i,j=1}^n x_{ij} l_{ijp}}{\sum_{i,j=1}^n l_{ijp}}$$

Где p – номер транспортного коридора, X_p – объем транспортного спроса, проходящего через транспортный коридор p , чел./сутки; G_p – транспортная зависимость потенциального транспортного коридора p , чел • км в сутки; l_p – сумма долей длин всех корреспонденций, попадающих в потенциальный транспортный коридор p , км; n – количество отрезков (воздушных линий), соединяющих транспортные районы, потенциальный транспортный коридор p ; i, j – номера транспортных районов; x_{ij} – значение элемента матрицы (объем) корреспонденций между i -м и j -м транспортными районами, чел./сутки; l_{ij} – доля длины корреспонденции между i -м и j -м транспортными районами, попадающая в потенциальный транспортный коридор p , км.



Расчет экономической целесообразности работы транспорта большой провозной способности на примере города Перми

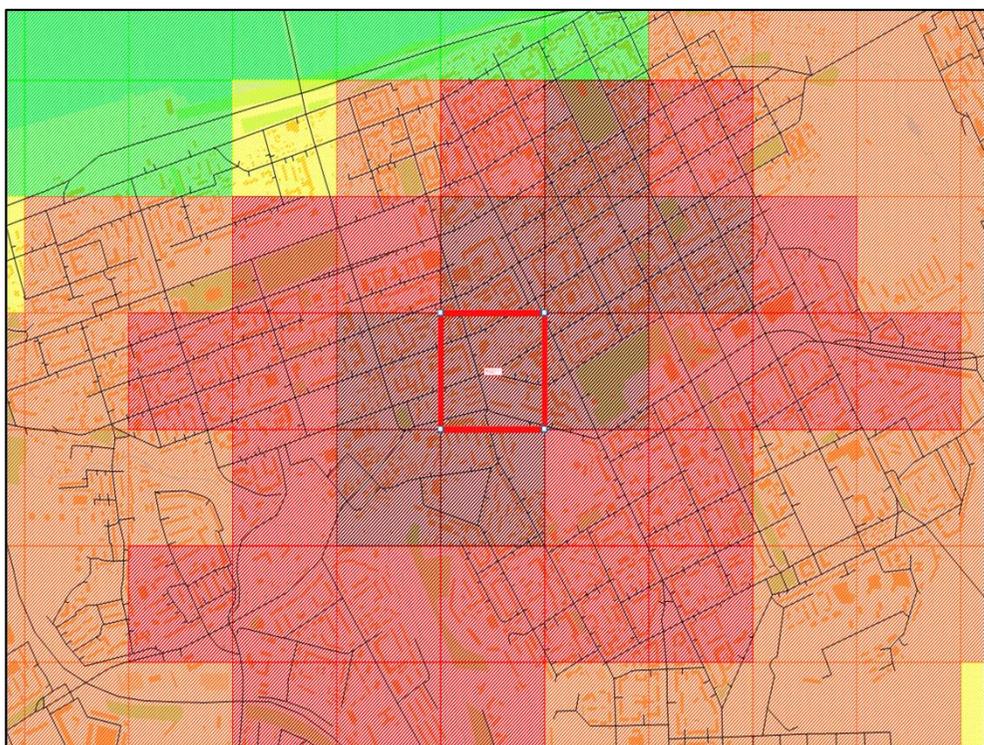
Территория города была разбита регулярной сеткой размером 500 м



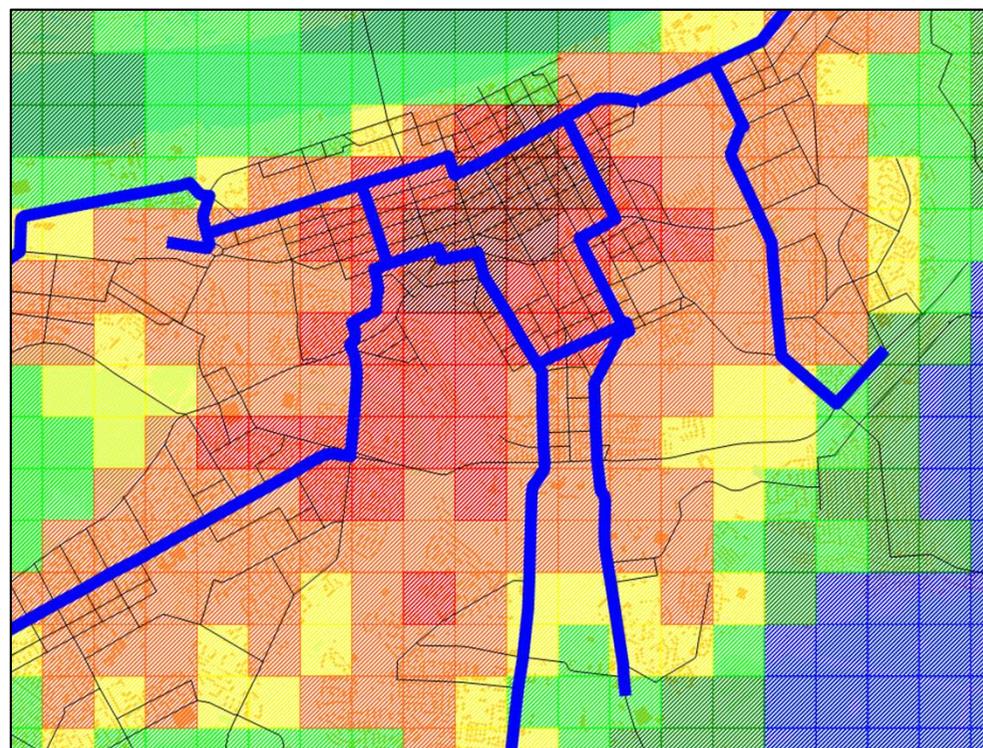
Выбрана ячейка, имеющая максимальное значение транспортной зависимости. Данная ячейка располагается на пересечении улиц Куйбышева и Революции в г. Перми. Примечательно, что через данную ячейку проходит две существующие трамвайные линии, одна из которых (по ул. Революции) была введена в эксплуатацию в 2020 году.

Обоснование целесообразности работы транспорта большой провозной способности на примере города Перми

Выбор ячейки регулярной сетки с максимальным значением транспортной зависимости

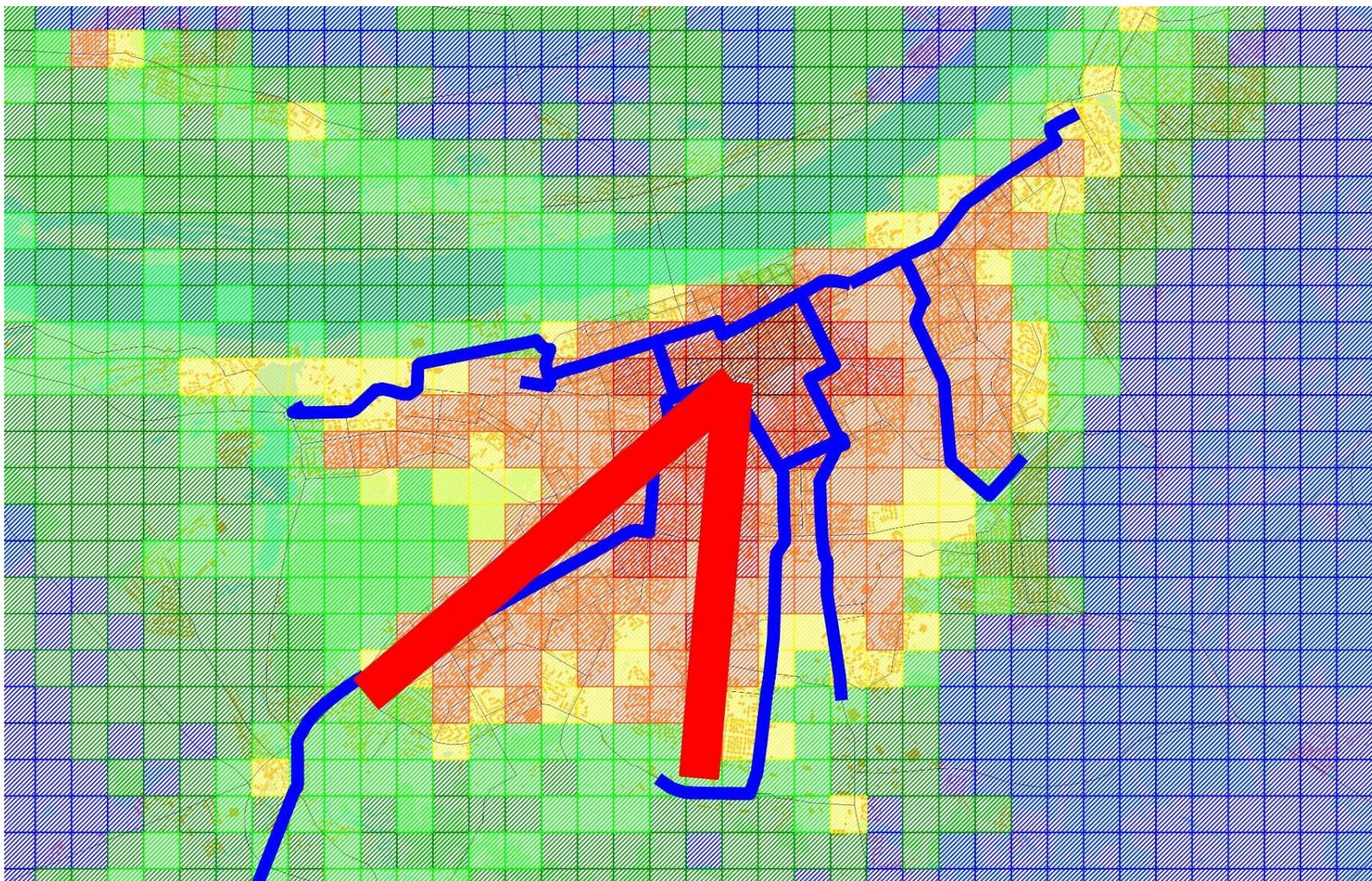


Трамвайная сеть в центральной части г. Перми, наложенная на графическое представление значений транспортной зависимости для регулярной сетки

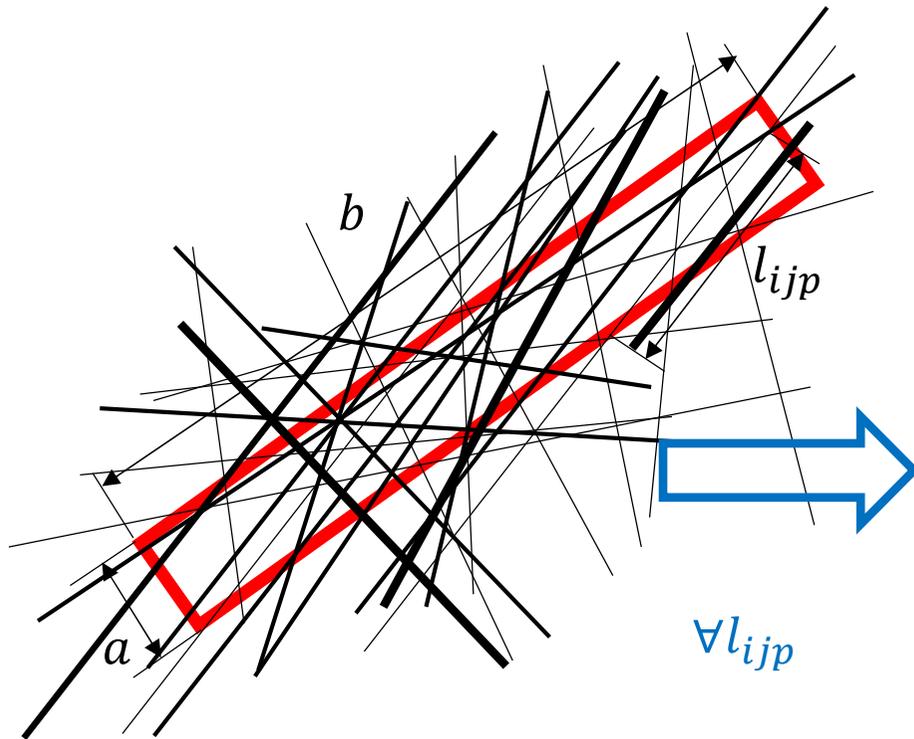


Обоснование целесообразности работы транспорта большой провозной способности на примере города Перми

Транспортный коридор, имеющий максимальное значение транспортного спроса на территории г. Перми

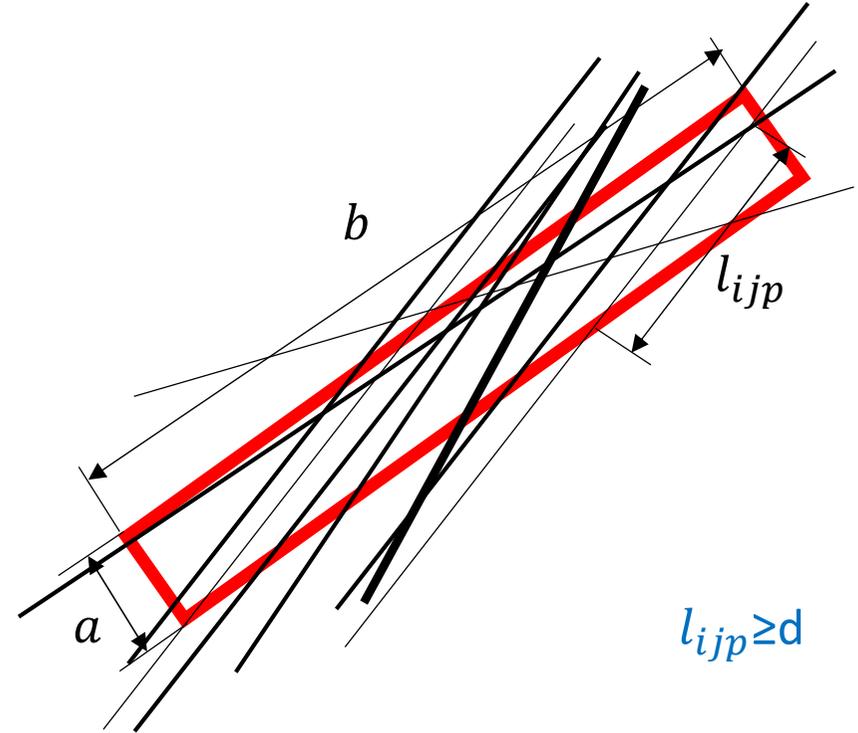


Обоснование целесообразности работы транспорта большой провозной способности на примере города Перми



Весь объем транспортного спроса

$$X_p = \frac{G_p}{l_p} = \frac{\sum_{i,j=1}^n x_{ij} l_{ijp}}{\sum_{i,j=1}^n l_{ijp}} = 550 \text{ тыс. чел./сутки}$$

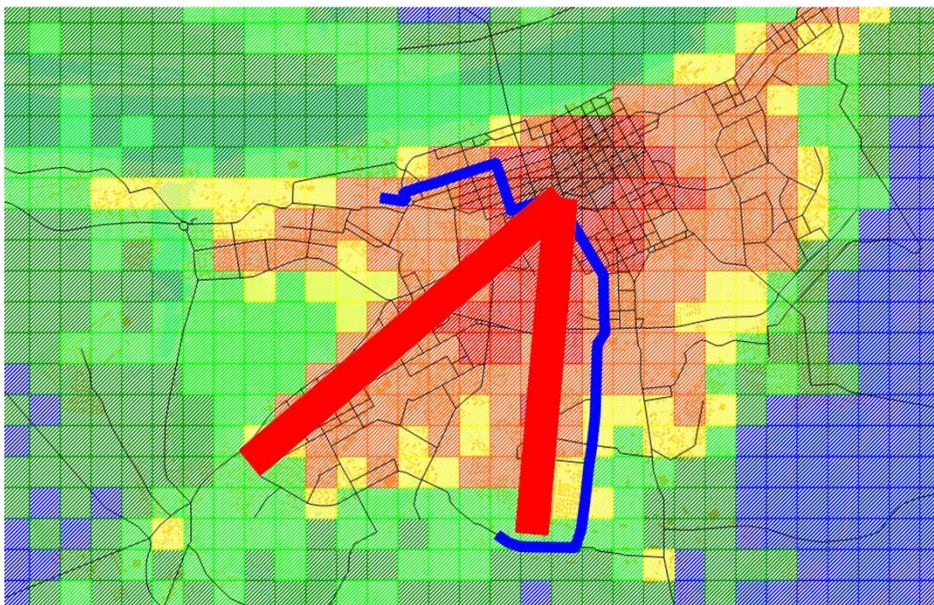


Только корреспонденции, пересечение которых с транспортным коридором не короче средней длины корреспонденции

$$\begin{cases} X_p = \frac{G_p}{l_p} = \frac{\sum_{i,j=1}^n x_{ij} l_{ijp}}{\sum_{i,j=1}^n l_{ijp}} = 36,5 \text{ тыс. чел./сутки} \\ l_{ijp} \geq d \end{cases}$$

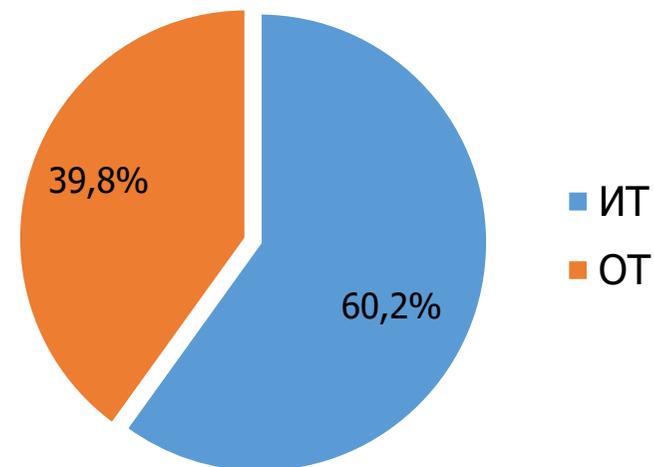
d – средняя длина транспортной корреспонденции в г. Перми, км (7.2 км)

Обоснование целесообразности работы транспорта большой провозной способности на примере города Перми



Трассировка трамвайного маршрута №5, наложенная на найденный транспортный коридор

Modal Split в г. Перми

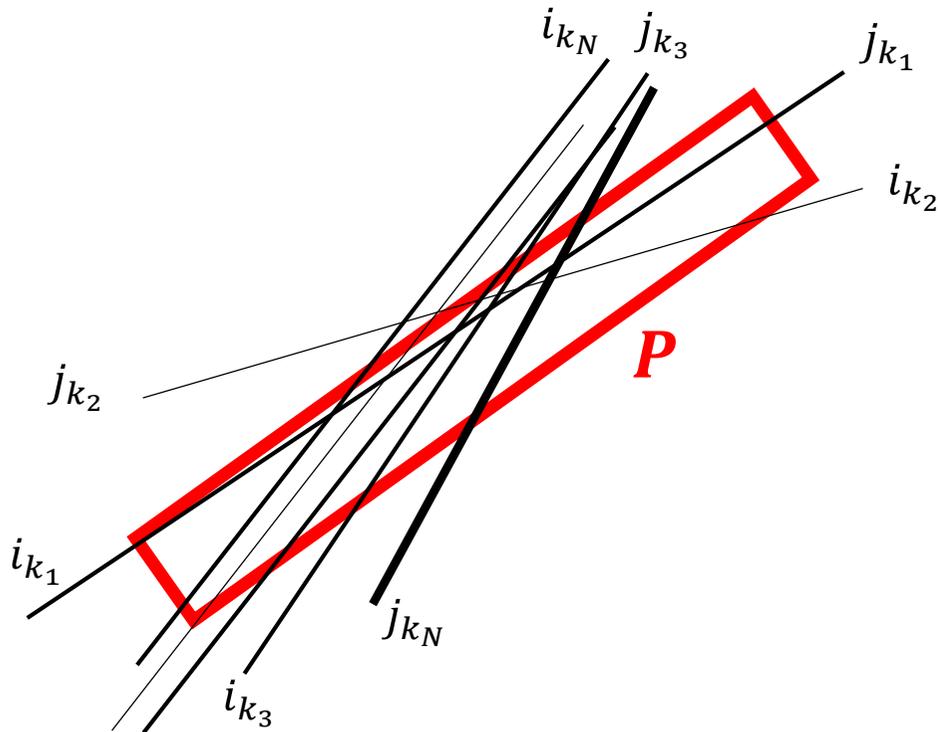


	Пассажиропоток, тыс. чел./сутки
Объем транспортного спроса всех видов транспорта, приходящийся на найденный транспортный коридор	36,5
Объем транспортного спроса на ОТ с учетом Modal Split, приходящийся на найденный транспортный коридор	14,6
Пассажиропоток на существующем трамвайном маршруте №5	15,4

Реализация трамвайного движения в городе Перми целесообразна

Обоснование целесообразности работы транспорта большой провозной способности на примере города Перми

Поиск следующего транспортного коридора – фильтрация транспортных корреспонденций, попавших в первый транспортный коридор



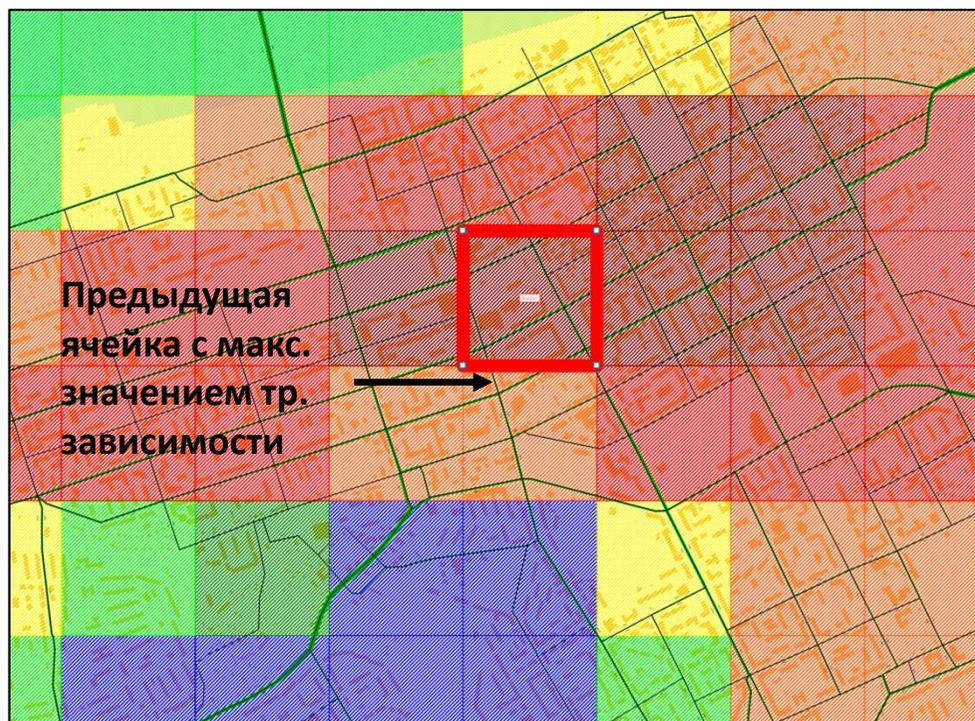
$$\forall i_k, \forall j_k, l_{i_k j_k} \cap P \Rightarrow X_{i_k j_k} := 0$$

Редактор матрицы (Матрица '115 Новая матрица')

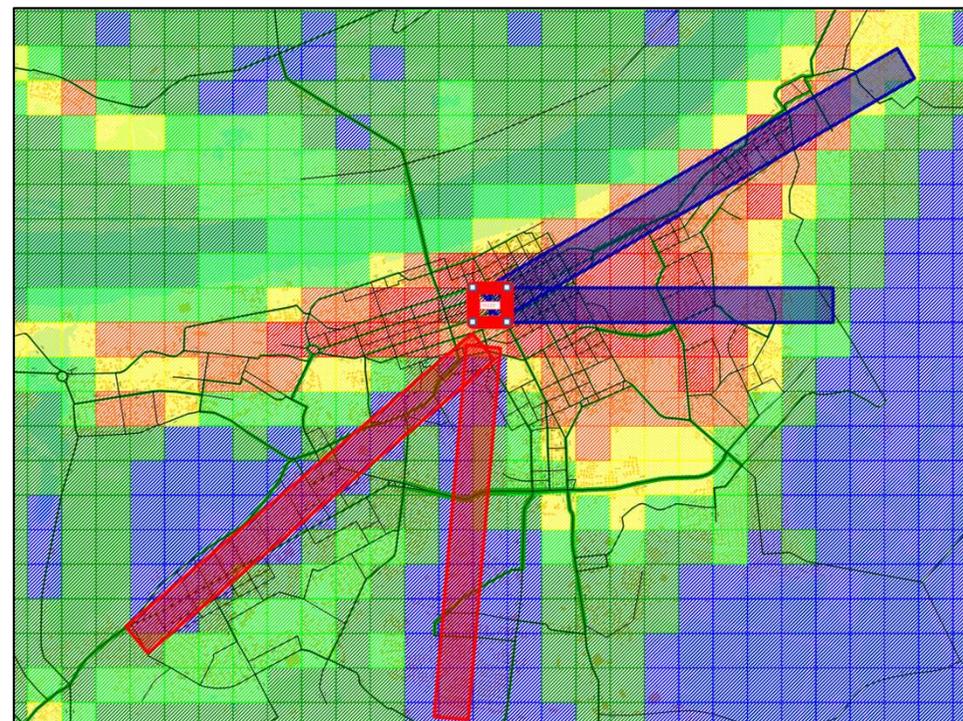
186 x 186	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
73	46.12	70.50	95.74	135.04	44.56	40.57	549.61	117.33	107.45	92.23	43.53	43.6
74	74.50	115.94	122.51	153.84	50.06	152.63	1169.37	410.27	286.12	287.48	121.16	129.
75	64.84	98.20	107.68	133.37	42.07	135.49	990.12	315.96	238.68	243.00	100.15	113.
76	71.56	119.86	103.51	134.21	47.99	120.85	814.71	533.49	600.43	371.75	0.00	168.
77	48.85	80.47	97.21	134.23	45.12	43.00	399.03	141.25	132.06	120.52	52.16	60.0
78	56.07	83.22	115.66	169.30	57.78	43.43	532.02	137.62	146.08	112.45	50.94	53.8
79	102.66	174.19	194.32	306.08	118.66	32.50	359.32	197.66	294.35	212.52	75.69	134.
80	47.20	90.28	88.07	143.11	55.62	11.19	113.56	75.41	110.13	83.85	30.29	57.7
81	30.08	50.78	62.49	90.63	29.61	19.00	202.24	61.14	52.96	49.63	23.66	30.2
82	27.31	47.58	52.36	85.96	29.94	20.73	179.20	77.76	80.08	70.12	29.68	37.7
83	37.44	58.59	77.76	105.75	34.63	36.24	318.59	110.89	96.70	90.23	39.92	44.8
84	35.59	56.68	77.76	145.53	47.50	30.67	281.14	98.56	87.32	82.42	37.23	43.7
85	51.26	88.73	116.75	160.76	51.77	29.45	322.33	94.46	79.33	77.94	37.15	51.2
86	69.35	119.33	193.65	277.62	91.31	58.16	493.78	191.15	166.10	159.76	75.72	86.3
87	49.01	79.98	146.81	208.37	66.18	44.43	382.47	127.59	110.60	110.94	54.16	60.0
88	31.61	54.55	92.77	126.01	37.63	32.38	246.74	0.00	61.54	71.21	40.42	39.0
89	1.92	3.56	3.73	4.62	1.49	2.42	15.52	0.73	8.90	6.18	2.98	2.8
90	3.35	5.91	6.53	8.33	2.74	3.15	24.44	10.42	10.00	8.69	4.23	4.7
91	31.87	54.27	63.94	79.99	25.07	34.00	272.75	102.89	85.90	80.65	41.40	42.7
92	40.74	69.18	81.40	103.12	32.60	42.25	345.53	128.76	98.17	101.91	51.59	53.9
93	52.04	85.32	105.81	138.01	43.96	53.47	483.82	160.13	127.31	127.72	61.36	64.8
94	30.16	52.94	58.67	76.95	25.68	26.73	218.04	90.41	80.29	77.02	36.26	41.8
95	10.73	18.44	21.32	26.61	8.43	11.25	87.96	34.60	29.99	27.41	13.98	14.6
96	44.85	75.88	90.64	111.85	33.85	51.62	400.90	149.24	101.65	112.03	61.41	59.6
97	42.29	74.69	83.14	104.40	32.46	44.71	331.37	137.44	112.20	107.81	58.21	59.7
98	49.95	90.83	143.25	203.41	64.69	48.61	344.35	158.25	120.63	129.78	68.31	73.8
99	29.99	63.64	50.44	71.33	27.26	16.08	72.01	126.06	202.25	108.21	41.51	55.7
100	49.21	129.41	74.00	97.75	40.79	2.98	14.09	275.75	720.70	258.00	97.07	125.
101	34.55	43.96	66.05	89.84	34.80	8.15	83.51	34.75	37.34	39.04	12.30	31.3
102	34.53	41.84	62.07	83.76	33.15	6.25	61.73	30.10	32.73	35.24	10.64	29.8
103	36.85	43.56	68.58	89.52	34.12	9.51	101.67	33.95	32.91	37.03	11.92	30.7
104	31.62	35.04	58.80	73.65	27.24	9.48	104.86	27.70	23.72	28.78	9.66	24.1

Обоснование целесообразности работы транспорта большой провозной способности на примере города Перми

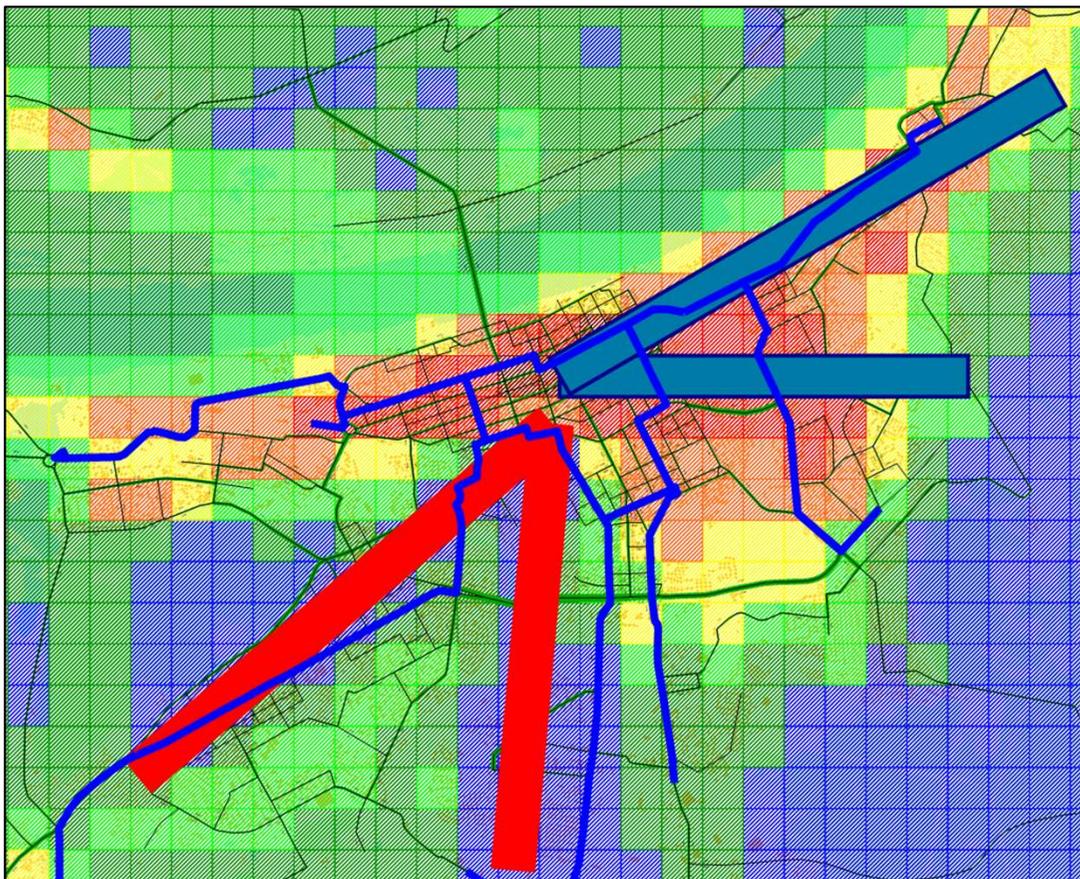
Выбор новой ячейки регулярной сетки с максимальным значением транспортной зависимости после фильтрации корреспонденций, попавших в первый транспортный коридор



Новый транспортный коридор



Обоснование целесообразности работы транспорта большой провозной способности на примере города Перми



Трамвайная сеть г. Перми, наложенная на найденные транспортные коридоры

	Пассажиропоток, тыс. чел./сутки
Объем транспортного спроса всех видов транспорта, приходящийся на второй транспортный коридор	27,4
Объем транспортного спроса на ОТ с учетом Modal Split, приходящийся на второй транспортный коридор	10,9

Возможно продолжить поиск следующих транспортных коридоров и маршрутов трамвая

Обоснование необходимости организации регулярных маршрутов транспорта большой провозной способности в городах

Спасибо за внимание!

Якимов Михаил Ростиславович
E-mail: yakimov@rosacademtrans.ru

