

Санкт-Петербургский государственный университет

Кафедра информационно-аналитических систем

Руденко Дмитрий Андреевич

Определение критических перегонов в
транспортной системе города
Санкт-Петербург

Бакалаврская работа

Научный руководитель:
д. Графеева Н. Г.

Рецензент:
бакалавр Моисеенко Е. А.

Санкт-Петербург
2018

Оглавление

Введение	3
1. Исходные данные	4
2. Анализ исходных данных	5
3. Обзор связных работ	6
4. Критический перегон	8
5. Технология выделения критических перегонов в диапазоне отдельного маршрута	9
6. Технология выделения критических перегонов на уровне групп транспортных остановок	12
7. Аппарат для вычисления критических перегонов	14
7.1. Полученные результаты после загрузки трамваев	15
7.2. Полученные результаты после загрузки всех магистральных маршрутов	18
8. Самые "горячие" критические перегоны	21
Заключение	23
Список литературы	24

Введение

Современное общество характеризуется активными коммуникационными процессами. Информационные технологии во многом определяют качество жизни населения. Однако, все процессы движения во времени: вещества, энергии и информации - напрямую зависят от процессов перемещения людей[11] Можно сказать, что этот процесс является жизненно необходимой функцией в масштабах всего города.

Но города возникли, и они развиваются, обеспечивая эффективное взаимодействие людей. Основная проблема городов-мегаполисов – как создать настолько эффективную транспортную сеть, чтобы жители могли перемещаться из одной точки в другую с минимальными затратами по времени и денежным ресурсам. Кроме того, каждая построенная сеть становится индивидуальной в зависимости от конкретного населенного пункта и изменяется со временем, и не всегда в лучшую сторону.[7]

Сегодня улично-дорожная система во всех городах России, в том числе и Санкт-Петербурге, испытывает значительные нагрузки в виде образования огромного количества сетевых заторов. В 1978 году наилучшим способом разгрузки дорожного движения считался алгоритм "управления очередями"[6]. Но используемые методики не предназначены для случаев их функционирования в условиях насыщения транспортной сети. Опыт современных российских и зарубежных специалистов показывает, что борьба с сетевыми заторами сводится к борьбе с критическими перегонами на маршрутах. Таким образом, очевидна актуальность темы дипломной работы, связанной с созданием аппарата по выявлению критических перегонов с целью разгрузки транспортной системы.

1. Исходные данные

Нашими исходными данными были результаты анализа транспортных потоков, полученные в результате выполнения государственного контракта по заказу Организатора Перевозок Санкт-Петербурга[8]. В этих данных присутствовало время прохождения маршрутов с разбивкой по 15-минутным интервалам с 5:30 до 1:00.

Кроме того, комитет по транспорту предоставил следующие наборы данных о подвижном составе и оплате проезда:

- набор районов города: ключевой номер вида района; ключевой номер группы, к которой принадлежит район; наименование; координаты(долгота и широта)
- разбиение остановок по районам: ключевой номер остановки; ключевой номер группы остановок; ключевой номер транспортного района; ключевой номер группы районов; ключевой номер района
- набор всех остановок: ключевой номер; наименование; ключевой номер транспорта; короткое наименование; координаты(долгота и широта)

2. Анализ исходных данных

Нашим коллегам удалось сагрегировать исходные данные так, что мы имеем таблицы для всех маршрутов, в которых в строках написаны укрупненные временные показатели (например, 7:00 –10:00), а в столбцах сами остановки.

Какую из разбивок по каждому маршруту считать "эталонной"? Очевидно, что за "эталонную" разбивку следует брать разбивку по самому раннему времени прохождения маршрута. Сагрегированы "эталонные" столбцы были также: столбцы–укрупненные временные показатели, строки –остановки.

Далее, благодаря возможностям Excel, были вычислены задержки между перегонами по каждому из маршрутов: из сагрегированных данных по маршрутам из столбцов, обозначающих время перегона между остановками, был вычтен "эталонный столбец". Ниже вы можете видеть готовые результаты этой работы.

№ маршр	Вид транс	Нач_оста	START	СТО	Кон_оста	День	Направле	7-00_10-01	10-00_13-30	13-30_17-00	17-00_20-00
100	Трамвай	Ул. Шоста	16276	Метро "П	будний	прямой		0	0,23	0,69	0,3
100	Трамвай	Метро "П	16708	Ул. Есени	будний	прямой		0,06	0,35	0,34	0,48
100	Трамвай	Ул. Есени	16692	Ул. Ивана	будний	прямой		0,14	0,14	0,12	0,84
100	Трамвай	Ул. Ивана	16687	Пр. Худож	будний	прямой		0	0,09	0	0,04
100	Трамвай	Пр. Худож	16681	Ул. Кусто	будний	прямой		0,06	0	0	0,07
100	Трамвай	Ул. Кусто	16679	Ул. Рудне	будний	прямой		0,3	0	0	0
100	Трамвай	Ул. Рудне	16674	Пр. Культ	будний	прямой		0,24	0	0	0,28
100	Трамвай	Пр. Культ	16769	Поликлин	будний	прямой		0	0,06	0	0,12
100	Трамвай	Поликлин	16705	Ул. Демь	будний	прямой		0	0	0,03	0
100	Трамвай	Ул. Демь	16686	Ул. Ольги	будний	прямой		0,08	0	0	0
100	Трамвай	Ул. Ольги	16710	Светлано	будний	прямой		0,03	0	0	0,01
100	Трамвай	Светлано	16713	Ул. Брянц	будний	прямой		0,12	0,56	0,04	0,36
100	Трамвай	Ул. Брянц	16622	Ул. Ушин	будний	прямой		0,01	0,29	0,07	0,16
100	Трамвай	Ул. Ушин	16626	Метро "Г	будний	прямой		0,02	0,18	0,05	0,18
100	Трамвай	Метро "Г	16628	Пр. Просв	будний	прямой		0,01	0	0	0,06
100	Трамвай	Пр. Просв	16631	Ул. Руста	будний	прямой		0,08	0,14	0,06	0,1
100	Трамвай	Ул. Руста	16634	Платформ	будний	прямой		0,03	0,1	0,01	0,09

Рис. 1: Пример задержек по времени прохождения между перегонами трамвая №100

Кроме того, данные содержат среднестатистические объемы перевозимых пассажиров для каждого маршрута и каждого перегона с такой же разбивкой.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	№ перего	№ маршрут	Вид транс	Нач_остан	START	STO	Кон_остан	День	Направление	5-30_7-00	7-00_10-00	10-00_13-30	13-30_17-00	17-00_20-00	20-00_01-00	Максимум на перегоне
2	1	100	Трамвай	Станция F	16651	Ул. Карпи	будний	обратный		0	0	0	1	1	0	1
3	2	100	Трамвай	Ул. Карпи	16648	Вещевой	будний	обратный		1	2	2	5	2	1	5
4	3	100	Трамвай	Вещевой	16643	Пр. Лунач	будний	обратный		1	2	2	6	3	1	6
5	4	100	Трамвай	Пр. Лунач	16642	Лужская у	будний	обратный		1	2	3	6	4	1	6
6	5	100	Трамвай	Лужская у	16639	Пр. Просв	будний	обратный		2	3	3	7	4	1	7
7	6	100	Трамвай	Пр. Просв	16670	Пр. Просв	будний	обратный		2	3	4	8	5	2	8
8	7	100	Трамвай	Пр. Просв	16631	Метро "Г	будний	обратный		2	4	4	8	6	2	8
9	8	100	Трамвай	Метро "Г	16628	Ул. Ушинк	будний	обратный		1	6	7	11	12	5	12
10	9	100	Трамвай	Ул. Ушинк	16626	Ул. Брянц	будний	обратный		1	6	8	12	13	6	13
11	10	100	Трамвай	Ул. Брянц	16622	Светлано	будний	обратный		2	7	9	13	13	6	13
12	11	100	Трамвай	Светлано	16699	Ул. Ольги	будний	обратный		2	7	9	13	13	6	13
13	12	100	Трамвай	Ул. Ольги	16684	Ул. Демь	будний	обратный		2	7	9	13	12	5	13
14	13	100	Трамвай	Ул. Демь	16686	Поликлин	будний	обратный		2	7	9	13	11	5	13
15	14	100	Трамвай	Поликлин	16690	Пр. Култ	будний	обратный		2	8	9	13	11	5	13
16	15	100	Трамвай	Пр. Култ	16696	Ул. Рудне	будний	обратный		3	9	10	13	11	5	13
17	16	100	Трамвай	Ул. Рудне	16674	Ул. Кусто	будний	обратный		3	10	10	13	10	4	13
18	17	100	Трамвай	Ул. Кусто	16679	Пр. Худож	будний	обратный		4	12	11	13	11	4	13
19	18	100	Трамвай	Пр. Худож	16681	Ул. Ивана	будний	обратный		6	15	13	14	11	4	15
20	19	100	Трамвай	Ул. Ивана	16687	Ул. Есени	будний	обратный		7	17	14	14	11	4	17
21	20	100	Трамвай	Ул. Есени	16692	Метро "П	будний	обратный		7	16	12	13	10	4	16
22	21	100	Трамвай	Метро "П	16708	Ул. Шоста	будний	обратный		0	1	3	3	2	1	3
23	22	100	Трамвай	Ул. Шоста	16276	Придоро	будний	обратный		0	0	0	0	0	0	0
24	104	Максимум по временным инт								7	17	14	14	13	6	17

Рис. 2: Пример наполнение салона трамвая №100

3. Обзор связанных работ

Свое исследование я начал с исторического анализа моделирования транспортных процессов.[10]В работе приведен анализ истории развития подходов и методов математического и системного моделирования транспортных процессов и транспортной инфраструктуры. Выводом данной работы было то, что современное программное обеспечение не предназначено для решения вопросов о транспортной системе.

Следующая работа посвящена математическому моделированию транспортных потоков[3]. В ней автор предлагает различными способами исследовать модели транспортной системы: с помощью теории экономического равновесия или с помощью различных математических моделей транспортного потока. Но все методы, предложенные автором, строятся на математических моделях и предлагают лишь обобщенно анализировать транспортные потоки. Наша же задача – найти локальные критические перегоны.

Работа [2] сосредоточена на критике стратегии развития транспортно-логистического комплекса города Санкт-Петербург, предложенную правительством и ставят перед собой задачу по оптимизации размещения объектов терминально-складской инфраструктуры на территории

города с целью минимизации их влияния на транспортную ситуацию. Ключевой целью развития авторы данной статьи считают улучшение существующего транспортно-логистического комплекса города. Наша задача тоже ставит перед собой улучшить эту систему путем нахождения критичеких перегонов и их устранение.

Работа [1] наиболее близка к нашей теме. В ней автор исследует уязвимость, надежность и риски в транспортной системе Австралии. Кроме того, для анализа безопасности на дорогах он предлагает ввести метрику опасности. В нашей работе мы не касаемся опасности или безопасности, а хотим оптимизировать транспортную сеть.

В работе [4] автор критикует существующую транспортную сеть Санкт-Петербурга. Как пример, он приводит статистику перегруженности наземного транспорта. Основной целью работы комитета по транспорту автор считает улучшить систему так, чтобы она могла обеспечивать транспортное обслуживание населения и экономики при минимальных затратах. Одним из методов решения данной задачи автор предлагает включение пригородного железнодорожного транспорта в транспортную сеть. А мы предлагаем искать критичские перегоны и оптимизировать их.

В работе [9] автор критикует метод построения взвешенного графа для анализа транспортной сети. По его мнению, такое представление затрудняет выполнение анализа ввиду большой размерности эквивалентной графу матрицы, а также не позволяет учитывать внутренние свойства транспортных коммуникаций. Вместо построение графа автор предлагает кластерный анализ, алгоритм которого он описывает в своей работе. Наш же метод как раз построен на внутренних свойствах транспортных коммуникаций. Мы, буквально, анализируем потоки людей на маршрутах

4. Критический перегон

Известно, что в основе функционирования любой управляемой системы лежит принцип слежения за отклонением от некой метрики. Такое отклонение раносильно снижению эффективности функционирования объекта управления.[5]

Что важнее всего в транспортной системе? Это люди и время, которое они тратят на перемещение из одной точки в другую. Поэтому в данной работе мы с коллегами считаем за метрику критического перегона показатели произведения задежки по времени в минутах, умноженное на наполнение салона в этот же промежуток.

Далее приведем примеры вычисленной метрики для трамвая и автобуса

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	№ перего	№ маршру	Вид транс	Нач_оста	STARTSTO	Кон_оста	День	Направле	7-00_10-00	10-00_13-00	13-30_17-00	17-00_20-00
2	1	100	Трамвай	Станция Ф	16651	Ул. Карпи	будний	обратный	9	12	16	0
3	2	100	Трамвай	Ул. Карпи	16648	Вещевой	будний	обратный	0	17	13	11
4	3	100	Трамвай	Вещевой	16643	Пр. Лунач	будний	обратный	0	57	22	0

Рис. 3: Пример "человек*минута" для трамвая №100

12	11	2 Автобус	УЛ. ДОБЛЕСТИ	2852	ПР. КУЗНЕЦОВА [2]	будний	прямой	12	0	0	4
13	12	2 Автобус	ПР. КУЗНЕЦОВА [2]	1848	ЛЕНИНСКИЙ ПР.,79 [2]	будний	прямой	0	0	4	22
14	13	2 Автобус	ЛЕНИНСКИЙ ПР.,79 [2]	1643	УЛ. ДЕСАНТНИКОВ [2]	будний	прямой	42	11	0	2
15	14	2 Автобус	УЛ. ДЕСАНТНИКОВ [2]	2207	УЛ. КОТИНА	будний	прямой	204	0	0	0
16	15	2 Автобус	УЛ. КОТИНА	20899	ЛЕНИНСКИЙ ПР.,95	будний	прямой	2345	101	161	34
17	16	2 Автобус	ЛЕНИНСКИЙ ПР.,95	1640	ЛЕНИНСКИЙ ПР. [145, 229, 210, 2]	будний	прямой	1121	376	362	248
18	17	2 Автобус	ЛЕНИНСКИЙ ПР. [145, 229, 2]	2846	ПР. МАРШАЛА ЖУКОВА,32 [2, 2]	будний	прямой	155	77	47	0

Рис. 4: Пример завышенных, критических перегонов автобуса №2

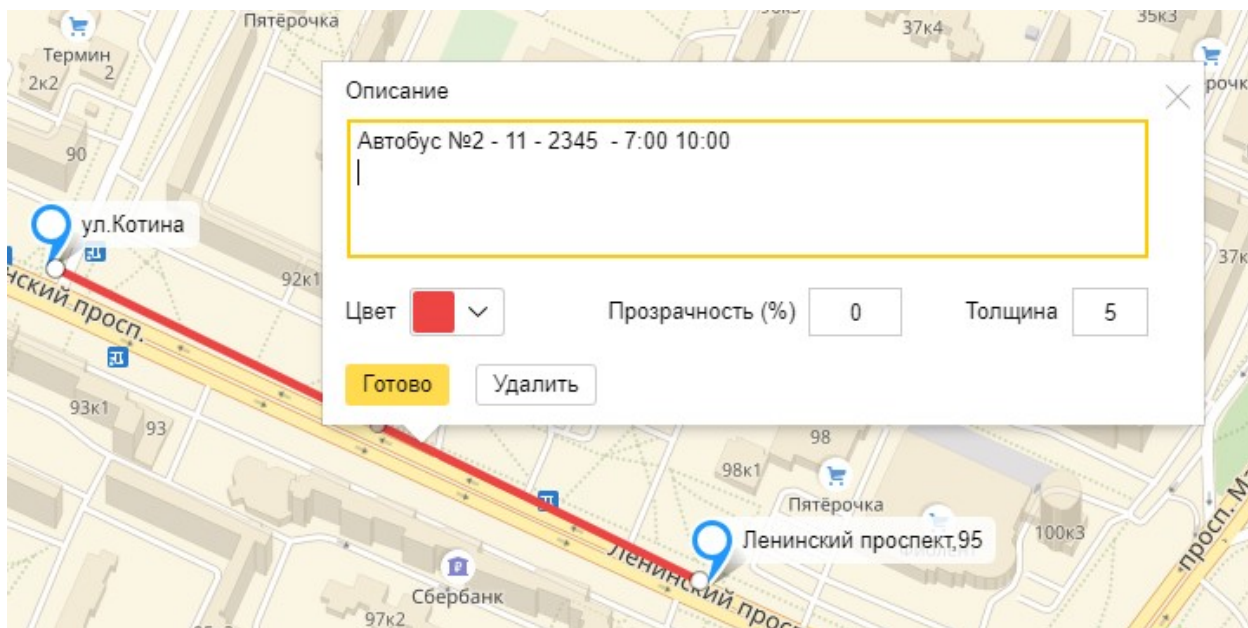


Рис. 5: Иллюстрация критического перегона автобуса №2 с 7-10

5. Технология выделения критических перегонов в диапазоне отдельного маршрута

В диапазоне одного маршрута у нас есть возможность выделять критические перегоны в любом из предложенных промежутков времени:

1. Выделяем столбец с нужным временным промежутком и сортируем по нему таблицу в порядке убывания;
2. На первой строчке будет перегон, у которого наша метрика максимальна после сортировке;
3. Значит, перегон на первой строчке является критическим в выбранный временной промежуток.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
1	№ перес	№ маршру	Вид транс	Нач_остан	START	STOP	Кон_остан	День	Направление	7-00_10-00	10-00_13-30	13-30_17-00	17-00_20-00
2	18	20	Трамвай	Метро "О	16049	Пр. Лунач	будний	обратный	0,840	3,960	5,000	27,200	
3	14	20	Трамвай	Енотаевск	16211	Рашетова	будний	обратный	0,480	2,800	10,400	12,060	
4	12	20	Трамвай	Объединен	16143	Манчестер	будний	обратный	0,000	2,250	9,180	7,020	
5	20	20	Трамвай	Ул. Есени	15997	Детская м	будний	обратный	0,480	1,600	0,900	4,250	
6	13	20	Трамвай	Манчестер	16139	Енотаевск	будний	обратный	0,360	1,150	3,900	4,800	
7	5	20	Трамвай	Литовская	16168	Ул. Алекс	будний	обратный	0,210	1,140	3,080	1,470	
8	8	20	Трамвай	1-й Мурино	16948	Большой	будний	обратный	1,120	1,080	0,240	2,450	
9	6	20	Трамвай	Ул. Алекс	16164	Кантемир	будний	обратный	0,210	0,870	2,870	6,480	
10	23	20	Трамвай	Ул. Рудне	15993	Пр. Культ	будний	обратный	0,540	0,760	0,840	0,780	
11	15	20	Трамвай	Рашетова	16061	Пенсионн	будний	обратный	0,930	0,560	2,880	1,980	
12	16	20	Трамвай	Пенсионн	16057	Поклонна	будний	обратный	0,120	0,500	1,300	13,000	
13	25	20	Трамвай	Пр. Культ	16129	Пр. Просв	будний	обратный	0,280	0,480	0,000	0,000	
14	19	20	Трамвай	Пр. Лунач	16111	Ул. Есени	будний	обратный	0,000	0,270	0,950	2,880	
15	1	20	Трамвай	Финляндск	16130	Ул. Комис	будний	обратный	0,210	0,240	1,120	2,840	
16	2	20	Трамвай	Ул. Комис	21665	Нейшлот	будний	обратный	0,240	0,170	0,360	5,430	
17	24	20	Трамвай	Пр. Культ	16131	Пр. Культ	будний	обратный	1,940	0,150	0,210	4,650	
18	3	20	Трамвай	Нейшлот	21663	Метро "В	будний	обратный	0,130	0,140	0,000	5,520	
19	4	20	Трамвай	Метро "В	21662	Литовская	будний	обратный	0,000	0,000	0,000	3,990	
20	7	20	Трамвай	Кантемир	16161	1-й Мурино	будний	обратный	0,040	0,000	0,000	0,360	

Рис. 6: Маршрут №20 с подсчитами метриками "человек*минута", отсортированный по столбцу 10:00 – 13:30. На первой строчке находится перегон №18. Значит, в это время этот перегон и является критическим.

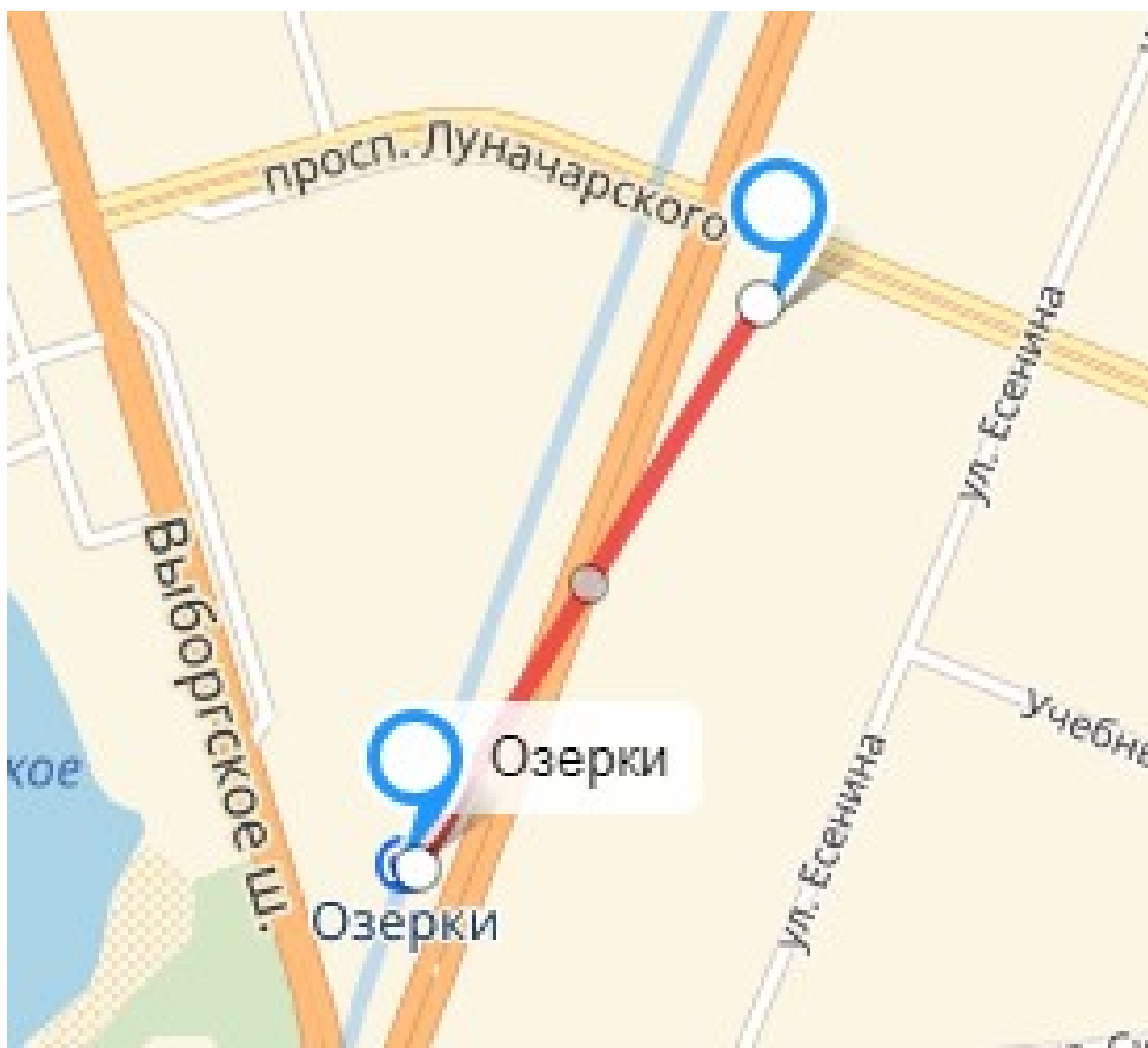


Рис. 7: Иллюстрация 18 перегона автобуса №20 в 10:00 – 13:30

6. Технология выделения критических перегонов на уровне групп транспортных остановок

Далее нами с коллегами было выдвинуто предположением обобщить все маршруты и перегоны по группам транспортных остановок

Используя это обобщение, мы получим данные в новом диапазоне - в диапазоне целых групп остановок.

Идея такая:

1. Заводим новый лист;
2. Id начала перегона и id конца перегона меняем на соответствующее id группы транспортных остановок с помощью таблицы соответствия "остановка/группа" и заносим их в первый и второй столбец строки;
3. Ячейки со значениями "человек*минута" копируем из исходного шаблонного маршрутного листа и заносим их в 3-6 столбец строки;
4. В следующей ячейке формируется условное обозначение того перегона, который мы рассматриваем - "номер маршрута": "номер перегона";
5. Добавляем эту строчку в таблицу.
6. Так проходим все маршрутные шаблонные листы и заполняем все на один лист.

Далее эти данные нужно обобщить:

1. Запускаем бесконечный цикл
2. Запоминаем id начала и конца
3. Если есть строка, у которой id начала и id конца совпадают, то:

- (a) Значения "человек*минута" складываем со сравниваемой строкой
 - (b) Конкатенируем ячейку о перегонах с ячейкой перегона рассматриваемой строки
 - (c) Удаляем строку, с которой происходило сравнение
4. Цикл завершится только тогда, когда не будет ни одного удалений, то есть все строки будут иметь уникальный "маршрут"

И уже из этих данных мы сможем получать критические перегоны.

7. Аппарат для вычисления критических перегонов

Для определения критических перегонов нами с коллегами были разработаны 2 скрипта на языке Visual Basic Application(макросы), встроенного в Microsoft Excel.

Чтобы получить данные с помощью наших скриптов необходимо следующее:

1. Заполняем листы шаблонными маршрутными листами;
2. Затем переходим на лист GENERAL и нажимаем Ctrl+Shift+L - здесь данные обобщаются;
3. Далее следует перейти на лист HOT("нужный интервал времени")
4. В ячейке A1 написать число строчек, имеющих самый высокий показатель нашей метрики на выбранном временном диапазоне;
5. Нажимаем Enter
6. Далее, в зависимости от того, какой был выбран лист HOT(...), нужно нажать след. комбинацию клавиш:
 - (a) HOT(7-10) – Ctrl+q;
 - (b) HOT(10-13:30) – Ctrl+Shift+q;
 - (c) HOT(13:30 - 17) – Ctrl+t;
 - (d) HOT(17 -20) – Ctrl+Shift +t.

На выбранном листе сформируется требуемое количество строк. Листы маршрутов, имеющих критические перегоны, будут отмечены красным ярлычком, а на самом листе залит красным будет максимум из критического перегона. Если вам понадобится дополнить или убрать сколько-то строк на листе HOT(..), просто повторите все, начиная с пятого пункта.

Пояснение к данным на листах HOT(...):

1. Начальная и конечная точка маршрута в диапазоне групп маршрутов находятся в колонках А и В;
2. В колонках С, D — координаты центра отправной группы транспортных остановок;
3. В колонке E, F — координаты центра принимающей группы транспортных остановок;
4. В колонке G — условные обозначения перегонов, которые входят в этот маршрут в диапазоне групп остановок.

7.1. Полученные результаты после загрузки трам- ваев

До загрузки всех магистральных маршрутов мы пользовались одним листом НОТ, отсортированным по среднему значению показателей метрики, чтобы посмотреть, как работает система, и работает ли. Но для работы в реальной среде средние показатели оказываются чаще всего бесполезными.

Рассмотрим маршрут, который имел самый высокий средний показатель - переезд от Проспекта Энгельса до Метро "Озерки". В него входят три перегона.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
4	3	9	Трамвай	Ул. Верности Т (9, 38, 51)	16455	Пр. Науки Т (9, 38, 51)	будний	прямой	0	0	0	1,4
5	4	9	Трамвай	Пр. Науки Т (9, 38, 51)	16461	Пр. Науки, 73 Т (9, 38, 51)	будний	прямой	0,42	0,35	0,64	2,31
6	5	9	Трамвай	Пр. Науки, 73 Т (9, 38, 57)		Ул. Карпинского Т (9, 38, 57)	будний	прямой	0,9	0,36	0,27	2,64
7	6	9	Трамвай	Ул. Карпинского Т (9, 38, 57)	15967	Пр. Науки, 30 Т (9, 38, 57)	будний	прямой	1,05	0,65	0,72	0,7
8	7	9	Трамвай	Пр. Науки, 30 Т (9, 38, 57)		Улица Софьи Ковалевс	будний	прямой	4,4	3,57	3,36	5,95
9	8	9	Трамвай	Улица Софьи Ковалевс	15975	Метро "Академическая"	будний	прямой	12,24	16,15	25,76	45,72
10	9	9	Трамвай	Метро "Академическая"	15978	Пр. Науки, 10 Т (9, 38, 57)	будний	прямой	0	1,76	6,6	4,2
11	10	9	Трамвай	Пр. Науки, 10 Т (9, 38, 57)	15979	Улица Обручевых Т (9, 38, 57)	будний	прямой	5,58	6,7	7,15	13,6
12	11	9	Трамвай	Улица Обручевых Т (9, 38, 57)	15982	Тихорецкий пр. Т (9, 38, 57)	будний	прямой	3,52	4,7	5,64	12,6
13	12	9	Трамвай	Тихорецкий пр. Т (9, 38, 57)	16466	Светлановский пр. Т (9, 38, 57)	будний	прямой	1,47	2,64	4,4	11,44
14	13	9	Трамвай	Светлановский пр. Т (9, 38, 57)	15984	Парк "Сосновка" Т (9, 38, 57)	будний	прямой	6,32	3,6	8,14	15,86
15	14	9	Трамвай	Парк "Сосновка" Т (9, 38, 57)	15986	Ул. Академика Байкова	будний	прямой	0,77	0,7	1,8	5,4
16	15	9	Трамвай	Ул. Академика Байкова	15990	Пр. Луначарского Т (9, 38, 57)	будний	прямой	9,36	7,76	5,67	9,24
17	16	9	Трамвай	Пр. Луначарского Т (9, 38, 57)	15991	Ул. Руднева Т (9, 20, 55)	будний	прямой	6,32	5,6	5,13	5,28
18	17	9	Трамвай	Ул. Руднева Т (9, 20, 55)	15993	Пр. Художников Т (9, 20, 55)	будний	прямой	11,05	12,46	9,36	10,92
19	18	9	Трамвай	Пр. Художников Т (9, 20, 55)	15994	Детская музыкальная ш	будний	прямой	13,14	14,06	11,56	10,65
20	19	9	Трамвай	Детская музыкальная ш	24309	Ул. Есенина Т (9, 20, 55)	будний	прямой	7,6	8,82	6,63	8,7
21	20	9	Трамвай	Ул. Есенина Т (9, 20, 55)	15997	Пр. Энгельса Т (9, 20, 55)	будний	прямой	15,87	16,5	10,98	15,6
22	21	9	Трамвай	Пр. Энгельса Т (9, 20, 55)	16001	Метро "Озерки" Т (9, 20, 55)	будний	прямой	34,5	41,58	31,79	30,55
23	22	9	Трамвай	Метро "Озерки" Т (9, 20, 55)	16049	Поклонная гора Т (9, 20, 55)	будний	прямой	6,6	6,48	5,5	5,12
24	23	9	Трамвай	Поклонная гора Т (9, 20, 55)	16053	Пенсионный фонд Т (9, 20, 55)	будний	прямой	8,55	11,7	8,2	4,92

Рис. 8: Первый критический перегон

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
5	4	20	Трамвай	Пр. Луначарского Т (9, 20, 55)	16133	Ул. Руднева Т (9, 20, 55)	будний	прямой	0,24	1,68	1,14	0,1
6	5	20	Трамвай	Ул. Руднева Т (9, 20, 55)	15993	Пр. Художников Т (9, 20, 55)	будний	прямой	0,88	2,42	1,76	0,5
7	6	20	Трамвай	Пр. Художников Т (9, 20, 55)	15994	Детская музыкальная ш	будний	прямой	0,85	3,04	0,15	1,04
8	7	20	Трамвай	Детская музыкальная ш	24309	Ул. Есенина Т (9, 20, 55)	будний	прямой	1,62	2,04	2,72	2,1
9	8	20	Трамвай	Ул. Есенина Т (9, 20, 55)	15997	Пр. Энгельса Т (9, 20, 55)	будний	прямой	0	3,23	2,38	2,4
10	9	20	Трамвай	Пр. Энгельса Т (9, 20, 55)	16001	Метро "Озерки" Т (9, 20, 55)	будний	прямой	4,14	7,98	1,36	14,42
11	10	20	Трамвай	Метро "Озерки" Т (9, 20, 55)	16049	Поклонная гора Т (9, 20, 55)	будний	прямой	0,09	2,03	0,56	1,8
12	11	20	Трамвай	Поклонная гора Т (9, 20, 55)	16053	Пенсионный фонд Т (9, 20, 55)	будний	прямой	1,08	1,86	1,75	0,54
13	12	20	Трамвай	Пенсионный фонд Т (9, 20, 55)	16057	Рашетова ул. Т (9, 20, 55)	будний	прямой	5,44	1,32	1,32	1,4
14	13	20	Трамвай	Рашетова ул. Т (9, 20, 55)	16061	Елецкая ул. Т (9, 20, 55)	будний	прямой	7,04	4,98	4,08	4,08
15	14	20	Трамвай	Елецкая ул. Т (9, 20, 55)	24336	Манчестерская ул. Т (9, 20, 55)	будний	прямой	4,8	1,6	1,75	1,9
16	15	20	Трамвай	Манчестерская ул. Т (9, 20, 55)	16139	Объединение "Светлая"	будний	прямой	4,34	0,45	0,15	0,75
17	16	20	Трамвай	Объединение "Светлая"	16143	Пр. Пархоменко Т (20, 38, 57)	будний	прямой	22,92	2,56	0,9	0
18	17	20	Трамвай	Пр. Пархоменко Т (20, 38, 57)	16148	Сердобольская ул. Т (20, 38, 57)	будний	прямой	2,88	1,7	0,85	1,85
19	18	20	Трамвай	Сердобольская ул. Т (20, 38, 57)	16152	1-й Мушинский пр. Т (20, 38, 57)	будний	прямой	5,6	0,55	0	0,96
20	19	20	Трамвай	1-й Мушинский пр. Т (20, 38, 57)	16154	Лесной пр. Т (20, 38, 57)	будний	прямой	2,59	0,8	0	1,33
21	20	20	Трамвай	Лесной пр. Т (20, 38, 57)	16947	Кантемировская ул. Т (20, 38, 57)	будний	прямой	1,75	2,55	1,32	1,44
22	21	20	Трамвай	Кантемировская ул. Т (20, 38, 57)	16161	Ул. Александра Матросова	будний	прямой	0,9	0	0	4,42
23	22	20	Трамвай	Ул. Александра Матросова	16164	Литовская ул. Т (20, 38, 57)	будний	прямой	7,59	6,08	10,34	11,56
24	23	20	Трамвай	Литовская ул. Т (20, 38, 57)	16168	Метро "Выборгская" Т (20, 38, 57)	будний	прямой	5,17	5,58	14	10,64
25	24	20	Трамвай	Метро "Выборгская" Т (20, 38, 57)	16173	Нейшлот Т (20, 38, 57)	будний	прямой	0,54	1,14	1,17	2,16

Рис. 9: Второй критический перегон

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
№ перегон	№ маршрута	Вид транспорта	Нач. остановка	START STOP	Кон. остановка	День	Направление	7-00_10-00	10-00_13-00	13-30_17-00	17-00_20-00	
1	58	Трамвай	Суздальск	16739	Универса	будний	прямой	2,44	1,92	4,32	0,54	
2	58	Трамвай	Универса	16737	Ул. Жени	будний	прямой	0	0	1,95	0	
3	58	Трамвай	Ул. Жени	16735	Пр. Просв	будний	прямой	0,72	0	0	0	
4	58	Трамвай	Пр. Просв	16731	Шуваловс	будний	прямой	0	0	0,18	0,24	
5	58	Трамвай	Шуваловс	16728	Ул. Хоши	будний	прямой	0,36	0,36	0,6	0,44	
6	58	Трамвай	Ул. Хоши	16726	Елизавет	будний	прямой	0	0	0	0,75	
7	58	Трамвай	Елизавет	16754	Пр. Лунач	будний	прямой	0	0,3	0,36	0,42	
8	58	Трамвай	Пр. Лунач	16718	Метро "О	будний	прямой	1,54	0	0	0	
9	58	Трамвай	Метро "О	16715	Метро "О	будний	прямой	0,6	0	2,43	1,62	
10	58	Трамвай	Метро "О	16049	Пр. Лунач	будний	прямой	4,29	0,78	0,18	4,98	
11	58	Трамвай	Пр. Лунач	16111	Ул. Асафь	будний	прямой	0	0,48	0	0,25	
12	58	Трамвай	Ул. Асафь	16254	Метро "П	будний	прямой	0	0	0	4,35	
13	58	Трамвай	Метро "П	16708	Ул. Есени	будний	прямой	0	0	0	2,1	
14	58	Трамвай	Ул. Есени	16692	Ул. Ивана	будний	прямой	0	0	0,42	4,75	
15	58	Трамвай	Ул. Ивана	16687	Пр. Худож	будний	прямой	0	0	0	0,65	
16	58	Трамвай	Пр. Худож	16681	Ул. Кусто	будний	прямой	0	0,08	0,7	0,96	
17	58	Трамвай	Ул. Кусто	16679	Ул. Рудне	будний	прямой	0,32	0	0,18	0	
18	58	Трамвай	Ул. Рудне	16674	Пр. Культ	будний	прямой	0,88	0	0	0,32	
19	58	Трамвай	Пр. Культ	16769	Пр. Культ	будний	прямой	1,89	0,53	0,4	1,98	
20	58	Трамвай	Пр. Культ	16118	Придоро	будний	прямой	0,51	0	0	0,33	

Рис. 10: Третий критический перегон

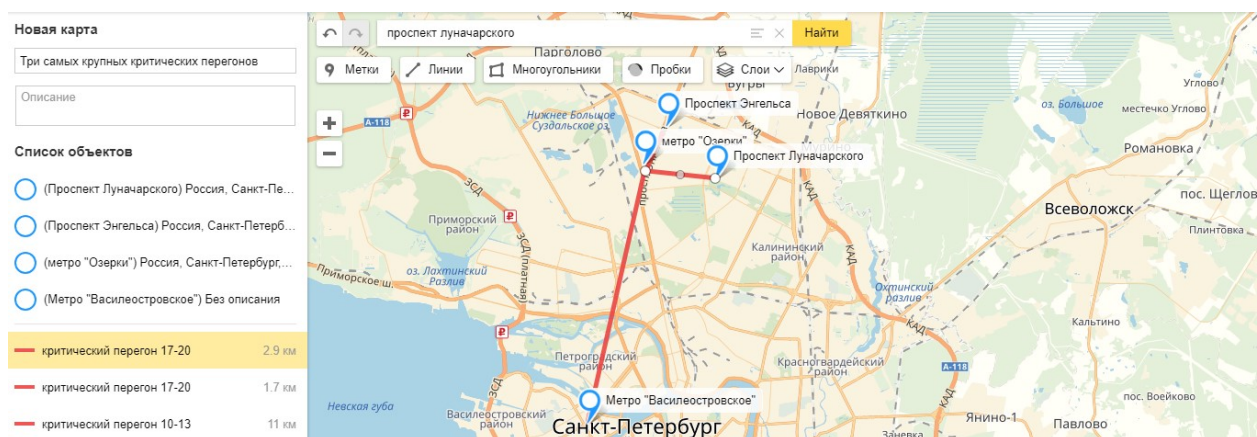


Рис. 11: Иллюстрация всех трех критических перегонов, нанесенных схематично на карту. Все маршруты следуют в "Озерки", и критические они в определенное время

7.2. Полученные результаты после загрузки всех магистральных маршрутов

В данной работе под магистральными маршрутами подразумеваются маршруты трамваев, автобусов и троллейбусов.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	2265	1114	273,37	12,98	14,44	5,12	A2P:15;A2AP:22;A26P:12;T35O:6;				
2	2287	443	176,27	7,32	5,63	9,14	A145AO:26;A130P:18;A145O:25;T20P:7;T29O:4;				
3	1698	193	151,1	90,85	57,62	85,12	A24P:11;A27P:14;T1P:11;T22P:11;				
4	624	589	126,1	30,94	12,03	6,74	A12P:23;A118O:19;A140O:15;T14P:9;T27P:9;				
5	589	908	125,31	42,27	18,64	27,02	A12P:24;A140O:16;T27P:10;				
6	589	1225	117,93	25,62	3,41	3,89	A118O:20;T14P:10;				
7	1767	924	115,3	53,54	46,29	54,89	A40P:19;A80P:23;A123P:23;T13P:13;				
8	606	1216	113,26	50,25	52,24	46,92	A60P:21;A93O:15;T31P:3;				
9	1114	1108	93,8	33,29	26,68	39,95	A2P:16;A2AP:23;A26P:13;				
10	6	276	89,04	16,71	17,88	21,54	A145AO:14;A145O:13;				
11	2077	1321	83,37	25,37	20,03	22,15	A140O:12;T14P:6;T27P:6;				
12	916	1698	82,99	20,11	14,57	9,44	T1P:10;T22P:10;				
13	70	54	82,93	39,3	34,72	47,29	A1P:12;A6P:9;A7P:21;A128P:20;T10P:12;T11P:16;				
14	626	624	79,18	20,14	3,08	10,91	27O:18;A12P:22;A118O:18;				
15	75	1749	76,81	13,48	4,1	2,07	20P:16;A86P:16;				
16	1543	2055	73,83	90,25	88,11	77,25	A24P:18;A27P:21;A65O:2;				
17	1903	1824	72,88	10,26	2,35	7,06	A93O:20;A98P:10;T40P:8;				
18	2292	219	71,88	33,23	46,43	153,37	A11P:18;A31O:17;A50P:22;A114O:17;A141O:26;T27P:20;T29P:9;T35P:15;				
19	1732	831	70,06	12,77	12,21	28,01	A26P:21;A114P:7;A130P:24;T29O:10;T35O:15;				
20	1368	75	67,34	0,3	22,52	57,21	55P:13;A9P:11;A93P:22;T40O:11;T50P:18;				
21	2626	1506	64,86	1,28	10,2	26,8	A157O:9;A172O:9;				

Рис. 12: Пример результата работы скрипта на листе GENERAL

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		20								
2	Откуда	Куда	LATITUDE_S	LONGITUDE_S	LATITUDE_E	LONGITUDE_E	Крит.перегоны			
3	УЛ. КОТИНА	ЛЕНИНСКИЙ ПР.,95	59,84471067	30,3046274	59,85791994	30,19478539	A2P:15;A2AP:22;A26P:12;T35O:6;			
4	УЛ. ЛЕНИ ГОЛИКОВА, ПР. ВETERАНОВ	БУЛЬВАР НОВАТОРОВ ПО ДАЧНОМУ ПР.	59,84846889	30,22773639	59,84413603	30,26469976	A145AO:26;A130P:18;A145O:25;T20P:7;T29O:4;T31P			
5	ПР. КОСЫГИНА,УГ. УЛ. ПЕРЕДОВИКОВ	А.С. "ЛАДОЖСКАЯ" (ВЫСАДКИ И ПОСАД	59,94510527	30,49082206	59,96901533	30,2474079	A24P:11;A27P:14;T1P:11;T22P:11;			
6	ЛЕНИНСКИЙ ПР.,95	ЛЕНИНСКИЙ ПРОСПЕКТ / ПРОСПЕКТ МА	59,85791994	30,19478539	59,85183728	30,25627663	A2P:16;A2AP:23;A26P:13;T35O:7;			
7	ПОЛТАВСКАЯ УЛ.	СУВОРОВСКИЙ ПР.	59,73393687	30,4709873	59,94578501	30,33176425	A191P:19;A24P:18;A27P:21;A65O:2;T1P:19;T22P:19;			
8	ПР. ТОРЕЗА	ИНСТИТУТСКИЙ ПР.	59,89303158	30,2718379	59,87543282	30,36496953	A9P:15;A40P:19;A80P:23;A123P:23;T13P:13;			
9	НАРОДНАЯ УЛ. УГ. ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ПР.	ГОСПИТАЛЬ	59,87744626	30,47890185	60,03262329	29,98625755	A12P:23;A118O:19;A140O:15;T14P:9;T27P:9;			
10	ТОРГОВЫЙ ЦЕНТР, ПР.ВETERАНОВ	УЛ. ЛЕНИ ГОЛИКОВА, ПР. ВETERАНОВ	59,90815318	30,4481058	59,84846889	30,22773639	A145AO:25;A130P:17;A145O:24;T20P:6;T29O:3;T31P			
11	ГОСПИТАЛЬ	ИВАНОВСКАЯ УЛ. УГ. УЛ. БАБУШКИНА	60,03262329	29,98625755	60,04902962	30,2373333	A12P:24;A140O:16;T27P:10;			
12	ТИХОРЕЦКИЙ ПР. Д.7	МЕТРО "ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ"	60,07174966	30,2405396	59,93158529	30,35734589	48P:18;55O:13;T13O:9;			
13	2-й МУРИНСКИЙ ПРОСПЕКТ	ПР. ПАРХОМЕНКО	59,99877567	30,3639993	59,86092731	30,4781008	20P:16;A86P:16;			
14	ГОСПИТАЛЬ	МЕТРО "ЛОМОНОСОВСКАЯ"	60,03262329	29,98625755	59,85183024	30,26786482	A118O:20;T14P:10;			
15	ЯХТЕННАЯ УЛ. УГ., УЛ. КАМЫШОВОЙ УЛ.	ПЛАНЕРНАЯ УЛ. УГ. КАМЫШОВОЙ УЛ.	59,94319203	30,4353447	59,99799319	30,23430915	A172O:9;A125P:18;			
16	10 КМ, КРАСНОСЕЛЬСКОЕ Ш.	АННИНСКОЕ ШОССЕ	59,93495163	30,2800903	59,96532508	30,452363	A145AO:14;A145O:13;			
17	АЛТЫНСКИЙ ПР. / БУДАПЕШТСКАЯ УЛ.	ПР. СЛАВЫ	59,85454413	30,39704643	60,00627906	30,27191351	A54P:15;A56P:18;			
18	САД БЕНУА	ПРОСПЕКТ РАЕВСКОГО	59,63604336	30,7575512	60,03410565	30,4269352	A93O:20;A98P:10;T40P:8;			
19	28-29 ЛИНИИ (ПО СРЕДНЕМУ ПР. В.О.)	22-23 ЛИНИИ	59,70455061	30,26799965	60,17135208	29,3416462	A1P:12;A6P:9;A7P:21;A128P:20;T10P:12;T11P:16;			
20	ПР. НАРОДНОГО ОПОЛЧЕНИЯ, ЛЕНИНСКИЙ ПР.	Ж.Д. СТ., ЛЕНИНСКИЙ ПР.	59,97042007	30,40263243	59,8048592	30,3873018	A26P:21;A114P:7;A130P:24;T29O:10;T35O:15;			
21	ГРАЖДАНСКИЙ ПР.,90	МЕТРО "АКАДЕМИЧЕСКАЯ"	60,03984976	30,42449428	59,86844207	30,25896805	A60P:21;A93O:15;			
22	ПР. ЭНГЕЛЬСА УГ. ПР. ЛУНАЧАРСКОГО	МЕТРО "ОЗЕРКИ"	59,99776956	30,33247497	59,91487438	30,34932902	9P:21;20P:9;58O:10;A80P:10;A86P:8;A123P:10;			

Рис. 13: Рассмотрим на листе НОТ(7-10) первую двадцатку маршрутов, отсортированных по столбцу "С"(7-10)

Рассмотрим строку 17, где два критических перегона A54P:15;A56P:18;.

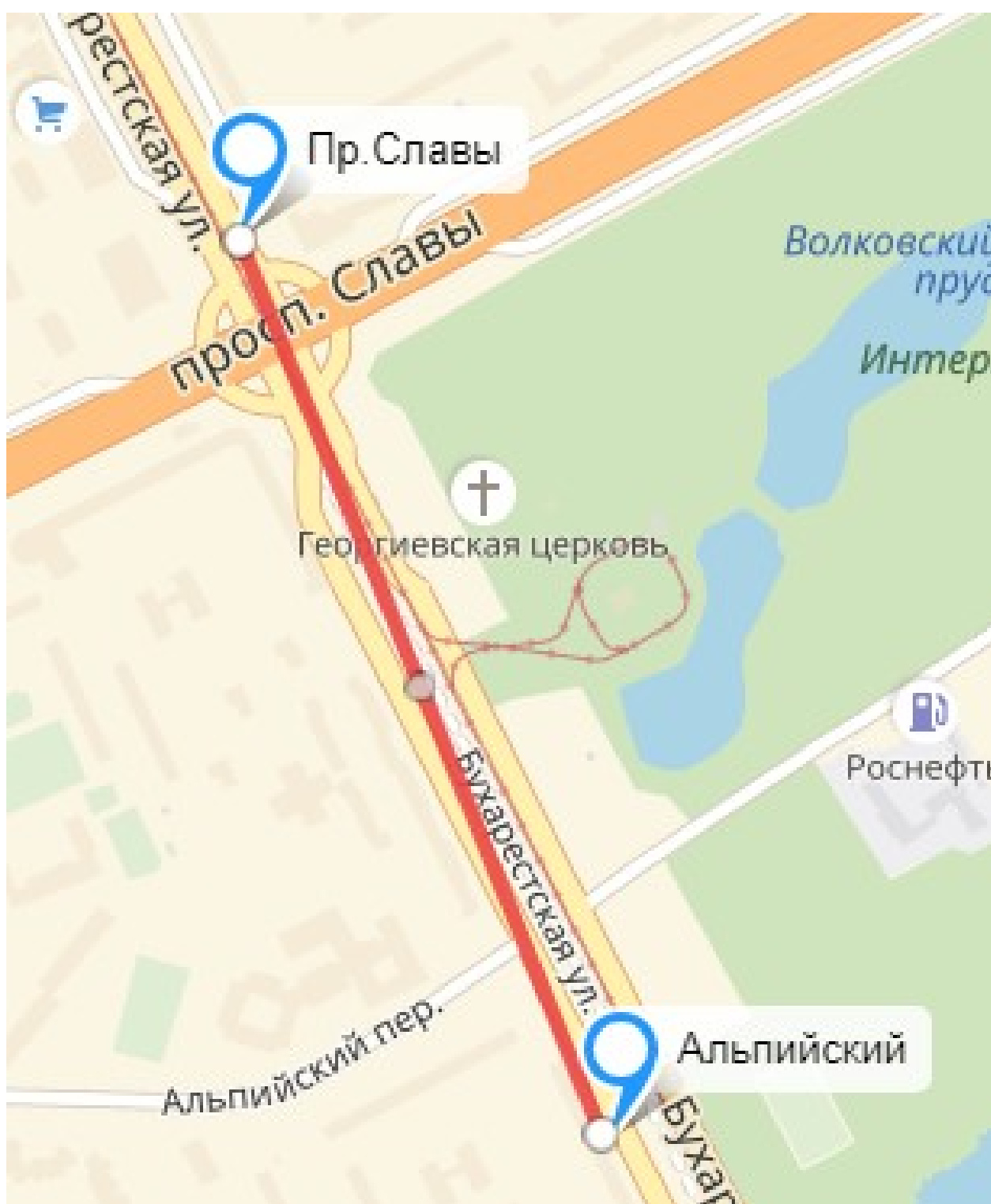


Рис. 14: Первый критический - Автобус №54 на 15 перегоне в промежутке времени 7-10

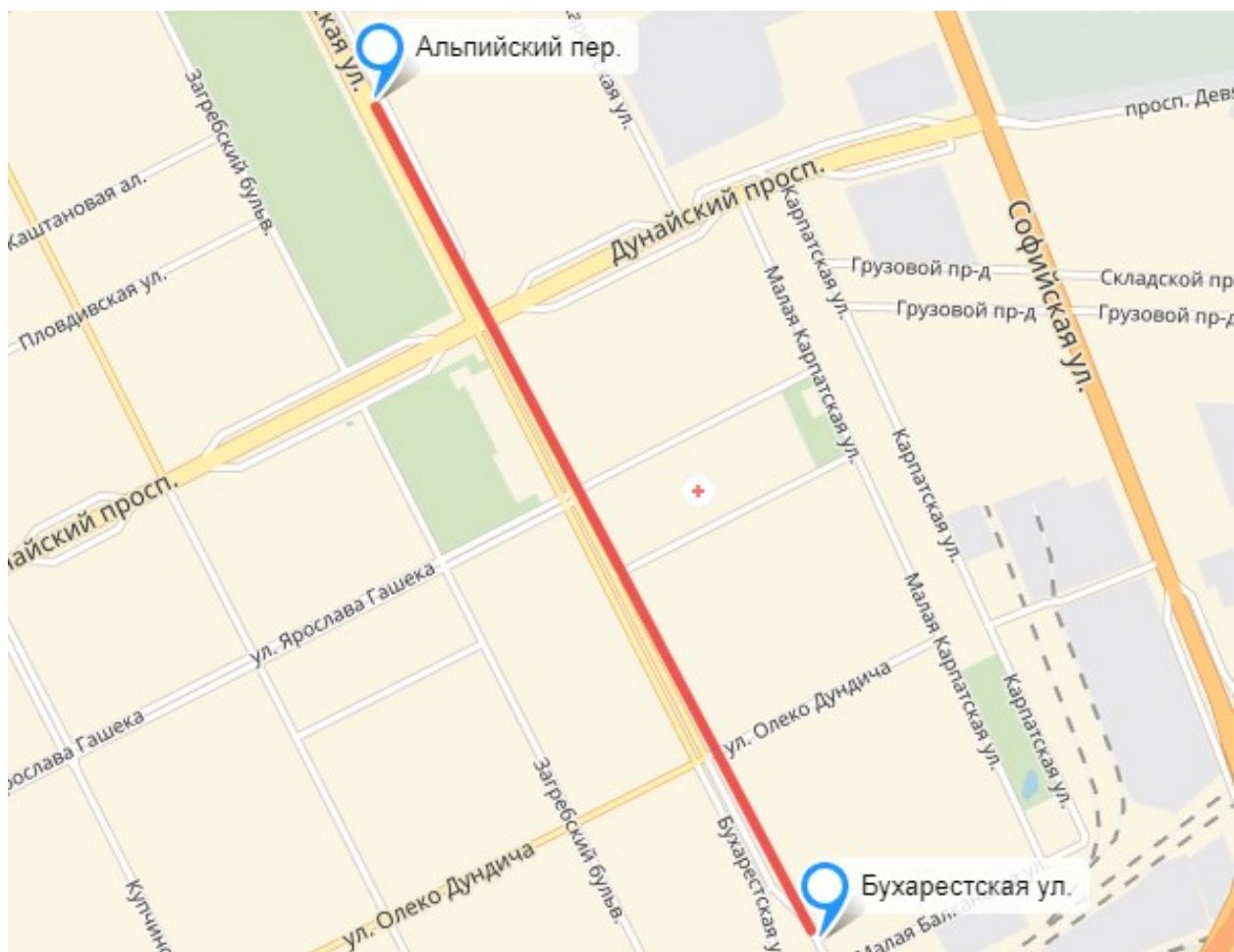


Рис. 15: Второй критический - Автобус №56 на 18 перегоне в промежуток времени 7-10

8. Самые "горячие" критические перегоны

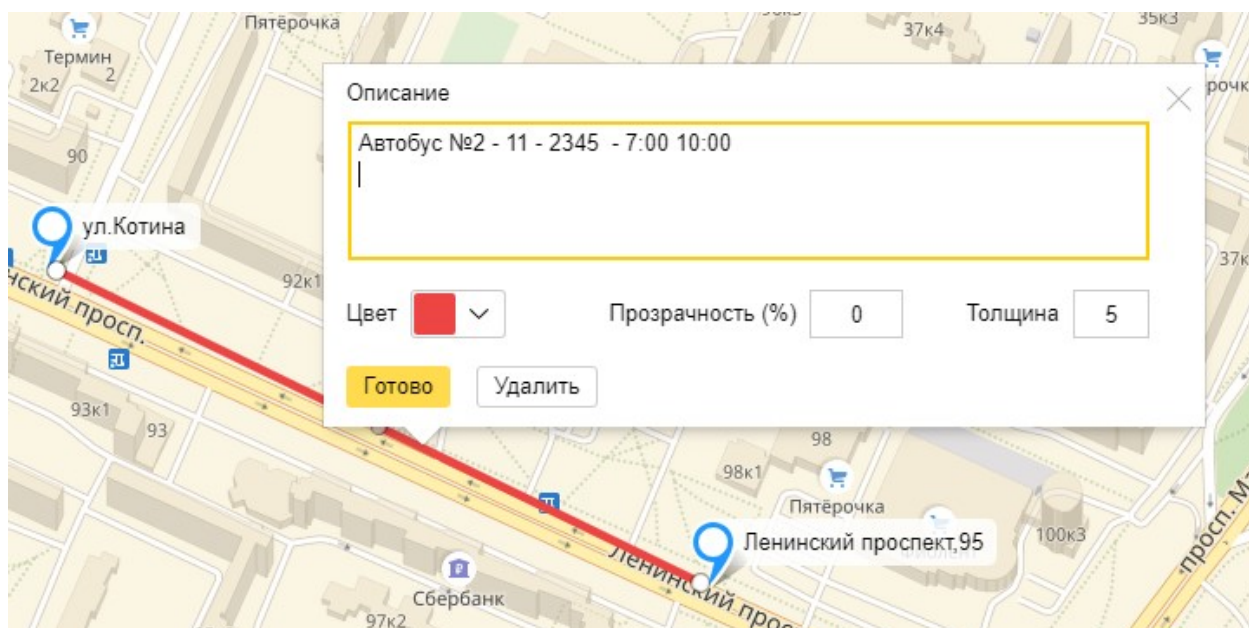


Рис. 16: Автобус №2 на 18 перегоне 7:00-10:00

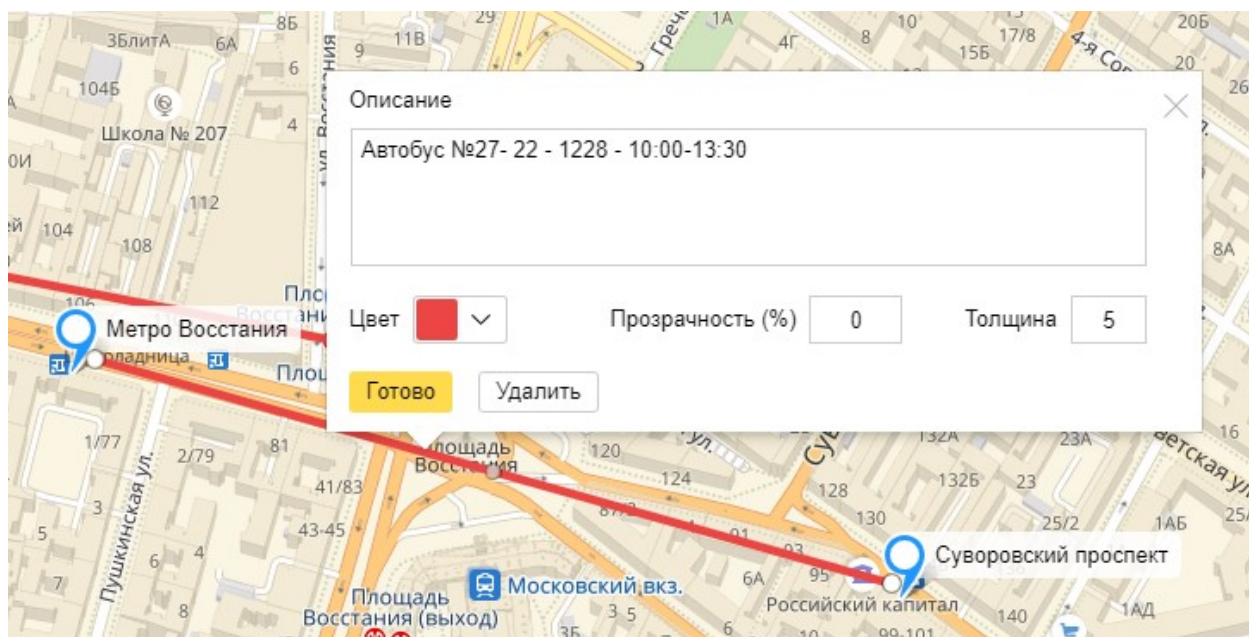


Рис. 17: Автобус №27 на 22 перегоне 10:00-13:30

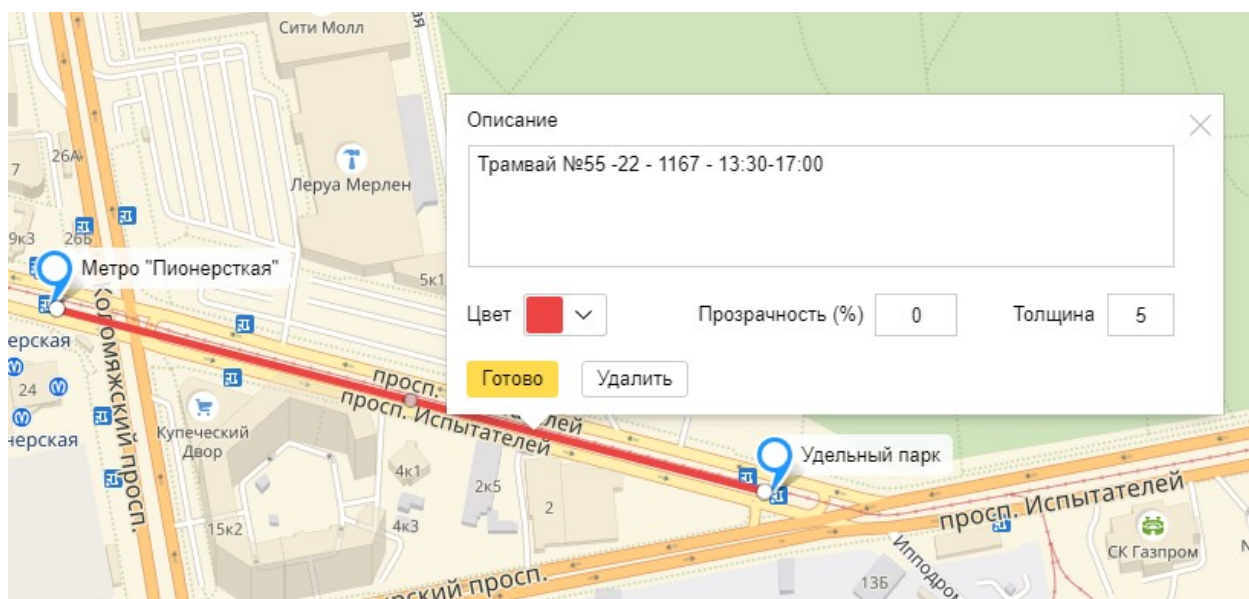


Рис. 18: Трамвай №5 на 18 перегоне в 13:30-17:00

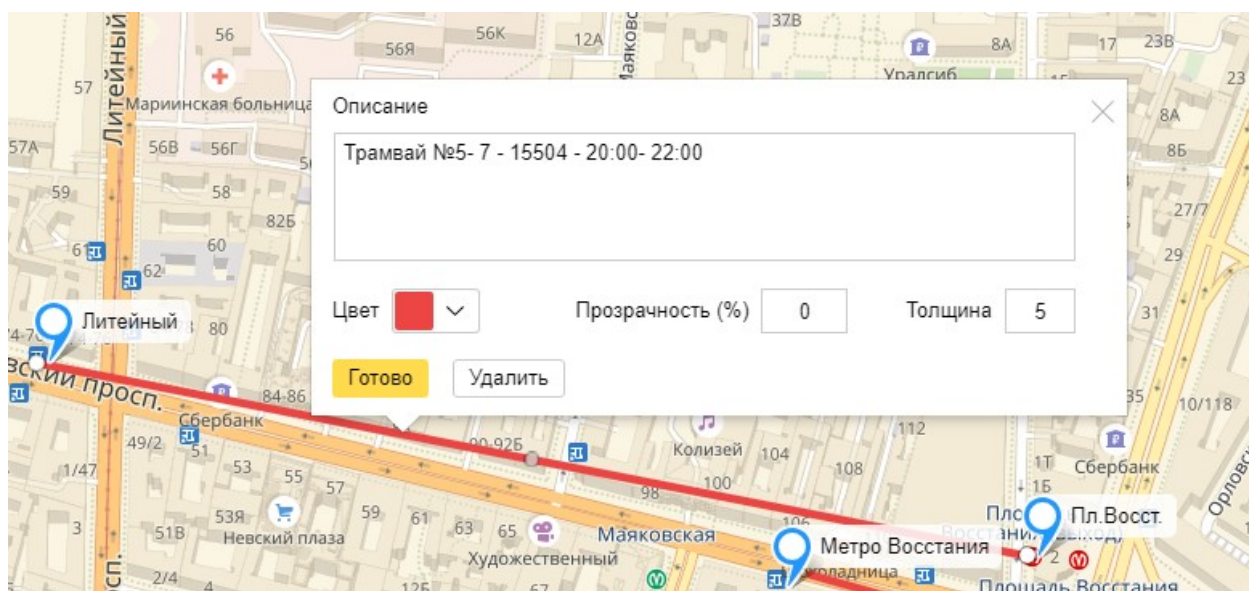


Рис. 19: Трамвай №5 на 7 перегоне 17:00-20:00

Заключение

В данной работе можно подвести следующие итоги

- был проведен анализ исходных предоставленных данных;
- разработана технология определения критических перегонов в диапазоне одного маршрута;
- разработана технология определения критических перегонов в диапазоне групп остановок;
- создан аппарат для поиска критических перегонов в виде файла Excel с написанными скриптами на VBA(макросами);
- над аппаратом проведены эксперименты на реальных данных;
- найдены некоторые особо критические перегоны.

Список литературы

- [1] Taylor Michael AP, D'Este Glen M. Transport network vulnerability: a method for diagnosis of critical locations in transport infrastructure systems // Critical infrastructure. — Springer, 2017. — P. 9–30.
- [2] Асаул НА. Инновационный сценарий развития транспортно-логистического комплекса Санкт-Петербурга // Экономическое возрождение России. — 2015. — no. 4. — P. 12–19.
- [3] Гасников А et al. Введение в математическое моделирование транспортных потоков. — Litres, 2017.
- [4] Горев АЭ. Развитие городских транспортных систем крупных городов // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. — 2016. — no. 6 (67).
- [5] Дацюк Александр Макарович, Горев Андрей et al. Управление комплексом наземного пассажирского транспорта Санкт-Петербурга // Вестник гражданских инженеров. — 2014. — no. 1. — P. 157–161.
- [6] Лагерева РЮ, Михайлов АЮ, Лагерева СВ. Методика предупреждения сетевых транспортных заторов // Вестник НЦБЖД. — 2013. — no. 5. — P. 82–88.
- [7] Новизенцев ВВ. Обеспечение безопасности и организации движения при проектировании улично-дорожной сети городов // Вестник НЦБЖД. — 2016. — no. 5. — P. 88–103.
- [8] Санкт-Петербурга Организатор Перевозок. — 2018. — URL: https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/c_transport/.
- [9] Селиверстов СА. Методы и алгоритмы интеллектуального анализа процесса организации транспортной системы // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала СО Макарова. — 2014. — no. 2 (24).

- [10] Семенов Владислав Валерьевич, Ермаков Алексей Викторович. Исторический анализ моделирования транспортных процессов и транспортной инфраструктуры // Препринты Института прикладной математики им. МВ Келдыша РАН. — 2015. — no. 0. — P. 3–36.
- [11] Спирин И.В. Организация и управление пассажирскими автомобилями перевозками // М.: Издательский центр «Академия». — 2014. — Vol. 4.