



ОЦЕНКА И ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО УЗЛА ПОСРЕДСТВОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ PTV VISSIM

С. А. Андронов, О. В. Ульвачева

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В настоящей статье рассматривается задача повышения пропускной способности транспортного узла Площадь Восстания в г. Санкт-Петербург посредством оптимизации светофорного регулирования и реконструкции улично-дорожной сети посредством программы PTV Vissim. Для решения задачи была разработана имитационная транспортная микромодель транспортного узла Площадь Восстания в г. Санкт-Петербург.

Ключевые слова: транспортный узел, пропускная способность, светофорное регулирование, имитационное моделирование, PTV VISSIM.

Для цитирования:

Андронов С. А., Ульвачева О. В. Оценка и повышение пропускной способности транспортного узла посредством имитационного моделирования в среде PTV Vissim // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №2 (32), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГУАП., 2022 – с. 113–129. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2022-2-113-129.

ASSESSMENT AND INCREASE OF THE CAPACITY OF THE TRANSPORT HUB THROUGH SIMULATION IN THE PTV VISSIM ENVIRONMENT

S. A. Andronov, O. V. Ulvacheva

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

This article discusses the problem of increasing the capacity of the transport hub Vosstaniya Square in St. Petersburg by optimizing traffic light regulation and reconstruction of the road network through the PTV Vissim program. To solve the problem, an imitation transport micromodel of the Vosstaniya Square transport hub in St. Petersburg was developed.

Keywords: transport hub, capacity, traffic light regulation, simulation modeling, PTV VISSIM.

For citation:

Andronov S. A., Ulvacheva O. V. Assessment and increase of the capacity of the transport hub through simulation in the PTV Vissim environment // Systems analysis and logistics: №2 (32), ISSN 2077-5687. – Russia, SaintPetersburg.: SUAI., 2022 – p. 113–129. DOI: 10.31799/2077-5687-2022-2-113-129.

Введение

Транспортная система таких крупно населенных городах как Санкт-Петербург определяет уровень жизни его жителей. Ежегодно количество личного транспорта стремительно увеличивается, создавая очень большую нагрузку на транспортную сеть города, образуя при этом длинные заторы, что ведет к снижению безопасности и комфорта поездки, увеличению транспортных расходов и экологической нагрузки на транспортную сеть. Центральные улицы города часто перегружены сверх нормы.

Согласно комплексной схеме организации дорожного движения г. Санкт-Петербурга [1] за последние несколько лет в значение показателя средней скорости движения транспортных средств (ТС) в городской среде уменьшилось более чем на 5 км/ч и составляет сейчас около 25 км/ч, падая в часы «пик» до 5 – 10 км/ч при оптимальных значениях, равных 30 – 35 км/ч. Средние временные затраты на поездки в трудовых и учебных целях с использованием наземного транспорта общего пользования составляют более 70 минут. А средняя скорость сообщения в часы «пик» по наиболее востребованным направлениям наземного городского транспорта принимает значение, равное 8 – 12 км/ч.

Разгрузка центра СПб - большая тема, давно требующая решения. Во многих странах организационные мероприятия направлены на отведение транспортного потока в сторону от



центра города и введение платы за въезд в центральную часть. Мосты стоят, поэтому необходима разгрузка мостов, за счёт строительства новых. Идея строительства Орловского тоннеля, пока, к сожалению, не нашла воплощения. Из-за отсутствия парковок пропускная способность центральных улиц ограничивается припаркованными на обочинах автомобилями. Идея с перехватывающими парковками также страдает из-за малого количества близких друг к другу станций метро.

Поскольку пропускная способность – ключевой параметр, характеризующий транспортную систему, её исчерпание приводит к образованию заторов. Поэтому проведение исследований, направленных на повышение данного показателя, представляются актуальными.

Транспортные пересадочные узлы (ТПУ) являются реперными точками в развитии городов и регионов, важными системообразующими мультимодальными центрами, от пропускной способности которых зависит транспортная доступность мегаполисов. В этой связи актуальна задача оценки и повышения пропускной способности (ПС) узловых пересадочных пунктов города.

Задача управления дорожным движением (ДД) в центральной части города для увеличения пропускной способности на транспортных узлах стоит особенно остро. Её решением может являться имитационное моделирование, которое позволит оценить эффективность предложенных мер по управлению дорожным движением на участке.

Анализ публикаций

Пропускной способностью полосы улиц и дорог регулируемого движения называется зависящее от условий и организации движения максимальное количество ТС и пешеходов, проходящих по полосе в течение одного часа в одном направлении при соблюдении условий безопасности движения. Пропускная способность зависит от количества полос движения, организации ДД и режимов светофорного регулирования на выбранном участке сети [2].

На сегодняшний день очень большое внимание как отечественных, так и зарубежных специалистов уделяется решению проблемы образования заторов на улицах крупных мегаполисов.

Проблема формирования транспортных заторов на регулируемых пересечениях была рассмотрена в работе [3]. Автор справедливо утверждает, что решение проблемы заторообразования может быть получено при помощи оптимизации светофорного регулирования и реконструкции улично-дорожной сети.

Абрамова Л. С. в своем исследовании [4] посредством моделирования увеличивает пропускную способность регулируемого пересечения, управляя светофорным регулированием без образования очередей.

Вытяжков Д.В в работе [5], Живоглядов В.Г. и Бахтина О. Н. в [6], Исаков К. [7] повышают пропускную способность транспортной сети, уменьшая время задержки в пути через совершенствование светофорного регулирования.

В работе [8] Е. В. Шимакович и П. П. Володькин посредством PTV Vissim выполняют прогнозирование транспортных потоков для анализа вариантов изменения схем организации дорожного движения и оптимизации режимов светофорного регулирования на пересечении, а при помощи PTV Visum анализируют варианты оптимизации или изменения маршрутной сети общественного транспорта с целью увеличения пропускной способности на выбранном участке.

Оценка пропускной способности участков сети

Следующие дополнения, принимаемые при расчете пропускной способности регулируемых участков таковы:



- все ТС, которые переезжают через перекресток, могут задерживаться на нем перед светофором;
- все ТС после включения зеленого сигнала проходят через перекресток с одинаковой скоростью и равными интервалами времени.

Основываясь на вышесказанном, оценка пропускной способности проезжей части может быть выполнена посредством формулы:

$$N_M = N_1 + N_2 + N_3, \quad (1)$$

где N_1 - пропускная способность полос прямого направления движения; N_2 - пропускная способность для полос правого поворота; N_3 - пропускная способность для полос левого поворота.

$$N_1 = N_n(n-2), \quad (2)$$

где n - количество полос движения в сечении стоп-линии.

$$N_2 = N_3 = \frac{3600 * (t_{3\text{доп}} - t_a)}{T_u t_n}, \quad (3)$$

где $t_{3\text{доп}}$ - время горения разрешающего сигнала светофора дополнительной секции, с; t_a - временной промежуток между включением зеленой фазы светофора и пресечением стоп-линии первым ТС, с; T_u - время цикла регулирования; t_n - время между ТС при прохождении стоп-линии в смешанном потоке, с.

Степень использования пропускной способности улицы (дороги) определяется уровнем загрузки проезжей части Z . Уровень загрузки проезжей части - это отношение интенсивности потока $N_{\text{сущ}}$ к пропускной способности проезжей части N_M :

$$Z = \frac{N_{\text{сущ}}}{N_M} \quad (4)$$

Данная формула может быть применена также для оценки пропускной способности пешеходных переходов. Уровень загрузки находится в пределах $0 \leq Z \leq 1$. Известно, что при уровне загрузки $Z = 0,3 - 0,45$ наблюдается наиболее устойчивое по характеристикам движения состояние потока. Смена полос движения практически не ограничена. При $Z \rightarrow 1$ возрастает плотность ТП, и уменьшается скорость движения. При $Z = 1$ образуется затор движения, тогда при уровне загрузки $Z \geq 0,8$ наблюдается предельное насыщение потока, пропускная способность практически исчерпана. Движение будет неустойчивым, что повлечет за собой появление заторов и трудности смены полосы. Средняя скорость в ТП составит лишь 10–12 км/ч. Следствием будет рост транспортных расходов.

Под пропускной способностью пешеходного перехода принимается максимальное число человек, пересекших конкретный участок дороги или остановочные пункт за один час при обеспечении безопасности и удобства пешеходного движения.

Величина пропускной способности пешеходной полосы шириной B определяется следующей формулой:

$$P_{\text{пеш}} = 3600 * V_{\text{пеш}} * q_{\text{пеш}} * B, \quad (5)$$

где $V_{\text{пеш}}$ - скорость движения пешеходов, м/с; $q_{\text{пеш}}$ - плотность ПП, чел/м².



Плотность пешеходного потока $q_{пеш}$ оказывает влияние его пропускную способность и скорость движения пешеходов. Предельная плотность ПП определяется соответствующими габаритными размерами движущихся объектов (человек в статическом положении в летней одежде занимает площадь $0,1 - 0,2 \text{ м}^2$, в зимней одежде – $0,25 \text{ м}^2$, а при наличии ручной клади – до $0,5 \text{ м}^2$) [9].

Задача оценки ПС ТПУ по логике схожа с задачей о максимальном потоке, заключающейся в нахождении такого потока по сети транспорта, что сумма потоков из истока в сток максимальна и одинакова (поток в сети сохраняется, не исчезает и не образуется из ничего), где под истоками и стоками в данном случае понимаются городские улицы.

Для решения данной задачи применяется итеративный алгоритм Форда-Фалкерсона [10], идея которого заключается в постепенном наращивании потока через сеть до тех пор, пока его величина не достигнет максимума и дальнейшее увеличение потока перестанет быть возможным. Однако, применение данного подхода на практике ограничено, поскольку предполагает фиксированную загрузку дуг транспортного графа в виде целых неотрицательных чисел, что не соответствует динамике реальных транспортных процессов, которые являются неравномерными во времени и в пространстве. Причем это относится как к потоку транспортных средств, так и к пешеходному потоку. Кроме того, существенным ограничением использования названного алгоритма является, наличие лишь единственного источника потока в сети так и с единственным стоком.

Отсюда следует, что целесообразно решать такую задачу методами имитационного моделирования, которые наиболее полно отражают реальную ситуацию.

Формальная постановка такой задачи имеет вид.

Пусть $C = [C_{ij}]$ - исходная матрица пропускных способностей, $C^* = [C^*_{ij}]$ – матрица, определяемая в процессе моделирования.

Тогда интенсивность потока $X = [x_{ij}]$ задается в дугах задается следующим образом:

$$X_{ij} = \begin{cases} C_{ij} - C^*_{ij}, & \text{если } C_{ij} > C^*_{ij} \\ 0, & \text{если } C_{ij} \leq C^*_{ij} \end{cases}, \quad (6)$$

Пропуская способность ТПУ потоков из истока S в сток t равна:

$$Z = \sum_j x_{sj} = \sum_i x_{it} \rightarrow \max, \quad (7)$$

Сбор исходных данных и оценка пропускной способности

Объектом исследования является транспортный узел с регулируемым пересечением Площадь Восстания в Центральном районе города Санкт-Петербург на пересечении основных транспортных артерий города – Лиговского и Невского проспектов, где также берет свое начало Гончарная улица, рис. 1.

Для оценки пропускной способности выбранного участка требуется учитывать интенсивность как ТП, так и ПП для дальнейшей их оптимизации.

Интенсивность движения – это число ТС, проезжающих через сечение дороги за единицу времени. В роли показателей интенсивности выступают скорость ТП и вероятность возникновения аварийной ситуации на дороге.

Для разработки и внедрения мероприятий по увеличению пропускной способности на Площади Восстания в г. Санкт-Петербург необходимы достоверные данные о интенсивности пешеходных и ТП на этом участке.



На рис. 1 пронумерованы входящие транспортные и пешеходные потоки, описанные в круг и квадрат соответственно.

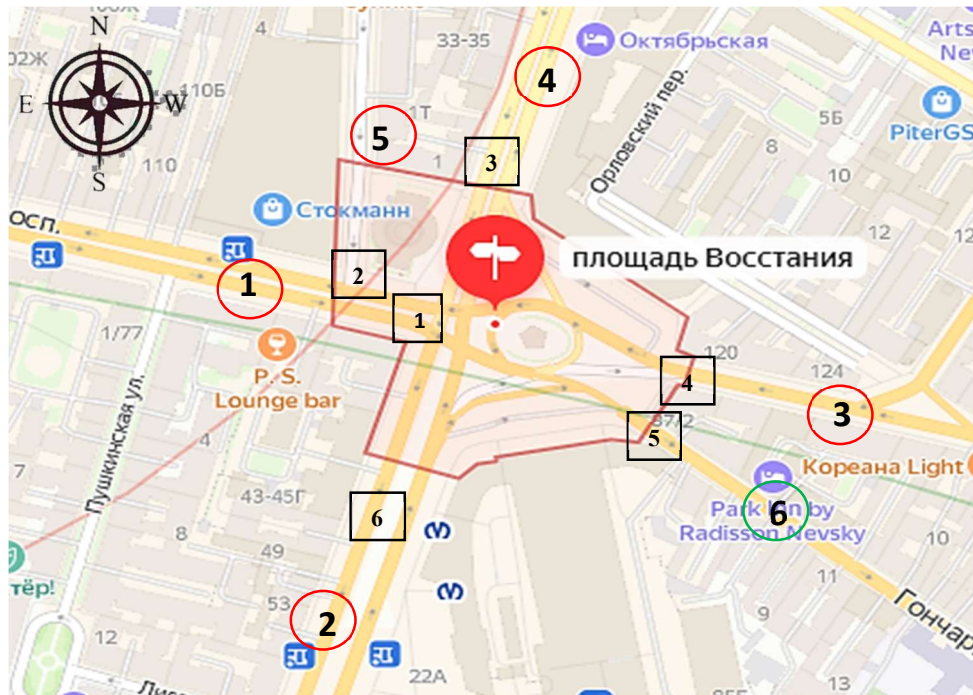


Рис. 1. Входящие потоки на участке Площадь Восстания

Посредством натурных замеров в вечерние часы с 17:00 до 19:00 в рабочие дни со вторника по четверг была вычислена интенсивность транспортных и пешеходных потоков по всем направлениям движения для дальнейшего исследования. Анализ транспортных и пешеходных потоков дает возможность оценить эффективность организации мер его управления на данном участке сети.

Расчет пропускной способности полос движения, используя формулы (1-5), произведём для каждого входящего потока ТС и пешеходов.

Пропускная способность проезжей части западной стороны Невского проспекта равна:

$$N_{M1} = N_1 + N_2 = N_n * 4 = \frac{3600 * (40 - 2)}{160 * 3} * 4 = 1140 \text{ чел./ч.}$$

Уровень загрузки западной стороны Невского проспекта равен:

$$Z_1 = \frac{1709}{1140} = 1,499$$

Пешеходная пропускная способность западной стороны Невского проспекта равна:

$$P_{пеш} = 3600 * 1,4 * 0,5 * 5 = 12600 \text{ чел./ч.}$$

Отсюда уровень загрузки пешеходной полосы равен:

$$Z_1 = \frac{1980}{12600} = 0,157$$

Дальнейшие расчеты приведены в таблицах 1 и 2. Номер сечения соответствует номеру



входящего потока.

Скорость движения переходов на участке изменяется от 0,5 до 1,4 м/с.

Таблица 1 – Оценка пропускной способности пешеходных полос

Поток	Скорость движения, м/с	Плотность потока, чел/м ² ,	Ширина полосы, м	Пропускная способность, чел./ч.	Пиковая интенсивность, чел./ч	Уровень загрузки
1	1,4	0,5	5	12600	1980	0,157
	0,5	0,5	5	4500		0,440
2	1,4	0,5	3,5	8820	2016	0,229
	0,5	0,5	3,5	3150		0,640
3	1,4	0,5	3,5	8820	2284	0,259
	0,5	0,5	3,5	3150		0,725
4	1,4	0,5	4,5	11340	1408	0,124
	0,5	0,5	4,5	4050		0,348
5	1,4	0,5	3,5	8820	1680	0,190
	0,5	0,5	3,5	3150		0,533
6	1,4	0,5	8	20160	3048	0,151
	0,5	0,5	8	7200		0,423

Данные таблицы 1 говорят о том, что очередей на пешеходных переходах не образуется, поскольку уровень загрузки пешеходных переходов в часы «пик» не превышает.

Заккрытие станций метрополитена, мероприятия с большим количеством людей при $N_{\text{сущ}} > 8\,800 \text{ чел./ч}$ могут увеличивать уровень загрузки, образуя очереди на переходах, когда $Z > 0,7$. Скорость движения пешеходов упадет из-за увеличения плотности встречного потока. Из-за этого времени горения разрешающего сигнала светофора может не хватить для перехода на другую сторону улицы, что повлечет за собой образование заторов из-за не завершивших движение пешеходов.

Строительство подземных пешеходных переходов и адаптивные методы управления светофорным регулированием могут решать проблему очередей в такие часы «пика».

Таблица 2 – Оценка пропускной способности дороги

№ потока	Пропускная способность, авт./ч.	Интенсивности потока, авт./ч.	Уровень загрузки
1 сечение	1140	1709	1,499
2 сечение	1245	1761	1,424
3 сечение	1950	1413	0,72
4 сечение	1605	1552	0,97
5 сечение	450	295	0,656

На основе данных уровня загрузки из таблицы 2 можно сделать вывод о том, что предельное насыщение потока ТС в сечениях 1, 2 и 4 неминуемо повлечет за собой образование заторов. Движение неустойчиво, что вызовет трудности смены полосы и падение средней скорости потока на участках до 10-12 км/ч. На сечениях 5 и 3 устойчивое по характеристикам движение потоков, смена полос ограничена, но не является предельно трудным маневром при движении.

Полученные результаты расчета уровня загрузки говорят о необходимости принятия мер по увеличению пропускной способности на участке. Для этого необходима разработка имитационной транспортной модели с целью проведения экспериментов в условиях, максимально приближенных к реальности.

Разработка имитационной модели на микроуровне в PTV Vissim



Имитационные транспортные модели, созданные в PTV Vissim, дают возможность производить оценку ТП и разрабатывать эффективные решения для увеличения пропускной способности на ТПУ при организации дорожного и пешеходного движений.

Разработка и построение данной имитационной транспортной модели ТПУ было выполнено при помощи руководства по выполнению проектов в Vissim [11] и использованием ГОСТ «Компьютерные модели в процессах разработки, производства и эксплуатации изделий» [12].

В PTV VISSIM построение транспортной модели заключается в создании концептуальной модели, сборе и обработке имеющихся исходных данных и операциях с растровой основой.

В данной работе будет исследована пропускная способность ТПУ узла на Площади Восстания в г. Санкт-Петербург с целью ее увеличения. Для создания модели ТП и ПП на данном участке в среде PTV VISSIM необходимо прохождения нескольких этапов:

- 1) Введение растровой основы, на которой будет отрисовываться модель транспортного узла;
- 2) Построение дорожной сети на основе данных о количестве и ширине полос, направлении движений на этих полосах с учетом правил дорожного движения [13];
- 3) Нанесение существующей дорожной разметки сети на каждую полосу движения;
- 4) Введение входящих потоков транспортных средств;
- 5) Построение маршрутов движения транспортных средств для каждого входящего потока;
- 6) Введение пешеходного движения. Этот этап схож с введением в модель потоков автомобилей;
- 7) Решение «конфликтных зон». Столкновения между двумя и более участниками движения – это и есть так называемые «Конфликтные зоны»;
- 8) Введение светофорного регулирования;

Сигнальная программа на площади Восстания представлена на рис. 2 и 3.

Фиксированное время - ССУ 4: Восстания1.sig

№	Имя	Описание
1	Группа сигналов 1	Невский пр. Запад
2	Группа сигналов 2	Невский пр. Восток - прямо
3	Группа сигналов 3	Невский пр. Восток - поворот налево
4	Группа сигналов 4	Лиговский пр. Юг - прямо
5	Группа сигналов 5	Лиговский пр. Юг - поворот налево
6	Группа сигналов 6	Лиговский пр. Север - прямо
7	Группа сигналов 7	Лиговский пр. Север поворот направо
8	Группа сигналов 8	Лиговский пр. Север поворот налево
9	Группа сигналов 9	Гончарная ул. переход для ТС
10	Группа сигналов 10	Гончарная ул. переход для пешеходов
11	Группа сигналов 11	Лиговский пр - Юг - переход для ТС
12	Группа сигналов 12	Лиговский пр - Юг - переход для пешеходов
13	Группа сигналов 13	Невский пр. Восток - переход для ТС
14	Группа сигналов 14	Невский пр. Восток - переход для пешеходов
15	Группа сигналов 15	Лиговский пр. Север - переход для ТС
16	Группа сигналов 16	Лиговский пр. Север - переход для пешеходов
17	Группа сигналов 17	Невский пр. Запад - Пешеходный переход
18	Группа сигналов 18	Ул. Восстания - Пешеходный переход
19	Группа сигналов 19	ул. Восстания

Рис. 2. Группы сигналов для существующей СП

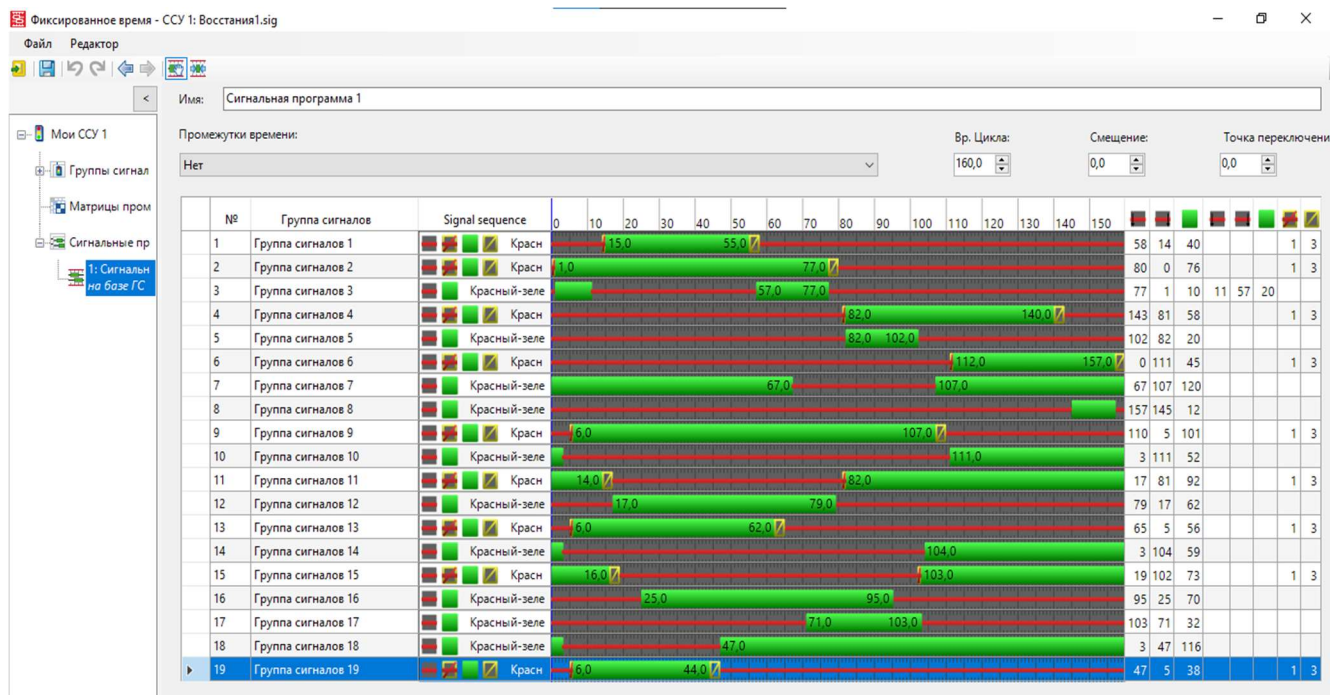


Рис. 3. Существующая СП

9) Введение движения общественного транспорта. Для этого требуется введение маршрутов и остановочных пунктов;

10) Введение измерительных пунктов и счетчиков заторов и счетчиков определения времени в пути для определения показателей транспортных и пешеходных потоков.

После выполнения всех этапов запускаем имитацию для сбора и последующего анализа исходных данных, рис. 4 и 5.

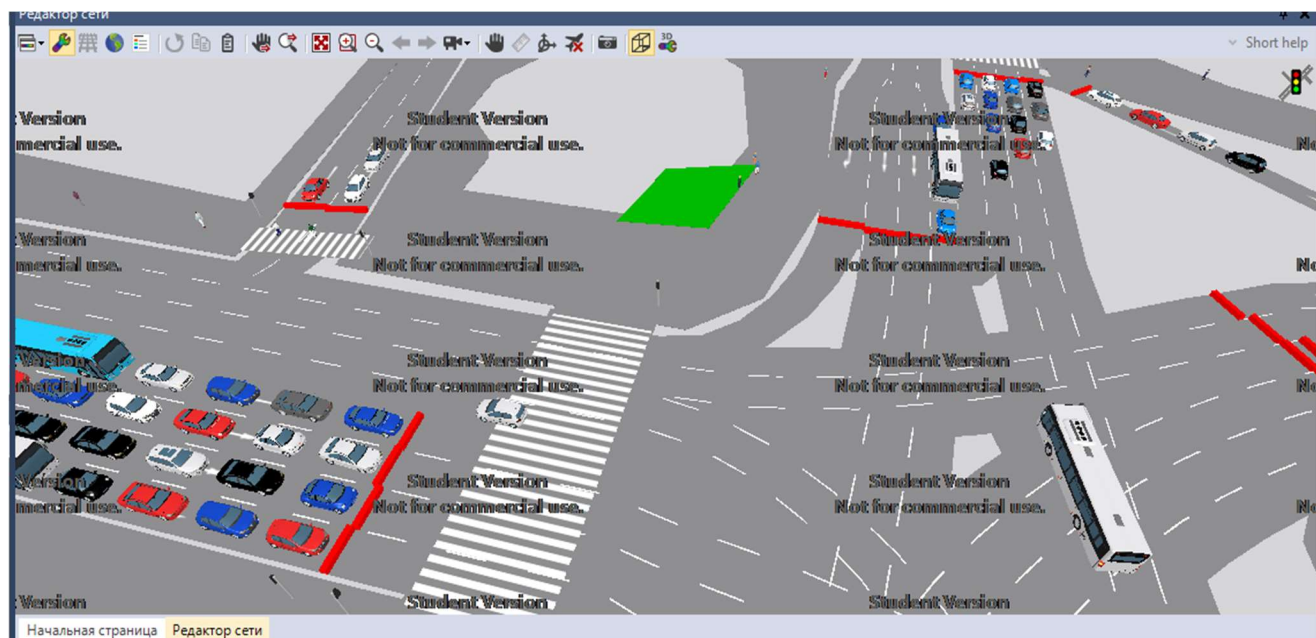


Рис. 4. Пересечение Невского и Лиговского проспектов

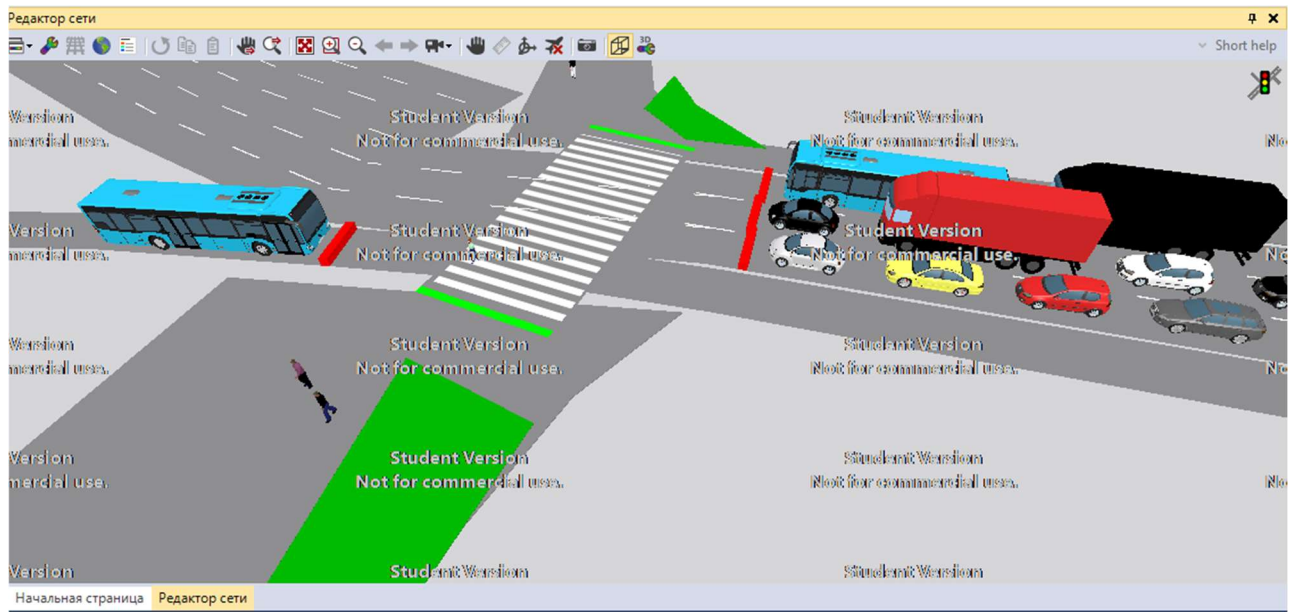


Рис. 5. Пешеходный переход на Невском проспекте

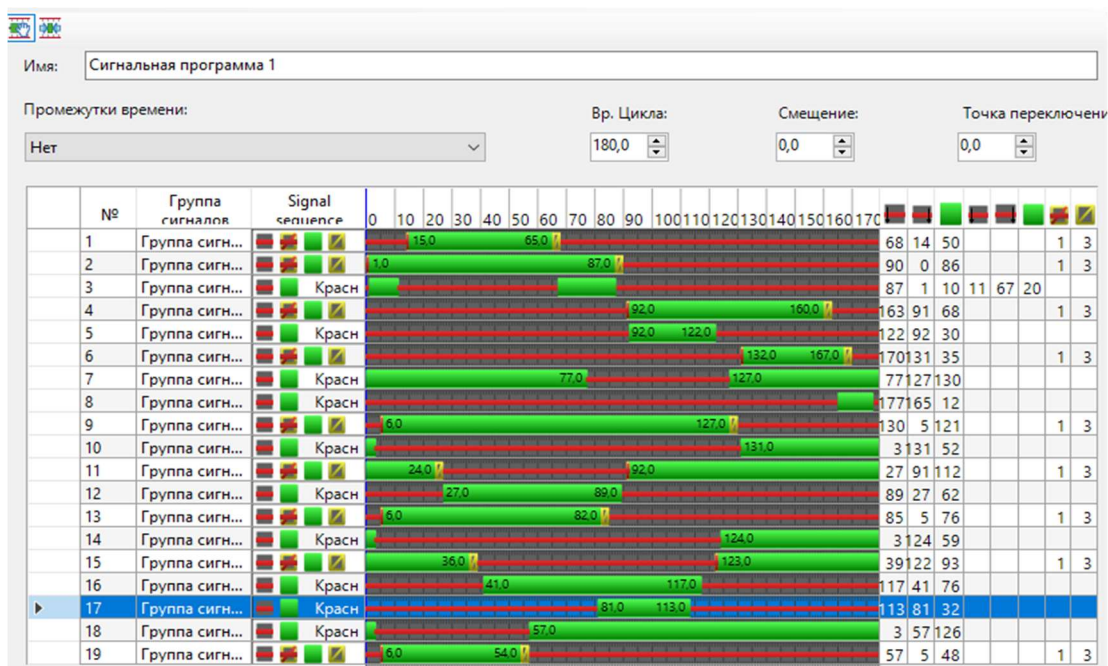
Моделирование предложений по изменению и анализ полученных данных

Согласно данным, полученным в ходе расчета пропускной способности (см. таблицы 1–2) участка Площади Восстания для обеспечения необходимой пропускной способности ТПУ и безопасности для всех участников дорожного движения требуется внести изменения в организацию дорожного движения на участке, а именно:

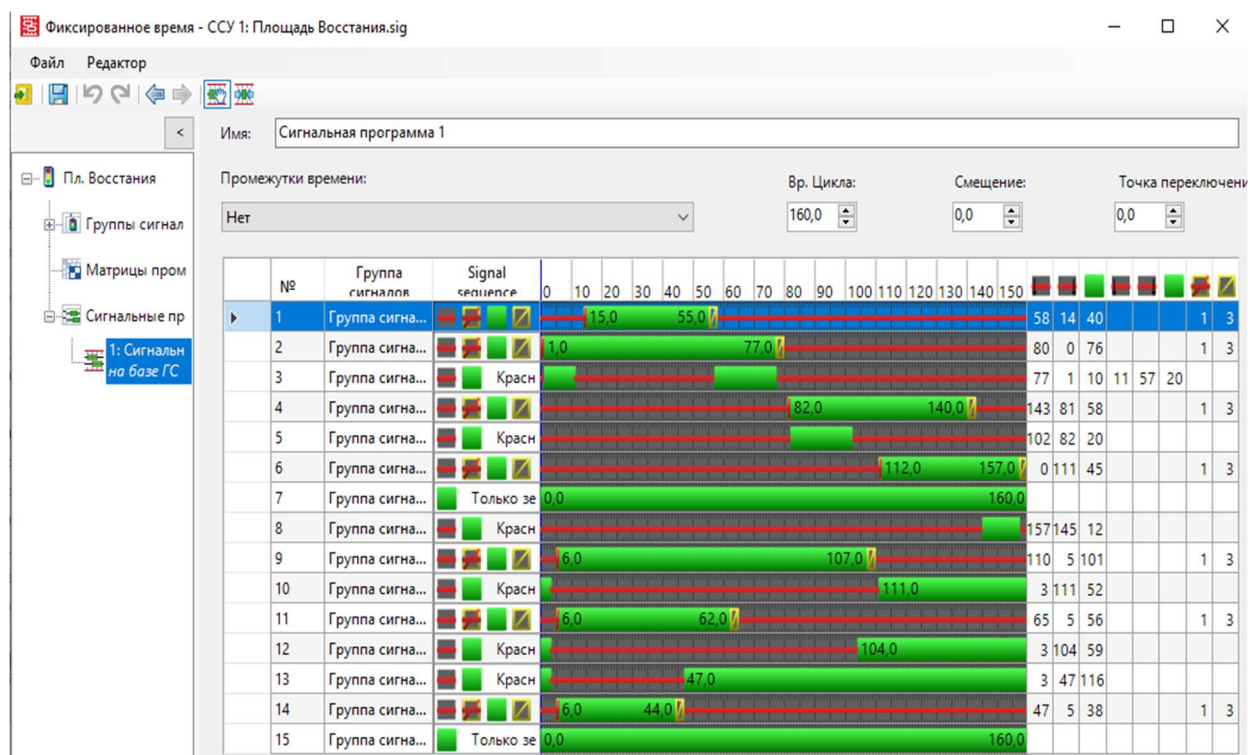
- Увеличение времени горения зеленого сигнала светофора в направлениях западной стороны Невского и южной стороны Лиговского проспектов за счет увеличения цикла светофорного регулирования;
- Введение подземных переходов с тем же циклом регулирования позволит также увеличить пропускную способность ТПУ, а также снизит вероятность возникновения дорожно-транспортного происшествия с участием пешеходов.

Для этого разработаем сигнальные программы (СП) для вышеописанных предложений.

Увеличение пропускной способности без больших финансовых вложений возможно посредством увеличения времени горения разрешающего сигнала светофора для самых нагруженных направлений, а именно для секунд для западной стороны Невского проспекта и 10 секунд для южной стороны Лиговского проспекта, рис. 6.



Также увеличить пропускную способность на ТПУ можно также добавлением на самых нагруженных участках, а именно на Лиговском и западной стороне Невского проспектов подземных пешеходных переходов с сохранением прежней длины цикла светофорного регулирования, рис. 7.



На рис. 8 представлены результаты, полученные в ходе моделирования до и после предложенных мер по управлению ДД за 600 секунд модельного времени. Ввиду различных



длин циклов, был введен нормирующий коэффициент 1,125 для СП №1, для возможности сравнения полученных результатов.

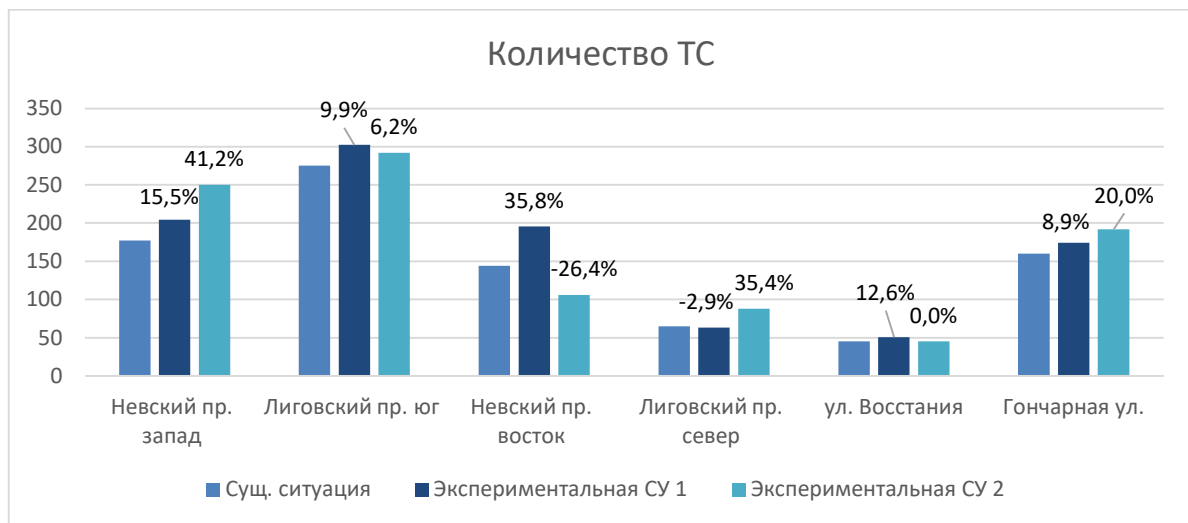


Рис. 8. Количество проезжающих ТС

Исходя из данных, представленных на рисунке выше, можно говорить о том, что увеличение цикла светофорного регулирования увеличивает интенсивность потока ТС, проходящих через данный участок сети. Этому же и способствует введение подземных переходов. Исключением является восточная сторона Невского проспекта, там нагрузка на сеть падает более чем на 25% от исходной. Ниже на рисунках 9 и 10 представлено время транспортных средств в пути по каждому участку и время в пути по каждому из направлений при пересечении участка.

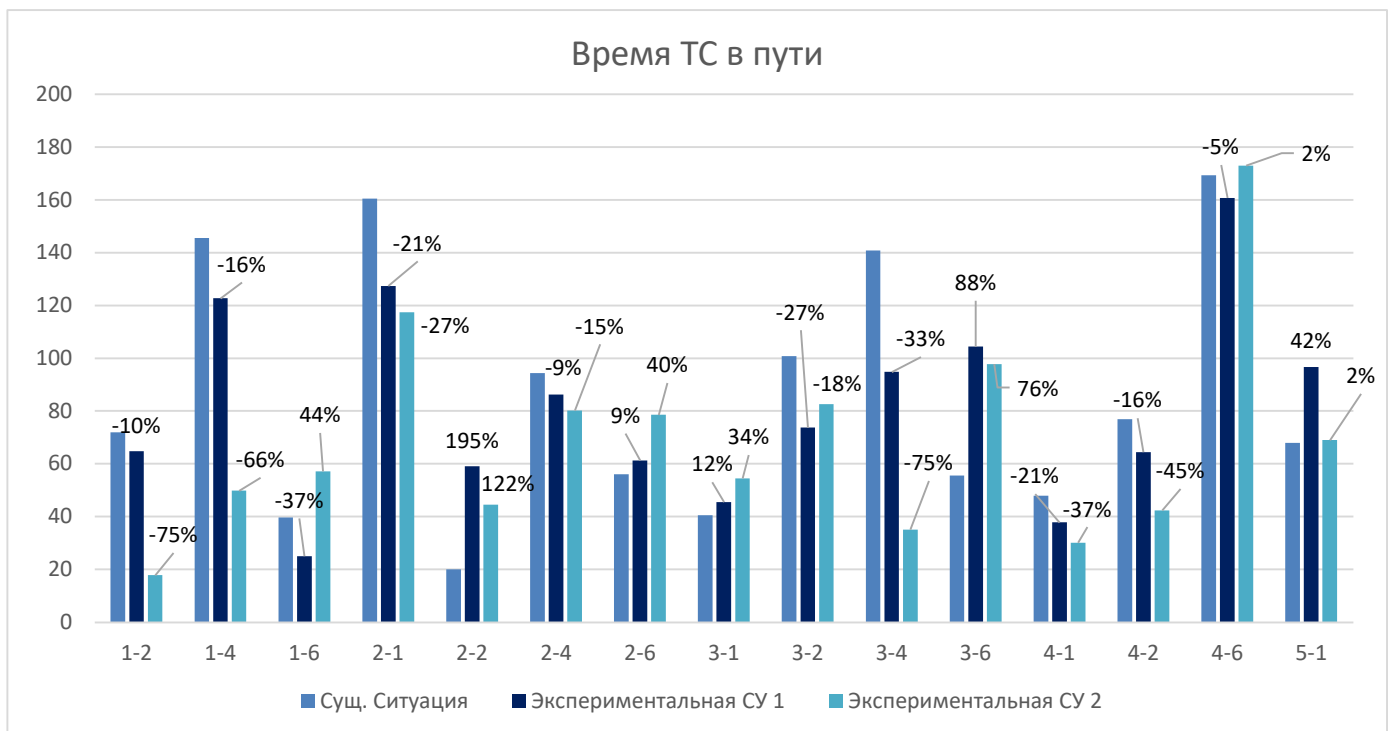


Рис. 9. Время транспортных средств в пути по всем направлениям движения, где i – номер потока

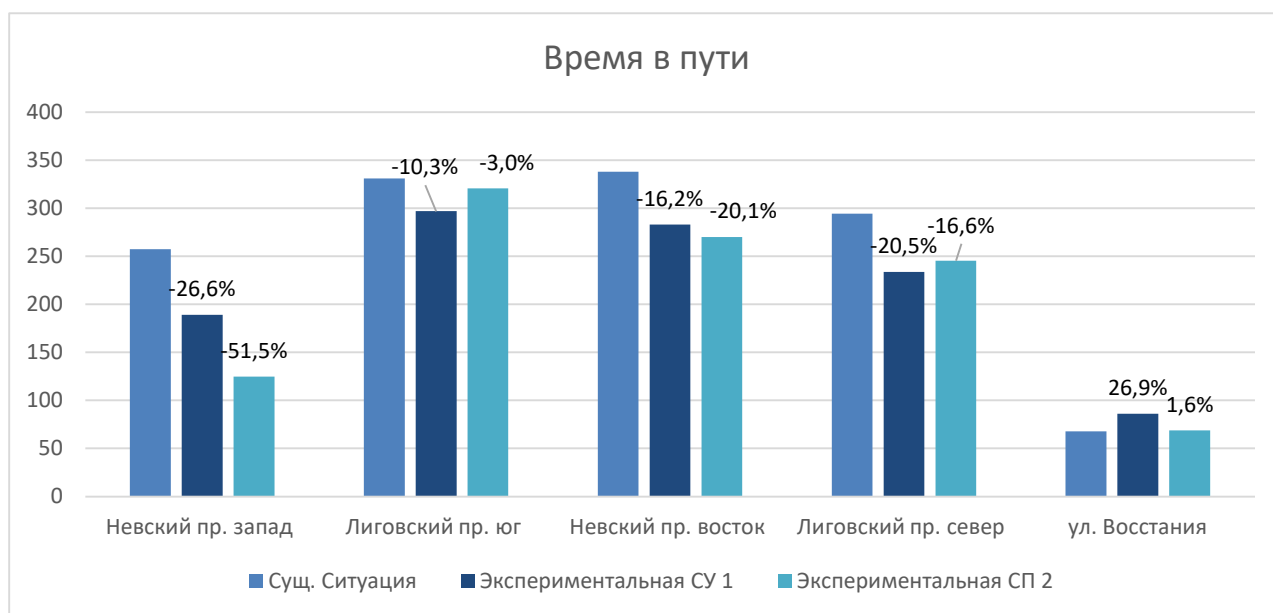


Рис. 10. Время ТС в пути по направления движения

Глядя на рис. 9 и 10 можно заметить, что во время в пути значительно сокращается при использовании обеих экспериментальных СП, за исключением направлений в сторону Гончарной улицы и поворота с улицы Восстания на Невский проспект. Там имеется значительное увеличение данного показателя.

Средняя скорость ТС на таких участках как западная сторона Невского, северная Лиговского проспекта в обоих случаях возрастают, рис. 11. Однако наблюдается значительное падение среднего показателя на восточной стороне Невского проспекта и Гончарной улицы с применением экспериментальной СП №2.

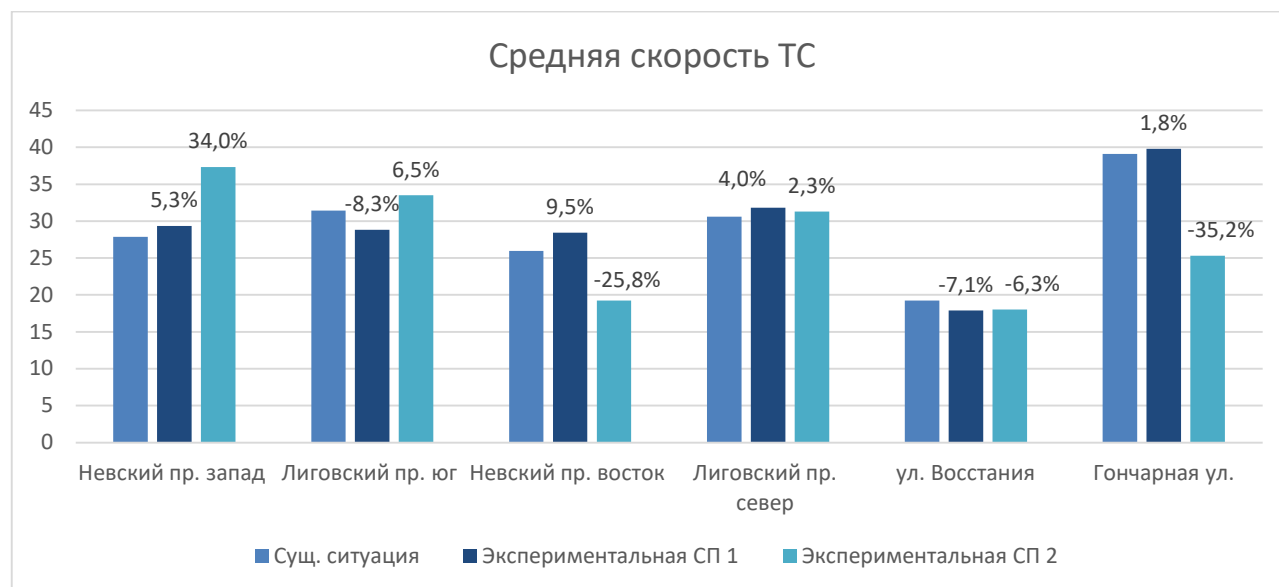


Рис. 11. Средняя скорость ТС на участке

Длина, остановки и время в заторе с применением экспериментальной СП №1 на участке лишь возрастают, рис. 12–14. Применение СП №2 увеличит эти показатели лишь на улице Восстания.

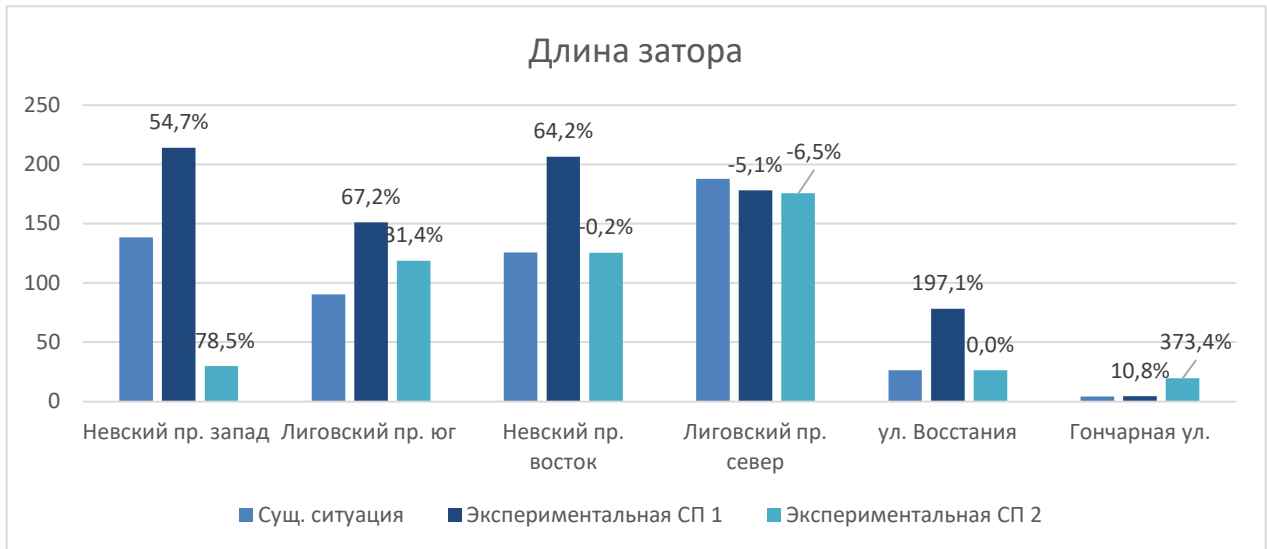


Рис. 12. Длина затора на участке сети

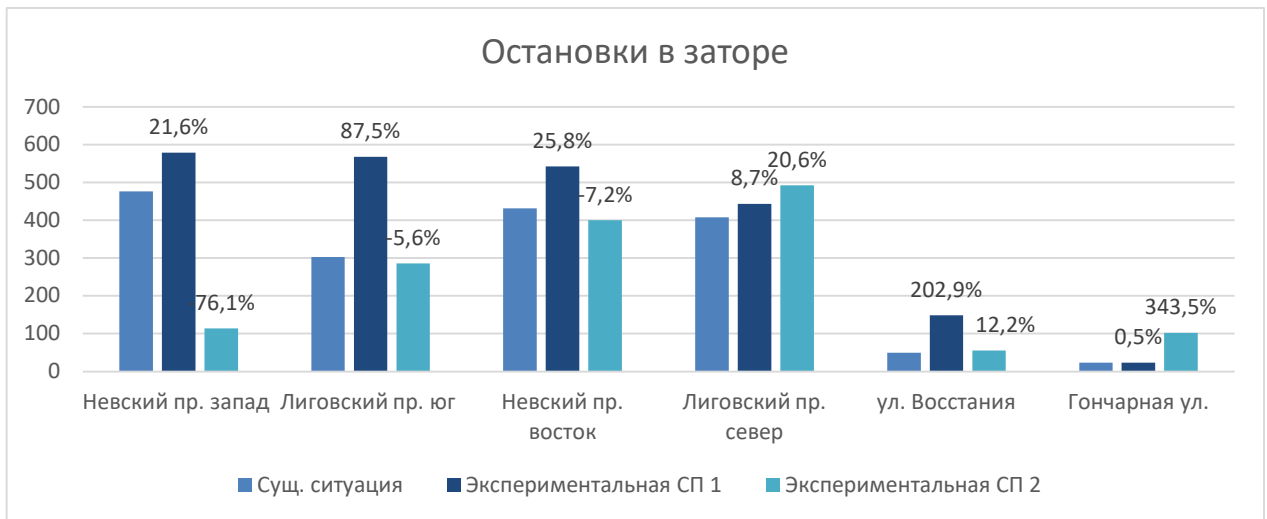


Рис. 13. Количество остановок ТС в заторе

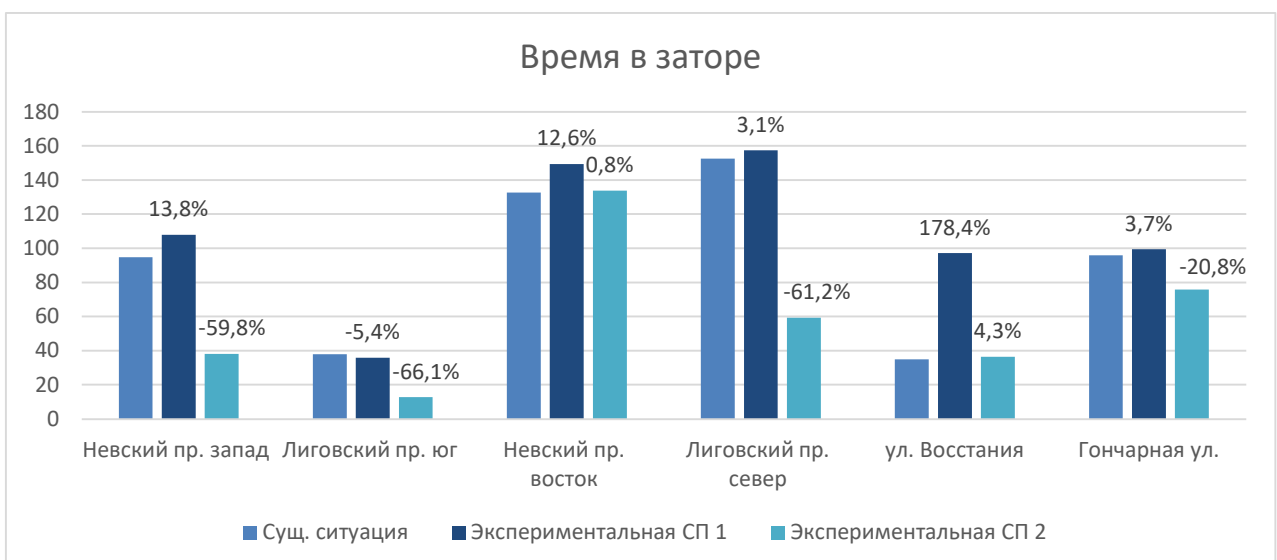


Рис. 14. Время нахождения ТС в заторе



Сравним показатели экспериментальных программ с существующей СП на ТУ, рис. 15.

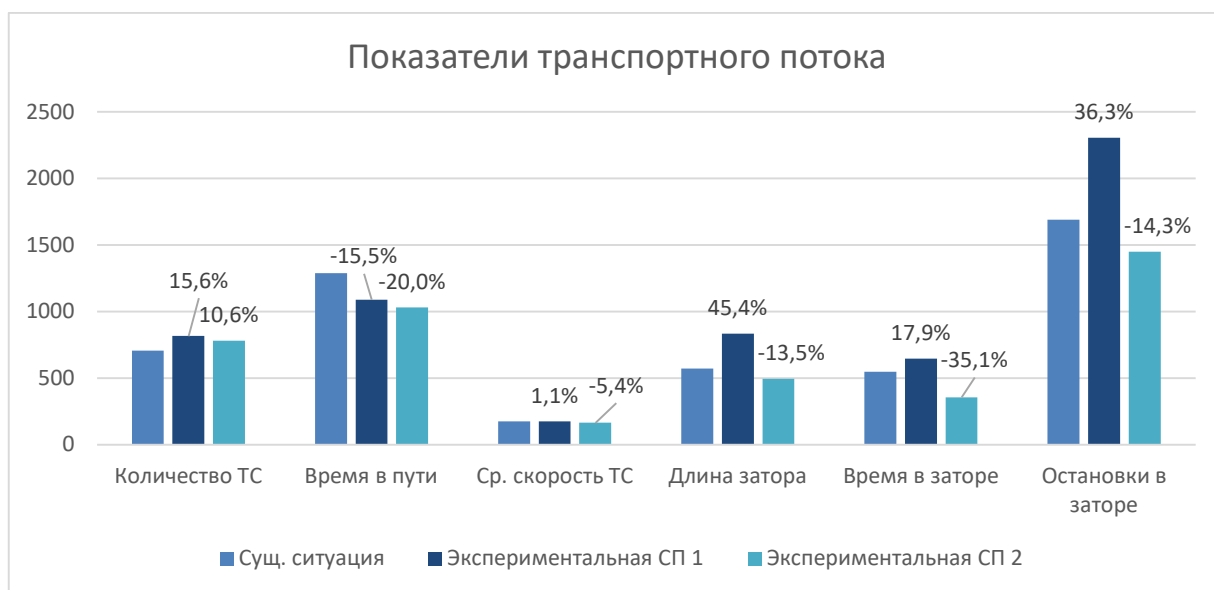


Рис. 15. Показатели ТП на ПТУ Площадь Восстания

Тенденция, в целом, положительная. Экспериментальные СП позволят оптимизировать потоки в ТПУ. Обе СП позволяют увеличивают количество ТП, проходящих через пересечение более чем на 10%, среднюю скорость автомобилей на 1,1% при СП №1 и 5,4% при СП №2. Время в пути за счет изменения организации ДД в обоих случаях уменьшится более чем на 15,5 % и 20%. Однако применение СП №1 увеличит длину на 46% и время в заторе на 17%, вследствие чего увеличится количество остановок на 36%, а применение СП №2 позволит сократить эти показатели на 13%, 35% и 14 % соответственно.

За счет добавления подземных пешеходных переходов и правых поворотов с северной части Лиговского и западной стороны Невского проспектов увеличится пропускная способность их проезжих частей, что положительно скажется на дорожной ситуации. Основываясь на данных, полученных в ходе имитации, произведем расчет уровня загрузки посредством формул (1–4). Результаты расчёта приведены в таблице 3.

Таблица – 3 Результаты расчета уровня загрузки переходных переходов

Уровень загрузки	Пропускная способность, авт./ч.	Интенсивности потока, авт./ч.	Уровень загрузки «до»	Уровень загрузки «после»	Изменения уровня загрузки, %
1 сечение - Невский запад	2040	1750	1,499	0,858	-43%
2 сечение - Лиговский Юг	1245	1650	1,424	1,325	-7%
3 сечение - Невский запад	1950	1284	0,72	0,658	-34,2%
4 сечение- Лиговский север	1905	1219	0,97	0,640	-34%
5 сечение – ул. Восстания	450	316	0,656	0,702	+7%

На основании таблицы 3 можно сделать вывод о том, что ситуация с пропускной способностью немного стабилизируется на всех участках. Установка СП №2 на пересечении



позволит в сечении 1 снизить уровень нагрузки на 43% до $Z=0,58$. Сечение 2 остается перенасыщено ТС сверх нормы, однако уровень загрузки сократится на 7% от того, который присутствует сейчас. Также видна положительная динамика и на западной стороне Невского и северной части Лиговского проспектов, там уровень загрузки падает на 34% до устойчивого состояния ТП. На улице Восстания нагрузка на участок увеличится на 7% до 0,7, но это, в целом, не меняет ситуацию на данном участке.

На первый взгляд строительство подземных пешеходных переходов сможет улучшить транспортную ситуацию, поскольку позволит «убрать» пешеходов, однако во время хода их строительства движение ТС на участке будет перекрыто на длительный период времени, также это потребует значительных финансовых вложений. Перекрытие во время строительства даже отдельных полос движения будет затруднять проезд ТС через участок, образуя длинные пробки особенно в часы «пик». Задача управления движения регулировщиками, либо адаптивного управления светофорами таким образом, чтобы учитывалась актуальную дорожную ситуацию встает на этапе строительства очень остро.

Решением проблемы заторов без огромных финансовых вложений и строительства подземных переходов на участке поможет внедрение АСУДД. Одна из схем АСУДД подразумевает под собой независимую работу интеллектуальных перекрестков по автоматическим алгоритмам с учетом дорожной ситуации, что позволит снизить всем участникам движения временные потери при движении через исследуемый участок за счет оптимизации работы единиц светофорного объекта посредством фиксации и обработка параметров ТП таких как загруженность движения, средняя скорость ТС и заполненность дорожного полотна ТС. Это позволит значительно сократить расходы на фиксацию транспортной инфраструктуры на должном уровне и приведет к росту показателей по безопасности и пропускной способности ТПУ.

Заключение

В данной работе описана методика разработки имитационной модели на микроуровне ТПУ Площадь Восстания в Центральном районе г. Санкт-Петербург в программе PTV Vissim для оценки пропускной способности пересадочного узла.

Собранные в ходе натурных обследований данные по количеству ТС, говорят о том, что уровень загрузки сечений проезжих частей 1, 2 и 4 говорит о предельном насыщении потока автомобилями, что требует изменений в организации ДД. Уровень загрузки пешеходных переходов в часы «пик» не превышает $Z = 0,26$, что говорит о высокой пропускной способности перехода. Однако огромный поток пешеходов, возникший вследствие закрытия станций метрополитена, проведения массовых мероприятий может привести к образованию очередей что также скажется на движении ТП. Очередь из не успевших перейти дорогу пешеходов будет тормозить поток ТС, образуя при этом заторы, увеличивая возможность возникновения ДТП с участием пешеходов.

Решением может выступить строительство пешеходных переходов на западной стороне Невского и Лиговском проспектах и изменение продолжительности цикла СП с увеличением времени горения разрешающего сигнала для более нагруженных направлений на 10 секунд.

Разработанные экспериментальные СП позволят оптимизировать потоки в ТПУ. Обе СП позволяют увеличивают количество ТП, проходящих через пересечение более чем на 10%, среднюю скорость автомобилей на 1,1% при СП №1 и 5,4% при СП №2 в сравнении с существующей ситуацией. Время в пути за счет изменения организации ДД в обоих случаях уменьшится более чем на 15,5 % и 20%. Однако применение СП №1 увеличит длину на 46% и время в заторе на 17%, вследствие чего увеличится количество остановок на 36%, а применение СП №2 позволит сократить эти показатели на 13%, 35% и 14 % соответственно. При этом пропускная способность пешеходов в подземных переходах будет максимальна.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комплексная схема организации дорожного движения Санкт-Петербурга [Электронный ресурс] – URL: <https://clck.ru/gciPf> (дата обращения 19.05.2022).
2. Булавина Л. В. Расчет пропускной способности магистралей и узлов / Учебно-методическое пособие к практическим занятиям дипломному проектированию по курсам: "Городской транспорт", "Городские улицы и дороги" /Л. В. Булавина, Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009 50с.
3. Бахтина, О. Н. Разработка методов расчета и оценки заторовых состояний транспортного потока на улично-дорожной сети городов (на примере г. Краснодара): специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Бахтина Ольга Николаевна. – Волгоград, 2006. – 20 с. – EDN ZNSBXT.
4. Абрамова, Л. С. Способ повышения пропускной способности регулируемых перекрестков / Л. С. Абрамова, В. В. Ширин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – Т. 4. – № 3(46). – С. 62–65. – EDN TLMRAP.
5. Вытяжков Д.В. Целевой поиск управляющих параметров светофорной сигнализации в автоматизированной системе управления дорожным движением //Сборник научных трудов СевКавГТУ. Серия Естественная, Ставрополь – 2004. – №1 (7).
6. Живоглядов, В. Г. Теоретические принципы возникновения и упреждения заторовых состояний на автодорогах / В. Г. Живоглядов, О. Н. Бахтина // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2004. – № 3. – С. 103–105. – EDN NEDTNR..
7. Исаков К. Влияние параметров цикла светофорного регулирования на пропускную способность регулируемых пересечений / К. Исаков, Л. Н. Стасенко, А. Ш. Алтыбаев, Д. Дайырбекова // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2019. – Т. 16. – № 2(66). – С. 146–155. – EDN ZGXIJF.
8. Шимакович, Е. В. Разработка методики моделирования и оценка факторов, влияющих на пропускную способность перекрестков с прилегающим остановочным пунктом / Е. В. Шимакович, П. П. Володькин // Организация и безопасность дорожного движения: Материалы XII Национальной научно-практической конференции с международным участием, Тюмень, 14 марта 2019 года / Ответственный редактор: Д. А. Захаров, Члены редакционной коллегии: Е. М. Чикишев, И. А. Анисимов. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2019. – С. 301–305. – EDN YZKRQT.
9. Клинковштейн Г.И. Организация дорожного движения / Г.И. Клинковштейн, М. Б. Афанасьев Учеб. для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М: Транспорт, 2001 – 247 с.
10. Ford, L. R.; Fulkerson, D. R. (1956). "Maximal flow through a network" (PDF). *Canadian Journal of Mathematics*. 8: 399–404.
11. A+S. Краткое руководство по выполнению проектов в PTV VISIM // Метод. пособие. – М., 2011. – С. 26–87.
12. ГОСТ Р 57412-2017 «Компьютерные модели в процессах разработки, производства и эксплуатации изделий».
13. Изменение схемы движения на пл. Восстания [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/gi83m> (дата обращения 20.05.2022).



ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Андронов Сергей Александрович –

Кандидат технических наук, доцент кафедры системного анализа и логистики

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: andronov_00@mail.ru

Ульвачева Ольга Викторовна –

Магистрант кафедры системного анализа и логистики

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: olga.ulvacgheva@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Andronov Sergey Aleksandrovich –

DtS, associate professor of the department of system analysis and logistics

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

SUAI, 67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

Ulvacheva Olga Viktorovna –

Undergraduate of the department of system analysis and logistics

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

SUAI, 67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: olga.ulvacgheva@mail.ru