



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Экспериментальной физики атмосферы

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)**

На тему «Управление транспортным потоком в городе: оптимизация движения и
снижение заторов на дорогах»

Исполнитель **Иванова Татьяна Игоревна**
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель доктор физико-математических наук, профессор

(ученая степень, ученое звание)
Кузнецов Анатолий Дмитриевич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой ЭФА

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Восканян Карина Левановна
(фамилия, имя, отчество)

«20» 05 2025 г.

Санкт-Петербург
2025

Содержание

Введение	4
1 Заторы на дорогах: причины их образования	6
1.1 Дорожные заторы: общая информация	6
1.2 Изучение механизмов образования заторов на дорогах	8
1.2.1 Влияние антропогенных факторов на появления заторов на дорогах	9
1.2.2 Влияние метеорологических факторов на появления заторов на дорогах	15
2 Методы ликвидации дорожных заторов	26
2.1 Увеличение пропускной способности дорог	27
2.2 Усовершенствование полос	28
2.3 Расширение дорог	28
2.4 Доступ к дорогам	28
2.5 Ограничение стоянки	29
2.6 Другие методы	30
2.7 Ликвидация влияния метеорологического фактора на образования заторов	31
3 Особенности микроклимата Санкт-Петербурга и его районов	34
4 Применение методики расчета плотности потока и расчетной скорости ТС при различных метеорологических условиях для участка дороги	41
4.1 Первый этап методики. Нахождение значений расчетной скорости	41
4.2 Этап второй. Расчет интенсивности дорожного потока	44
4.3 Этап третий. Расчет плотности потока	50
4.4 Этап четвертый. Расчет тормозного пути для разного вида покрытия	51

5 Исследование влияния метеорологических явлений на плотность движения ТС в районе мостовой переправы	56
Заключение	78
Список использованных источников	80

Введение

С каждым годом количество машин в мегаполисах растет, что не может не влиять на образования заторов на дорогах. Поэтому проблема организации дорожного движения на данный момент является самой сложной и насущной, особенно для крупных городов.

Причиной дорожных заторов являются не только дорожно-транспортные происшествия и ремонтные работы на дорогах, но и различные метеорологические явления, которые значительно ухудшают восприятие дороги у водителей и сцепные качества автомобиля с дорожным покрытием. Появление таких явлений как туман, метель, ливень и др. приводят к значительному снижению скорости движения и, как следствие, к увеличению потока на участке дороги.

Вопрос отслеживания и влияние метеорологических параметров на дорожную ситуацию очень сложный и до сих пор не имеет конкретных решений. Однако, не смотря на это в некоторых европейских странах, например, в Германии или России на дорогах используются дорожные метеорологические станции и комплексы, которые помогают нам прогнозировать погодные условия и быстро применять необходимые меры для ликвидации последствий неблагоприятных погодных условий [1].

Целью данной работы является оптимизация движения и снижение заторов на дорогах Санкт-Петербурга.

Для достижения цели были выполнены следующие задачи:

- изучение основных механизмов образования и ликвидации дорожных заторов;
- рассмотрение климатических особенностей районов Санкт-Петербурга;
- изучение методик нахождения расчетных характеристик:

интенсивности движения, расчетной скорости, плотности потока, тормозного пути и коэффициента сцепления при различных состояниях поверхности дорожного покрытия;

- выбор дорожного участка, исследование прилегающих к нему улиц на вероятность появления дорожных заторов;

- получение для дорожного участка и прилегающих к нему улиц расчетных характеристик движения полученных с помощью перечисленных методик;

- анализ полученных результатов, подведение итогов.

1 Заторы на дорогах: причины их образования

1.1 Дорожные заторы: общая информация

Дорожный затор – совокупность транспортных средств (далее ТС), движущихся со средней скоростью, значительно меньшей, чем рекомендуемая скорость на данном участке.



Рисунок 1.1 – Дорожный затор перед Большеохтинским мостом, июль 2020

Дорожные заторы («пробки») – весьма распространенное явления, особенно в мегаполисах и крупных городах. Так, например, 23 июля 2020 года в Санкт-Петербурге были зафиксированы огромные по длительности заторы (рис. 1.1). Были загружены мосты города из-за репетиции парада ко Дню ВМФ. Загруженность составляла от 8 до 10 баллов, что на 4 пункта выше обычного. Пробка возникла из-за перекрытия многих центральных улиц, а также разведённых мостов.

Рассмотрим вопросы, связанные с образованием дорожных заторов и их устранением. Для этого обратимся к теории трёх фаз Кернера, которая была

разработана Борисом Кернером с 1996 по 2002 (рис 1.2) [2] .

Фаза F (free flow) – свободно движущийся поток автомобилей, в котором расстояние между ТС превышает безопасную дистанцию, и водитель может выбрать скоростной режим в пределах допустимого на данном участке дороги.

Фаза S (synchronized flow) – движущийся поток автомобилей на безопасной дистанции друг от друга, скорость движения зависит от плотности потока.

Фаза J (фаза jam) – движущийся поток автомобилей, в котором скорость близка или равна 0 км/ч [5].

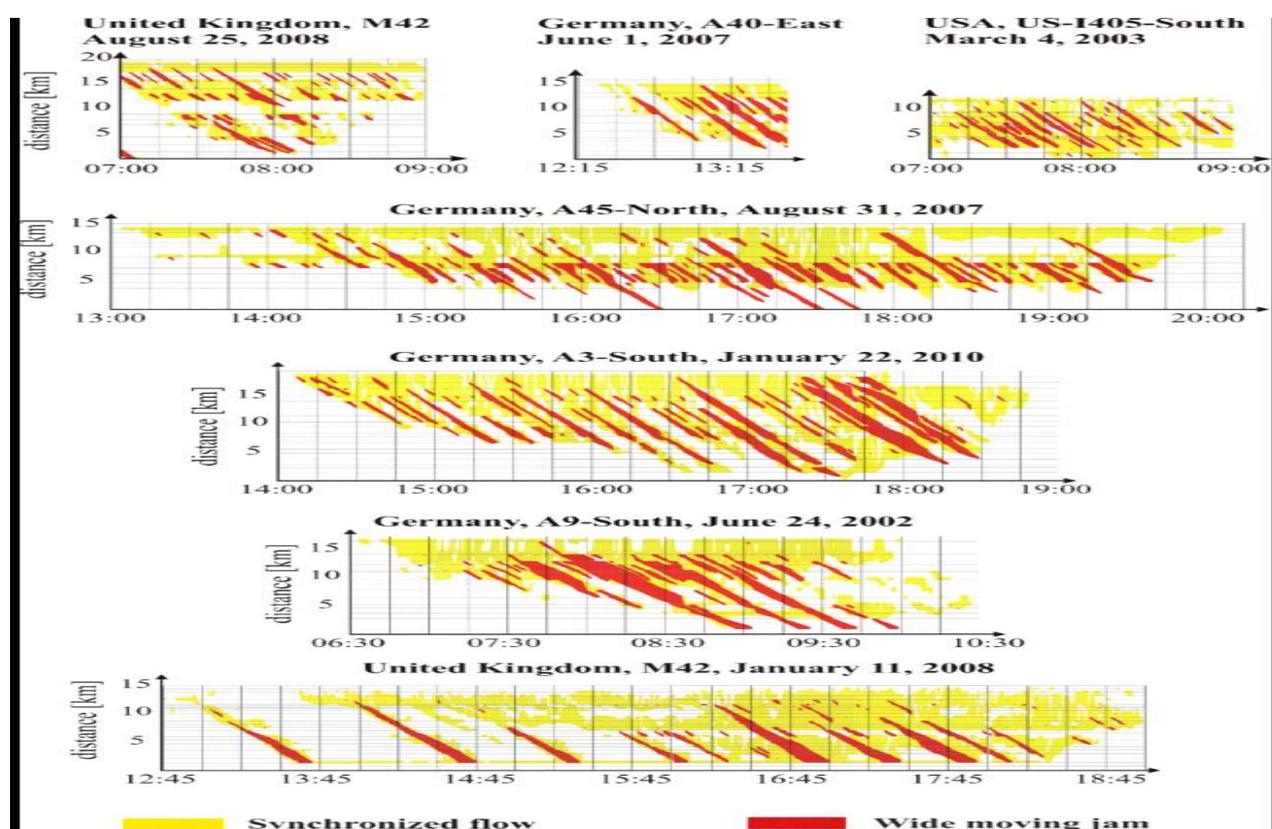


Рисунок 1.2 – Визуальное представление теории трёх фаз Кернера, реконструированные с помощью моделей ASDA/FOTO

На рис. 1.2 красные пятна относятся к фазе J, желтые к фазе S, а белые промежутки к фазе F.

Причиной снижения скорости потока и его уплотнения является любое сужение транспортного полотна (bottleneck).

1.2 Изучение механизмов образования заторов на дорогах

Рассмотрим основные количественные характеристики, описывающие автомобильный поток.

Пропускная способность дороги - метрическая характеристика, которая показывает соотношение предельного количества ТС в единицу времени для данного участка дороги в одном или двух направлениях. Еще одной важной характеристикой транспортного потока является плотность транспортного потока (Q) [6].

$$Q = V * \rho \quad (1)$$

где, Q - интенсивность движения (авт/ч)

V – скорость движения (км/ч)

ρ – плотность потока (авт/км)

Известно, что в фазе S плотность потока будет определяться следующей формулой:

$$\rho = \frac{1000}{l_6 + l_a} \quad (2)$$

где, l_6 – безопасная дистанция между ТС, м

l_a – средняя длина автомобиля, м.

Динамика образования заторов зависит от средней плотности потока машин и может быть разделена на категории по величине параметра ρ (рис. 1.3) [5].

Условиями снижения пропускной способности дорог можно считать следующие факторы:

- час пик, праздники, перекрытия улиц;
- места дорожно-транспортных происшествий;
- наличие перекрестков, большого количества светофоров, пешеходных переходов, железнодорожных переездов;
- плохое состояние покрытия дорожного полотна;
- метеорологические явления и их последствия.

1. Для полосы движения $\rho < 8$ авт/км - свободное движение.
2. Для полосы движения ρ 8-15 авт/км - образуются очереди машин за грузовиками.
3. Для полосы движения ρ 15-25 авт/км - плотный поток, но без очередей, или стоп-волн.
4. Для полосы движения ρ 25-55 авт/км - стоп - волны.
5. Для полосы движения $\rho > 50$ авт/км - несколько участков дороги со стоящим трафиком разделены регионами, где поток движется медленно

Рисунок 1.3 – Категории плотности потока

1.2.1 Влияние антропогенных факторов на появления заторов на дорогах

Одна из самых распространенных причин возникновения заторов на дорогах – движение в час пик, праздники или объезд перекрытых из-за ремонта улиц участков дороги.

Самые продолжительные заторы обычно фиксируются с 8:00 до 10:00 часов утра и с 17:30 до 19:30 часов вечера.

На рисунке 1.4 изображен график отражающий загруженность дорог Санкт-Петербурга в течение рабочего дня летом и в зимний период [2].

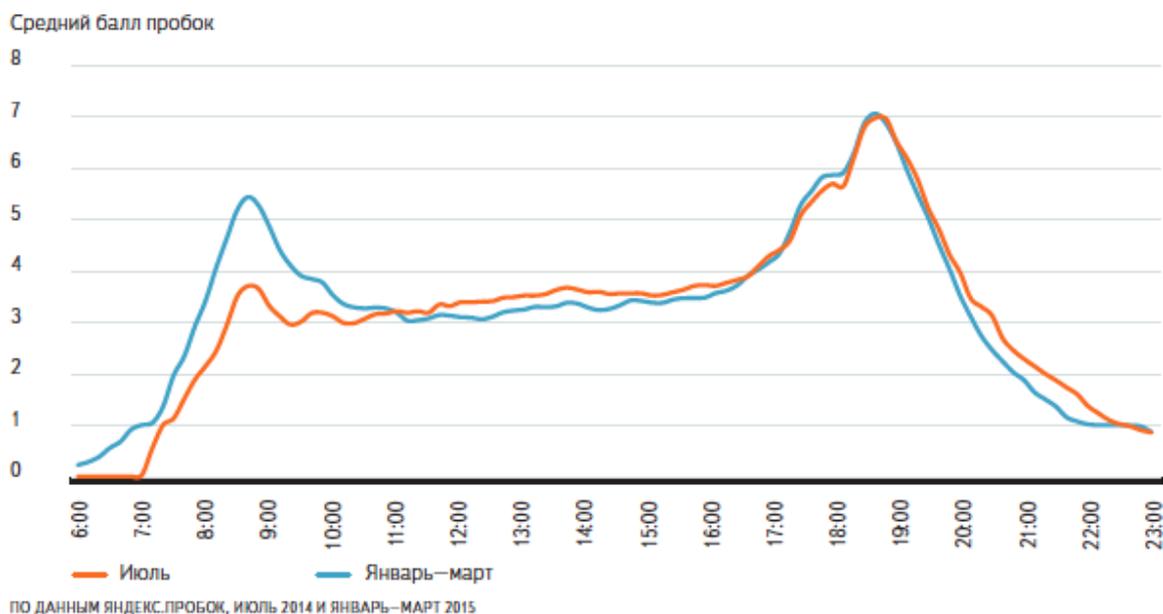


Рисунок 1.4 – Загруженность дорог Санкт-Петербурга в течение рабочего дня:
оранжевая линия – загруженность в течении всего дня за июль;
синяя линия – загруженность в течение всего дня с января по март

Можно отметить, что зимой заторов на дорогах гораздо больше и они более продолжительны по сравнению с летним периодом. В зимний период заторы обычно наблюдаются с 6:00 до 9:00 часов утром и с 17:00 до 19:00 часов вечером. В зимний период раннее появление заторов связано с тем, что люди везут детей в учебные заведения, а потом сами едут на работу. Летом же заторы начинаются позднее: с 7:00, так как дети на каникулах. Вечером заторы снова достигают 7 баллов. Так же необходимо отметить, что с 11:00 до 17:00 эксплуатация ТС в зимний период по сравнению с летним уменьшается. Это связано с тем, что люди предпочитают использовать общественный транспорт вместо личного [3].

На рисунке 1.5 представлена статистика загруженности Санкт-Петербурга в утреннее время (с 7:30 до 9:30). Для статистики использовано 3 цвета: зеленый – заторы менее 10 минут, оранжевый – заторы 10 минут и красный – заторы от 10 минут и более.



Рисунок 1.5 – Карта транспортной загруженности районов Санкт-Петербурга с 7:30 до 9:30

В утреннее время больше всего от заторов страдает окраина города, дороги не справляются с количеством ТС. В красной зоне утром находятся такие районы как, Лисий Нос, Парголово, Новое Девяткино, Мурино, Всеволожск, Кудрово и Сосновый Бор. Оранжевый цвет окрасил такие районы как: Кировский, Московский, Фрунзенский, Невский, Красногвардейский, Калининский, Петроградский, Василеостровский. Цент города свободный.

На рисунке 1.6 представлена статистика загруженности Санкт-Петербурга в вечернее время (с 17:00 до 19:00). Для статистики использовано 3 цвета: зеленый – заторы менее 10 минут, оранжевый – заторы 10 минут и красный – заторы от 10 минут и более.



Рисунок 1.6 – Карта транспортной загруженности районов Санкт-Петербурга с 17:00 до 19:00

В вечернее время красная зона распространилась ближе к центру. В красной зоне утром находятся такие районы как, Лисий Нос, Выборгский района, Парголово, Новое Девяткино, Мурино, восточная часть Красногвардейского района Всеволожск, Янино, Кудрово, Металлострой, Колпино, Шушары, Сосновый Бор, Новоселье и Стрельно. Оранжевый цвет остается на северной части Кировского, северной части Московский, северной части Фрунзенский, западной части Невский, западной части Красногвардейский, южной части Калининский, Петроградский, Василеостровский. Цент города свободный.

Как можно заметить, что больше всего от пробок страдают окраины города. Эта карта показывается, что дороги, соединяющие центр города с его окраинами, не справляются с потоком ТС.

Ещё одним распространенным фактором появления заторов на дорогах является дорожно-транспортное происшествие (ДТП). Неосторожность водителей, невнимательность, плохие условия становятся причинами больших пробок. 2 октября 2024 года на Московском шоссе столкнулись 2 фуры, что вызвало скопления огромного количества машин на трассе (рис. 1.7, 1.8) [4].

К 18:30 2 октября 2024 загруженность участка Московского шоссе оценивается в 8 баллов, что на 2 балла превышает норму в это время в среду. Причиной аварии стала неаккуратность водителей двух грузовых автомобилей, в результате которой один взял недостаточный радиус для поворота, другой – надеялся проскочить. В результате столкновения двух грузовиков была перекрыта вся трасса.



Рисунок 1.7 – ДТП на Московском шоссе



Рисунок 1.8 – Пробка на Московском шоссе

Следующим фактором, влияющим на наличие заторов на дорогах, являются ремонтные работы. Образование длительных заторов в данной ситуации появляется в результате перекрытия или сужения большого участка улицы. В надежде объехать перекрытую часть города водители маневрируют, поэтому соседние улицы становятся перегруженными и перестают справляться с потоком ТС (рис. 1.9).



Рисунок 1.9 – Появление больших заторов из-за перекрытия набережной реки Фонтанки

Все выше перечисленные факторы образования заторов на дорогах являются антропогенными. Ликвидация антропогенных факторов решается внимательностью водителя, аккуратным вождением ТС и грамотным управлением городскими потоками.

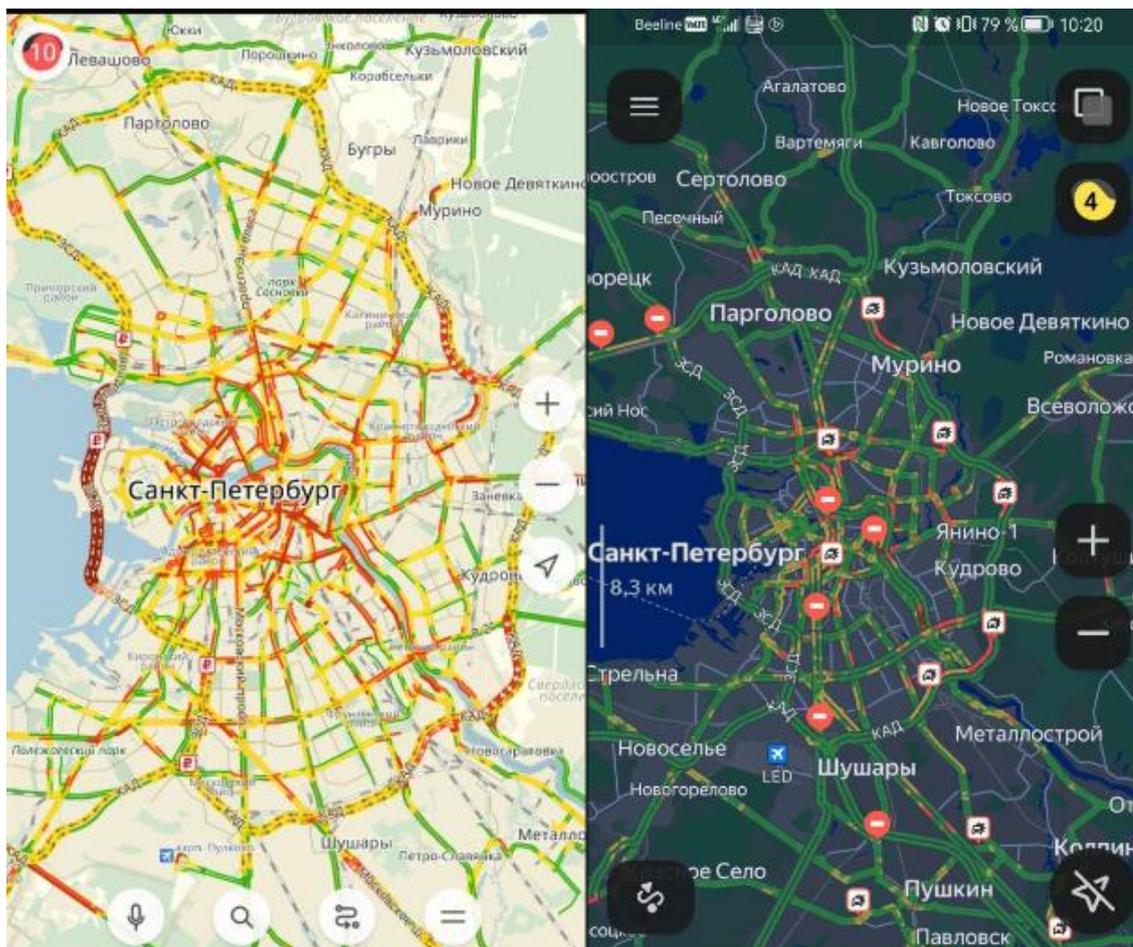
Однако есть еще один фактор, на который человек повлиять не может – это метеорологический фактор.

Вопрос ликвидации заторов достаточно трудный и до сегодняшнего дня на него никто не может ответить точно. Ликвидировать метеорологические условия возникновения заторов на дорогах города гораздо сложнее, чем антропогенные факторы. Последствия атмосферных явления предотвратить возможно, а предотвратить сами атмосферные явления – нет.

1.2.2 Влияние метеорологических факторов на появления заторов на дорогах

Мы живем в местности, которая богата опасными для дорог метеорологическими явлениями: плохая видимость из-за тумана или осадков, гололед, черный лед, вода после дождя в колее, сужение дороги из-за снегопада, град, ветер. Все это очень усложняет жизнь водителям и становится причиной опозданий.

Для иллюстрации влияния метеорологических факторов на возникновение заторов в городе рассмотрим рисунок 1.10.



а)

б)

Рисунок 1.10 – Сравнение загруженности города

а) снежный день; б) день без снега

Как можно заметить в снежный день (рис. 1.10а) наблюдалось несколько крупных заторов на таких дорожных участках, как ЗСД, КАД и центральный район города, где скорость автомобильного потока было приближена к 0 км/ч (эти места обозначены темно-бордовой линией), также был сильно закружен центр. Тогда как в день без снега (рис. 1.10б) количество заторов заметно меньше, а имеющиеся обусловлены аварийными ситуациями на КАД и перекрытием участков дорог в центре.

Также рассмотрим фрагменты рисунка 1.11. за представленный год наблюдалось 2 дня, во время которых были зафиксированы сильные осадки, в

результате которых было затруднено движение: вторая половина июня балл пробок составлял 6 баллов и вторая половина сентября, где балл пробок составил 5,5 баллов [4].



Рисунок 1.11 – Влияние дождя на дорожную обстановку на трассе.

Рассмотрим все метеорологические явления, которые могут усугубить обстановку на дорогах [7].

1. Туман

Туман – скопление в приземном слое воздуха маленьких капель или ледяных кристалликов, снижающих дальность видимости до 1 км и менее. Туманы часто становятся причиной снижения скорости ТС и, как следствие, заторов (рис. 1.12).

В нашем городе туманы довольно частое явление, так как Санкт-Петербург находится на берегу Финского залива и стоит на болотах. Высокая влажность, температура выше 10°C летом, ниже -10°C зимой являются идеальными условиями возникновения туманов.



Рисунок 1.12 – Дорожная пробка, вызванная туманом

На рисунке 1.13 представлен годовой ход числа дней с туманом, где под цифрой 1 это годовой ход туманных дней над морем, 2 – в устьях северных рек, 3 – в глубине континента. Для нашего региона характерны как ситуация 1, так и ситуация 2. Возникновения туманов наблюдаются с конца летнего сезона до середины зимы.

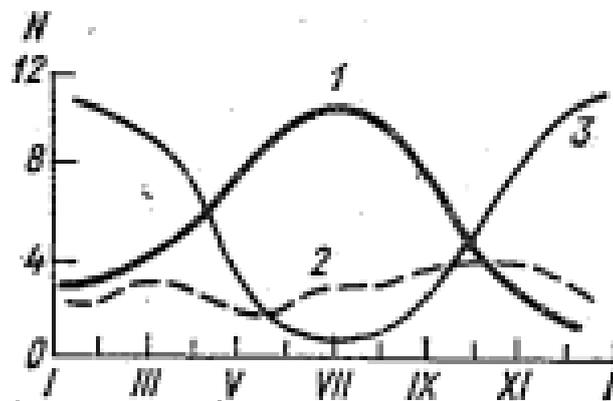


Рисунок 1.13 – Годовой ход числа дней с туманом (N) в различных географических районах.

2. Ливень

Ливень (проливной дождь) – это метеорологическое явление, во время которого выпадает огромное количество осадков за промежуток времени. На рисунке 1.14, представлена карта дорожной обстановки во время ливня.

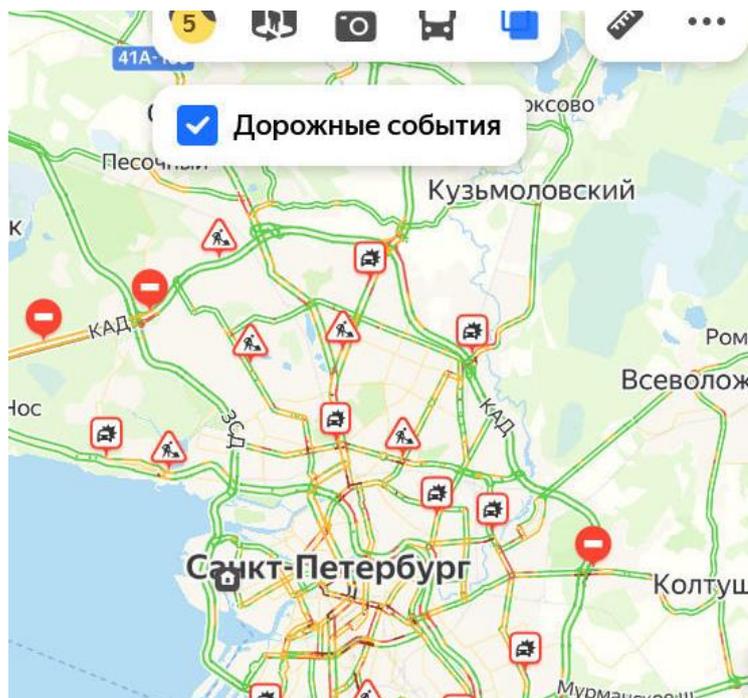


Рисунок 1.14 – Образовавшиеся заторы в результате проливного дождя

Во время ливня нужно быть как можно внимательнее, так как помимо плохой видимости, ухудшается сцепление между автомобильным колесом и асфальтовым покрытием. Колесо также может попасть в колею с водой, и водитель может потерять управление (аквапланирование).

3. Гололед

Гололед является разновидностью атмосферных осадков, выпадающий в виде плотной корки льда. Чаще всего наблюдается при температуре от 0°C до -10°C. Гололед является одним из факторов аварий и заторов на дорогах из-за

ухудшения сцепления между колесом ТС и дорожным покрытие. На рисунке 1.15, представлена карта дорожной обстановки во время гололеда.



Рисунок 1.15 – Дорожные пробки, вызванные гололедом

4. Черный лед

Пожалуй, одним из самых коварных атмосферных явлений можно назвать черный лед. Опасен этот лед тем, что не виден на дорогах.

Черный лед – это влага, замерзшая на чистом черном дорожном покрытии при переходе температуры через ноль. Покрытие при этом выглядит влажным, чистым и неестественно черным. Водителю очень сложно определить: дорога просто влажная или действительно обледеневшая (рис. 1.16).

Черный лед часто появляется на дорогах, когда температура воздуха днем немногим выше нуля, воздух влажный, идет дождь или изморось, а вечером температура опускается чуть ниже нулевой отметки. Из-за повышенной влажности мельчайшие частицы воды оседают на дорогу и образуют тоненькую водяную пленку. Этот вид обледенения появляется не на

самом дорожном покрытие, а на дорожной пыли. Этот лед не примерзает к дороге и при соприкосновении с колесом автомобиля начинает двигаться.



Рисунок 1.16 – Черный лед на дорогах

5. Метель

Метель – это метеорологическое явление, во время которого выпадает огромное количество кристаллизованных осадков. В совокупности с сильным ветром это явление является очень опасным как для водителей, так и для пешехода. Дальность видимости резко падает, образуются сугробы на дорогах, ухудшается сцепление колес и асфальтового покрытия.

Так, например, вечером в понедельник, 27 ноября, в Петербурге наблюдалась большая загруженность дорог из-за метели. По данным сервиса «Яндекс.Пробки», ситуация к 20:00 достигла отметки в десяти баллов (рис. 1.17). Заторы возникли во всех районах Северной столицы. Усложняют обстановку аварии. С 15:00 27 ноября до 9:00 28 ноября объявлен «жёлтый» уровень опасности из-за усиления ветра и снегопада. Это второй уровень опасности из четырёх, который означает потенциально опасную погоду.

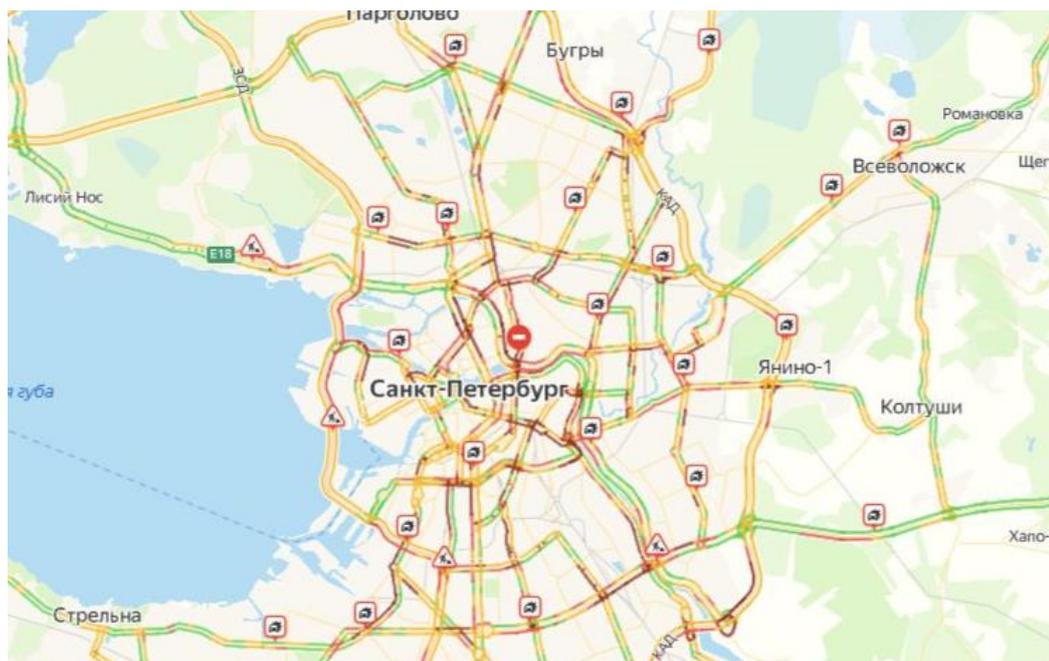


Рисунок 1.17 – Автомобильные пробки возникшие в результате метели

Нельзя забывать про такую характеристику, как температура асфальтового покрытия. Резкие перепады температуры или ее экстремальные значения значение сильно влияют на характеристики дорожного полотна.

Из-за изменения температуры изменяется и коэффициент расширения и сжатия. Если произойдет резкий нагрев с -20°C до -5°C , то воздушные пустоты, которые содержатся в любом асфальтовом покрытии, начинают активно расширяться. А если произойдет охлаждение с 40°C до 25°C , то они наоборот начинают, сокращается. Эти действия приводят к деформации асфальта, в результате которой происходят искажения асфальтовой поверхности.

Что бы избежать деформации покрытия, температура поверхности покрытия тщательно контролируется. Это делается с помощью датчиков дорожных АМС (рис. 1.18): контактных, которые устанавливаются в покрытие или бесконтактных – в непосредственной близости к дороге.



Рисунок 1.18 – Дорожные автоматические метеорологические станции

Контроль температуры дорожного покрытия производится также с целью прогнозирования возникновения гололеда, гололедицы и других видов скользкости для предотвращения их последствий при движении ТС.

Для этой цели используют результаты термокартирования – температурных карт участков дорог. Однако этот метод является наиболее дорогостоящим, а создание статистически значимой базы требует длительного

времени, поскольку для создания температурных карт передвижная лаборатория (рис. 1.19) должна проходить участки дорог при разных погодных условиях и в разное время суток.



Рисунок 1.19 – Мобильная лаборатория для термокартирования

Данные термокартирования в совокупности с данными дорожных метеорологических станций и использованием различных прогностических моделей позволяют создать сеть виртуальных станций для визуализации температурных параметров на дороге (рис 1.20) [12].

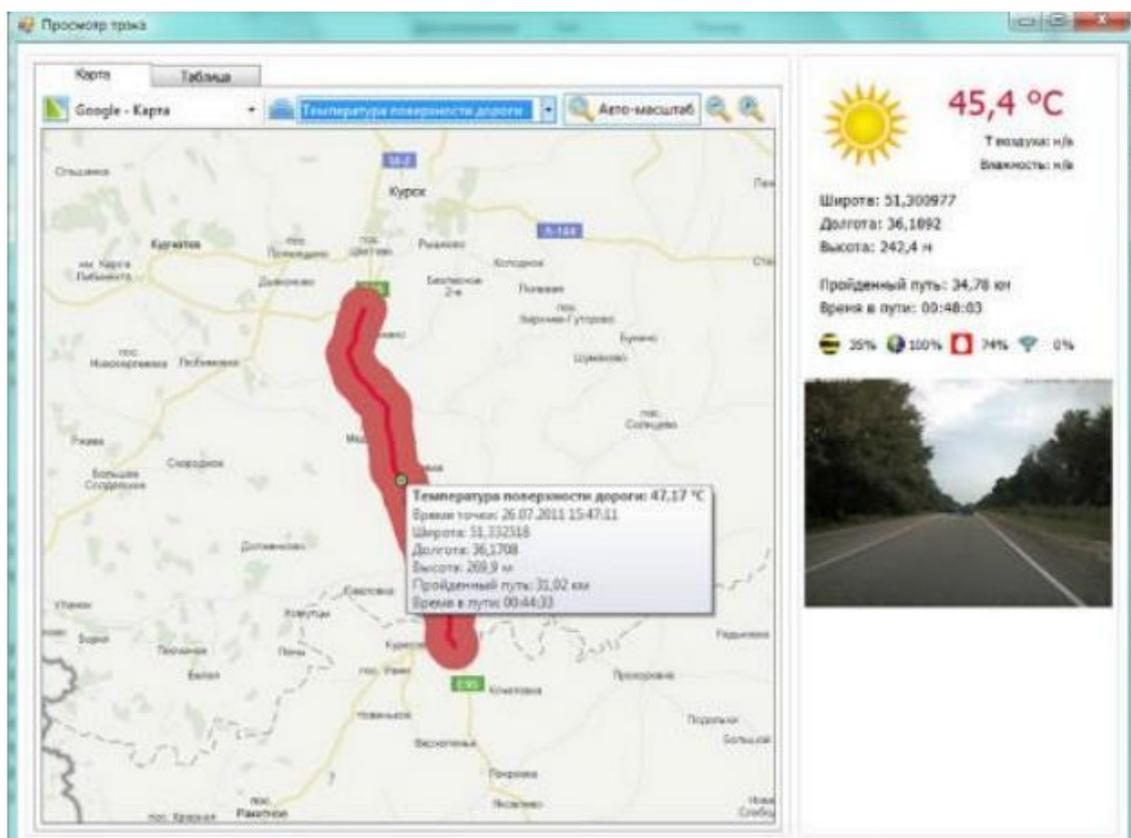


Рисунок 1.20 – Визуализация температурных параметров с помощью станций

Несмотря на перспективность применения результатов термокартирования, в связи с вышеперечисленными причинами уровень использования этой процедуры на данный момент недостаточен, что не позволяет применять возможности термокартирования в полной мере [15].

2 Методы ликвидации дорожных заторов

Ликвидация дорожных заторов – очень сложный и актуальный вопрос. Трудность решения данной проблемы связано с тем, что учесть все возможные факторы, влияющие на создание заторов невозможно. Однако несмотря на это методы ликвидации дорожных заторов есть, но эти методы учитывают только несколько факторов образования заторов.

Меры предотвращения заторов на дорогах можно разделить на 7 категорий (рис. 2.1) [6].

- увеличение пропускной способности дорожного участка;
- оптимальный скоростной режим движения;
- оповещение водителей о наличие дорожного затора, его длительности и причине образования;
- предотвращение аварийных ситуаций;
- альтернативные средства передвижения;
- оповещение о метеорологические условия
- замена рабочих мест или перевод на дистантанционного режим работы

Рисунок 2.1 – Категории мер предотвращения заторов

2.1 Увеличение пропускной способности дорог

Самую большую провозную способность на дорогах имеет общественный транспорт. И для того чтобы снизить вероятность попадания этого вида транспорта в заторы необходимо обеспечить корректное расписание поездок для каждого рейса, стабильную работу транспорта и оптимально разрешенную скорость.

2.2 Усовершенствование полос

К методу усовершенствования полос в первую очередь относится выделение отдельных полос для движения общественного транспорта (автобусов, трамваев, такси и т.д.), велосипедов (рис. 2.2). Введение полос с переменным направлением, которые будут разгружать основные полосы в час пик или при ином затруднении движения ТС.

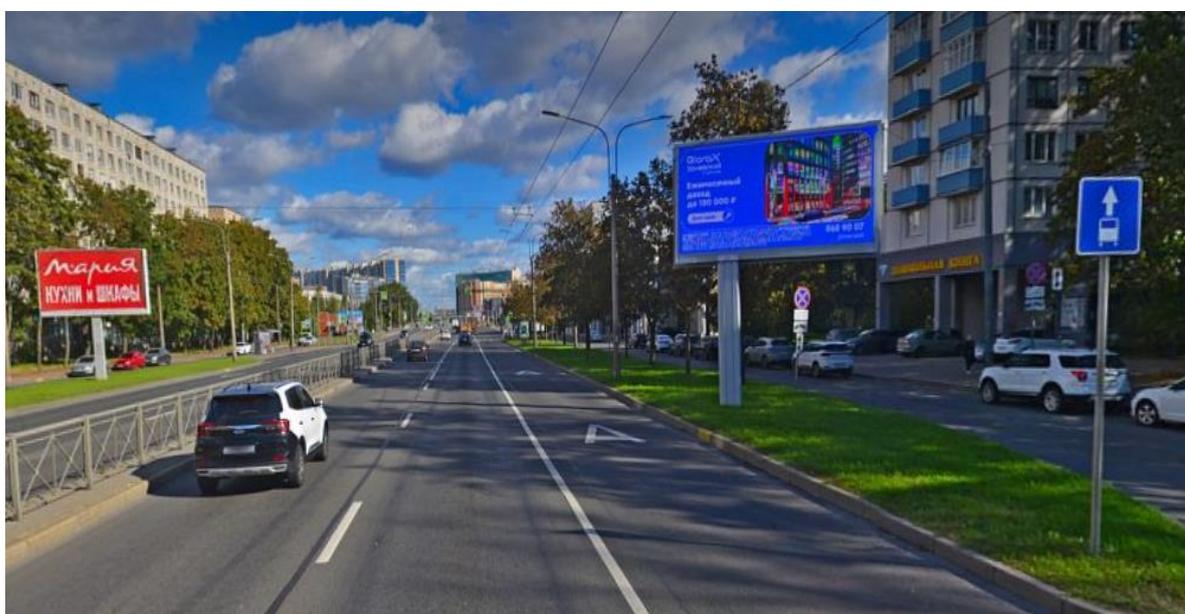


Рисунок 2.2 – Выделенная полоса для общественного транспорта

Надо отметить, что к выделению полос для общественного транспорта надо подходить ответственно и предварительно проводить оценку интенсивности дорожного движения. Необходимо, чтобы эти полосы действительно разгружали улицы города, а не создавали дополнительные заторы связанные с перестроением легкового или общественного транспорта из крайней правой в крайнюю левую полосу.

К данному методу можно отнести и уменьшение количества перекрестков и светофоров, а также перенос пешеходных переходов под землю или над дорогой.

2.3 Расширение дорог

Один из самых затратных способов ликвидации заторов на дорогах – это создание новых полос и направлений. Однако согласно постулату Льюиса-Могриджа (1990), этот метод неэффективен при устранении заторов на дорогах. Ведь чем больше строится дорог, тем больше образуется транспорта.

2.4 Доступ к дорогам

Дороги должны обеспечиваться комфортными въездами и съездами, особенно это касается дорог, ведущих от больших жилых комплексов (рис. 2.3).

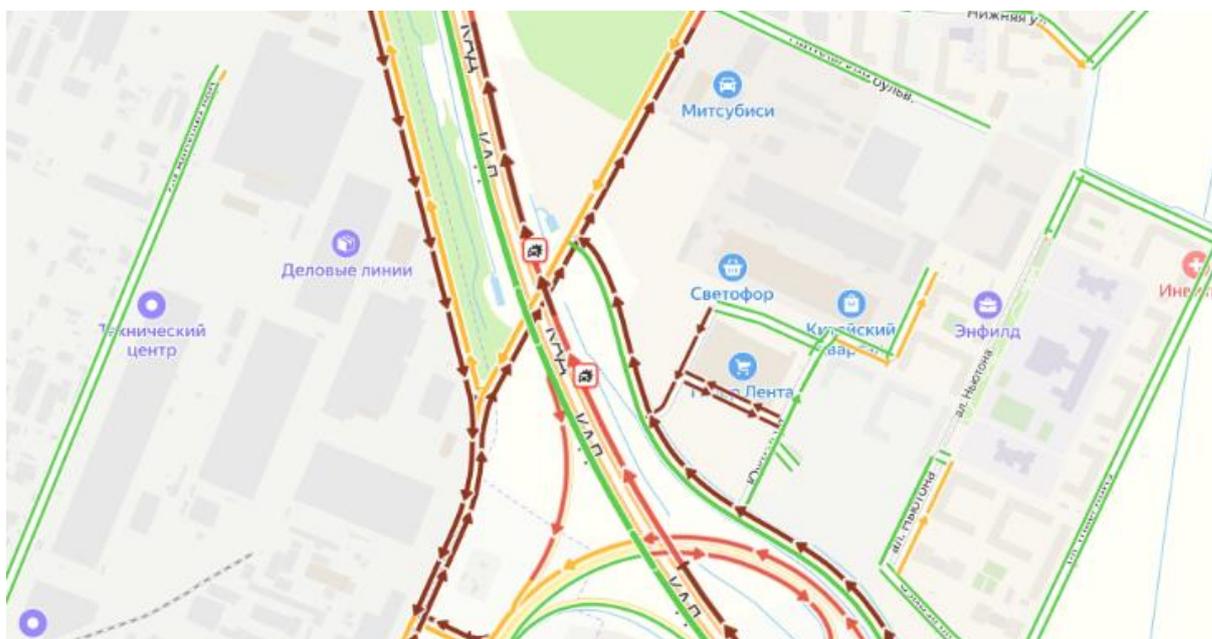


Рисунок 2.3 – Дорожный затор при выезде из Мурино

2.5 Ограничение стоянки

Ограничение стоянки – это один из наиболее распространенных методов в черте города (рис. 2.4). Ограничение стоянки может быть, как постоянное, так и временное (например, запрет может быть только по рабочим дням). Однако при применении такого метода необходимо обеспечить альтернативные парковочные места, например, на отдельно вынесенной стоянке.

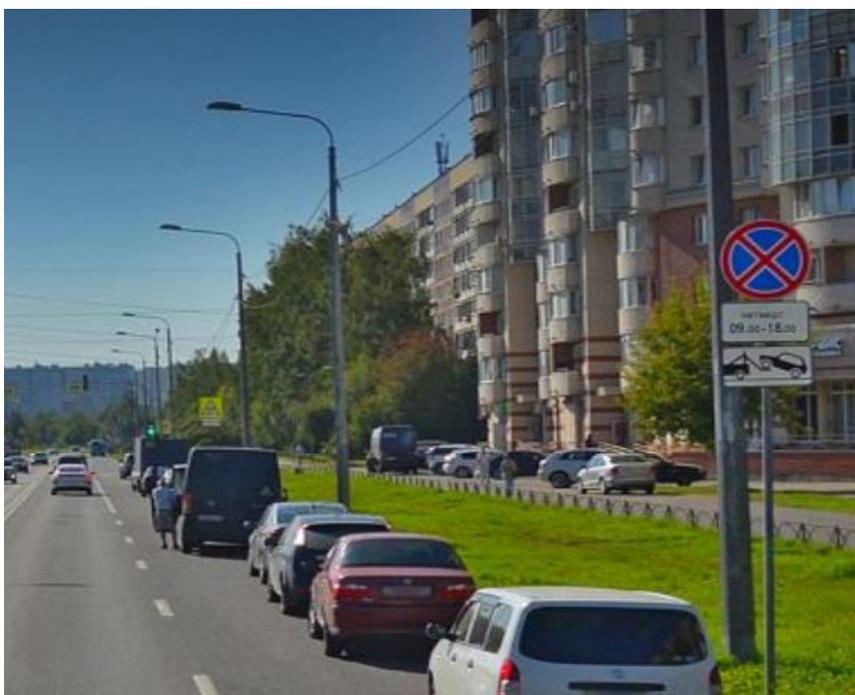


Рисунок 2.4 – Ограничение стоянки

К ограничениям доступа следует подходить с соответствующей осторожностью: введение слишком строгих запретов нередко приводит к тому, что становится сложно следить за их соблюдением, и к тому же даёт почву для злоупотреблений.

2.6 Другие методы

Распространение дорог с односторонним движением. Этот метод хорошо действует в старых районах города или в центре. Однако в данном методе есть очень большой недостаток, доступ ко многим кварталам и дворам будет затруднен.

Можно оптимизировать скоростной режим. Например, при неблагоприятных метеорологических условиях на дорогах применяют снижение максимальной скорости. Более низкая скорость позволяет предотвратить аварийную ситуацию на дороге и позволит водителю более эффективно затормозить при экстренной ситуации. Этот метод практикуется на КАД.

Многие сейчас ездят с помощью навигатора, так как в нем есть функция показа дорожных заторов. Устройство позволяет видеть длительность и протяженность пробки, варианты объезда затора, а также его причину. Помимо этого навигатор дает возможность отмечать места ДТП и рекомендации от других водителей. Часто используемый навигатор в РФ – «Яндекс.Пробки» (рис 2.5).

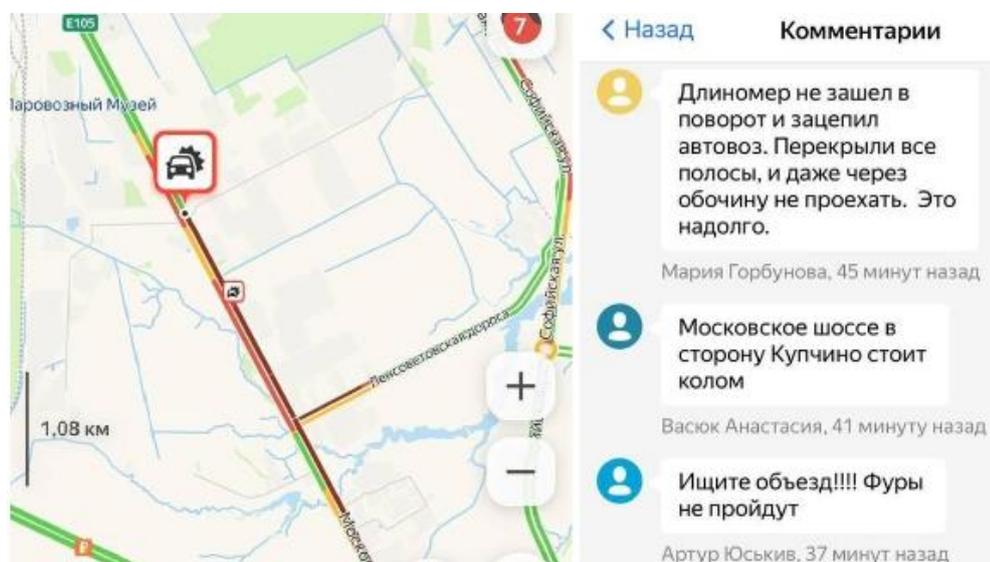


Рисунок 2.5 – Дисплей Яндекс навигатора с окном комментариев

2.7 Ликвидация влияния метеорологического фактора на образования заторов

Методы ликвидации заторов, образовавшихся в результате различных метеорологических условий, рассмотрим отдельно.

Метеорологический фактор нельзя исключить, нельзя убрать и он не зависит от людей. Именно поэтому ликвидировать этот фактор крайне сложно, а порой невозможно. Чтобы ликвидировать заторы, возникшие по причине метеорологических явлений необходимо опираться на точный прогноз погоды, а так же быстрое реагирование дорожных и коммунальных служб.

Проблему возникновения дорожных заторов из-за атмосферных осадков можно решить несколькими способами.

Один из них – усовершенствование дождевой канализации (ливневка) используется для быстрого вывода дождевой воды в городе и за его пределами. Её также используют для отвода подземных вод (рис 2.6).



Рисунок 2.6 – Дождевая канализация

Создание биотрясин. Биотрясины – искусственные неровности, которые создаются на дорогах и во дворах для направления стока дождевых вод. Однако данный способ не удобен для создания его в пределах города.

Также можно обратить внимание на проектировку улиц в городах и на крупных автомагистралях с уклоном (рис 2.7). Дорожное полотно наносится под углом примерно 20° , чтобы вода не скапливалась на дороге, а уходила в ливневку [11].



Рисунок 2.7 – Уклон дорожного полотна на кольцевой автомобильной дороге

Для отвода воды с дорожного покрытия можно использовать проницаемое покрытие. Для этого метода используется специальный пористый асфальт, если на дорожном полотне лежит плитка, то между ними создаются небольшие зазоры, чтобы через них уходила вода. Данный метод используется в плотно застроенных районах.

Основной проблемой ликвидации последствий метеорологических явлений на дороге является один синоптический прогноз на весь город. Санкт-Петербург достаточно большой город и некоторые его районы имеют свои климатические условия,

Единственное метеорологическое явления, которое очень трудно ликвидировать – туман, однако наш город находится в той местности, где туманы достаточно редкое явление и от него дорожное движения не сильно страдает.

Для ликвидации гололеда необходимо подобрать правильные реагенты, которые бы при контакте с поверхностью не генерировали пену.

Рассмотрим микроклимат Санкт-Петербурга и его районов подробнее.

3 Особенности микроклимата Санкт-Петербурга и его районов

Гидрометцентр дает общий прогноз на весь город, а в реальности поскольку город большой, то в разных районах будет наблюдаться разная погодная ситуация [8].

Перед тем, как предложить возможные методы ликвидации дорожных заторов, рассмотрим климатические особенности Санкт-Петербурга и его районов (рис. 3.1, 3.2).

Город расположен в умеренном климатическом поясе возле границы Атлантико-арктической и Атлантико-континентальной области умеренного климатического пояса. Климат Санкт-Петербурга является континентального, следовательно, ему характерны мягкие зимы и умеренно теплое лето.

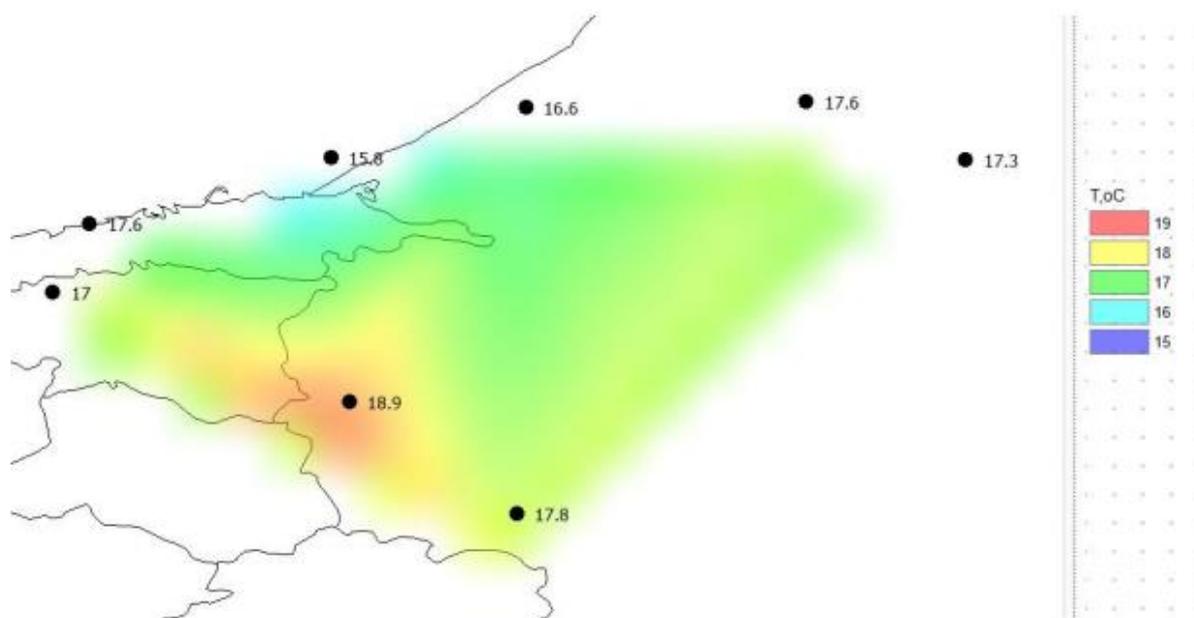


Рисунок 3.1 – Распределение многолетних температур за июль (1900-2018 г.) в Санкт-Петербурге и области

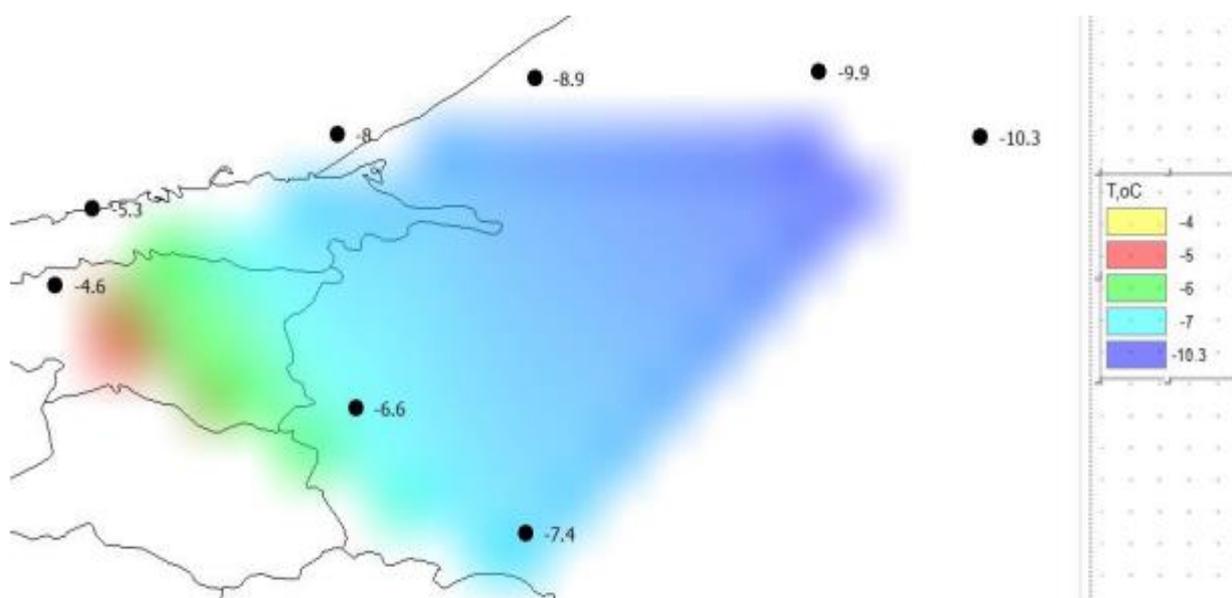


Рисунок 3.2 – Распределение многолетних температур за январь (1900-2018 г.) в Санкт-Петербурге и области

Как можно увидеть из рисунков 3.1 и 3.2 летом в городе и области наблюдается повышение температуры, как и характерно, направленное с севера на юг. Самая высокая температура будет наблюдаться над регионом Кингисеппа, самая низкая над территорией Финского залива. На территории Санкт-Петербурга летом средняя многолетняя температура воздуха составляет $+17^{\circ}\text{C}$

Зимой изменения температуры имеет обратный ход, температура падает с юга на север. На территории Санкт-Петербурга средняя многолетняя температура равна -7°C .

Как можно увидеть из рисунков 3.3 и 3.4 в городе и области летом наблюдается достаточно большое количество осадков. Максимум приходится на южную часть Ленинградской области (81 мм/мес). В Санкт-Петербурге летом в период с 1900 по 2018 года количество многолетних осадков составило 76,2 мм/мес, при норме в 83,4 мм/мес.

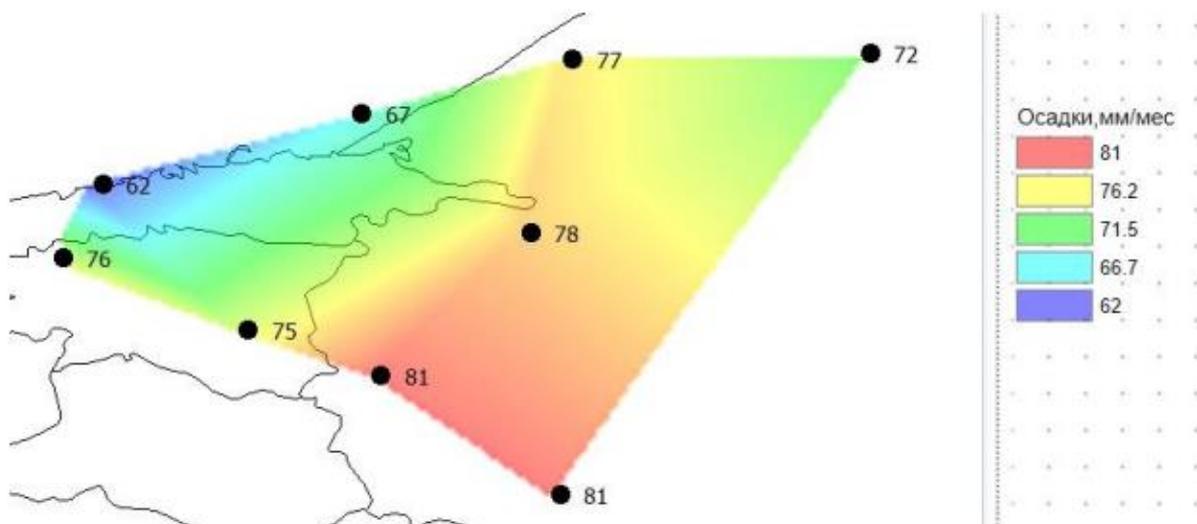


Рисунок 3.3 – Распределение многолетних осадков за июль (1900-2018 г.) в Санкт-Петербурге и области

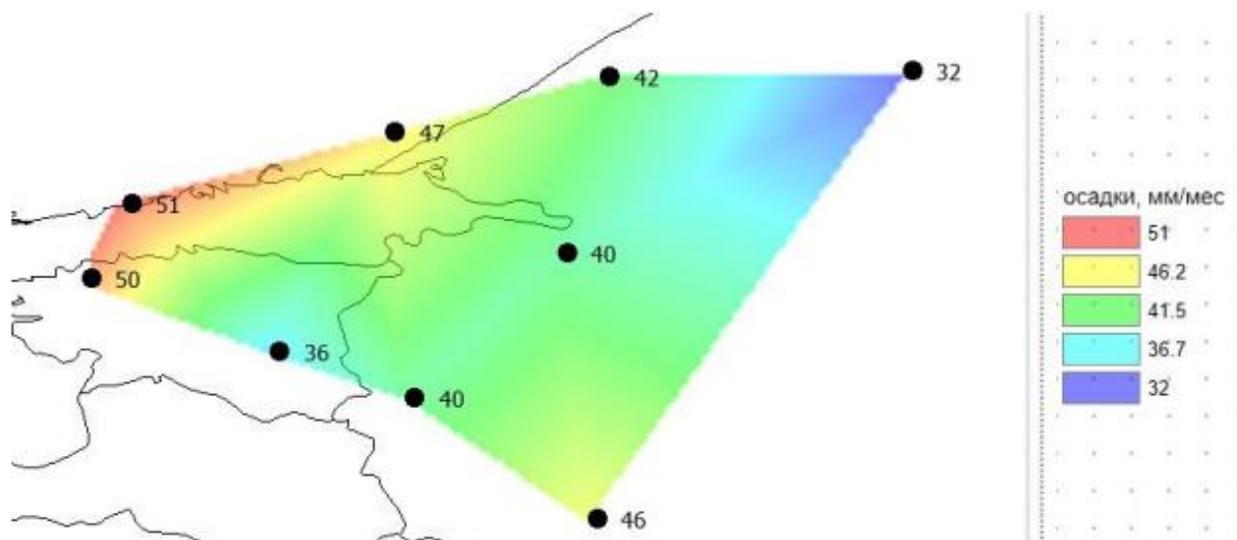


Рисунок 3.4 – Распределение многолетних осадков за июль (1900-2018 г.) в Санкт-Петербурге и области

Зимой количество осадков значительно меньше, максимум приходится на западную часть Финского залива (южное побережье Финляндии). В Санкт-Петербурге наблюдалось 40 мм/мес, при норме в 46,4 мм/мес.

Конечно климатические данные – это осредненные значения за многолетний период, а погодные условия имеют тенденцию меняться во времени и по площади не только от года к году. Даже в течение одного дня погода может резко отличаться не только в разных районах Ленинградской области, но и в разных районах города.

На микроклимат нашего города оказывает влияние множество факторов: с запада – Финский залив; с северо-востока Ладожское озеро и не стоит забывать, что Санкт-Петербург строился на болоте на берегах одной из самых быстрых равнинных рек – Невы. Именно эти факторы влияют на то, что в районах города формируется свой микроклимат. Санкт-Петербург можно разделить на 3 климатические зоны (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 – Микроклиматические районы Санкт-Петербурга

1. Зона 1

К первой зоне относятся Кронштадтский, Приморский, Петроградский, Василеостровский, Адмиралтейский, Кировский, Красносельский районы. Первая зона является самой холодной зоной Санкт-Петербурга, это обусловлено тем, что рядом находятся холодные воды Финского залива. Помимо низких значений температуры со стороны Финского залива приходит сильный, холодный ветер (до 26-28 м/с) (рис. 3.5). Над заливом также часто формируются облачные массивы, что связано с испарением.



Рисунок 3.5 – Скорости ветра в зоне 1 и зоне 3

2. Зона 2. Центральный район

В центре города (зона 2) обычно теплее, чем на окраинах города. Это можно объяснить таким эффектом, как «остров тепла». Прогрев идет за счет большего количества зданий, которые при нагревании долго могут удерживать

тепло и минимального количества зеленых насаждений. Летом разница значений температуры между центром и пригородами может достигать 2-3°C, а зимой увеличиваться до 10-12°C.

3. Зона 3

Третья зона включает в себя Выборгский, Калининский, Красногвардейский, Невский, Фрунзенским, Московский районы. Районы зоны 3, как правило, теплее западных и северных. Так между северными и южными районами температура может отличаться почти на 4°C. Такое распределение значений температуры обусловлено наличием западных ветров, которые нагреваются, проходя через центральные районы города. Ещё одной причиной является удаленность от моря.

Кроме того в южной части города чаще всего преобладает облачность, из-за которой практически отсутствует выхолаживание (рис. 3.6). Это значит, что южные районы города менее подвержены образованию гололёда на дорогах.

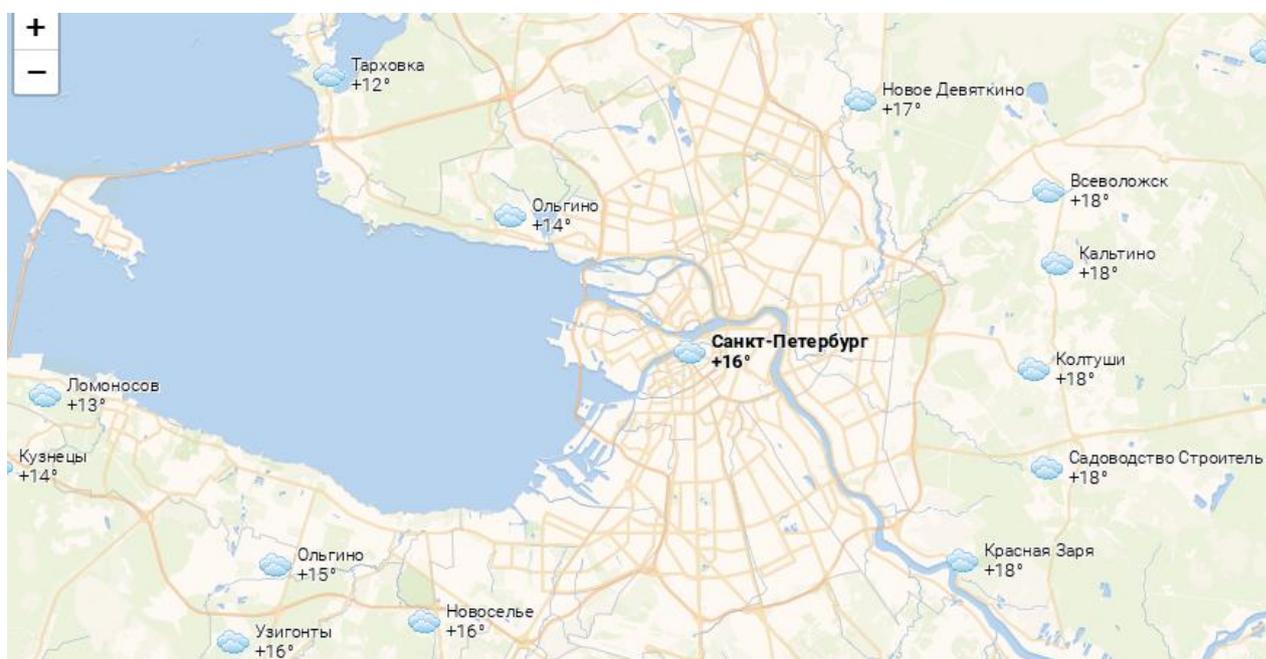


Рисунок 3.6 – Различие температурного режима разных районов

Поэтому введение синоптического прогноза для районов города значительно бы улучшило работу дорожных и коммунальных служб. В зимний период года позволило бы ускорить быстроту реакции коммунальных служб и экономить реагенты для устранения зимней скользкости, которые они используют.

4 Применение методики расчета плотности потока и расчетной скорости ТС при различных метеорологических условиях для участка дороги

Методика для расчета плотности потока и расчетной скорости очень сложна, так как на образование заторов на дороге влияет очень много факторов, которые нельзя поместить в одну методику. Именно поэтому, в работе будет рассмотрена методика, позволяющая получить результаты нужных величин только при влиянии метеорологического фактора.

Данная методика состоит из трех этапов.

4.1 Первый этап методики. Нахождение значений расчетной скорости

Первый этап заключается в получении значений расчетной скорости. Для этого необходимо использовать формулу 3 [13].

$$V_{pc} = K_{pc} * V_{max}, \quad (3)$$

где, V_{pc} – расчетная скорость,

K_{pc} – коэффициент обеспеченности расчетной скорости,

V_{max} – максимально разрешённая скорость.

Расчетная скорость будет показывать максимально безопасную скорость передвижения ТС при различной метеорологической обстановке. Коэффициент обеспеченности расчетной скорости будет указывать на то, как сильно будет оказывать то или иное метеорологическое явление на расчетную скорость.

Значения коэффициента обеспеченности расчетной скорости Kx_j находятся по формуле 4.

$$Kx_j = 1P_1 + 0.75P_2 + 0.5P_3, \quad (4)$$

где, P_1, P_2, P_3 - вероятность появления атмосферного явления.

Расчет значений расчетной скорости выполнялся для нескольких ситуаций на дорогах:

- ситуация первая. Ясная погода. Дорожное полотно сухое и нескользкое (сцепление между дорогой и колесом ТС максимально), атмосферные осадки отсутствуют, дальность видимости максимальная (10000 метров).

- ситуация вторая. Дождливая погода. Дорожное полотно мокрое (сцепление между дорогой и колесом ТС средняя, при попадании колеса в колею уменьшается до 0), дальность видимости уменьшается до 500 метров

- ситуация третья. Снежная погода. Дорожное полотно находится под снежным покровом (сцепление с дорогой стремится к 0), так как рассматривается снегопад средней интенсивности, то дальность видимости будет варьироваться от 500 м до 1000 м.

- ситуация четвертая. На дорожном покрытии образовался гололед. Сцепление с дорожным покрытием стремится к 0. Дальность видимости максимальная (10000 метров).

- ситуация пятая. Туман, покрытие слегка влажное, дальность видимости уменьшается до 100 метров

Результаты расчета представлены на рисунке 4.1.

При отсутствии метеорологических данных о погодных явлениях можно воспользоваться таблицей 4.2 «Коэффициент обеспеченности расчетной скорости ТС»

атмосферные явления	Январь	Июнь
дождь		0,7
снегопад	0,60	
гололед	0,75	
туман	0,78	

Рисунок 4.1 – Результат расчета по формуле 4

Таблица 4.1

Коэффициент обеспеченности расчетной скорости ТС

Метеорологические факторы	Кр.с	Степень опасности	Интенсивность метеофакторов для скоростей км/ч				
			150	120	100	80	60
Метель, м/с	1.0-0.75	МО	0-3	0-3	0-3	0-3	0-3
	0.75-0.5	О	3-9	3-9	3-9	3-9	3-9
	<0.5	ОО	>9	>9	>9	>9	>9
Гололед (коэффициент сцепления)	1.0-0.75	МО	-	-	-	-	-
	0.75-0.5	О	-	0.2-0.4	0.2-0.35	0.2-0.3	<0.2
	<0.5	ОО	<0.3	<0.2	<0.15	<0.15	<0.15
Дождь мм/ч	1.0-0.75	МО	-	-	-	-	<0.2
	0.75-0.5	О	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.2-1.2
	>0.5	ОО	>0.2	>0.2	>0.2	>0.2	>1.2
Снегопад мм/ч	1.0-0.75	МО	-	-	<0.1	<1.5	<1.5
	0.75-0.5	О	<0.1	<0.1	0.1-1.0	0.15-1.5	1.5-2.5
	>0.5	ОО	>0.1	>0.1	>1.0	>1.5	>2.5
Туман ,видимость, м	1.0-0.75	МО	>350	>500	>250	>200	>100
	0.75-0.5	О	170-350	200-500	150-250	100-200	70-100
	>0.5	ОО	<170	<200	<150	<100	<70

Результаты вычисления значений расчетной скорости для ТС при различных метеорологических явлениях представлены в таблице 4.2 [17].

Расчетная скорость ТС при различных атмосферных явлениях

Атмосферное явление	ясно	дождь	снегопад	гололед	туман
Значение расчетной скорости км/ч	60	42	36	45	46

Самая низкая расчетная скорость для ТС была найдена при гололеде, скорость будет больше на 18 км/ч при снежном покрытии, при тумане расчетная скорость для ТС будет составлять 36 км/ч, а при дожде 45 км/ч. При ясной погоде скорость ТС будет равна максимально разрешенной.

Максимально разрешенная скорость в городе без искусственных ограничений (ремонт дороги) составляет 60 км/ч.

4.2 Этап второй. Расчет интенсивности дорожного потока

На значения интенсивности дорожного потока влияет очень много факторов начиная от дорожных характеристик и заканчивая количеством проживающих рядом с дорогой людей. Интенсивность можно рассчитать по формуле 5 [9].

$$N_{ij} = \frac{P_p * K_c * Q_l * V_l * t_l * K_l}{1000 * L_{пр}^a} + \frac{P_p * K_c * Q_a * V_a * t_a * K_a}{1000 * L_{пр}^a} + \frac{P_p * K_c * Q_g * V_g * t_g * K_g}{1000 * L_{пр}^a}, \quad (5)$$

где N_{ij} – ожидаемая среднегодовая суточная интенсивность движения на участке дороги между двумя точками (i и j), авт./сут.;

P_p – суммарная приведенная численность населения на участке между двумя точками, (жит.);

K_c – коэффициент связанности точек i и j , определяемый в зависимости от их административной значимости и подчиненности;

V_l, V_a, V_g – средняя скорость движения легковых автомобилей, автобусов и грузовых ТС в эталонных условиях, соответственно (км/ч);

Q_l, Q_a, Q_g – существующий или перспективный уровень насыщения территории легковыми автомобилями, автобусами и грузовыми ТС, соответственно (авт./1000 жит.);

t_l, t_a, t_g – средняя продолжительность рабочего дня в сутки для легковых ТС, автобусов и грузовиков (ч/сут);

K_l, K_a, K_g – коэффициент, характеризующий эксплуатацию легковых ТС, автобусов и грузовых ТС;

$L_{пр}$ – приведенное расстояние между двумя точками, (км);

a – показатель степени, используемый при расчете интенсивности движения грузовых автотранспортных средств.

Определение показателей, используемых для расчета интенсивности движения соответствующих типов автотранспортных средств [10].

1. Суммарная приведенная численность населения P_p

$$P_p = \left(\ln \left(\frac{P_{max}}{P_{min}} \right) + 2 \right) * P_{min} \quad (6)$$

где, P_{max} – максимальная суммарная численности населения

P_{min} – минимальная суммарная численности населения

2. Определение коэффициента связанности населенных пунктов (рис 3.2)

3. Коэффициент, характеризующий пользование легковыми автомобилями в будние дни K_l

$$Kл = 1 - (Dn + Dp) \quad (7)$$

где Dn – доля автомобилей, не используемых из-за технических неисправностей (при отсутствии данных можно принимать равной 0,15);
 Dp – половина доли автомобилей, используемых для выезда на дачные участки в период с апреля по октябрь, а также в воскресные и праздничные дни (при отсутствии данных можно принимать равной 0,1).

Таблица 4.3

Коэффициент связанности населенных пунктов

Административная значимость первого населенного пункта	Территориальная принадлежность населенных пунктов	Значение коэффициента $Kс$ в зависимости от административной значимости второго населенного пункта			
		Территориальный центр	Районный центр	Центральная усадьба	Местный пункт
Территориальный центр	Одна территория	-	1,0	0,7	0,4
	Разные территории	0,4	0,3	0,1	0,1
Районный центр	Одна территория	1,0	0,7	0,3	0,1
	Один район	-	-	0,7	0,3
	Разные территории	0,3	0,3	0,1	0,1
Центральная усадьба	Одна территория	0,7	0,3	0,1	0,1
	Один район	-	0,7	0,2	0,1
	Одна центр. усадьба	-	-	-	0,3
	Разные территории	0,1	0,1	0,1	0,1
Местный пункт	Одна территория	0,4	0,1	0,1	0,1
	Один район	-	0,3	0,1	0,1
	Одна центр усадьба	-	-	0,3	0,2
	Разные территории	0,1	0,1	0,1	0,1

4. Среднюю продолжительность работы в течение суток автобусов,
та

$$\tau_a = T_{на} - 2 \quad (8)$$

где $T_{на}$ – средняя продолжительность работы автобусов в наряде, ч;
«2» – средняя продолжительность простоя автобусов во время обеда и отдыха водителей, ч.

5. Коэффициент, характеризующий использование автобусов: K_a

$$K_a = \Gamma_a * K_{ва} \quad (9)$$

где Γ_a – коэффициент готовности автобусов (доля технически исправных из учтенных в материалах статистической отчетности или ГИБДД);

$K_{ва}$ – коэффициент выхода автобусов на линию.

6. Среднюю продолжительность работы в течение суток грузовых автотранспортных средств, $\tau_{г}$

$$\tau_{г} = T_{нг} - 1,5 \quad (10)$$

где $T_{нг}$ – средняя продолжительность работы грузовых автотранспортных средств в наряде, ч;

1,5 – средняя продолжительность простоя грузовых автотранспортных средств во время обеда и отдыха водителей, ч.

7. Коэффициент, характеризующий использование грузовых автотранспортных средств, $K_{г}$

$$K_{г} = \Gamma_{г} * K_{вг} \quad (11)$$

где $\Gamma_{г}$ – коэффициент готовности грузовых автотранспортных средств (доля технически исправных из учтенных в материалах статистической отчетности или ГИБДД);

8. Определение приведенного расстояния между корреспондирующими пунктам и $K_{вг}$ – коэффициент выхода грузовых

автотранспортных средств на линию, $L_{вр}$. При расстоянии между населенными пунктами менее 10 км принимается расстояние, равное 10 км.

$$L_{вр} = \sum Lz \quad (12)$$

где Lz - приведенная длина z -го участка, км.

9. Показатель степени при приведенном расстоянии между населенными пунктами при расчете интенсивности движения грузовых автотранспортных средств, a (рис 4.2).

Класс автомобильной дороги	Категория автомобильной дороги	Общее количество полос движения	Ширина полосы движения, м	Центральная разделительная полоса	Пересечения с автомобильными дорогами, велосипедными и пешеходными дорожками	Пересечения с железными дорогами и трамвайными путями	Доступ на дорогу с примыкания в одном уровне
Автомостраль	IA	4 и более	3,75	Обязательна	В разных уровнях		Не допускается
Скоростная дорога	IB	4 и более	3,75				Допускается без пересечения прямого направления
Дорога обычного типа (нескоростная дорога)	IB	4 и более ¹⁾	3,75	Обязательна	Допускаются пересечения в одном уровне со светофорным регулированием	В разных уровнях	Допускается
		II	4	3,5			
		2 или 3 ³⁾	3,75	Не требуется	Допускаются пересечения в одном уровне ⁴⁾		
	III	2	3,5				
	IV	2	3,0			Допускаются пересечения в одном уровне	
	V	1	4,5 и более				
<p>1) Более шести полос допускается только на существующих автомобильных дорогах.</p> <p>2) На дороге категории II требование к наличию разделительной полосы определяется проектом организации дорожного движения.</p> <p>3) Три полосы движения только для существующих автомобильных дорог.</p> <p>4) Пересечение 4-полосной дороги категории II с аналогичной осуществляется в разных уровнях. Другие варианты пересечения дорог категории II с дорогами категорий II и III могут осуществляться как в разных уровнях, так и в одном (при условии светофорного регулирования, "отнесенных" левых поворотов или пересечения кольцевого типа).</p>							

Рисунок 4.2 – Классификация автомобильных дорог

Показатель степени при приведенном расстоянии между населенными пунктами определяется следующим образом:

- ✓ при расстоянии 63 км и более – принимают равным 2;
- ✓ при расстоянии меньше 63 км – определяют по формуле

$$a = 1,74 + \frac{17}{(2+L_{\text{пр}})} \quad (13)$$

Формула (5) включает в себя много факторов влияющих на образования заторов, однако, по моему мнению она не актуальна на сегодняшний день. С марта 2023 года в п. 1.2 ПДД, средства индивидуальной мобильности (СИМ) считаются ТС. Начиная с 14 лет и при весе водителя больше 35 кг им разрешено передвигаться только по велосипедным дорожкам и проезжей части, что приравнивает их к полноценным водителям.

Результаты расчета величин, входящих в формулу (5) приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4

Результаты расчетов параметров, входящих в формулу (5)

Величина	Значение
P_p	70000 чел.
K_c	1
Q_d	47 авт./1000 жит
V_d	50 км/ч
τ_d	1 ч/сут
K_d	0,75
Q_a	0,043 авт./1000 жит
V_a	50 км/ч
K_a	0,6
Q_r	0,022 авт./1000 жит
τ_a	5 ч/сут
V_r	40 км/ч
τ_r	9,5 ч/сут
K_r	0,525
a	0,25
L_{np}	2,6 км

С учетом всех рассчитанных параметров, вычисляем интенсивность движения на участке дороги. Для примера возьмем участок от Дальневосточного проспекта до Октябрьской набережной (город Санкт-Петербург) длиной 2,6 км (табл. 4.5).

Таблица 4.5

Численные значения интенсивности

Наименование	Значение в сутки, авт/сут	Значение в час, авт/ч
N_{ij}	18374,3	765,6

4.3 Этап третий. Расчет плотности потока

Расчет плотности потока через интенсивность движения ТС и расчетной скорости, при различных метеорологических условиях.

После нахождения необходимых нам значений, мы можем рассчитать значения плотности потока ТС. Для этого необходимо воспользоваться формулой 14 [13].

$$\rho = \frac{Q}{V} \quad (14)$$

где, Q - интенсивность движения (авт/ч)

V – скорость движения (км/ч)

ρ – плотность потока (авт/км)

Теперь рассчитаем плотность потока на участке дороги при известной интенсивности 765,6 авт\ч и при отсутствии и наличии атмосферных явлений. Хорошо видно (табл. 4.6), что плотность потока достаточно сильно зависит от наличия того или иного метеорологического фактора. Например, при гололеде она увеличивается в 4 раза и почти в 2 раза при снегопаде средней интенсивности, что приводит к возникновению заторов. Категории заторов рассматривались в первой главе и представлены на рисунке 1.3 [16].

Таблица 4.6

Численные значения расчетной скорости и плотности потока при различных метеорологических явлениях

	Метеорологические явления				
	ясно	дождь	снегопад	гололед	туман
Расчетная скорость ТС, км/ч	60	45	30	12	36
Интенсивность движения авт/ч	765,6	765,6	765,6	765,6	765,6
Плотность потока, атм/км	15,3	17	25,5	63,75	21,25

4.4 Этап четвертый. Расчет тормозного пути для разного вида покрытия

Четвертый этап позволяет найти длину изменения тормозного пути (рис 4.3) для значений расчетной скорости при сухом и обледенелом покрытие (формула 15) [14].

$$S = \frac{V^2}{2g\mu} \quad (15)$$

где, S – длина тормозного пути, м;

V – скорость ТС перед началом торможения, км/ч;

g – ускорение свободного падения м/с²

μ - коэффициент сцепления шин ТС с дорожным покрытием



Рисунок 4.3 – Этапы остановки ТС

Коэффициент сцепления шин ТС с дорожным покрытием при различных погодных ситуациях взят из таблицы 4.7

Таблица 4.7

Значения коэффициента сцепления на покрытиях

Состояние дорожного покрытия	Коэффициент сцепления на покрытиях		
	асфальтобетонном цементобетонном	цементном	грунтовом
Сухое	0.70-0.80	0.70-0.80	0.50-0.60
Мокрое	0.40-0.50	0.40-0.50	0.30-0.40
Покрытое мокрым снегом	0.20-0.30	0.20-0.30	0.20-0.30
Покрытое снежно- ледяной коркой	0.15-0.30	0.15-0.30	0.15-0.30
Обледенелое	0.08-0.15	0.08-0.15	0.08-0.15

Проведем серию расчетов величины тормозного пути по формуле 15 при различных скоростях и разном состоянии покрытия.

Первая серия расчетов выполнена для значений скорости 20, 30, 40, 50 и 60 км/ч при сухом покрытии и для обледенелого покрытия (табл. 4.8).

Таблица 4.8

Длина тормозного пути для значений расчетной скорости при сухом и обледенелом покрытии

Скорость, км/ч	Средняя длина тормозного пути, м.	
	на сухом покрытии	на обледенелом покрытии
20	3.1	10.5
30	7.1	23.6
40	12.6	42.0
50	19.7	65.6
60	28.3	94.4
80	50.4	167.9
100	78.7	262.3

Вторая серия расчетов выполнена для найденных ранее расчетных скоростей при сухом покрытии и наличии на покрытии различных метеорологических явлений (табл. 4.9).

Из данных, полученных в таблице 4.9, можно сказать, что длина тормозного пути легкового транспортного средства будет прямопропорционально зависеть от скорости движения ТС. Чем выше скорость передвижения, тем длиннее будет тормозной путь автомобиля. Помимо этого длина тормозного пути будет зависеть от значения коэффициента сцепления ТС с дорогой (табл 4.7), чем меньше коэффициент сцепления, тем длиннее тормозной путь. В свою очередь, коэффициент сцепления сильно зависит от состояния дорожного полотна.

Таблица 4.9

Тормозной путь для значений расчетной скорости при различных метеорологических явлениях для сухого и обледенелого дорожного покрытия

Скорость, км/ч	Средняя длина тормозного пути, м				
	на сухом покрытии	на мокром покрытии	на мокром снегу	на снежно- ледяной корке	на обледенелом покрытии
36	6.4	9.1	10.6	10.8	18.7
42	10.7	15.2	17.7	18.0	31.2
45	19.2	27.4	37.9	32.4	56.2
46	20.9	29.8	34.6	35.2	61.1
60	43.6	62.3	72.4	73.6	127.7

Видно, что самый длинный тормозной путь будет наблюдаться при максимально разрешенной скорости (60 км/ч) на обледенелом дорожном покрытии и будет равен 127,7 м. В то время, как самый короткий тормозной

путь будет наблюдаться при скорости в 36 км/ч на сухом дорожном полотне (6,4 м). Стоит отметить, что даже на мокром покрытии тормозной путь значительно возрастает.

Данные из таблицы 4.9 указывают на то, что дистанция между ТС на дороге очень важна и ее несоблюдение может привести к печальным последствиям (рис. 4.4).

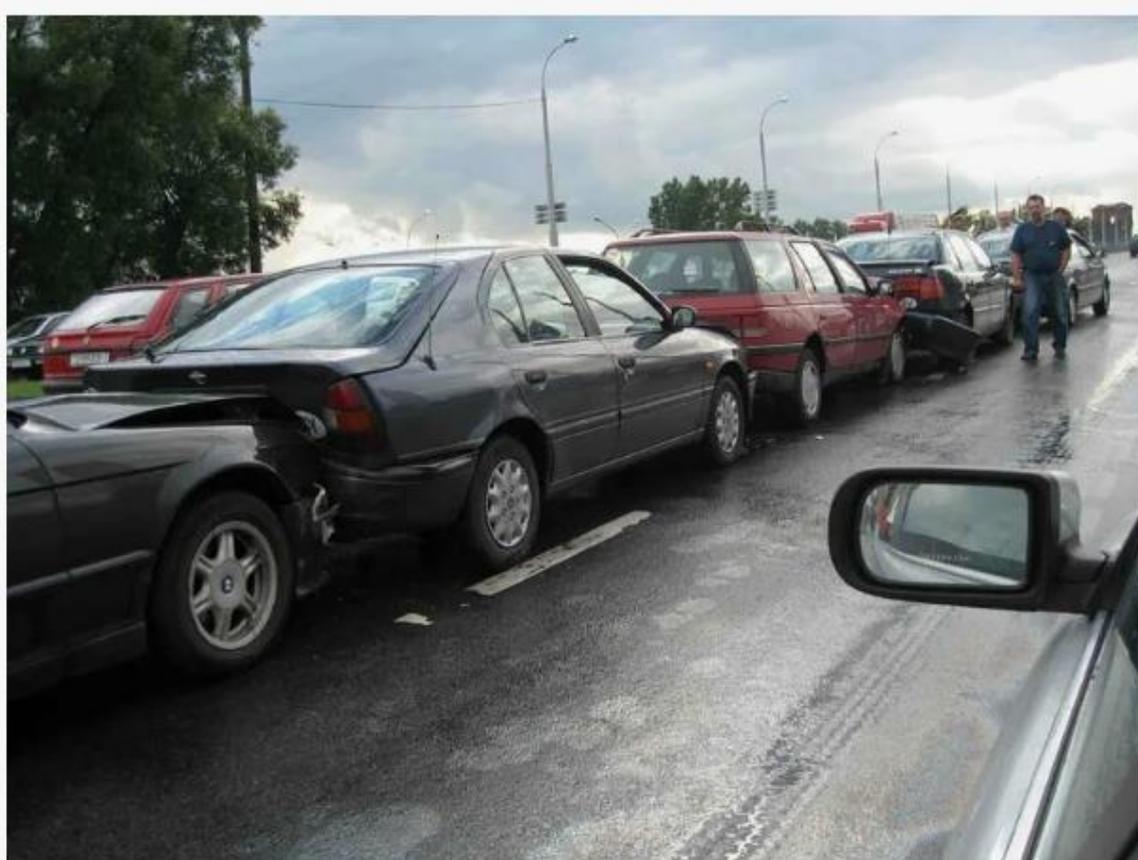


Рисунок 4.4 – Последствия несоблюдения дистанции на дороге

5 Исследование влияния метеорологических явлений на плотность движения ТС в районе мостовой переправы

Найдем расчетную скорость и возможную плотность потока транспортных средств, в районе модельного моста. А также оценим вероятность появления дорожной пробки при различных атмосферных явлениях. Для исследования возникновения дорожной пробки возьмём ясную погоду и наиболее неблагоприятные для дорожного движения явления, такие как дождь, снег, гололед, туман.

Планируемый к постройке мостовой переход необходим городу и должен заметно разгрузить от ТС улицы двух районов и два соседних моста, расположенных на расстоянии 3,8 и 2,5 км от объекта.

Модель моста представлена на рисунках 5.1 и 5.2., параметры приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Технические характеристики исследуемого объекта

Техническая характеристика	Параметры
Объект исследования	Линейный объект. Автомобильный, трамвайный, пешеходный мост
Длина моста	1.6 километра (4.7 км вместе с развязками)
Ширина моста	38 м
Высота конструкции	18 м
Количество полос	6 автомобильных полос + 2 для трамвая

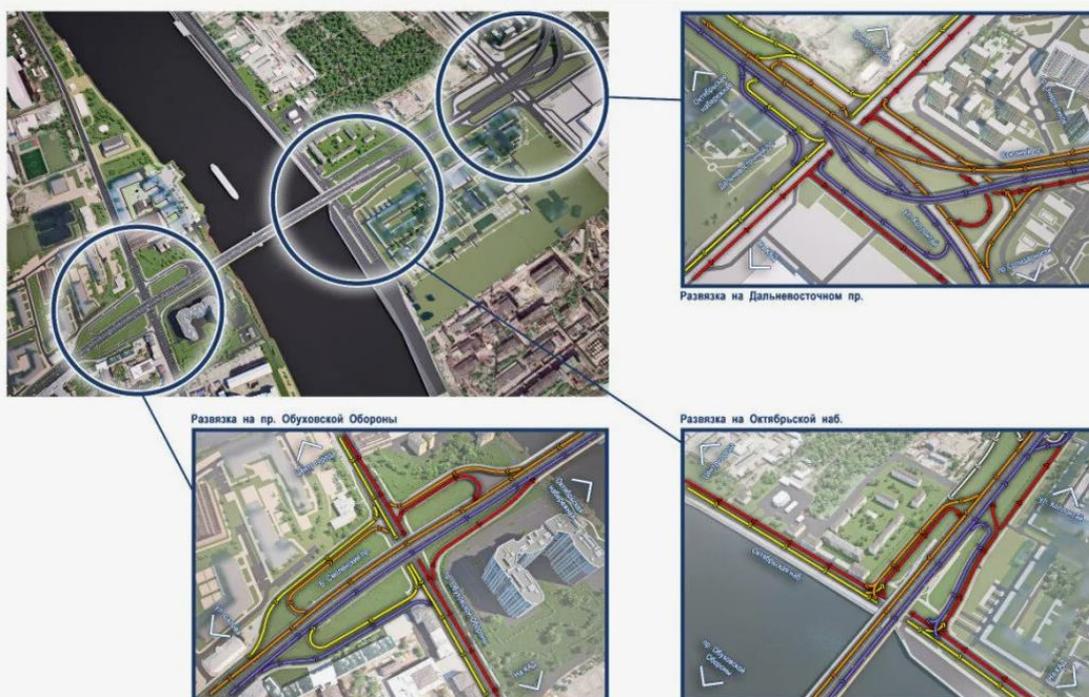


Рисунок 5.1 – Чертеж мостового перехода



Рисунок 5.2 – Внешний вид моста

Для нахождения значений расчетной скорости, плотности потока и интенсивности движения необходимо изучить выбранный участок, а также подходящие к нему улицы (табл. 5.2).

В колонке «исследуемый объект» представлена исследуемая улица, в колонках «от улицы» и «до улицы» представлены границы изучаемого объекта, в двух направлениях движения. Далее в колонках 4-9 представлены технические характеристики участков (интенсивность (ед/ч), количество полос, ширина полос (м), наличие парковочных мест на улице, пропускная способность исследуемого объекта (ед/ч), и максимально разрешенная скорость).

На основании данных таблицы построим график интенсивности движения на прилегающих к модельному мосту улицах (рис. 5.3).



Рисунок 5.3 – График интенсивности движения на прилегающих к мосту улицах

Таблица 5.2.

Технические характеристики подъездов к мостовой переправе

В	С	D	E	F	G	H
от улицы	до улицы	Кол-во полос	Ширина полос, м	Парковка на улице	Начальная пропускная способность, пр.ед./час	Ограничение скорости, км/ч
ул. Бабушкина	пр. Обуховской обороны	3	3,75	0	2300	60
пр. Обуховской обороны	ул. Бабушкина	3	3,75	0	2300	60
ул. Бабушкина	пр. Обуховской обороны	2	3,75	0	2300	60
пр. Обуховской обороны	ул. Бабушкина	2	3,75	0	2200	60
пр. Обуховской обороны	Октябрьская наб.	2	3,5	0	2200	60
Октябрьская наб.	пр. Обуховской обороны	3	3,5	0	2300	60
Октябрьская наб.	пр. Обуховской обороны	2	3,5	0	2300	60
пр. Обуховской обороны	Октябрьская наб.	3	3,5	0	2300	60
Октябрьская наб.	пр. Обуховской обороны	3	3,5	0	2300	60
Октябрьская наб.	Дальневосточный пр.	3	3,75	0	2300	60
Дальневосточный пр.	Октябрьская наб.	3	3,75	0	2300	60
Октябрьская наб.	Дальневосточный пр.	4	3,75	0	2300	60
Дальневосточный пр.	Октябрьская наб.	4	3,75	0	2300	60
Октябрьская наб.	Дальневосточный пр.	3	3,75	0	2300	60
Дальневосточный пр.	Октябрьская наб.	3	3,75	0	2300	60
Октябрьская наб.	Дальневосточный пр.	4	3,75	0	2300	60
Дальневосточный пр.	Октябрьская наб.	4	3,75	0	2300	60
Дальневосточный пр.	Искровский пр.	2	3,75	0	2200	60
Искровский пр.	Дальневосточный пр.	2	3,75	0	2200	60
Дальневосточный пр.	Искровский пр.	2	3,75	0	2200	60
Искровский пр.	Дальневосточный пр.	2	3,75	0	2200	60
Дальневосточный пр.	Искровский пр.	3	3,75	0	2200	60
Искровский пр.	Дальневосточный пр.	3	3,75	0	2200	60

На рисунке 5.3 представлен график изменения интенсивности ТС на прилегающих к мосту улицах:

1. от ул. Бабушкина до пр. Обуховской обороны 837 авт/ч
2. от пр. Обуховской обороны до ул. Бабушкина 1693 авт/ч
3. от ул. Бабушкина до пр. Обуховской обороны 741 авт/ч
4. от пр. Обуховской обороны до ул. Бабушкина 1483 авт/ч
5. от пр. Обуховской обороны до Октябрьская наб. 1725 авт/ч

6.	от Октябрьская наб. до пр. Обуховской обороны	2303 авт/ч
7.	от Октябрьская наб. до пр. Обуховской обороны	2163 авт/ч
8.	от пр. Обуховской обороны до Октябрьская наб.	2261 авт/ч
9.	от Октябрьская наб. до пр.Обуховской обороны	3297 авт/ч
10.	от Октябрьская наб. до Дальневосточный пр.	1483 авт/ч
11.	от Дальневосточный пр. до Октябрьская наб.	1660 авт/ч
12.	от Октябрьская наб. до Дальневосточный пр.	2100 авт/ч
13.	от Дальневосточный пр. до Октябрьская наб.	2634 авт/ч
14.	от Октябрьская наб. до Дальневосточный пр.	1806 авт/ч
15.	от Дальневосточный пр. до Октябрьская наб.	2417 авт/ч
16.	от Октябрьская наб. до Дальневосточный пр.	2348 авт/ч
17.	от Дальневосточный пр. до Октябрьская наб.	3041 авт/ч
18.	от Дальневосточный пр. до Искровский пр.	1902 авт/ч
19.	от Искровский пр. до Дальневосточный пр.	2033 авт/ч
20.	от Дальневосточный пр. до Искровский пр.	1552 авт/ч
21.	от Искровский пр. до Дальневосточный пр.	1506 авт/ч
22.	от Дальневосточный пр. до Искровский пр.	1686 авт/ч
23.	от Искровский пр. до Дальневосточный пр.	2115 авт/ч

Самые низкие интенсивности движения наблюдается на участках 1 и 3 (837 и 741) авт/ч, самая высокая интенсивность наблюдается на участках 9 и 17 (3297 и 3041) авт/ч (рис. 5.4), большое количество машин на данном участке объясняет большое количество светофоров, а также трамвайная развилка на участке пр. Обуховской обороны. Девять участков с номерами 6, 7, 8, 12, 13, 15, 16, 19 и 23 имеют интенсивность более 2000 автомобилей в час. И только первый, и третий участок имеет интенсивность менее 1000 автомобилей в час.

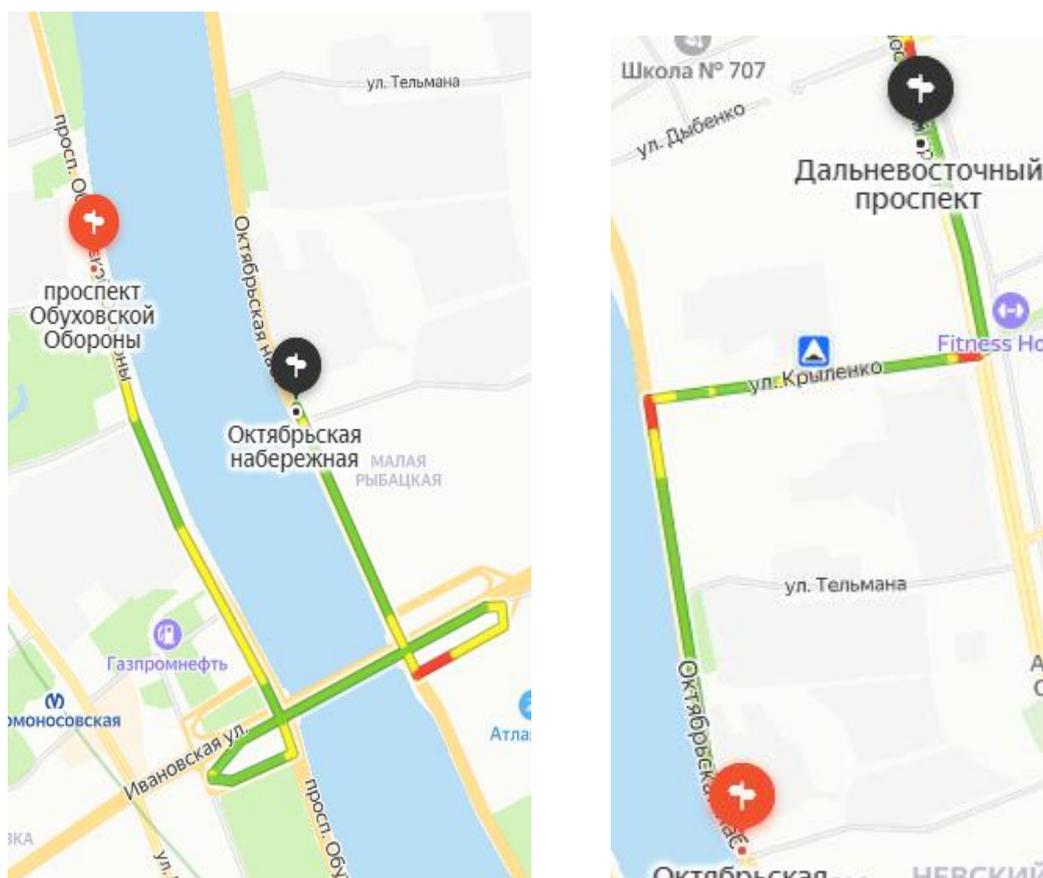


Рисунок 5.4 – Участки с наибольшей интенсивностью движения ТС

Расчетная скорость автомобиля – это та безопасная скорость, которой с наибольшей вероятностью, будет придерживаться автомобиль при различных условиях. Данная величина находится по формуле 3.

Согласно пункту 10.1 ПДД РФ, водитель обязан выбирать безопасную скорость передвижения самостоятельно. Так как в городе разрешенная максимальная скорость 60 км/ч, то за V_{\max} будем брать именно это значение.

Для получения расчетной скорости нам необходимо знать максимально разрешенную скорость на данном участке дороги и коэффициент обеспеченности расчетной скорости. Коэффициент обеспеченности расчетной скорости – показывает, как легковой автомобиль будет взаимодействовать с дорогой на каждом ее участке.

Прежде чем начать расчеты нам необходимо иметь данные коэффициента обеспеченности расчетной скорости и максимально

разрешенной скорости. Если с максимально разрешенной скоростью все понятно, она составляет 60 км/ч, то значения коэффициента мы можем найти из таблицы 4.1.

Используя таблицы 4.2, 4.3 и формулу 15, найдем расчетную скорость ТС при различных метеорологических явлениях для каждого прилегающего к мосту участка (табл. 5.3).

В таблице 5.3 представлены значения расчетной скорости найденные по формуле 15 для 23 дорожных участков. При ясной погоде на данных отрезках расчетная скорость будет равна максимально разрешенной скорости (60 км/ч).

При гололеде расчетная скорость будет равна 45 км/ч, чуть больше значения расчетной скорости будет при тумане (46,8 км/ч), разница обусловлена тем, что при гололеде коэффициент сцепления будет значительно хуже, чем при тумане. Однако на такое атмосферное явление как туман, тоже нельзя махать рукой, так как метеорологическая дальность видимости (МДВ) начинает снижаться и водители, не соблюдающие дистанцию и скоростной режим просто не успевают среагировать на препятствия. Кроме того деформируется восприятие края проезжей части.

При дожде значение расчетной скорости будет составлять 42 км/ч и будет обусловлено плохим сцеплением между дорожным покрытием и шиной транспортного средства. А осадки сильной интенсивности еще и ухудшают видимость.

Самая маленькая расчетная скорость будет наблюдаться при атмосферном явлении – снег, безопасная скорость передвижения ТС будет составлять 36 км/ч. Такое маленькая значение будет связано с плохой видимостью и образования снежного покрова на дорожном полотне, что в следствии ухудшает коэффициент сцепления. А из-за того, что очень часто коммунальные службы не успевают вовремя реагировать на заметенные улицы, это ставится причиной многих чрезвычайных ситуаций на дорогах, начиная

от простых ДТП и заканчивая выносом автомобиля с территории проезжей части.

Таблица 5.3

Найденные значения расчетной скорости при различных метеорологических явлениях

от улицы	до улицы	Расчетная скорость при разных атмосферных явлениях, км/ч				
		дождь	снег	гололед	туман	ясно
ул. Бабушкина	пр. Обуховской обороны	42	36	45	46,8	60
пр. Обуховской обороны	ул. Бабушкина	42	36	45	46,8	60
ул. Бабушкина	пр. Обуховской обороны	42	36	45	46,8	60
пр. Обуховской обороны	ул. Бабушкина	42	36	45	46,8	60
пр. Обуховской обороны	Октябрьская наб.	42	36	45	46,8	60
Октябрьская наб.	пр. Обуховской обороны	42	36	45	46,8	60
Октябрьская наб.	пр. Обуховской обороны	42	36	45	46,8	60
пр. Обуховской обороны	Октябрьская наб.	42	36	45	46,8	60
Октябрьская наб.	пр. Обуховской обороны	42	36	45	46,8	60
Октябрьская наб.	Дальневосточный пр.	42	36	45	46,8	60
Дальневосточный пр.	Октябрьская наб.	42	36	45	46,8	60
Октябрьская наб.	Дальневосточный пр.	42	36	45	46,8	60
Дальневосточный пр.	Октябрьская наб.	42	36	45	46,8	60
Октябрьская наб.	Дальневосточный пр.	42	36	45	46,8	60
Дальневосточный пр.	Октябрьская наб.	42	36	45	46,8	60
Октябрьская наб.	Дальневосточный пр.	42	36	45	46,8	60
Дальневосточный пр.	Октябрьская наб.	42	36	45	46,8	60
Октябрьская наб.	Дальневосточный пр.	42	36	45	46,8	60
Дальневосточный пр.	Искровский пр.	42	36	45	46,8	60
Искровский пр.	Дальневосточный пр.	42	36	45	46,8	60
Дальневосточный пр.	Искровский пр.	42	36	45	46,8	60
Искровский пр.	Дальневосточный пр.	42	36	45	46,8	60
Дальневосточный пр.	Искровский пр.	42	36	45	46,8	60
Искровский пр.	Дальневосточный пр.	42	36	45	46,8	60

Найдем значения интенсивности (табл 5.6) и плотности потока (табл 5.7) для приведенных выше (табл 5.2) участков дороги. Для этого будем использовать формулы 5, 14 и 15.

Таблица 5.6

Найденная интенсивность для дорожных отрезков

от улицы	до улицы	пр. ед./ч Интенс ас (max) ность,
ул. Бабушкина	пр. Обуховской обороны	837
пр. Обуховской обороны	ул. Бабушкина	1693
ул. Бабушкина	пр. Обуховской обороны	741
пр. Обуховской обороны	ул. Бабушкина	1483
пр. Обуховской обороны	Октябрьская наб.	1725
Октябрьская наб.	пр. Обуховской обороны	2303
Октябрьская наб.	пр. Обуховской обороны	2163
пр. Обуховской обороны	Октябрьская наб.	2261
Октябрьская наб.	пр. Обуховской обороны	3297
Октябрьская наб.	Дальневосточный пр.	1483
Дальневосточный пр.	Октябрьская наб.	1660
Октябрьская наб.	Дальневосточный пр.	2100
Дальневосточный пр.	Октябрьская наб.	2634
Октябрьская наб.	Дальневосточный пр.	1806
Дальневосточный пр.	Октябрьская наб.	2417
Октябрьская наб.	Дальневосточный пр.	2348
Дальневосточный пр.	Октябрьская наб.	3041
Дальневосточный пр.	Искровский пр.	1902
Искровский пр.	Дальневосточный пр.	2033
Дальневосточный пр.	Искровский пр.	1552
Искровский пр.	Дальневосточный пр.	1506
Дальневосточный пр.	Искровский пр.	1686
Искровский пр.	Дальневосточный пр.	2115

Найденные значения плотности автомобильно потока

от улицы	до улицы	ограничение по скорости, км/ч	плотности потока в сут, ясно	плотности потока в сут, Дождь	плотности потока в сут, гололед	плотности потока в сут, снегопад	плотности потока в сут, туман
ул. Бабушкина	пр. Обуховской обороны	60	13,95	19,93	23,25	18,60	17,88
пр. Обуховской обороны	ул. Бабушкина	60	28,22	40,31	47,03	37,62	36,18
ул. Бабушкина	пр. Обуховской обороны	60	12,35	17,64	20,58	16,47	15,83
пр. Обуховской обороны	ул. Бабушкина	60	24,72	35,31	41,19	32,96	31,69
пр. Обуховской обороны	Октябрьская наб.	60	28,75	41,07	47,92	38,33	36,86
Октябрьская наб.	пр. Обуховской обороны	60	38,38	54,83	63,97	51,18	49,21
Октябрьская наб.	пр. Обуховской обороны	60	36,05	51,50	60,08	48,07	46,22
пр. Обуховской обороны	Октябрьская наб.	60	37,68	53,83	62,81	50,24	48,31
Октябрьская наб.	пр. Обуховской обороны	60	54,95	78,50	91,58	73,27	70,45
Октябрьская наб.	Дальневосточный пр.	60	24,72	35,31	41,19	32,96	31,69
Дальневосточный пр.	Октябрьская наб.	60	27,67	39,52	46,11	36,89	35,47
Октябрьская наб.	Дальневосточный пр.	60	35,00	50,00	58,33	46,67	44,87
Дальневосточный пр.	Октябрьская наб.	60	43,90	62,71	73,17	58,53	56,28
Октябрьская наб.	Дальневосточный пр.	60	30,10	43,00	50,17	40,13	38,59
Дальневосточный пр.	Октябрьская наб.	60	40,28	57,55	67,14	53,71	51,65
Октябрьская наб.	Дальневосточный пр.	60	39,13	55,90	65,22	52,18	50,17
Дальневосточный пр.	Октябрьская наб.	60	50,68	72,40	84,47	67,58	64,98
Дальневосточный пр.	Искровский пр.	60	31,70	45,29	52,83	42,27	40,64
Искровский пр.	Дальневосточный пр.	60	33,88	48,40	56,47	45,18	43,44
Дальневосточный пр.	Искровский пр.	60	25,87	36,95	43,11	34,49	33,16
Искровский пр.	Дальневосточный пр.	60	25,10	35,86	41,83	33,47	32,18
Дальневосточный пр.	Искровский пр.	60	28,10	40,14	46,83	37,47	36,03
Искровский пр.	Дальневосточный пр.	60	35,25	50,36	58,75	47,00	45,19

В таблице 5.7 представлены найденные значения плотности автомобильно потока. В столбцах «от улицы» и «до улицы» представлены граничные условия выбранных отрезков дороги, в третьем столбике приведена максимально разрешенная скорость при штатной ситуации (60 км/ч), далее в столбцах представлены найденные значения плотности автомобильного

потока при различных атмосферных условиях: ясно, дождь, гололед, снегопад, туман. Как можно заметить, то при разных явлениях разные участки будут страдать от заторов по разному, это будет зависеть от количество полос, от ширины улицы, от максимальной пропускной способности, а также от наличия того или иного атмосферного явления и его интенсивности.

Изучив таблицу 5.7 можно сказать, что самым загруженным участком дороги будет отрезок от Октябрьской набережной до проспекта Обуховской обороны. При отсутствии явлений плотность потока составит 54,94 авт/км, во время дождя она увеличится до 78,50 авт/км, при таком атмосферном явлении, как гололед, значение плотности потока поднимется еще выше до 91,58 авт/км. При наличие снегопада плотность потока составит 73,27 авт/км и при тумане ρ будет составлять 70,45.

Такая высокая плотность потока будет связана с тем, что данный дорожный участок проходит через мостовую переправу, которая является единственной в данном районе, так же на образования дорожного затора будут влиять заторы на подъездных к переправе улицах (рис 5.5).

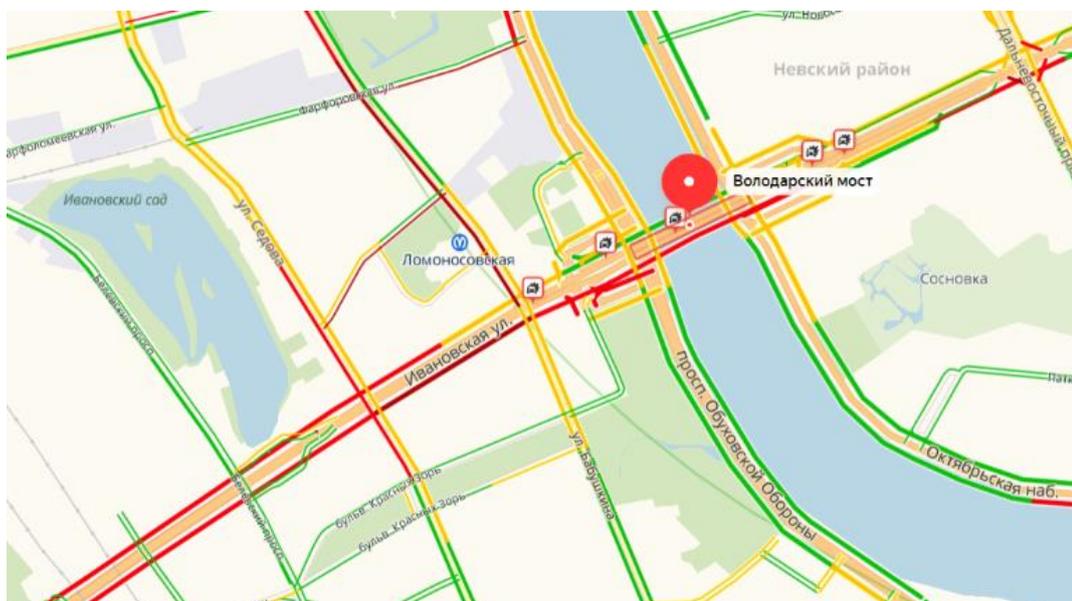


Рисунок 5.5 – Дорожные заторы в районе мостовой переправы

Отметим, что постройка новой мостовой переправы через Неву значительно уменьшит транспортную нагрузку в районе.

Самой же маленькой плотность потока будет обладать дорожный участок от ул. Бабушкина до пр. Обуховской обороны. При отсутствии явлений плотность потока составит 12,35 авт/км, во время дождя она увеличится до 17,64 авт/км, при таком атмосферном явлении, как гололед, значение плотности потока поднимется еще выше до 20,58 авт/км. При наличии снегопада плотность потока составит 16,47 авт/км и при тумане ρ будет составлять 15,83.

Учаток с максимальным и минимальным значением плотности потока представлена на рисунке 5.6.

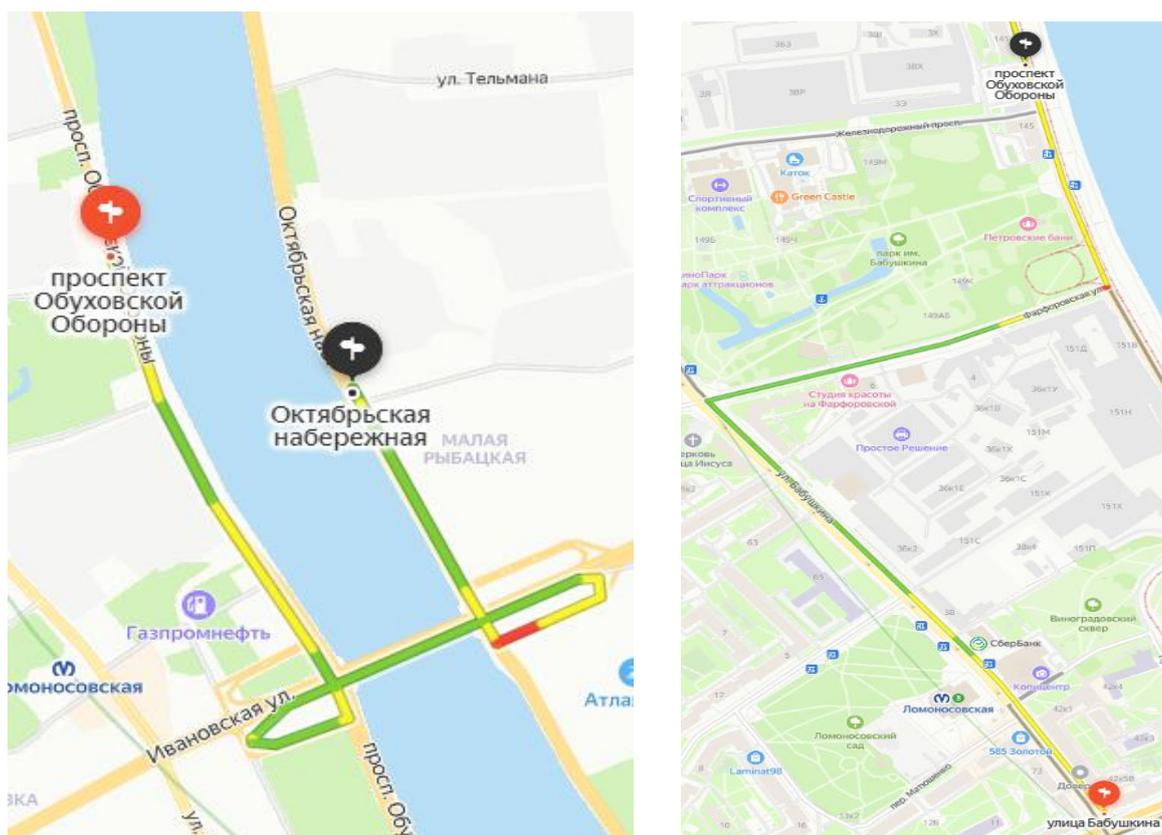


Рисунок 5.6 – Дорожные участки с максимальной и минимальной ПЛОТНОСТЬ Потока

Построим график изменения плотности дорожного потока (рис 5.7) при различных метеорологических явлениях на прилегающих к мосту улицах. А также рассмотрим значение плотности потока при каждом атмосферном явлении более подробно (рис 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.12).

Но перед тем, как более подробно анализировать рассчитаем среднюю плотность потока (табл. 5.8). С полученными средними значениями будут сравниваться максимальные и минимальные значения плотности потока, а также будет найдена их разность.

Таблица 5.8

Среднее значение плотности при различных атмосферных явлениях

плотности потока в сут, ясно	плотности потока в сут, дождь	плотности потока в сут, гололед	плотности потока в сут, снегопад	плотности потока в сут, туман
32,45	46,36	54,09	43,27	41,61

В таблице 5.8 представлены средние значения плотности автомобильного потока при различных атмосферных явлениях: ясно, дождь, гололед, снегопад и туман.

При отсутствии атмосферных явлений, плотность автомобильного потока равна 32,45 авт/км, во время дождя она увеличится до 46,36 авт/км, во время гололеда будет наблюдаться самый высокий показатель плотности транспортного потока – 54,09 авт/км, при снегопаде плотность потока будет равняться 43,27 авт/км и при тумане среднее значение плотности потока ещё уменьшится и станет равным 41,61 авт/км.

Далее используя средние значения, рассмотрим плотность потока для всех выбранных дорожных участков и проведем анализ.

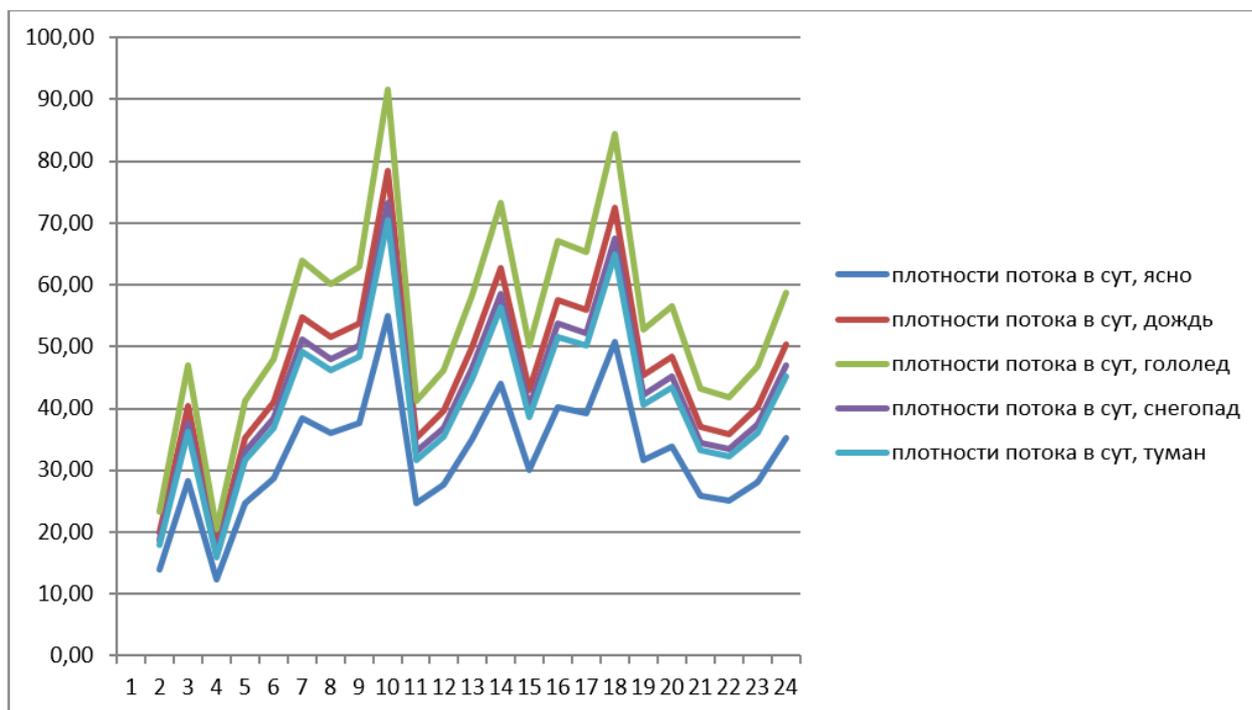


Рисунок 5.7 – График изменения плотности дорожного потока при различных метеорологических явлениях на прилегающих к мосту улицах

На рисунке 5.7 представлен график изменения плотности дорожного потока при различных метеорологических явлениях на прилегающих к мосту улицах. Самая большая плотность потока ТС будет наблюдаться во время снегопада из-за плохой видимости и накопления снега на дорожном покрытии. Самая минимальная плотность потока будет наблюдаться при отсутствии атмосферных явлений ($\rho_{\min} = 12,4$ авт/км, $\rho_{\max} = 55,0$ авт/км), чуть хуже дорожная обстановка будет наблюдаться во время дождя ($\rho_{\min} = 16,5$ авт/км, $\rho_{\max} = 73,3$ авт/км), при тумане минимальное и максимальное значение плотности потока составит ($\rho_{\min} = 20,58$ авт/км, $\rho_{\max} = 91,58$ авт/км), при гололеде минимальное и максимальное значение плотности потока ТС станет равняться ($\rho_{\min} = 24,7$ авт/км, $\rho_{\max} = 109,9$ авт/км), во время снега дорожная

обстановка усугубится и плотности потока будут равны (ρ_{\min} – 61,8 авт/км, ρ_{\max} – 274,8 авт/км).

На рисунке 5.8 представлены найденные значения плотности потока при отсутствии атмосферных осадков для 24 выбранных дорожных участков. Для отсутствия атмосферных явлений среднее значение плотности потока составит 32,45 авт/км (табл. 5.8).

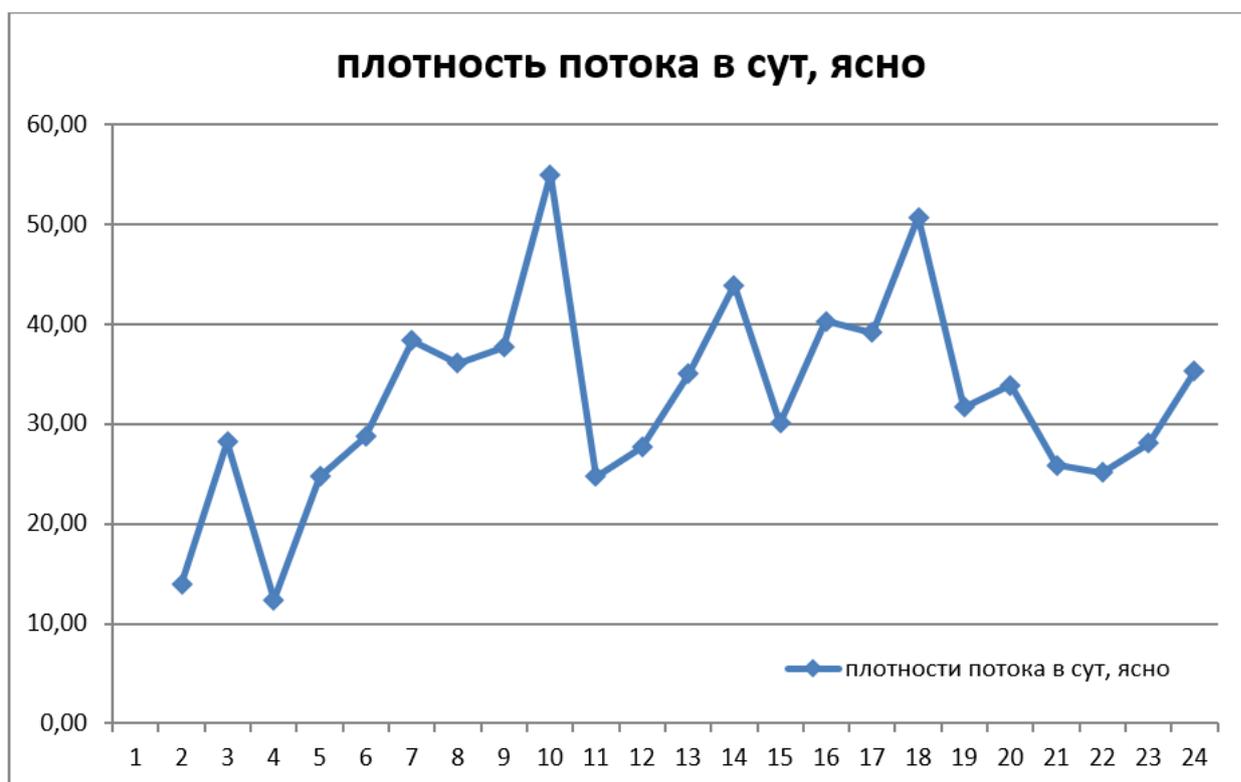


Рисунок 5.8 – расчет плотности потока в сут, ясно

На графике можно четко увидеть два хорошо выделяющихся пика, самые большие значения характерны для отрезка по номером 9 – от Октябрьской наб. до пр. Обуховской обороны и составляет 54,95 авт/км, что на 22,5 авт/км превышает среднее значение. Второй пик наблюдается на участке 18 – от Дальневосточного пр. до Искровского пр. и составляет 50,68 авт/км, данное значение превышает среднее на 18,23 авт/км.

Также на графике наблюдается участки дороги, где плотность потока ТС самая низкая, она соответствует дорожному участку 1 – от ул. Бабушкина до пр. Обуховской обороны и 3 – от ул. Бабушкина до пр.Обуховской обороны и составляет 13,95 и 12,32 авт/км. Показатели плотности потока ниже среднего значения на 18,5 и 20,13 авт/км.

При наличие атмосферных осадков в виде дождя, значения плотности потока возрастают. На рисунке 5.9 наблюдается похожая картина, что и при ясной погоде. Для дождливой погоды среднее значение плотности потока составит 46,36 авт/км (табл. 5.8).



Рисунок 5.9 – Расчет плотности потока в сут, дождь

Также наблюдаются 2 ярко выраженных пика и соответствуют тем же дорожным участкам, что и при ясной погоде, только при больших значениях плотности: для участка от Октябрьской наб. до пр. Обуховской обороны составляет 78,5 авт/км, а для участка от Дальневосточного пр. до Искровского

пр. составляет 72,4 авт/км. Полученные значения выше среднего на 32,14 авт/км и 26,04 авт/км.

Самые маленькие значения также будут соответствовать тем же дорожным участком, что и при отсутствии атмосферных явлений: на участке от ул. Бабушкина до пр. Обуховской обороны плотность транспортного потока будет составлять 19,9 авт/км, а для участка от ул. Бабушкина до пр. Обуховской обороны (тот же участок, но в обратном направлении) составляет 17,6 авт/км

Во время гололеда выбранные участки больше всего будут страдать от дорожных заторов (рис. 5.10). Для отсутствия атмосферных явлений среднее значение плотности потока составит 54,09 авт/км (табл. 5.8).



Рисунок 5.10 – Расчет плотности потока в сут, гололед

Значение плотности потока на дорожном участке от Октябрьской наб. до пр. Обуховской обороны вырастет еще больше и будет составлять 91,58 авт/км, что превышает среднее значение на 37,49 авт/км. С разницей в 7,11

авт/км будет страдать от заторов участок от Дальневосточный пр. до Искровский пр, плотность потока составит 84,47 авт/км. Значение выше среднего на 30,38 авт/км.

Улицы с небольшим трафиком также пострадают от дорожных пробок за счет автомобилей, пытающихся объехать улицы со стоящим трафиком. Значение плотности потока на участке от ул. Бабушкина до пр. Обуховской обороны увеличится до 23,25 авт/км, а на участке от ул. Бабушкина до пр. Обуховской обороны (тот же участок, но в обратном направлении) плотность потока составит 20,58 авт/км. Значения плотности автомобильного потока меньше среднего на 30,84 авт/км и на 33,51 авт/км.

На рисунке 5.11 представлены найденные значения плотности потока при снегопаде для 24 выбранных дорожных участков.



Рисунок 5.11 – расчет плотности потока в сут, снегопад

Во время снегопада также будут зафиксированны высокие показатели плотности потока. Для отсутствия атмосферных явлений среднее значение плотности потока составит 43,27 авт/км (табл. 5.8).

На графике можно четко увидеть два хорошо выделяющихся пика, самые большие значения характерны для отрезка по номером 9 – от Октябрьская наб. до пр. Обуховской обороны и составляет 54,95 авт/км, что превышает среднее значения на 11,68 авт/км. Второй пик наблюдается на участке 18 – от Дальневосточного пр. до Искровского пр. и составляет 50,68 авт/км, превышение среднего значения плотности потока на 7,41 авт/км .

Также на графике наблюдается участки дороги, где плотность потока ТС самая низкая, она соответствует дорожному участку 1 – от ул. Бабушкина до пр. Обуховской обороны и 3 – от ул. Бабушкина до пр. Обуховской обороны и составляет 13,95 и 12,32 авт/км. Разница между полученными значениями и среднем значением плотности автомобильного потока составляет 29,32 и 30,95 авт/км.

На рисунке 5.12 предсавлены значения плотности потока при тумане. Для отсутствия атмосферных явлений среднее значение плотности потока составит 41,61 авт/км (табл. 5.8).



Рисунок 5.12 – расчет плотности потока в сут, туман

Также наблюдаются 2 ярко выраженных пика и соответствуют тем же дорожным участкам, что и при ясной погоде, только при больших значениях плотности: для участка от Октябрьской наб. до пр. Обуховской обороны составляет 70,45 авт/км, что превышает среднее значение на 28,84 авт/км, а для участка от Дальневосточного пр. до Искровского пр. составляет 64,98 авт/км. Превышение среднего значения составляет 23,37 авт/км

Самые маленькие значения также будут соответствовать тем же дорожным участком, что и при отсутствии атмосферных явлений: на участке от ул. Бабушкина до пр. Обуховской обороны плотность транспортного потока будет составлять 19,9 авт/км, найденное значение меньше среднего на 21,71 авт/км, а для участка от ул. Бабушкина до пр. Обуховской обороны (тот же участок, но в обратном направлении) составляет 17,6 авт/км, найденное значение меньше среднего на 24,01 авт/км.

При сравнении показания расчетных скоростей во время различных метеорологических явлений можно сказать, на графиках четко наблюдается два минимума и два максимума, которые советуют следующим участкам дороги от ул. Бабушкина до пр. Обуховской обороны, от ул. Бабушкина до пр. Обуховской обороны, от Октябрьская набережной до пр. Обуховской обороны и от Дальневосточный пр. до Октябрьская набережной.

Так как участок 9 и 17 страдают от заторов и в ясную погоду, то можно предположить, что причиной является большое количество светофоров, неправильно подобранный режим их работы и наличие препятствий, тормозящих движение ТС в виде трамвайной развязки и съездов на Володарский мост.

На рисунке 5.13 представлен фрагмент расчета плотности потока при различных атмосферных явлениях:

При плотности потока от 8 до 15 авт/км (зелёный цвет), на выбранном участке будут образовываться очереди;

При плотности потока от 15 до 25 авт/км (желтый) поток на выбранном участке будет плотным, но без очередей или стоп-волн;

расчет плотности потока в сут, ясно	расчет плотности потока в сут, скорость дожде	расчет плотности потока в сут, скорость бО, лед	расчет плотности потока в сут, скорость бО, снег	расчет плотности потока в сут, скорость бО, туман
13,95	19,93	23,25	18,60	17,88
28,22	40,31	47,03	37,62	36,18
12,35	17,64	20,58	16,47	15,83
24,72	35,31	41,19	32,96	31,69
28,75	41,07	47,92	38,33	36,86
38,38	54,83	63,97	51,18	49,21
36,05	51,50	60,08	48,07	46,22
37,68	53,83	62,81	50,24	48,31
54,95	78,50	91,58	73,27	70,45
24,72	35,31	41,19	32,96	31,69
27,67	39,52	46,11	36,89	35,47
35,00	50,00	58,33	46,67	44,87
43,90	62,71	73,17	58,53	56,28
30,10	43,00	50,17	40,13	38,59
40,28	57,55	67,14	53,71	51,65
39,13	55,90	65,22	52,18	50,17
50,68	72,40	84,47	67,58	64,98
31,70	45,29	52,83	42,27	40,64
33,88	48,40	56,47	45,18	43,44
25,87	36,95	43,11	34,49	33,16
25,10	35,86	41,83	33,47	32,18
28,10	40,14	46,83	37,47	36,03
35,25	50,36	58,75	47,00	45,19

Рисунок 5.13 – Ранжирования значений плотности потока при разных атмосферных явлениях.

При плотности потока от 25 до 55 авт/км (оранжевый) на выбранном участке будут наблюдаться стоп-волны;

При плотности потока более 50 авт/км (красный) на выбранном отрезке дороги будут наблюдаться участки дороги со стоящим трафиком разделены регионами, где поток движется медленно

Заключение

В работе была рассмотрена возможная дорожная ситуация на линейном мосту при различных метеорологических явлениях. Так же проанализирована возможность возникновения заторов на всех прилежащих к нему улицах на двух берегах.

Были изучены методики расчета интенсивности дорожного потока, расчетной скорости ТС и плотности дорожного потока во время разных атмосферных явлений (ясно, дождь, снегопад, гололед, туман). Расчёты характеристик представлены в таблицах и графиках.

Проведена серия численных экспериментов, в результате которых была определена степень влияния метеорологических параметров на образование заторов на выбранном участке дороги.

Сопоставив полученные результаты с критериями дорожного затора можно сказать, что выбранный участок дороги сильно страдает от дорожных заторов:

- в ясную погоду это связано с тем, что дорога не справляется с потоком ТС, так как выбранный участок содержит большое количество светофоров;
- во время дождя скорость движения падает не значительно, всего на 15 км/ч. Однако
- большое влияние на плотность потока оказывает интенсивность осадков;
- при наличии снегопада на участке возникают заторы со стоящим трафиком, а скорость движения падает до 30 км/ч;
- в гололед наблюдается самая низкая скорость (12 км/ч), но при этом поток ТС меньше, чем при снегопаде, это связано с хорошей видимостью, которой нет во время снегопада.

Предложены возможные способы ликвидации заторов на дорогах:

- снизить необходимость использования ТС (увеличить количество школ и рабочих мест в районе, ввести перехватывающие парковки);
- более корректно отрегулировать режимы работы светофоров на перекрестках, учитывая количество пешеходов и ТС;
- ограничить парковку ТС в правых полосах проезжей части, при наличии дублеров, бесплатной стоянки во дворах или специально отведенных местах;
- провести усовершенствование ливневой канализации;
- ускорить реагирование коммунальных служб на погодную обстановку в городе;
- создавать синоптический прогноз с учетом особых климатических особенностей районов города;
- установка в черте города метеорологических дорожных станций для мониторинга погоды;
- рекомендуется разработка приложения для оперативного реагирования коммунальных служб на изменения погодной ситуации;

Список использованных источников

1. Е.М. Гецович; А. О. Бочарова Об образовании и устранение заторов на улично-дорожной сети. Восточно-Европейский передовых технологий 2012 (стр. 56-58)
2. Яндекс статистика за 2013 год (Электронный ресурс). Режим доступа:
https://yandex.ru/company/researches/2013/city_jams_2013/spb_jams_2013
3. Яндекс статистика за 2011 год (Электронный ресурс). Режим доступа: https://yandex.ru/company/researches/2011/ya_jamsnow_piter_2011
4. Яндекс карты (Электронный ресурс). Режим доступа:
<https://yandex.ru/maps/2/saint-petersburg/>
5. Наука и техника в дорожной отрасли «Advanced science and technology for highways»:международный научно-технический журнал. Москва, 2024, № 2 (15-20).
6. М. Г. Бояршинов; А. С. Вавилин закономерности показателя транспортного затора на некоторых пересечениях улично-дорожной сети. Интеллект. Инновации. Инвестиции / Intellect. Innovations. Investments • № 1, 2024 (95-115)
7. О. Г. Богаткин; Г. Г. Тараканов Учебное пособие по курсу «Основы метеорологии», 2006, РГГМУ
8. Выпускная квалификационная работа Зорин А. Ю. «Анализ неблагоприятных климатических условия для автотранспорта в Тверской области», РГГМУ, 2019 г.
9. Дороги автомобильные общего пользования. Методы учета интенсивности движения транспортного потока, Москва 2019, 26 стр
10. Руководство по прогнозированию интенсивности движения на автомобильных дорогах. Министерство транспорта российской федерации государственная служба дорожного хозяйства. Москва, 2003. 69 стр.

11. ГОСТ Р 52398-2005 Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования, 2006, 4 стр
12. Выпускная квалификационная работа Иванов Р. А. «Оценка возможности профилирования данных АДМС», РГГМУ, 2023 г
13. Логистика: Учебное пособие/ Под редакцией Б.А. Аникина. – М: ИНФРА-М, 1997. – 327 с.
14. Научно-практический журнал. «Энциклопедия судебной экспертизы» Б.М. Тишин. К вопросу уточнённого расчёта тормозного и остановочного пути транспортного средства при анализе дорожно-транспортных происшествий и производстве автотехнических экспертиз
15. К.Л. Восканян, А.Д. Кузнецов, О.С. Сероухова Автоматические метеорологические станции: в 2 т. /. — Ч. 1. Тактико-технические характеристики: учебное пособие. — СПб.: РГГМУ, 2016. — 170 с.
16. Электронный научный журнал «European Student Scientific Journal». Москва, 2024, № 2 (15-20).
17. Восканян К. Л., Иванова Т. И., Кузнецов А. Д. «Определение расчетной скорости и плотности потока транспортных средств, при различных метеорологических условиях»