

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Политехнический институт  
кафедра транспорта

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Е.С. Воеводин

подпись

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Совершенствование нормативов и методов оценки  
соответствия объектов транспортно-дорожной инфраструктуры  
(пешеходные переходы) требованиям технического регламента о  
безопасности автомобильных дорог»

23.04.01 «Технология транспортных процессов»

23.04.01.02 «Оценка соответствия и экспертиза безопасности на  
транспорте»

Научный руководитель \_\_\_\_\_ д-р техн. наук, проф. И.М. Блянкинштейн  
подпись, дата

Выпускник \_\_\_\_\_ А.В. Красюк  
подпись, дата

Рецензент \_\_\_\_\_ начальник отдела транспорта К.В. Козлов  
подпись, дата

Красноярск 2020

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Политехнический институт  
кафедра транспорта

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Е.С. Воеводин

подпись

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

**ЗАДАНИЕ  
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ  
в форме магистерской диссертации**

Студенту Красюку Александру Викторовичу  
Группа ФТ18-06М направление (специальность) 23.04.01 «Технология  
транспортных процессов»

Тема выпускной квалификационной работы «Совершенствование  
нормативов и методов оценки соответствия объектов транспортно-дорожной  
инфраструктуры (пешеходные переходы) требованиям технического  
регламента о безопасности автомобильных дорог»

Утверждена приказом по университету № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Руководитель ВКР И.М. Блянкинштейн, д-р техн. наук, профессор

Исходные данные для ВКР: сведения о ДТП с пострадавшими за  
период с 01.01.2018 г. по 31.12.2018 г. в городе Красноярске

Перечень разделов ВКР:

- 1 Анализ состояния вопроса. Цель и задачи исследования.
- 2 Расчет комплексного коэффициента безопасности наземного  
пешеходного перехода.
- 3 Методика проведения исследования.
- 4 Практические рекомендации по повышению безопасности наземных  
пешеходных переходов.

Перечень графического материала: Приложение 3 «Презентационный  
материал»

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_

И.М. Блянкинштейн

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_

А.В. Красюк

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1 Анализ состояния вопроса. Цель и задачи исследования.....	7
1.1 Обзор существующих работ в области обеспечения безопасности пешеходных переходов.....	7
1.2 Анализ нормативно-правовых актов, регламентирующих требования к организации пешеходных переходов.....	12
1.3 Анализ состояния аварийности на УДС г. Красноярска.....	22
1.4 Наезд на пешехода как вид ДТП.....	26
1.5 Влияние дорожных условий на безопасность движения.....	29
1.6 Выводы по первой главе.....	31
2 Расчет комплексного показателя безопасности наземного пешеходного перехода.....	33
2.1 Определение физического значения параметров наземных пешеходных переходов, регламентируемых нормативно-правовой документацией.....	33
2.2 Расчет коэффициентов весомости параметров безопасности наземных пешеходных переходов.....	41
2.3 Показатели риска ДТП для объектов дорожно-транспортной инфраструктуры.....	43
2.4 Определение зависимости показателя риска ДТП от комплексного коэффициента безопасности.....	47
2.5 Выводы по второй главе.....	48
3 Методика проведения исследования.....	50
3.1 Методика проведения натуральных исследований наземных пешеходных переходов г. Красноярска.....	50
3.2 Порядок вычисления коэффициентов весомости.....	52
3.3 Методика статистической обработки данных, применяемая для оценки адекватности модели.....	54
3.4 Выводы по третьей главе.....	56
4 Практические рекомендации по повышению безопасности наземных пешеходных переходов.....	57
4.1 Анализ результатов обследования пешеходных переходов.....	57
4.2 Вывод формулы комплексного коэффициента безопасности наземных пешеходных переходов.....	61
4.2.1 Практическое нахождение коэффициентов весомости для параметров требований безопасности.....	61

4.2.2 Анализ полученных результатов расчетов с помощью дополнительной регрессионной статистики .....	65
4.3 Расчет риска совершения ДТП на наземных пешеходных переходах	70
4.4 Классификация наземных пешеходных переходов в зависимости от значения комплексного коэффициента безопасности.....	71
4.5 Выводы по четвертой главе .....	73
Заключение .....	76
Список использованных источников .....	78
Приложение А Форма протокола осмотра наземных пешеходных переходов .....	79
Приложение Б Сведения о ДТП с пострадавшими на наземных пешеходных переходах за период с 01.01.2018 г. по 31.12.2018 г. ....	81
Приложение В Результаты натурного исследования параметров наземных пешеходных переходов.....	88
Приложение Г Результаты натурного исследования наземных пешеходных переходов, на которых за период с 01.01.2018 г. по 31.12.2018 г. не происходили ДТП.....	94
Приложение Д Расчет показателя относительной аварийности.....	96
Приложение Е Результаты расчетов коэффициентов весомости по данным о наземных пешеходных переходах, на которых произошли ДТП с пострадавшими с учетом пешеходных переходов.....	105
Приложение Ж Результаты расчета комплексного коэффициента безопасности для наземных пешеходных переходов города Красноярска.....	107
Приложение З Презентационный материал.....	115

## ВВЕДЕНИЕ

В России ежегодно совершается около 70 тысяч наездов на пешеходов: каждое четвертое ДТП (с пострадавшими) – это наезд на пешехода. В крупных городах до половины всех ДТП – наезды на пешеходов, из них на пешеходных переходах в городах происходит каждый ТРЕТИЙ наезд на пешехода, в том числе по вине водителей - в 86% случаев.

В последние несколько лет, в результате ДТП гибло от 8,7 до 10 тысяч пешеходов ежегодно, каждый седьмой из пострадавших в ДТП, т.е. около 9 тысяч пешеходов в год становятся инвалидами.

Наезды на пешеходных переходах – самая острая проблема пешеходов на сегодняшний день. Ее разрешение вполне возможно, но требует инвестиций и комплексного подхода, обеспечивающего одновременное решение некоторых традиционных для российских пешеходов проблем.

Ежегодный существенный прирост автопарка в России при слабом росте дорожной сети пока не дает повода для оптимистичных прогнозов изменения ситуации на дорогах, особенно в городах. Нужны новые подходы к решению проблем, часто необходимы компромиссы, но разрабатывая решение, во главе приоритетов всегда нужно ставить человеческую жизнь и здоровье.

Целью данной работы является повышение безопасности объектов дорожно-транспортной инфраструктуры, направленное на совершенствование нормативов и методов оценки соответствия объектов транспортно-дорожной инфраструктуры (пешеходных переходов) требованиям технического регламента о безопасности автомобильных дорог.

## **1 Анализ состояния вопроса. Цель и задачи исследования**

Обозначив необходимость обеспечения безопасности на пешеходных переходах в населенном пункте, требуется провести обзор литературы по данной тематике, изучить и проанализировать научные работы, статьи, а также нормативно-техническую документацию.

### **1.1 Обзор существующих работ в области обеспечения безопасности пешеходных переходов**

В РФ были разработаны ГОСТы, которые в дальнейшем нашли свое отражение в ТР ТС 014/2011 «Безопасность автомобильных дорог».

В Республике Беларусь требования к улицам и автомобильным дорогам с регулярным автобусным и троллейбусным движением были сформулированы в 1978 г. Министерством транспорта и коммуникаций. Актуализированный документ «Элементы обустройства автомобильных дорог и улиц. Термины и определения. Классификация» утвержден в 2006 г. В них предписывались обязательные требования по обустройству пешеходных переходов.

Пешеходные переходы являются одними из наиболее опасных участков на автомобильных дорогах и улицах населённых пунктов. Применение обычных методов - нанесение горизонтальной дорожной разметки, установка дорожных знаков зачастую не приводит к повышению безопасности движения пешеходов. В свою очередь, устройство переходов в разных уровнях - подземные и надземные - во многих случаях не могут быть реализованы по ряду причин. Среди них, прежде всего, необходимо отметить высокую стоимость и продолжительность работ, а, следовательно, создание помех на длительный период. В условиях сложившейся планировки городов также необходимо упомянуть проблему выделения необходимого для строительства места. Еще одним важным моментом является определённая сложность пользования подземными и надземными пешеходными переходами для пожилых людей и пешеходов с ограниченными физическими возможностями.

Исходя из особенностей функционирования пешеходных переходов в одном уровне - безопасное пересечение транспортных и пешеходных потоков в различных условиях эксплуатации (дневное и ночное время суток,

наличие осадков, тумана и т.д.) разработан ряд методов повышения информативности и безопасности в целом. Направления повышения безопасности дорожного движения можно разделить на следующие:

- повышение информативности путём применения нетрадиционных высокоэффективных материалов и изделий, применяемых для стандартных технических средств организации дорожного движения (прежде всего дорожных знаков и разметки);
- повышение информативности за счёт применения нестандартных технических средств организации дорожного движения;
- улучшение горизонтальной освещённости в тёмное время суток;
- улучшение параметров дорожных покрытий на пешеходных переходах и в непосредственной близости от них.

В рамках повышения безопасности на наземных пешеходных переходах работали Чикалин Е.Н., Ермаков Ф.Х., Бондаренко Е.В., Озорнин С.П., Кузьменко В.Н., Полховская А.С. и другие

Обзору подвергнуты работы отечественных и зарубежных ученых, связанные с дорожно-транспортными опасностями, организацией дорожного движения и решением технических вопросов расследования ДТП. Рассмотрены исследования В.Ф. Бабкова, А.К. Бирюля, В.Г. Боцманова, Я.И. Бронштейна, П.Г. Буги, Н.А. Бухарина, Д.П. Великанова, Л.В. Гуревича, Г.И. Клинковштейна, В.И. Коноплянко, А.С. Литвинов Е.М. Лобанова, и других.

В 2012 году была защищена диссертация Симуль М.Г. на тему: «Повышение безопасности дорожного движения в зонах пешеходных переходов на магистральных улицах». В ней автор рассматривала связь повышения безопасности дорожного движения на магистральных улицах на основе оценки опасности пешеходных переходов с применением модели определения количества конфликтов «транспортные средства-пешеходы», учитывающей ширину проезжей части, ширину пешеходного перехода и интенсивность движения пешеходов[1]. Однако не рассмотрены недостатки расположения пешеходных переходов относительно прочих объектов инфраструктуры согласно ГОСТов.

В работе Симакова А.В. можно отличить комплексный подход к оценке безопасности на пешеходных переходах. Он утверждает, что эффективное воздействие на процесс организации дорожного движения и обеспечения его безопасности возможно в результате выявления различных факторов, влияющих на возникновение ДТП и тяжесть их последствий. В диссертационной работе предложены основные принципы применения технических средств организации движения при обустройстве пешеходных



переходов (введение светофорного регулирования, применение искусственных неровностей и пешеходных ограждений).

Для определения пересечений траекторий движения транспортных и пешеходных потоков на любых нерегулируемых пешеходных переходах при помощи программного пакета Statistica (dataanalysissoftwaresystem), version 6.0 Симаковым А.В. получено уравнение для расчета указанного показателя [2]:

$$X_i = -73,65 + 0,1265 \cdot N_i^{\text{авт.}} + 0,4472 \cdot N_i^{\text{пеш.}} - 2,146 \cdot 10^{-5} \cdot (N_i^{\text{авт.}})^2 + 9,5341 \cdot 10^{-6} \cdot N_i^{\text{авт.}} \cdot N_i^{\text{пеш.}} - 0,0003 \cdot (N_i^{\text{пеш.}})^2, \quad (1.1)$$

где  $N_{i\text{авт}}$  – интенсивность движения автомобилей на  $i^i$ -ом пешеходном переходе, авт./час;

$N_{i\text{пеш}}$  – интенсивность движения пешеходов на  $i$ -ом пешеходном переходе, чел./час.

Графическое отображение зависимости количества пересечений траекторий от интенсивностей движения потоков представлено на рисунке 1.1.

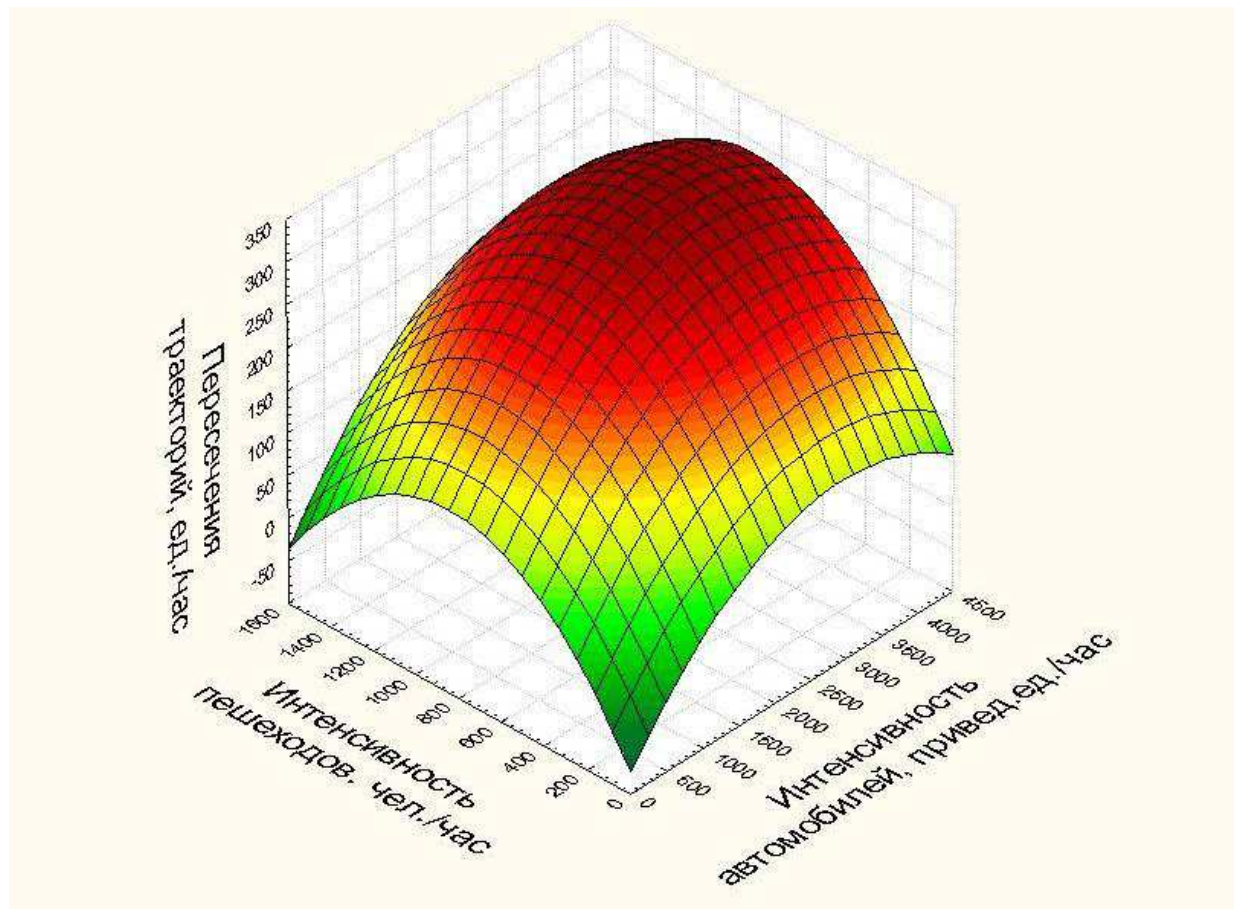


Рисунок 1.1 – Зависимость числа пересечений траекторий от интенсивностей движения транспортных и пешеходных потоков [2]

Всего по результатам анализа статистических и расчетных данных было выделено 20 классификационных признаков [2]:

X1,2,3 – суммарная приведенная интенсивность движения автомобилей утром, днем, вечером соответственно, ед./час;

X4,5,6 – доля пассажирского транспорта утром, днем, вечером соответственно, % от общей интенсивности движения;

X7,8,9 – доля грузового транспорта утром, днем, вечером соответственно, % от общей интенсивности движения;

X10,11,12 – интенсивность движения пешеходов утром, днем, вечером соответственно, чел./час;

X13,14 – число полос движения в прямом, обратном направлении соответственно, шт.;

X15 – общее количество дорожно-транспортных происшествий в период с 2000 по 2010 г.г., шт.;

X16 – наличие остановки общественного транспорта;

X17 – наличие разделительной полосы на проезжей части;

X18,19 – ширина полосы движения в прямом, обратном направлении соответственно, м;

X20 – количество возможных пересечений траекторий движения транспортных и пешеходных потоков, ед./час.

Перед проведением классификации наземных пешеходных переходов необходимо определить степень влияния классификационных признаков и отсеять малозначимые признаки. Данная задача решена при помощи методов факторного анализа в программной среде Statistica (dataanalysissoftwaresystem), version 6.0. В результате установлено, что наиболее значимыми являются три фактора: X2 – суммарная приведенная интенсивность движения автомобилей днем, X11 – интенсивность движения пешеходов днем, X20 – количество возможных пересечений траекторий движения транспортных и пешеходных потоков. Значения указанных факторов применялись для проведения классификации переходов путем использования кластерного анализа.

Кандидат технических наук СПбГАСУ Тюлькин Е.В. для нахождения наиболее опасных участков улично-дорожной сети и осуществления общественного контроля, с последующим принятием неотложных мер по их благоустройству, создал программный продукт, позволяющий

автоматизировать процесс сбора и обработки статистических данных о ДТП «Многоуровневую информационно-аналитическую систему организации безопасности дорожного движения» (МИАС ОБДД). Одной из основных задач данного программного продукта является определение местных факторов риска (точное определение факторов, связанных с обустройством выбранного участкалично-дорожной сети, влияющих на факт возникновения ДТП). Использование разработанной схемы, математическая модель которой представлена формулой (1.2), позволяет получить как данные о факторах, оказывающих наибольшее влияние на ДТС, на том или ином участке УДС, так и их количественное выражение для расчета числового значения безопасности участка автомобильной дороги, имеющего максимум, равный критерию оптимальности [3]:

$$P = k_1 \cdot x_1 + k_2 \cdot x_2 + k_3 \cdot x_3 + \dots + k_n \cdot x_n \rightarrow \max, \quad (1.2)$$

где  $k_n$  – коэффициент учитываемого дорожного фактора;

$x_n$  – степень выполнения требований стандартов для выделенного дорожного сегмента;

$$x_n = (c \cdot s)/100\%, \quad (1.3)$$

где  $s$  – бальная оценка наличия тех или иных элементов дорожной среды (10 баллов – имеются все элементы, 5 баллов – частичное наличие и т.д.);

$c$  – константа, показывающая соотношение влияния факторов в системе ВАДСУ.

Тогда числовое значение безопасности дорожного сегмента – это сумма рассчитанных коэффициентов однородных факторов дорожной среды  $k_n$ , полученных с использованием метода парных сравнений [3].

Доктор технических наук Столяров В.В. доказал, что в качестве основного закона распределения в теории риска для композиции геометрических и (или) прочностных параметров автомобильных дорог можно использовать нормальное распределение. Им была разработана математическая модель теории риска от табулированной функции нормального распределения к табулированной функции Лапласа[4]:

$$r = 1 - \Phi_u(u) = 1 - [0,5 + \Phi(u)] = 0,5 - \Phi(u), \quad (1.4)$$

или

$$r = 0,5 - \Phi \left[ \frac{A_{\text{ср}} - A_{\text{кр}}}{\sqrt{\sigma_{A_{\text{ср}}}^2 + \sigma_{A_{\text{кр}}}^2}} \right], \quad (1.5)$$

где  $\Phi \left[ \frac{A_{\text{ср}} - A_{\text{кр}}}{\sqrt{\sigma_{A_{\text{ср}}}^2 + \sigma_{A_{\text{кр}}}^2}} \right]$  – взятие внешнего интеграла при помощи функции Лапласа;

$A_{\text{ср}}$  – среднее значение опасного параметра транспортного сооружения;

$A_{\text{кр}}$  – тот параметр, находящийся в критическом состоянии, при реализации которого риск причинения вреда равен 50 % (0,5);

$\sigma_{A_{\text{ср}}}$  и  $\sigma_{A_{\text{кр}}}$  – среднеквадратические отклонения рассматриваемых величин.

Формула (1.5) справедлива только для тех систем, которые функционируют нормально при  $A_{\text{ср}} \gg A_{\text{кр}}$ . В этих системах с уменьшением параметра  $A_{\text{ср}}$  увеличивается риск (вероятность отказа) системы [4].

Кроме того, риск, определяемый по формулам (1.4) и (1.5), увеличивается с увеличением характеристик разброса  $\sigma_{A_{\text{ср}}}$  и  $\sigma_{A_{\text{кр}}}$ , что указывает на возможность в математических моделях теории риска учитывать уровни качества строительства транспортных сооружений и допуски на отклонения прочностных и геометрических показателей [4].

Необходимость в определении вероятности ДТП в зависимости от параметров и использованных технических средств организации дорожного движения остается.

Для проведения исследования и выделения факторов оценки соответствия организации пешеходных переходов требованиям нормативно-технической документации рассмотрим требования, предъявляемые к пешеходным переходам в Российской Федерации.

## **1.2 Анализ нормативно-правовых актов, регламентирующих требования к организации пешеходных переходов**

Согласно пункта 11 статьи 3 ТР ТС 014/2011 «Безопасность автомобильных дорог» при проектировании новых и реконструкции существующих мостов следует принимать проектные решения, обеспечивающие безопасность движения транспортных средств и пешеходов в период эксплуатации. Конкретных требований в ТР ТС 014/2011 к организации пешеходных переходов не предъявляется. Тогда необходимо обратиться к перечню стандартов, в результате применения которых на

добровольной основе обеспечивается соблюдение данного требования технического регламента Таможенного союза.

Общие требования к организации пешеходных переходов предъявляются согласно ГОСТ 32944-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Пешеходные переходы. Классификация. Общие требования», который и указан в Перечне.

Организация пешеходных переходов осуществляется для обеспечения возможности безопасного пересечения проезжей части дорог пешеходами.

При проектировании строительства, реконструкции и капитального ремонта дорог необходимо предусматривать возможность безопасного перехода дорог пешеходами путем устройства пешеходных переходов в одном или разных уровнях в соответствии с требованиями нормативных документов.

Регулирование пешеходных переходов через проезжую часть в населенных пунктах необходимо вводить, когда за последние 12 месяцев на перекрестке совершено не менее трех дорожно-транспортных происшествий, связанных с наездами транспортных средств на переходящих дорогу пешеходов, которые могли бы быть предотвращены при наличии регулирования дорожного движения.

Для вновь возводимых и реконструируемых автомобильных дорог I категории пешеходные переходы проектируются только в разных уровнях с проезжей частью.

Для вновь возводимых и реконструируемых автомобильных дорог II—IV категорий пешеходные переходы вне проезжей части должны быть предусмотрены в соответствии с требованиями 4.5 при перспективном уровне загрузки дорог транспортным и пешеходным движением, равном или более 0.9.

Пешеходные переходы вне проезжей части на существующих автомобильных дорогах могут устраиваться в соответствии с требованиями на основании технико-экономического обоснования такого решения по сравнению с вариантом светофорного регулирования.

Ширина пути пешеходного движения на пешеходных переходах вне проезжей части принимается в зависимости от расчетной интенсивности движения пешеходов в час «пик» и максимальной пропускной способности одной полосы шириной 1.0 м.

Общая ширина туннеля подземного пешеходного перехода рассчитывается из максимальной пропускной способности одной полосы, равной 2000 чел./ч, но не менее 3 м.

Общая ширина мостика надземного пешеходного перехода рассчитывается из максимальной пропускной способности одной полосы, равной 2000 чел./ч, но не менее 3 м.

Общая ширина лестниц для подъема на надземный или спуска в подземный пешеходный переход рассчитывается из максимальной пропускной способности одной полосы, равной 1500 человек/час, но не менее 2.25 м (при условии устройства двух лестниц в каждом торце перехода).

Общая ширина пандуса для спуска в подземный пешеходный переход рассчитывается из максимальной пропускной способности одной полосы, равной 1750 чел./ч. но не менее 2.25 м.

Пандусный подъем на надземный или спуск в подземный пешеходный переход для детских и инвалидных колясок должен предусматриваться на всех пешеходных переходах. Ширину пандуса следует принимать не менее 1 м (дополнительно к минимальной ширине лестниц). Верхнюю площадку пандуса следует приподнимать на 0.04—0.12 м над уровнем тротуара с устройством въездной ramпы длиной не менее 2 м.

Уклон каждого марша пандуса в зависимости от его длины не должен превышать величин, предусмотренных ГОСТ. В начале и конце каждого подъема пандуса следует устраивать горизонтальные площадки шириной не менее ширины пандуса и длиной не менее 1.6 м. При изменении направления пандуса горизонтальная площадка должна иметь размер 1,8 \* 1.6 м. В исключительных случаях допускается предусматривать винтовые пандусы, величина внутреннего радиуса которых рассчитывается по графику. Длина промежуточных горизонтальных площадок винтового пандуса по внутреннему его радиусу должна составлять не менее 2 м. По обеим сторонам пандуса предусматриваются бортики высотой не менее 0.05 м и ограждения.

Лестницы на пешеходных путях должны иметь не менее трех, но не более 12 ступеней в одном марше. После каждого марша необходимо устраивать площадки длиной не менее 1.5 м. Количество ступеней в марше, как правило, должно быть одинаковым.

Высоту ступеней следует назначать не более 0.12 м и одинаковой на всем протяжении лестницы, ширину — не менее 0.4 м. Подступенок устраивается вертикально, проступь — горизонтально с шероховатой поверхностью и без выступа над подступенком.

Площадки на подходах к лестницам следует выделять за счет применения покрытий, контрастирующих по материалу и цвету с покрытием тротуаров и пешеходных дорожек, шириной 1 м.

Площадки следует устраивать с уклоном 1.5 %. Верхние площадки должны быть приподняты над уровнем тротуара на 0.05—0.15 м.

Лестничные сходы и пешеходные пандусы, как правило, устраивают открытыми и располагают в пределах тротуаров, пешеходных дорожек и полос озеленения с учетом направления и интенсивности пешеходных потоков. При соответствующем технико-экономическом обосновании допускается устройство над входами остекленных павильонов.

Открытые лестничные сходы следует ограждать парапетами и перилами общей высотой не менее 1 м от поверхности тротуара, в том числе высота парапета должна быть от 0.3 до 0.5 м.

Расстояние от внешней грани парапета до внешней грани бортовой ограждения проезжей части должно быть не менее 0.75 м. В стесненных условиях это расстояние может быть уменьшено до 0.5 м.

Лестницы и пандусы следует оборудовать с обеих сторон перилами, расположенными на высоте 0.9 и 0.7 м. Длина поручня должна быть больше длины пандуса или марша лестницы с каждой стороны не менее чем на 0.3 м. Поручни должны быть диаметром от 0.03 до 0.05 м или прямоугольного сечения толщиной не более 0,04 м. концы поручней — отгибаться вниз, а при их парном расположении — соединяться между собой.

Продольный уклон туннеля подземного пешеходного перехода следует предусматривать не более 40 % при поперечном уклоне 2 %. Допускается устройство пола туннеля без продольного уклона с устройством водоотводного лотка, продольный уклон которого принимается от 2 до 5 %.

Высоту пешеходных туннелей от уровня пола до низа выступающих конструкций следует принимать не менее 2,3 м.

Подмостовой габарит для пешеходных мостиков на дорогах и улицах должен быть не менее 5 м.

Водоотводные системы и устройства надземных и подземных пешеходных переходов должны обеспечивать прием и отвод дождевых, талых и мочных вод с пешеходных путей.

Как правило, отвод вод должен осуществляться на прилегающую территорию с использованием существующего рельефа местности. В случае невозможности отвода вод с использованием существующего рельефа местности водоотводные системы и устройства должны быть увязаны с общей системой организации поверхностного стока и водоотвода.

Устраиваемые на пешеходных путях водоприемные лотки, приямки и смотровые колодцы должны закрываться чугунными решетками.

Освещение пешеходных переходов должно иметь три режима работы: ночной, вечерний и дневной.

В подземных пешеходных переходах освещенность пути движения пешеходов на уровне пола должна приниматься:

- в дневном режиме — не менее 50 лк;
- в вечернем режиме — не менее 20 лк;
- в ночном режиме — не менее 10 лк.

Освещенность лестничных сходов и пути движения пешеходов на уровне пола надземного пешеходного перехода должна предусматриваться:

- в вечернем режиме — не менее 15 лк;
- в ночном — не менее 10 лк.

Светильники для освещения следует защищать специальной конструкцией, предотвращающей акты вандализма.

Входы и выходы пешеходных переходов пеш проезжей частью следует оборудовать информационно-указательными дорожными знаками «Подземный пешеходный переход» по ГОСТ 32945, а пешеходные переходы над проезжей частью — «Надземный пешеходный переход» по ГОСТ 32945.

Для вновь возводимых и реконструируемых автомобильных дорог II — IV категорий пешеходные переходы на проезжей части должны быть предусмотрены в соответствии с требованиями 4.5 при перспективном уровне загрузки дорог и улиц транспортным и пешеходным движением более 0.9.

Пешеходные переходы на проезжей части и на существующих автомобильных дорогах устраиваются в местах сложившейся траектории движения пешеходов на расстоянии не менее 200 м друг от друга.

Ширина пешеходного перехода на проезжей части устанавливается с учетом интенсивности пешеходного движения из расчета 1 м на каждые 500 чел./ч, но не менее 3 м.

Ширина пешеходного перехода должна быть не менее ширины пешеходной дорожки (тротуара), продолжением которой является пешеходный переход.

Обозначение пешеходных переходов осуществляется путем установки дорожных знаков «Пешеходный переход» по ГОСТ 32945 и горизонтальной разметки проезжей части по ГОСТ 32953. Обозначаемые пешеходные переходы должны устраиваться под прямым углом к оси проезжей части (допускается угол между осями перехода и проезжей части не менее 85 град).



На обозначенных пешеходных переходах в одном уровне должна быть обеспечена видимость транспортных средств и пешеходов исходя из обеспечения «треугольника видимости» пешеход-транспорт, приведенного на рисунке 1.2. Стороны «треугольника видимости» пешеход-транспорт следует принимать по номограммам, приведенным на рисунках 2 и 3 в зависимости от установленных скоростей движения транспортных средств.

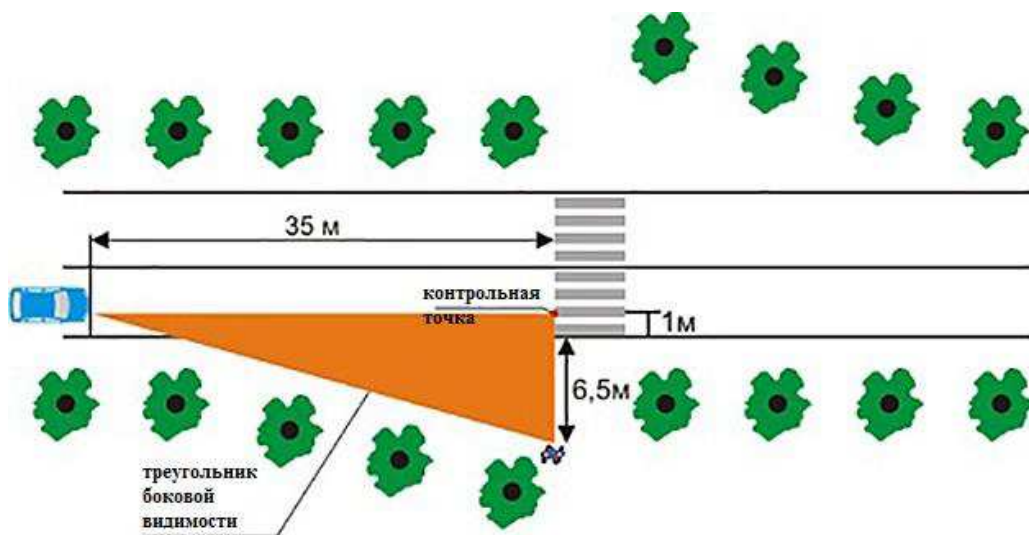


Рисунок 1.2 — Пример обеспечения «треугольника видимости» на пешеходном переходе

В зоне «треугольника видимости» обозначенного пешеходного перехода не допускается размещение строений и зеленых насаждений высотой более 0.5 м, деревьев с низом кроны в свету менее 2.5 м. а также должна быть запрещена оставка/стоянка транспорта.

Обозначенные пешеходные переходы не должны располагаться напротив расположенных вблизи проезжей части дверей магазинов, проходных предприятий, калиток школ или иных детских учреждений. Необходимо на их пути устроить ограждение второй группы и повернуть пешеходный поток по тротуару на 20—30 м. предпочтительнее против движения транспорта (рисунок 1.3).

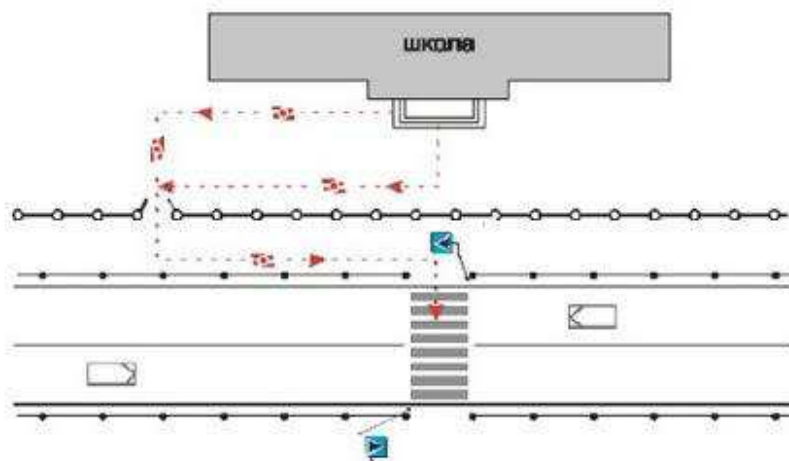


Рисунок 1.3 — Устройство пешеходного перехода вблизи школы

Не допускается расположение переходов на участках автомобильных дорог и улиц с необеспеченной нормативной видимостью встречного автомобиля на кривых в плане и выпуклых кривых в профиле. В случае невозможности выполнения этих требований скорость движения транспортных средств должна быть ограничена.

В местах, где движение пешеходов происходит по разделительной полосе (бульвару), следует устраивать «Z-образные» (разделенные) переходы посредством устройства пешеходных направляющих ограждений, которые обеспечивают движение пешеходов навстречу движению транспортных потоков (рисунок 1.4).

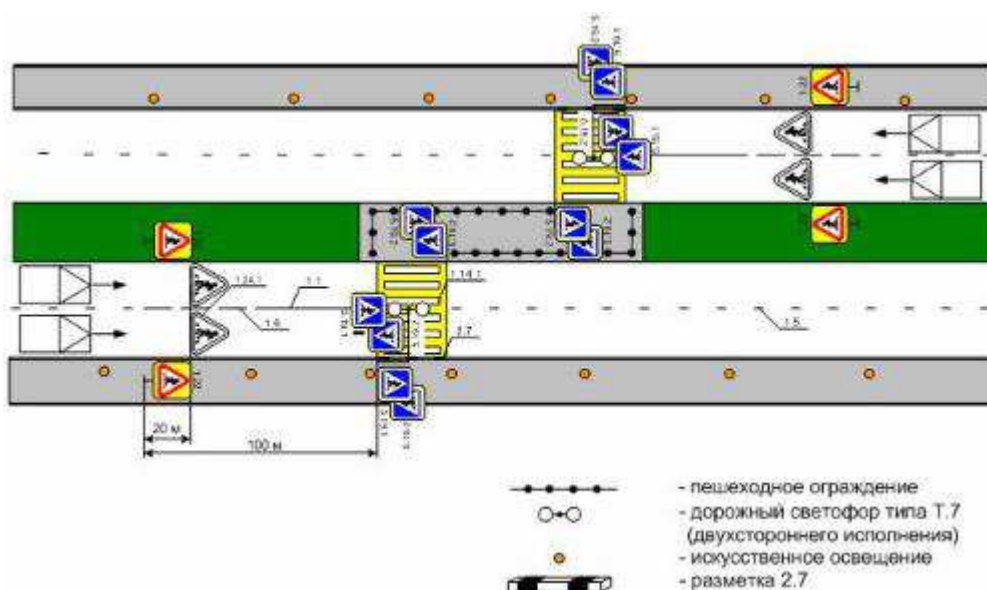


Рисунок 1.4 — Устройство пешеходного перехода на автомобильной дороге с разделительной полосой

В сложившихся неблагоприятных условиях для движения пешеходов (на участках концентрации дорожно-транспортных происшествий, вблизи детских учреждений и т. п.) необходимо осуществлять поэтапное совершенствование организации дорожного движения на обозначенных пешеходных переходах, включающее в себя:

- обозначение пешеходного перехода дорожным знаком на флуоресцентном фоновом экране желтого цвета по ГОСТ 32945;
- обозначение пешеходного перехода с применением светодиодного дорожного знака с мерцающим изображением пешехода по ГОСТ 32945;
- дополнительное обустройство пешеходного перехода шумовыми полосами по ГОСТ 33025;
- дополнительное обустройство пешеходного перехода шумовыми полосами по ГОСТ 33025 и искусственными неровностями по ГОСТ 32964;
- дополнительное обустройство пешеходного перехода островком безопасности с бортовым камнем в качестве защитного элемента;
- обозначение пешеходного перехода световозвращателями КДЗ по ГОСТ 32866;
- устройство на подъездах к пешеходному переходу дорожной разметки с изображением дорожною знака «Впереди пешеходный переход» по ГОСТ 32953;
- устройство над основной проезжей частью приподнятого пешеходного перехода:
- установку на обозначенных пешеходных переходах транспортных светофоров по ГОСТ 33385, работающих в постоянном режиме желтого мигания;
- установку в зоне подходов пешеходов к пешеходному переходу специальных датчиков, обеспечивающих при появлении пешеходов заблаговременное включение транспортных светофоров в режим желтого мигания;
- устройство стационарного электрического освещения пешеходного перехода и проезжей части на подходах к нему.

Регулирование перехода пешеходов через проезжую часть автомобильных дорог должно устраиваться в соответствии с требованиями.

Выбор типа регулирования на наземных пешеходных переходах осуществляется владельцами автомобильных дорог по согласованию с территориальными подразделениями Министерства внутренних дел.

Обозначенные пешеходные переходы и подъезды к ним должны быть обустроены стационарным электрическим освещением.

Протяженность освещаемых подъездов к пешеходным переходам должна быть не менее:

- 50 м — при установленной скорости движения 40 км/ч;
- 75 м — при установленной скорости движения 60 км/ч;
- 150 м — при установленной скорости движения 90 км/ч.

Освещение покрытия должно соответствовать требованиям ГОСТ 33176.

Схема организации дорожного движения на нерегулируемом пешеходном переходе в населенном пункте при двухполосном движении транспортных средств приведена на рисунке 1.5.

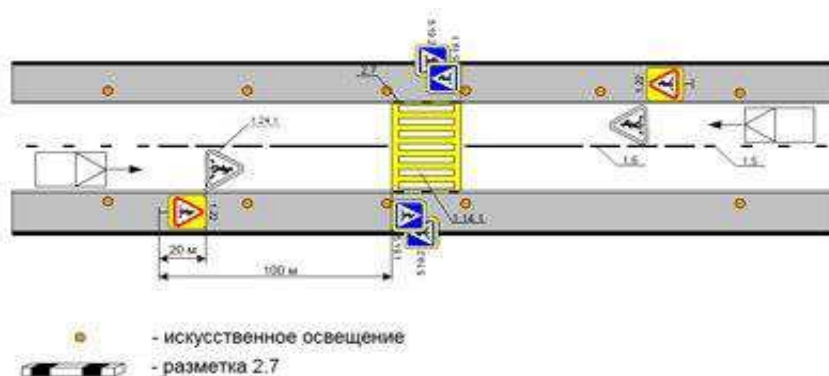


Рисунок 1.5 – Схема организации дорожного движения на нерегулируемом пешеходном переходе в населенном пункте при двухполосном движении транспортных средств

Схема организации дорожного движения на регулируемом пешеходном переходе в населенном пункте при двухполосном движении транспортных средств приведена на рисунке 1.6.

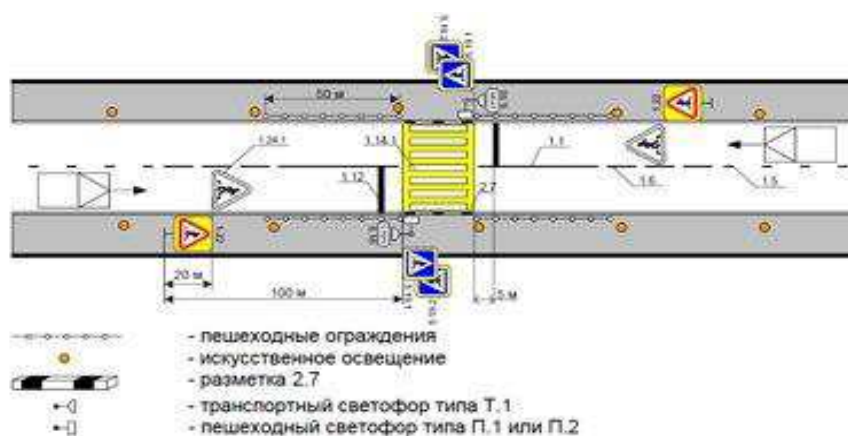


Рисунок 1.6 – Схема организации дорожного движения на регулируемом пешеходном переходе в населенном пункте при двухполосном движении транспортных средств

Требования к обустройству пешеходных переходов содержатся в Национальном стандарте ГОСТ Р 52766-2007 «Дороги автомобильные общего пользования. Элементы обустройства. Общие требования».

Пешеходные переходы через автомобильные дороги в населенных пунктах располагают через 200-300 м. При этом выбор мест их размещения осуществляют с учетом сформировавшихся регулярных пешеходных потоков, расположением остановок маршрутных транспортных средств, объектов притяжения пешеходов. В населенных пунктах протяженностью до 0,5 км устраивают не более двух пешеходных переходов с интервалом 150-200 м.

Вне населенных пунктов пешеходные переходы устраивают в местах размещения пунктов питания и торговли, медицинских и зрелищных учреждений и других объектов обслуживания движения напротив тротуаров и пешеходных дорожек, ведущих к этим учреждениям.

Вне населенных пунктов места наземных пешеходных переходов должны просматриваться с обеих сторон дороги на расстоянии не менее 150 м.

Вид пешеходного перехода выбирают в зависимости от величины и соотношения интенсивности автомобильного и пешеходного движения  $N_{пеш.}$  (рисунок 1.7) [10].

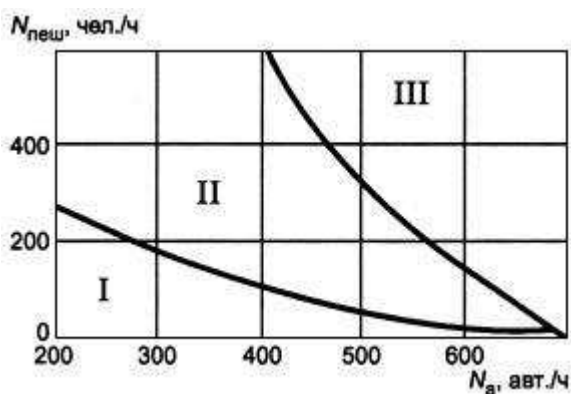


Рисунок 1.7— Условия применения пешеходных переходов различных видов  
 I - нерегулируемые наземные переходы; II - регулируемые наземные переходы;  
 III - внеуличные переходы (надземные и подземные)

Пешеходный переход должен быть оборудован дорожными знаками, разметкой, стационарным наружным освещением (с питанием от распределительных сетей или автономных источников).

На дорогах с шириной проезжей части 15 м и более наземные пешеходные переходы должны быть оборудованы островками безопасности.

На переходах со светофорным регулированием пешеходные светофоры могут быть дополнены цифровыми табло, показывающими время, оставшееся до включения разрешающего сигнала пешеходного светофора, а также звуковым сигналом, действующим во время горения разрешающего сигнала.

У наземных пешеходных переходов со светофорным регулированием должны быть установлены ограничивающие пешеходные ограждения перильного типа с двух сторон дороги на расстоянии не менее 50 м в обе стороны от пешеходного перехода.

На дорогах с разделительной полосой в местах нахождения внеуличных пешеходных переходов (подземных и надземных) должны быть установлены ограничивающие пешеходные ограждения перильного типа или ограждения в виде сеток длиной не менее 20 м на разделительной полосе в обе стороны от пешеходного перехода (при отсутствии на разделительной полосе удерживающих ограждений для автомобилей).

Аналогичные требования к организации пешеходных переходов приведены в СП 396.1325800.2018 «Улицы и дороги населенных пунктов. Правила градостроительного проектирования».

СП 396.1325800.2018 приведен в Перечне национальных стандартов, в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований ФЗ «Технического регламента о безопасности зданий и сооружений».

### **1.3 Анализ состояния аварийности на УДС г. Красноярск**

В автомобильных катастрофах ежегодно гибнут десятки тысяч людей. Подобные цифры много раз превышают количество погибших в авиакатастрофах и других ситуациях. Статистика имеет отрицательную динамику по ДТП, но результаты все же не утешительны.

С января по декабрь 2018 года, по подсчитанным ГИБДД данным, произошло 168.099 ДТП, что на 0.8% меньше, чем за аналогичный период 2017 года. Основными причинами гибели людей в ДТП, согласно официальной статистике, являются низкое качество дорожного полотна и вождение в состоянии опьянения – алкогольного или же иного. Общая статистика ДТП по территории Российской Федерации за январь-декабрь 2018 года приведена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Статистика ДТП по Российской Федерации за январь-декабрь 2018 г.

Показатель	Количество
Суммарное количество ДТП	168 099
Количество погибших в результате аварии	18 214
Смертность среди детей, попавших в ДТП	582
Раненых, но не умерших	214 853
Раненых среди лиц, возраст которых менее 18 лет	15 860

Распределение количества ДТП за период 2014 – 2018 гг. по районам города Красноярска представлено в таблице 1.2 и на рисунке 1.8.

Таблица 1.2 – Распределение количества ДТП в г. Красноярске за период 2014 – 2018 гг. по районам города

Районы города	Год				
	2014	2015	2016	2017	2018
Железнодорожный	164	180	134	151	128
Кировский	235	197	180	146	168
Ленинский	244	239	227	195	177
Октябрьский	279	266	272	232	215
Свердловский	227	219	196	145	211
Советский	516	522	478	397	388
Центральный	266	279	279	223	241
г. Красноярск	1931	1902	1766	1489	1528

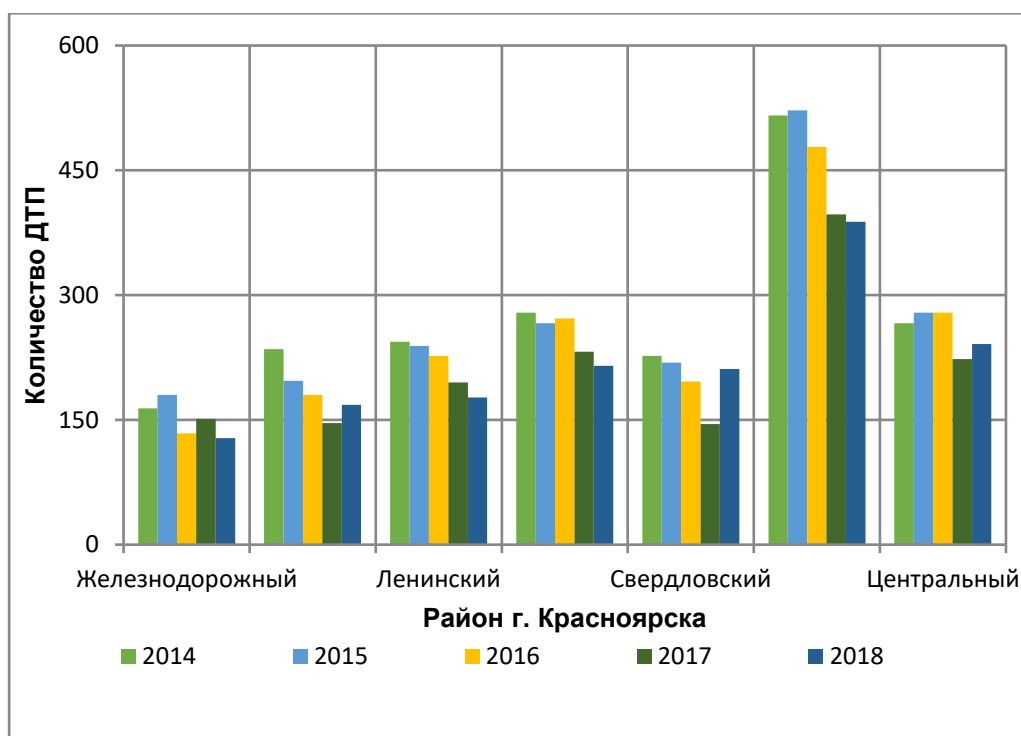


Рисунок 1.8 – Распределение количества ДТП за период 2014 – 2018гг. по районам г. Красноярска

В 2018 году снижение числа ДТП снижается только в Железнодорожном, Ленинском и Октябрьском районах, в Советском районе снижение относительно 2017 года незначительное, а в остальных – количество ДТП растет. Общее же количество ДТП по г. Красноярску по сравнению с 2017 годом выросло в 2018 году.

Рассмотрим распределение количества ДТП по их видам. Распределение количества ДТП по видам за 2017 - 2018 года приведено в таблице 1.3 и на рисунке 1.9.

Таблица 1.3 – Распределение количества ДТП по видам за 2017 - 2018 года

Вид ДТП	Количество ДТП	
	2017	2018
Съезд с дороги	3	2
Наезд на пешехода	565	504
Столкновение	599	637
Падение пассажира	184	185
Опрокидывание	6	23



Наезд на препятствие	81	88
Наезд на стоящие ТС	13	29
Наезд на велосипедиста	18	37
Иные виды ДТП	19	23

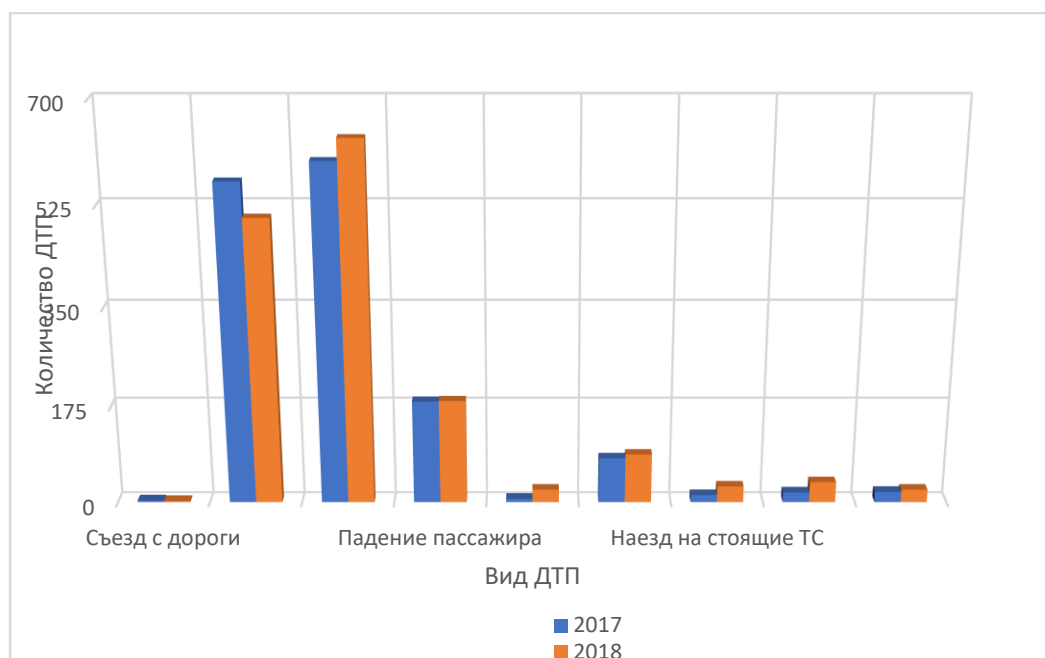


Рисунок 1.9 – Распределение количества ДТП по видам за 2017 - 2018 года

Второй по количеству происшедших вид ДТП – наезд на пешехода. Рассмотрим этот вид ДТП подробнее в зависимости от места наезда. Распределение количества ДТП, погибших и раненых, связанных с наездом на пешеходов вне и на пешеходных переходах в г. Красноярске за 2017-2018 гг. приведено в таблице 1.4 и на рисунке 1.10.

Таблица 1.4 – Распределение количества ДТП, погибших и раненых, связанных с наездом на пешеходов вне и на пешеходных переходах в г. Красноярске за 2017-2018 гг.

ДТП с пешеходами	2017			2018		
	ДТП	Погибло	Ранено	ДТП	Погибло	Ранено
На нерегулируемых пешеходных переходах	156	5	157	125	0	139
На регулируемых пешеходных переходах	106	8	104	102	2	98

Всего на пешеходных переходах	262	13	261	227	2	237
Вне пешеходных переходов	303	22	285	283	21	260
Всего	565	35	546	510	23	497

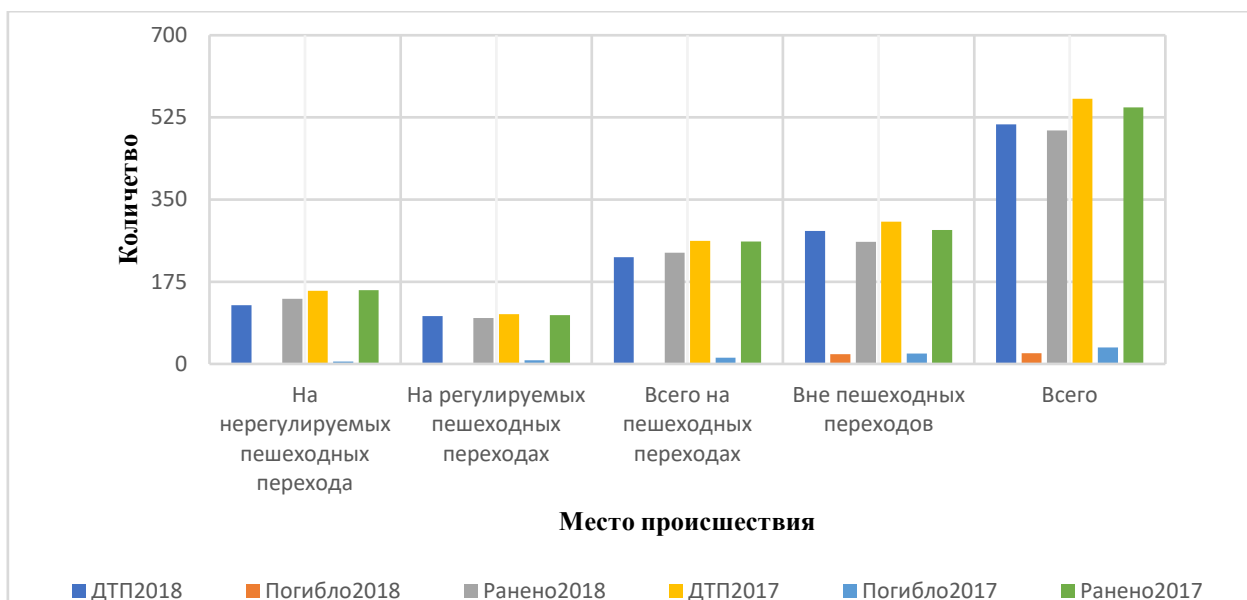


Рисунок 1.10 – Количество ДТП, погибших и раненых, связанных с наездом на пешеходов вне и на пешеходных переходах в г. Красноярске за 2016-2017 гг.

Очевидно, что вне пешеходных переходов количество ДТП и число погибших и пострадавших значительно выше, чем на пешеходных переходах, а регулируемые пешеходные переходы надежнее нерегулируемых. Количество погибших в ДТП с пешеходами за 2017 год выросло на 12,9 %.

#### 1.4 Наезд на пешехода как вид ДТП

Наездом автомобиля на пешехода считается такое ДТП, в процессе которого пешеход получил телесные повреждения или погиб в результате контакта с движущимся автомобилем. При этом безразлично, ударил ли автомобиль пешехода своей передней торцовой поверхностью или пешеход набежал на боковую сторону автомобиля.

Во время происшествия пешеход может получить травму от удара о детали движущегося автомобиля или о дорожное покрытие в результате отбрасывания. Причиной телесных повреждений и смертельных исходов может быть также переезд человека колесами автомобиля или сдавливания

его между автомобилем и неподвижным предметом (например, стеной здания в узком проезде).

Наезд автомобиля на пешехода – один из самых распространенных видов ДТП. В нашей стране наезды на пешехода составляют примерно 35-40%, а в городах и крупных населенных пунктах – до 50-60% всех происшествий. При этом в подавляющем большинстве случаев наезды вызваны недисциплинированностью и невнимательностью пешеходов. Переход проезжей части в запрещенном месте и в непосредственной близости от движущегося автомобиля, игнорирование сигналов светофора и регулировщика, игры на проезжей части детей и подростков являются наиболее частыми причинами наездов. Большинство этих действий совершается внезапно и неожиданно для водителя; и он не всегда успевает принять меры, необходимые для предотвращения наезда, или принимает их с опозданием, которое часто стоит жизни пешеходу.

Анализ статистических данных свидетельствует о том, что по мере увеличения числа автомобилей в стране относительное число наездов обычно уменьшается из-за увеличения числа столкновений автомобилей, их опрокидываний, наездов на неподвижные препятствия. Однако общее число ДТП, связанных с наездами на пешеходов, даже в странах с высокоразвитым автомобильным транспортом все же остается достаточно большим.

Весьма серьезное значение для безопасности движения имеют зрение водителя и возможность своевременно заметить пешехода. Основной поток информации, получаемой водителем в процессе вождения, доставляют ему именно органы зрения.

Видимостью называют возможность различить особенности окружающей обстановки, обусловленную степенью освещенности предметов и прозрачностью воздушной среды. Характеристиками видимости служат дальность и степень видимости, зависящие от дорожных и метеорологических условий. Под дальностью видимости понимают максимальное расстояние, на котором рассматриваемый объект можно различить на фоне окружающих его предметов. Степенью видимости называют возможность различить характерные особенности наблюдаемого предмета: его цвет, форму и т. д.

Видимость окружающей обстановки может быть ухудшена вследствие плохого освещения дороги (в темное время суток), тумана, снегопада или дождя. При движении автомобиля по грунтовой дороге видимость часто ухудшают облака пыли.

Обзорностью называют возможность для водителя видеть дорожную обстановку на полосе своего движения и по обе стороны от нее, а также пространство на некоторой высоте над автомобилем. Обзорность может быть затруднена особенностями продольного профиля и плана дороги, а также деталями самого автомобиля (например, угловой стойкой кабины).

В зимнее время года обзорность ухудшается вследствие обмерзания или запотевания ветрового стекла, а также из-за налипания на него снега. Площадь, охватываемая стеклоочистителем, может оказаться недостаточной, и водитель не заметит своевременно препятствия.

Обзорность ухудшается при наличии на проезжей части или вблизи нее предметов -- движущихся и неподвижных, мешающих водителю выделить опасный объект (пешехода, транспортное средство), определить направление и скорость их движения.

В зависимости от видимости и обзорности наезды на пешехода можно разделить на наезды: при неограниченной видимости и обзорности; при обзорности, ограниченной неподвижным препятствием; при обзорности, ограниченной движущимся препятствием; при ограниченной видимости.

Основные причины возникновения наездов на пешеходов:

- действия пешеходов, противоречащие требованиям ПДД, в результате которых водители лишены технической возможности предотвратить наезд (например, переход дороги в местах, где он запрещен);

- действия водителя, противоречащие требованиям ПДД, когда пешеходы пользуются преимущественным правом на движение (например, движение ТС при запрещенном сигнале светофора или по нерегулируемому пешеходному переходу при наличии на нем пешеходов);

- неправильные приемы управления, применяемые водителями, приводящие к потере управления транспортным средством и произвольному выезду на путь движения пешехода (резкое торможение, резкий поворот, слишком большая скорость движения);

- неблагоприятная дорожная обстановка, созданная другими участниками движения, при которой водитель вынужден применить приемы управления, вызывающие потерю контроля за движением ТС и произвольный выезд на путь следования пешехода;

- неисправности ТС, приводящие к внезапному отклонению его от направления движения или лишаящие водителя возможности своевременно снизить скорость, остановиться или совершить маневр для предотвращения наезда.

Опасность для движения, создаваемая пешеходами, возникает в момент, когда для предотвращения ДТП водитель должен незамедлительно принять необходимые меры, если он в состоянии обнаружить следующие обстоятельства:

- 1) пешеход находится в пределах опасной близости от полосы движения транспортного средства;
- 2) пешеход может попасть на полосу движения транспортного средства, если не остановится или не изменит темпа и направления своего движения;
- 3) переходящий проезжую часть пешеход может быть вынужден в сложившейся ситуации изменить темп или направление движения: например, увеличить интервал с другим транспортным средством, поднять упавший предмет и т. п.;
- 4) пешеход, находящийся на проезжей части, ведет себя неадекватно, вероятные его действия не определены;
- 5) пешеход, находящийся на проезжей части в непосредственной близости от полосы движения транспортного средства, не замечает его приближения;
- 6) переходя проезжую часть, пешеход оказался в потоке транспортных средств;
- 7) на проезжей части или поблизости от неё находятся дети, увлеченные подвижными играми;
- 8) дети дошкольного возраста находятся на таком расстоянии от полосы движения транспортного средства, при котором не исключается возможность их попадания в опасную зону за время его приближения.

### **1.5 Влияние дорожных условий на безопасность движения**

Состояние дороги, качество покрытия, видимость и радиусы закруглений, ширина проезжей части, обустроенность соответствующими знаками, светофоры, разметки, ограждения и т.д. существенным образом влияют на безопасность дорожного движения и определяют в своей совокупности понятие «дорожные условия».

Геометрические параметры элементов плана и профиля дороги выбираются в соответствии с расчетной скоростью. Расчетная скорость является безопасной скоростью, когда коэффициент сцепления соответствует нормативным значениям. Возникновение ДТП является показателем того, что водитель превысил безопасную скорость. Чем выше аварийность, тем

большее число водителей превышает безопасную скорость и тем осторожнее необходимо быть в аналогичных ДТС. Рассмотрим, как влияют на аварийность геометрические параметры дороги.

Ширина полосы движения и проезжей части являются важными факторами, влияющими на БДД. Например, при ширине полосы движения 3 м во время встречных разъездов безопасность обеспечивается лишь на небольшой скорости. В противном случае возможно столкновение или съезд транспортного средства на обочину. На дорогах низших категорий обочина не имеет усовершенствованного дорожного покрытия, поэтому съезд на нее может привести к боковому скольжению и опрокидыванию транспортного средства. При ширине полосы движения 3,5 м возможны безопасные интервалы между встречными транспортными средствами и между транспортными средствами и обочинами. Полоса движения шириной 3,75 м допускает встречный разъезд транспортных средств без снижения скорости, даже если она близка к предельной у обоих транспортных средств.

На дорогах с неоднородными условиями движения (крутые повороты, уклоны, чередующиеся с прямыми участками) относительное число ДТП выше по сравнению с дорогами, обеспечивающими плавные и спокойные условия движения.

Совершение ДТП на скользком покрытии до истечения нормативного срока не должно освобождать дорожные организации от ответственности, если меры по ликвидации скользкости имевшие в это время не принимались.

Отрицательное влияние на безопасность движения оказывают участки дорог с различными покрытиями, особенно когда торможение начинается на покрытии с одним коэффициентом сцепления, а заканчивается - с другим коэффициентом сцепления.

Неровности и присутствие гравия на дорожном покрытии вызывают подпрыгивание и проскальзывание колес, что ослабляет сцепление шин с дорожным полотном и может вызвать занос ТС как в сторону встречного движения, так и обочины. Кроме того частицы гравия при соприкосновении с шинами колес при торможении вращаются между заблокированной при скольжении шиной и дорогой, что увеличивает тормозной путь автомобиля.

В летнее время под лучами солнца происходит размягчение асфальтобетонного покрытия, что вызывает уменьшение коэффициента сцепления и увеличение остановочного пути автомобиля.

При оформлении ДТП сотрудники ГИБДД не могут точно установить в каком состоянии находится дорожное покрытие по двум причинам:

- недостаточность образования сотрудников в области строительства и эксплуатации автомобильных дорог;
- сотрудники ГИБДД не имеют приборов для измерения параметров таких как коэффициент сцепления шин с дорожным покрытием.

Соответственно количество ДТП напрямую или косвенно связанных с неудовлетворительным состоянием дорожного покрытия в разы больше, чем показывает официальная статистика. Зачастую влияние дорожных условий на возникновение ДТП определяется только при проведении судебной экспертизы.

Решение сложившейся ситуации может заключаться в следующем — проведение служебного расследования каждого ДТП дорожными службами и устранение ими всех обнаруженных недостатков.

Таким образом, в связи с тем, что при регистрации ДТП в полной мере не оценивается влияние дорожных условий (состояние дорожного покрытия и геометрические параметры дорожного полотна) на возникновение происшествия, нельзя точно определить процент ДТП происшедших по причине неудовлетворительного состояния проезжей части. Тем не менее согласно официальной статистики каждого пятое ДТП напрямую или косвенно связано с дорожными условиями.

## **1.6 Выводы по первой главе**

В первой главе магистерской диссертации рассмотрены научные работы в области организации и безопасности дорожного движения, выделены основные методы, используемые при оценке безопасности объектов транспортно-дорожной инфраструктуры.

Метод комплексной оценки уровня обеспечения БДД объектов улично-дорожной сети (УДС) наиболее полно характеризует уровень обеспечения безопасности на участке УДС и определяется степенью влияния элементов обустройства на вероятность возникновения ДТП, найденного с помощью коэффициентов соответствия требованиям технического регламента.

Проведен анализ нормативно-правовых актов, регламентирующих требования к наземным пешеходным переходам в городских условиях. Обязательными нормативно-правовыми документами согласно технических регламентов, устанавливающими требования к наземным пешеходным

переходам в городских условиях, являются СП 396.1325800.2018 «Улицы и дороги населенных пунктов. Правила градостроительного проектирования» и ГОСТ 32944-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Пешеходные переходы. Классификация. Общие требования». Требования приведенных стандартов аналогичны.

Для оценки параметров наземных пешеходных переходов в городских условиях выявили основные факторы и параметры, которые в напрямую или косвенно влияют на безопасность объекта транспортно-дорожной инфраструктуры участка УДС.

При определении параметров наземных пешеходных переходов в городских условиях, влияющих на их безопасность, будут учитываться следующие группы факторов:

- геометрические параметры (ширина пешеходного перехода, приподнятый пешеходный переход);
- состояние проезжей части (сцепные качества и прочность дорожной одежды, ровность);
- условия и расстояние видимости;
- уровень загрузки дороги движением;
- обеспеченность техническими средствами организации дорожного движения (ТСОДД) и их состояние;
- дополнительные средства обозначения пешеходного перехода.

С учетом проведенного обзора ставятся следующие задачи, требующие решения в рамках магистерской работы:

- разработать методику комплексной оценки безопасности наземных пешеходных переходов;
- разработать математическую модель, связывающую параметры требований, предъявляемые нормативно-правовыми актами Российской Федерации к наземным пешеходным переходам, с безопасностью движения пешехода;
- определить степень влияния параметров требований, предъявляемых к наземным пешеходным переходам, на комплексный коэффициент безопасности путем нахождения коэффициентов весомости;
- ранжировать обследованные пешеходные переходы по уровню обеспечения безопасности.

Во второй главе магистерской диссертации необходимо разработать математическую модель, связывающую параметры пешеходных переходов, которые влияют на его безопасность с комплексным коэффициентом безопасности.



Отличительной особенностью данной работы должно являться то, что коэффициенты весомости параметров находятся объективно, основываясь на статистических данных об аварийности на наземных пешеходах.

## **2 Расчет комплексного показателя безопасности наземного пешеходного перехода**

Согласно СП 396.1325800.2018 «Улицы и дороги населенных пунктов. Правила градостроительного проектирования» и ГОСТ 32944-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Пешеходные переходы. Классификация. Общие требования» необходимо провести анализ параметров наземных пешеходных переходов и определить их влияние на безопасность движения.

### **2.1 Определение физического значения параметров наземных пешеходных переходов, регламентируемых нормативно-правовой документацией**

Согласно СП 396.1325800.2018 «Улицы и дороги населенных пунктов. Правила градостроительного проектирования» при выборе типа пешеходного перехода следует учитывать:

- интенсивность движения транспорта и пешеходов;
- характер окружающей застройки, ее историко-культурную, градостроительную значимость;
- рельеф местности;
- геологические и гидрогеологические характеристики;
- степень использования подземного пространства в месте его предполагаемого размещения;
- условия организации и безопасности движения транспорта и пешеходов.

Пешеходные переходы в уровне проезжей части следует предусматривать при интенсивности движения транспорта, превышающей 250 прив. ед./ч суммарно по всем полосам движения в одном направлении, на пересечениях улиц, в местах размещения остановочных пунктов НПТОП, а также в местах размещения объектов социального назначения, посещаемых МГН.

Ширину размечаемого пешеходного перехода определяют по интенсивности пешеходного движения из расчета 1 м на каждые 500 пеш./ч, но не менее 4 м.

При проектировании нерегулируемых пересечений проезжей части с путями следования пешеходов необходимо обеспечить взаимную видимость пешеходов и транспортных средств, путем расчета треугольника видимости.

Минимальное расстояние боковой видимости в зоне пешеходных переходов должно обеспечивать видимость любых предметов, имеющих высоту 0,6 м и более, находящихся на середине пути следования пешеходов, с высоты глаз водителя автомобиля, равной 1,0 м от поверхности проезжей части.

Минимальное расстояние боковой видимости пешеходов (рисунок 2.1) следует назначать в соответствии с таблицей 2.1.

Таблица 2.1 — Расстояние боковой видимости [13]

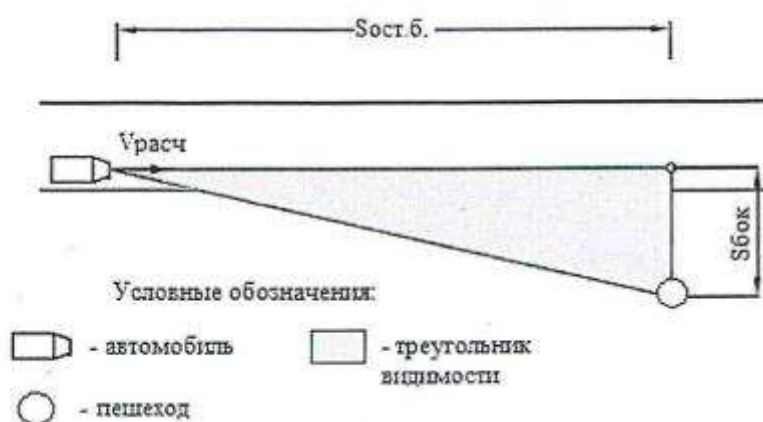
Скорость автомобиля, V <sub>расч</sub> , км/ч	Минимальное расстояние боковой видимости у пешеходного перехода, S <sub>ост.б</sub> , м	Расстояние боковой видимости пешехода, S <sub>бок.</sub> , м
30	35	4,6

40	50	5,0
50	65	5,1
60	85	5,6
70	105	5,9

Рисунок 2.1 — Минимальное расстояние боковой видимости у пешеходного перехода [13]

Для повышения безопасности движения при невозможности обеспечения видимости пешеходного перехода следует предусматривать устройство светофоров и островков безопасности.

Независимо от условий обеспечения видимости островки безопасности следует устраивать при количестве полос движения на проезжей части 4 и более, а также 2 - 3 при ширине полос в зоне пешеходного перехода, превышающей нормативную, при интенсивности движения транспортных



средств не менее 400 прив. ед./ч на одну полосу движения.

Ширину полос движения при устройстве островков безопасности допускается уменьшать на 0,25 м.

Ширину островков безопасности принимают равной ширине центральных разделительных полос, а при их отсутствии - не менее 2,0 м. Для обеспечения доступности и безопасности движения инвалидов и других МГН на островке безопасности следует предусматривать площадку размерами не менее 1,5 x 1,5 м.

На дорогах с конструктивно выделенной центральной разделительной полосой шириной более 2,5 м островки безопасности не предусматриваются.

Длина островка безопасности (вдоль оси проезжей части) должна быть не менее ширины пешеходного перехода, увеличенной на 1 м.

В зоне наземных пешеходных переходов и островков безопасности следует обеспечивать водоотвод, исключающий скопление воды на поверхности пешеходных путей.

Протяженность освещаемых подъездов к пешеходным переходам должна быть не менее:

- 50 м — при установленной скорости движения 40 км/ч;
- 75 м — при установленной скорости движения 60 км/ч;
- 150 м — при установленной скорости движения 90 км/ч.

Изучив требования, предъявляемые к наземным пешеходным переходам, были выбраны параметры пешеходных переходов, которые могут напрямую или косвенно повлиять на их безопасность:

- 1) категория автомобильной дороги;
- 2) состояние проезжей части;
- 3) наличие пешеходных ограждений;
- 4) регулирование пешеходных переходов;
- 5) ширина пешеходного перехода на проезжей части;
- 6) наличие дорожных знаков и правильность их установки;
- 7) наличие дорожной разметки и правильность ее нанесения;
- 8) обеспечение «треугольника видимости» пешеход-транспорт;
- 9) дополнительное обустройство пешеходного перехода шумовыми полосами;
- 10) обозначение пешеходного перехода световозвращателями;
- 11) дополнительное обустройство пешеходного перехода искусственными неровностями;
- 12) дополнительное обустройство пешеходного перехода островком безопасности с бортовым камнем в качестве защитного элемента;
- 13) устройство на подъездах к пешеходному переходу дорожного знака «Впереди пешеходный переход»;
- 14) устройство над основной проезжей частью приподнятого пешеходного перехода;
- 15) установка на обозначенных пешеходных переходах транспортных светофоров, работающих в постоянном режиме желтого мигания;
- 16) устройство стационарного электрического освещения пешеходного перехода и проезжей части на подходах к нему.

Полученные в результате обследования данные о параметрах пешеходных переходах обрабатываются согласно таблице 2.3, интерпретирующей данные.

Таблица 2.2 — Интерпретация данных результатов обследования

Исследуемые параметры наземного пешеходного перехода	Коэффициент соответствия
Категория автомобильной дороги, Кк	Максимальный уровень загрузки движением согласно таблице 2.3
Регулирование пешеходных переходов, Кр	0 - пешеходный светофор отсутствует; 1 - наличие пешеходного светофора
Состояние проезжей части, Кд	Согласно таблице 2.5
Наличие пешеходных ограждений, Кпо	0 - пешеходные ограждения отсутствуют; 1 - наличие пешеходных ограждений
Ширина пешеходного перехода, Кш	$Kш = Aд/Aн$ , где $Aд$ – ширина пешеходного перехода, м; $Aн$ – нормативная ширина пешеходного перехода, м
Наличие дорожных знаков и правильность их установки, Кдз	0 – дорожные знаки отсутствуют или не соответствуют требованиям; 0,5 – дорожные знаки установлены с незначительными нарушениями требований; 1 – дорожные знаки установлены согласно требованиям

Продолжение таблицы 2.2

Исследуемые параметры наземного пешеходного перехода	Коэффициент соответствия
--	--------------------------

Наличие дорожной разметки и правильность ее нанесения, Кдр	0 - дорожная разметка нанесения с нарушением требований, либо разрушение и износ превышает установленные значения ГОСТ 32953-2014, либо дорожная разметка отсутствует; 0,5 - дорожная разметка нанесена с незначительными нарушениями требований; 1 – дорожная разметка нанесена согласно требованиям
Обеспечение «треугольника видимости» пешеход-транспорт, Кв	$K_v = S_b \sqrt{S_{ост.б}}$ , где $S_b$ - расстояние видимости, м; $S_{ост.б}$ - нормативное минимальное расстояние боковой видимости у пешеходного перехода, м
Дополнительное обустройство пешеходного перехода шумовыми полосами, Кшум	0 - шумовые полосы отсутствуют или разрушены; 1 - обустройство пешеходного перехода шумовыми полосами
Обозначение пешеходного перехода световозвращателями, Ксв	0 - световозвращатели отсутствуют; 1 - обозначение пешеходного перехода световозвращателями
Дополнительное обустройство пешеходного перехода искусственными неровностями, Кн	0 - искусственные неровности отсутствуют; 1 - обустройство пешеходного перехода искусственными неровностями
Дополнительное обустройство пешеходного перехода островком безопасности с бортовым камнем в качестве защитного элемента, Кост.б	0 - островок безопасности отсутствует или выполнен с нарушениями требований в местах, где его наличие необходимо; 1 - обустройство пешеходного перехода островком безопасности, либо его отсутствие в местах, где не предусмотрено требованиями

Окончание таблицы 2.2

Исследуемые параметры наземного пешеходного перехода	Коэффициент соответствия
--	--------------------------

Устройство на подъездах к пешеходному переходу дорожного знака «Впереди пешеходный переход», Кпред	0 - отсутствие предупреждающих обозначений; 1 - устройство на подъездах к пешеходному переходу дорожного знака «Впереди пешеходный переход»
Устройство над основной проезжей частью приподнятого пешеходного перехода, Кпр	0 - пешеходный переход не приподнят; 1 - устройство над основной проезжей частью приподнятого пешеходного перехода
Установка на обозначенных пешеходных переходах транспортных светофоров, работающих в постоянном режиме желтого мигания, Кж	0 - отсутствие транспортного светофора Т7.ж; 1 - наличие транспортного светофора Т7.ж
Устройство стационарного электрического освещения пешеходного перехода, Косв	0 - освещение отсутствует; 1 - наличие освещения пешеходного перехода
Устройство стационарного электрического освещения на подходах к пешеходному переходу, Косв.п	0 - освещение отсутствует; 1 - наличие освещения на подходах к пешеходному переходу

Характеристика уровней обслуживания движения определяется в соответствии с категорией дороги согласно таблице 2.3[15].

Таблица 2.3 – Характеристика уровней обслуживания движения

Уровень обслуживания движения	Коэффициент загрузки z	Характеристика потока автомобилей	Состояние потока
А	$< 0,20$	Автомобили движутся в свободных условиях, взаимодействие между автомобилями отсутствует	Свободное движение одиночных автомобилей с большой скоростью
В	$0,20 - 0,45$	Автомобили движутся группами, совершается много обгонов	Движение автомобилей малыми группами (2 - 5 шт.). Обгоны возможны
С	$0,45 - 0,70$	В потоке еще существуют большие интервалы между автомобилями, обгоны запрещены	Движение автомобилей большими группами (5 - 14 шт.). Обгоны затруднены

Окончание таблицы 2.3

Уровень обслуживания движения	Коэффициент загрузки z	Характеристика потока автомобилей	Состояние потока
-------------------------------	------------------------	-----------------------------------	------------------

D	0,70 - 0,90	Сплошной поток автомобилей, движущихся с малыми скоростями	Колонное движение автомобилей с малой скоростью. Обгоны невозможны
E	0,90 - 1,00	Поток движется с остановками, возникают заторы, режим пропускной способности	Плотное
F	> 1,00	Полная остановка движения, заторы	Сверх плотное

Основным фактором влияющим на безопасность движения при взаимодействии колеса с дорожным покрытием является коэффициент сцепления, зависящий от погодных условий, качества материала покрытия и эксплуатации автомобильной дороги. Состояние проезжей части будет оцениваться согласно таблицы 2.4.

Таблица 2.4 — Значения коэффициента сцепления в зависимости от состояния и вида дорожного покрытия [18]

Вид дорожного покрытия	Состояние покрытия	Коэффициент сцепления
Асфальт, бетон	Сухой	0,7 - 0,8
	Мокрый	0,5 - 0,6
	Грязный	0,25 - 0,45
	Обледенелые	0,09 - 0,1
Булыжник, брусчатка	Сухие	0,6 - 0,7
	Мокрые	0,4 - 0,5
Грунтовая дорога	Сухая	0,5 - 0,6
	Мокрая	0,2 - 0,4
	Грязная	0,15 - 0,3
Песок	Влажный	0,4 - 0,5
	Сухой	0,2 - 0,3

Окончание таблицы 2.4



Вид дорожного покрытия	Состояние покрытия	Коэффициент сцепления
Укатанный снег	Обледенелый	0,12 - 0,15
	Без ледяной корки	0,22 - 0,25
	Обледенелый, после россыпи песка	0,17 - 0,26
	Без ледяной корки, после россыпи песка	0,3 - 0,38

Разрушение и износ горизонтальной разметки по площади согласно ГОСТ 32953-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Разметка дорожная. Технические требования» не должны превышать следующих значений:

- для разметки, выполненной термопластиками, холодными пластиками с толщиной нанесения 1,5 мм и более, полимерными лентами, штучными формами, - 25%;

- для разметки, выполненной красками (эмалями), термопластиками и холодными пластиками с толщиной нанесения менее 1,5 мм, - 50%.

В рамках студенческой работы невозможно точно измерить такие параметры, как коэффициент сцепления, коэффициент яркости поверхности горизонтальной разметки, освещенность, в связи с чем при расчетах будет некоторая погрешность. Принятые допущения указаны в таблице 2.3.

Обследование пешеходных переходов проводится по городу Красноярску за один календарный год (с 01.01.2018 по 31.12.2018). Результаты обследования интерпретируются, затем проводится анализ полученных результатов.

## **2.2 Расчет коэффициентов весомости параметров безопасности наземных пешеходных переходов**

В России при оценке безопасности движения в населенных пунктах предполагается выявлять места концентрации ДТП, получившие название очагов аварийности. Под очагом аварийности понимается однородный и ограниченный по длине участок УДС, характеризующийся статистически устойчивым уровнем аварийности. Участки концентрации ДТП определяются на основании данных о количестве ДТП за период и показателя относительной аварийности. Очагом ДТП в городах считается участок УДС, не превышающий 400 м, на котором произошло в течение года три и более ДТП.

Другой критерий – показатель относительной аварийности  $Z$  – рассчитывается по формуле [15]:

$$Z = A \cdot 10^6 / (365 \cdot N \cdot L \cdot m), \quad (2.1)$$

где  $A$  – суммарное количество ДТП за последние  $m$  лет;

$N$  – среднегодовая суточная интенсивность движения за тот же период;

$L$  – протяженность участка, км. Рассмотренных выше показателей достаточно для выполнения оценки текущего состояния безопасности движения.

Рассмотренного выше показателя достаточно для выполнения оценки текущего состояния безопасности движения. Однако нет общепринятых методик прогнозирования количества ДТП на пешеходных переходах разных типов.

Величина  $Z_c$  с ростом количества ДТП будет увеличиваться, но искомый коэффициент безопасности с ростом количества ДТП теоретически должен уменьшаться, поэтому для расчета коэффициентов весомости параметров безопасности будем использовать величину, вероятности возникновения противоположного события (то есть возникновения ДТП) [20]:

$$P(A) = 1 - P(\bar{A}), \quad (2.2)$$

где  $P(A)$  – вероятность события  $A$ ;

$P(\bar{A})$  – вероятность противоположного события.

Расчет коэффициентов весомости параметров безопасности наземных пешеходных переходов возможно осуществить с помощью метода коэффициентов системы линейных уравнений.

Метод коэффициентов системы линейных уравнений базируется на решении системы уравнений. Переменными в данной системе будут являться коэффициенты, связанные с параметрами безопасности наземных пешеходных переходов (левые части уравнений) и рассчитанные показатели относительной аварийности на пешеходных переходах в г. Красноярске (правые части уравнений):

$$\begin{cases} \alpha_{11}K_{11} + \alpha_{21}K_{21} + \dots + \alpha_{n-1,1}K_{n-1,1} + \alpha_{n,1}K_{n,1} \approx 1 - Z_1, \\ \alpha_{12}K_{12} + \alpha_{22}K_{22} + \dots + \alpha_{n-1,2}K_{n-1,2} + \alpha_{n,2}K_{n,2} \approx 1 - Z_2, \\ \dots \\ \alpha_{1m}K_{1m} + \alpha_{2m}K_{2m} + \dots + \alpha_{n-1,m}K_{n-1,m} + \alpha_{nm}K_{nm} \approx 1 - Z_m. \end{cases} \quad (2.3)$$

где  $\alpha_{nm}$  – коэффициент весомости;

$K_{nm}$  – коэффициент соответствия требованиям безопасности;

$n$  – количество проверяемых параметров;

$m$  – количество обследуемых наземных пешеходных переходов.

Решения системы линейных уравнений будут являться искомыми коэффициентами весомости.

Формула комплексного коэффициента безопасности (2.4) примет вид:

$$K_B = \alpha_1 K_K + \alpha_2 K_p + \alpha_3 K_d + \alpha_4 K_{по} + \alpha_5 K_{ш} + \alpha_6 K_{дз} + \alpha_7 K_{др} + \alpha_8 K_B + \alpha_9 K_{шум} + \alpha_{10} K_{св} + \alpha_{11} K_H + \alpha_{12} K_{ост.б} + \alpha_{13} K_{пред} + \alpha_{14} K_{пр} + \alpha_{15} K_{ж} + \alpha_{16} K_{осв} + \alpha_{17} K_{осв.п} = \sum_{i=1}^n \alpha_i K_i \quad (2.4)$$

или

$$K_{Bj} = \sum_{i=1}^n \alpha_i K_{ij} \quad (2.5)$$

Таким образом, разработана общая математическая модель, связывающая коэффициент безопасности (вероятность того, что ДТП не произойдет) с параметрами объекта дорожно-транспортной инфраструктуры (пешеходных переходов).

### **2.3 Показатели риска ДТП для объектов дорожно-транспортной инфраструктуры**

Показатели риска начинают все шире использоваться при определении безопасности дорожного движения (БДД). Особенно это становится актуальным в ходе аудита безопасности существующих объектов дорожно-транспортной инфраструктуры, на которых пересекаются в одном уровне пешеходные и транспортные потоки, когда необходимо провести экспресс-анализ опасности участков УДС.

Анализ литературных источников показывает, что большинство специалистов в области безопасности дорожного движения определяют риск как вероятностные возможности попасть в ДТП. Риск может быть определен как частота или вероятность возникновения события Б при наступлении события А и является безразмерной величиной, лежащей в пределах от 0 до 1 [21].

Понятие риска используется для измерения вероятности возникновения опасной ситуации и обычно относится к единичному случаю или массовым явлениям. При измерении риска в количественном выражении обычно используют термины «уровень риска» или «степень риска».

При идентификации риска ДТП с оценкой вероятности и возможных последствий аварий определяют качественные или количественные оценки риска ДТП.

Оценка риска – процесс, заключающийся в определении степени риска анализируемой опасности для определенного события или жизни и здоровья человека [21].

Анализ риска наиболее эффективен:

- на стадии создания проекта организации дорожного движения на участке УДС;
- при оценке деятельности дорожных организаций и органов управления дорожным хозяйством по обеспечению безопасности дорожного движения;
- при определении опасных участков УДС;
- при разработке мероприятий по совершенствованию БДД на участках УДС и объектах дорожно-транспортной инфраструктуры.

Результаты анализа риска можно эффективно использовать, когда определены методики обследования участков УДС, на которых пересекаются транспортные и пешеходные потоки, с дальнейшим определением уровня риска, а также есть возможность классификации участков УДС в зависимости от вероятности возникновения ДТП, разработаны рекомендации по повышению безопасности дорожного движения.

В области обеспечения БДД показатели риска связаны с оценкой вероятности возникновения ДТП или степени опасности элементов системы человек – транспортное средство – дорога – среда (ЧАДС). Выделяют следующие показатели, которые используются для определения вероятности возникновения ДТП в системе ЧАДС:

- 1 уровень рисков ДТП, связанные с отказами антропогенного характера (водителем);
- 2 уровень рисков ДТП, связанные с отказами технического характера (неисправности транспортных средств, влияющие на БДД);
- 3 уровень рисков ДТП, характеризующих опасность самого участка УДС (ошибки и недостатки в ОДД);
- 4 уровень рисков ДТП, характеризующих опасность окружающей среды (погодные условия).

На каждый показатель со стороны государства оказывается определенное влияние в целях снижения уровня риска. Так для снижения вероятности возникновения ДТП по вине водителя ввиду нарушений ПДД вводится дополнительный контроль:

- патрулирование участков УДС сотрудниками ГИБДД, рейды по выявлению нетрезвых водителей и др.;
- установка камер фото- и видеофиксации нарушений ПДД на опасных участках дорог;
- введения режима труда и отдыха водителей;
- предварительное и периодическое прохождение медицинских осмотров.

Для снижения уровня риска ДТП, связанных с техническими неисправностями транспортных средств, негативно влияющих на БДД, принимаются следующие меры:

- необходимость проведения технического осмотра на соответствие требованиям ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств»;
- присутствие государственного инспектора БДД при проведении технического осмотра автобусов категорий М<sub>2</sub> и М<sub>3</sub> станет обязательным с июня 2020 года;
- для юридических лиц и индивидуальных предпринимателей обязательность проведения ЕО, ТО1, ТО2 и ТР, контроль технического состояния транспортных средств при выезде на линию контролером технического состояния транспортных средств, имеющим определенную квалификацию.

Третий показатель наиболее интересен, так как организация дорожного движения и обустройство объектов дорожно-транспортной инфраструктуры должно соответствовать ГОСТам, применение которых добровольно, СП и техническим регламентам. При обследовании объектов дорожно-транспортной инфраструктуры (наземных пешеходных переходов) было выявлено, что все пешеходные переходы, на которых произошли ДТП с пострадавшими, имели серьезные недостатки в ОДД. Значения данного показателя должны быть нормированы на уровне обустройства объектов дорожно-транспортной инфраструктуры.

Значение вероятности ДТП из-за параметров организации дорожного движения согласно теории риска ДТП профессора В.В. Столярова имеет вид [20]:

$$r = 0,5 - \Phi\left(\frac{A_{\phi} - A_{кр}}{\sqrt{\sigma_{A_{\phi}}^2 + \sigma_{A_{кр}}^2}}\right), \quad (2.6)$$

где  $\Phi(U)$  – значение функции Лапласа;

$A_{\phi}$  – фактическое значение причинно-действующего фактора;

$\sigma_{A_{\phi}}$  – среднее квадратическое отклонение величины  $A_{\phi}$ ;

$A_{кр}$  – критическое значение причинно-действующего фактора;

$\sigma_{A_{кр}}$  – среднее квадратическое отклонение величины  $A_{кр}$ .

Формула (3.2) справедлива только для тех систем, которые функционируют нормально при  $A_{\phi} \gg A_{кр}$ . В этих системах с уменьшением параметра  $A_{\phi}$  увеличивается риск (вероятность отказа) системы.

Так увеличение риска возникает при уменьшении комплексного коэффициента безопасности, связанного, например, с отсутствием освещения на пешеходном переходе или на подходах к нему (риск вовремя не увидеть пешехода, направляющегося к пешеходному переходу), со снижением коэффициента сцепления шин с дорожным покрытием (риск увеличения тормозного пути, не обеспечивающего техническую возможность предотвратить ДТП), с отсутствием дорожных знаков или их неправильным расположением (риск вовремя не увидеть дорожный знак, предупреждающий о наличии пешеходного перехода), с отсутствием дорожной разметки и необеспечением «треугольника видимости» пешеход-транспорт (риск не иметь технической возможности предотвратить ДТП) и др.

Если параметр  $A_{\phi}$  уменьшается до равенства с параметром  $A_{кр}$  ( $A_{\phi} = A_{кр}$ ), то по формуле (3.2) имеем  $r = 0,5$ . При дальнейшем уменьшении любого из перечисленных параметров возникает ситуация  $A_{\phi} < A_{кр}$  и учитывая, что функция Лапласа нечетная  $\Phi(-u) = -\Phi(u)$  по формуле (3.2) получаем  $0,5 < r < 1$ . В пределе, когда  $A_{\phi} \ll A_{кр}$  риск  $r$ , определяемый по формуле (3.2), стремится к единице.

Формула (2.6) может быть использована при анализе параметров требований безопасности к наземным пешеходным переходам. Например, при изучении степени влияния обеспечения треугольника видимости «пешеход-транспорт», при этом исходные данные не требуют интерпретации.

Также с помощью теории риска ДТП профессора В.В. Столярова можно определить при каком значении комплексного коэффициента безопасности  $K_{Б}$  вероятность возникновения ДТП будет равна 50 % и отталкиваясь от полученной величины можно будет провести ранжирование обследованных наземных пешеходных переходов в зависимости от степени опасности.

## 2.4 Определение зависимости показателя риска ДТП от комплексного коэффициента безопасности

Допустим, что распределение значений комплексного коэффициента безопасности нормальное. Используя стандартный метод математической статистики, для каждого наземного пешеходного перехода устанавливается [24]:

- среднее значение комплексного коэффициента безопасности:

$$K_{\text{ср}} = \frac{\sum_1^n K_i}{n}; \quad (2.7)$$

- среднее квадратическое отклонение комплексных коэффициентов безопасности:

$$\sigma_{K_{\text{ср}}} = \sqrt{\frac{\sum_1^n (K_i - K_{\text{ср}})^2}{n-1}}; \quad (2.8)$$

- коэффициент вариации этих значений:

$$C_v = \frac{\sigma_{K_{\text{ср}}}}{K_{\text{ср}}}, \quad (2.9)$$

где  $K_i$  – комплексный коэффициент безопасности для  $i$  – ого пешеходного перехода;

$n$  – количество обследованных пешеходных переходов;

$K_{\text{ср}}$  – среднее значение комплексного коэффициента безопасности ;

$\sigma_{K_{\text{ср}}}$  – среднее квадратическое отклонение параметра  $K_{\text{ср}}$ .

Риск совершения ДТП в связи с недостатками в организации дорожного движения на пешеходных переходах находится по зависимости:

$$r = 0,5 - \Phi \left[ \frac{K_{50} - K_{\text{ср}}}{\sqrt{\sigma_{K_{50}}^2 + \sigma_{K_{\text{ср}}}^2}} \right], \quad (2.10)$$

где  $K_{50}$  – среднее значение комплексного коэффициента безопасности, вызывающего пятидесятипроцентный риск совершения ДТП;

$\Phi$  – функция Лапласа.

Средне значение комплексного коэффициента безопасности, вызывающего пятидесятипроцентный риск совершения ДТП, связанный с параметрами наземного пешеходного перехода [24]:

- при  $C_v > 0,2$  и  $C_v < 0,2$ :

$$K_{50} = 2K_{\text{безав}} - \frac{\sqrt{K_{\text{безав}}^2 + [25(C_v)^2 - 1](K_{\text{безав}}^2 - 25\sigma_{\text{безав}}^2)} - K_{\text{безав}}}{25(C_v)^2 - 1}; \quad (2.11)$$

- при  $C_v = 0,2$ :

$$K_{\text{безав}} = 2K_{\text{безав}} - \frac{K_{\text{безав}}^2 - 25\sigma_{\text{безав}}^2}{2K_{\text{безав}}}. \quad (2.12)$$

Если полученное значение риска совершения ДТП в связи с недостатками в организации дорожного движения на пешеходных переходах меньше  $r = 1 \cdot 10^{-4}$  – для вновь оборудованных пешеходных переходах или  $r = 1 \cdot 10^{-3}$  – для эксплуатируемых участков УДС, принимается решение о совершенствовании наземных пешеходных переходах.

Данные математические модели для оценки безопасности движения на наземных пешеходных переходах учитывают вероятностную сущность входных параметров и основаны на современных требованиях к оценке безопасности движения [25]. Такая постановка вопроса соответствует прямому подходу изучения причинно-следственной связи возникновения ДТП. Использование данного вероятностного подхода позволит снизить аварийность на наземных пешеходных переходах.

## 2.5 Выводы по второй главе

Во второй главе магистерской диссертации были выбраны 17 параметров наземных пешеходных переходов, которые влияют на безопасность дорожного движения:

- 1) категория автомобильной дороги;
- 2) состояние проезжей части;
- 3) наличие пешеходных ограждений;
- 4) регулирование пешеходных переходов;
- 5) ширина пешеходного перехода на проезжей части;
- 6) наличие дорожных знаков и правильность их установки;
- 7) наличие дорожной разметки и правильность ее нанесения;



- 8) обеспечение «треугольника видимости» пешеход-транспорт;
- 9) дополнительное обустройство пешеходного перехода шумовыми полосами;
- 10) обозначение пешеходного перехода световозвращателями;
- 11) дополнительное обустройство пешеходного перехода искусственными неровностями;
- 12) дополнительное обустройство пешеходного перехода островком безопасности с бортовым камнем в качестве защитного элемента;
- 13) устройство на подъездах к пешеходному переходу дорожного знака «Впереди пешеходный переход»;
- 14) устройство над основной проезжей частью приподнятого пешеходного перехода;
- 15) установка на обозначенных пешеходных переходах транспортных светофоров, работающих в постоянном режиме желтого мигания;
- 16) устройство стационарного электрического освещения пешеходного перехода и проезжей части на подходах к нему.

На основании выбранных параметров безопасности предложили математическую модель комплексного коэффициента безопасности, который отражает связь между параметрами безопасности наземных пешеходных переходов и вероятностью возникновения ДТП. Чем ближе значение комплексного коэффициента безопасности, тем ниже вероятность возникновения ДТП.

Анализ риска наиболее эффективен:

- на стадии создания проекта организации дорожного движения на участке УДС;
- при оценке деятельности дорожных организаций и органов управления дорожным хозяйством по обеспечению безопасности дорожного движения;
- при определении опасных участков УДС;
- при разработке мероприятий по совершенствованию БДД на участках УДС и объектах дорожно-транспортной инфраструктуры.

В работе был проведен анализ рисков ДТП, характеризующих опасность участка УДС (несоответствия и недостатки в ОДД).

Количественная оценка рисков ДТП, связанных с ОДД, была найдена исходя из вероятности ДТП из-за параметров организации дорожного движения согласно теории риска ДТП профессора В.В. Столярова.

Далее необходимо разработать рекомендации по совершенствованию БДД на участках УДС и объектах дорожно-транспортной инфраструктуры с учетом значений комплексного коэффициента безопасности.

В 3 главе магистерской диссертации необходимо установить методику проведения обследования наземных пешеходных переходов для нахождения значений коэффициентов весомости для параметров соответствия требованиям безопасности.

### **3 Методика проведения исследования**

#### **3.1 Методика проведения натурных исследований наземных пешеходных переходов г. Красноярска**

Для ограничения круга исследуемых объектов и формирования выборки будем исследовать наземные пешеходные переходы, на которых за период произошли ДТП с пострадавшими. Согласно статистике ГИБДД, приведенной на официальном сайте, отбираем наземные пешеходные переходы, на которых произошли ДТП за период с 01.01.2018 г. по 31.12.2018 г.

По выбранным 17 параметрам проводится исследование каждого обследуемого наземного пешеходного перехода, результаты осмотра заносятся в таблицу. Форма таблицы представлена на рисунке А.1. Также в таблицу заносится информация о расположении пешеходного перехода и количество погибших и раненных в исследуемом периоде.

Исследования проводится в два этапа:

1 сбор сведений о ДТП, происходивших на определенном наземном пешеходном переходе на официальном сайте ГИБДД за период с 01.01.2018 г. по 31.12.2018 г. (таблица Б.1);

2 натурное исследование параметров наземного пешеходного перехода.

Условия, которые должны соблюдаться при обследовании: светлое время суток, теплый период года. Каждый конкретный наземный пешеходный переход оценивается отдельно группой из двух человек (для удобства выполнения замеров). Обследование проводится путем визуального осмотра и необходимых измерений посредством рулетки и лазерного дальномера. В таблице 3.1 приведены условия и параметры, с учетом

которых должны проводиться обследования наземных пешеходных переходов.

Таблица 3.1 – Условия и параметры проведения обследования наземных пешеходных переходов

Условия и параметры обследования	Показатели
Время года	Теплый период
Время суток	Светлое
Количество экспертов	2

Окончание таблицы 3.1

Условия и параметры обследования	Показатели
Приборы и оборудование	Карандаш НВ
	Протокол
	Рулетки измерительные металлические RGK (номер в госреестре 75296-19)
	Компактная камера 2,7” , 8 Мп

Результаты натурного исследования сводятся в таблицу В.1.

Также добавим выборку наземных пешеходных переходов, на которых не происходило ДТП в период с 01.01.2018 г. по 31.12.2018 г. для сравнения результатов обследования.

Затем полученные в результате обследования данные о параметрах наземных пешеходных переходов интерпретируются согласно таблице 2.3. Значения интерпретированных данных каждого параметра в таблице Г.1 не должны превышать 1 или быть отрицательными, то есть все значения распределены в интервале от 0 до 1.

Для нахождения коэффициентов весомости используем функции программы MSExcel.

Дальнейшая обработка данных для получения коэффициентов весомости происходит с помощью методов статистической обработки данных.

### 3.2 Порядок вычисления коэффициентов весомости

Решить систему линейных уравнений (2.3) возможно только с помощью программного обеспечения, например, с использованием программ MathCAD или MSExcel.

Наиболее простым вариантом решения системы линейных уравнений является инструмент ЛИНЕЙН в MSExcel.

Функция ЛИНЕЙН рассчитывает статистику для ряда с применением метода наименьших квадратов, чтобы вычислить прямую линию, которая наилучшим образом аппроксимирует имеющиеся данные и затем возвращает массив, который описывает полученную прямую. Функцию ЛИНЕЙН также можно объединять с другими функциями для вычисления других видов моделей, являющихся линейными по неизвестным параметрам, включая полиномиальные, логарифмические, экспоненциальные и степенные ряды [23].

Функция имеет вид:

$$y = m_1x_1 + m_2x_2 + \dots + b, \quad (3.1)$$

где  $y$  – зависимые значения;

$x$  – независимые значения;

$m$ – коэффициенты соответствующие каждому значению  $x$ ;

$b$ – постоянная.

Аргументы функции ЛИНЕЙН:

- известные значения  $y$  – множество значений, которые принимает  $y$ , аргумент является обязательным;

- известные значения  $x$  – множество значений, которые принимает  $x$ , аргумент не является обязательным;

- конст – логическое значение, используемое для вычисления константы  $b$ : если конст = ИСТИНА, то постоянная  $b$  вычисляется обычным образом; если конст = ЛОЖЬ, то значение  $b$  принимается равным 0;

- статистика – логическое значение, используемое для вычисления статистики: если статистика = ИСТИНА, то функция ЛИНЕЙН возвращает дополнительную регрессионную статистику; если статистика = ЛОЖЬ, то функция ЛИНЕЙН возвращает только коэффициенты  $m$  и постоянную  $b$ .

Величины дополнительной регрессионной статистики, которые выводит функция ЛИНЕЙН, приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Величины дополнительной регрессионной статистики, которые выводит функция ЛИНЕЙН [26]

Величина	Описание
se1, se2, ..., sen	Стандартные значения ошибок для коэффициентов $m_1, m_2, \dots, m_n$
seb	Стандартное значение ошибки для постоянной $b$ ( $seb = \#N/D$ , если аргумент <i>конст</i> имеет значение ЛОЖЬ).
$r^2$	Коэффициент определения. Сравнивает предполагаемые и фактические значения $y$ и диапазоны значений от 0 до 1. Если это 1, то в примере есть идеальная корреляция — разница между предполагаемыми значениями $y$ и фактическим значением $y$ отсутствует. С другой стороны, если коэффициент определения равен 0, уравнение регрессии не может быть полезным для предсказания значения $y$ .
sey	Стандартная ошибка для оценки $y$ .
F	F-статистика или F-наблюдаемое значение. F-статистика используется для определения того, является ли случайной наблюдаемая взаимосвязь между зависимой и независимой переменными.

Окончание таблицы 3.2

Величина	Описание
df	Степени свободы. Степени свободы используются для нахождения F-критических значений в статистической таблице. Для определения уровня надежности модели необходимо сравнить значения в таблице с F-статистикой, возвращаемой функцией ЛИНЕЙН.
ssreg	Регрессионная сумма квадратов.
ssresid	Остаточная сумма квадратов.

Алгоритм работы функции ЛИНЕЙН следующий:

1. Выделяем массив ячеек величиной  $(n+1) \times 5$ .
2. Вызываем функцию ЛИНЕЙН, диалоговое окно функции представлено на рисунке 3.1.
3. Вводим необходимые значения аргументов:
  - известные значения  $y$  – значения  $1 - Z$ ;
  - известные значения  $x$  – значения коэффициентов соответствия требованиям параметров наземных пешеходных переходов;
  - конст – ЛОЖЬ;
  - статистика – ИСТИНА.
4. Нажимаем кнопку ОК. На рисунке 3.2 показано как будут выведены полученные данные.

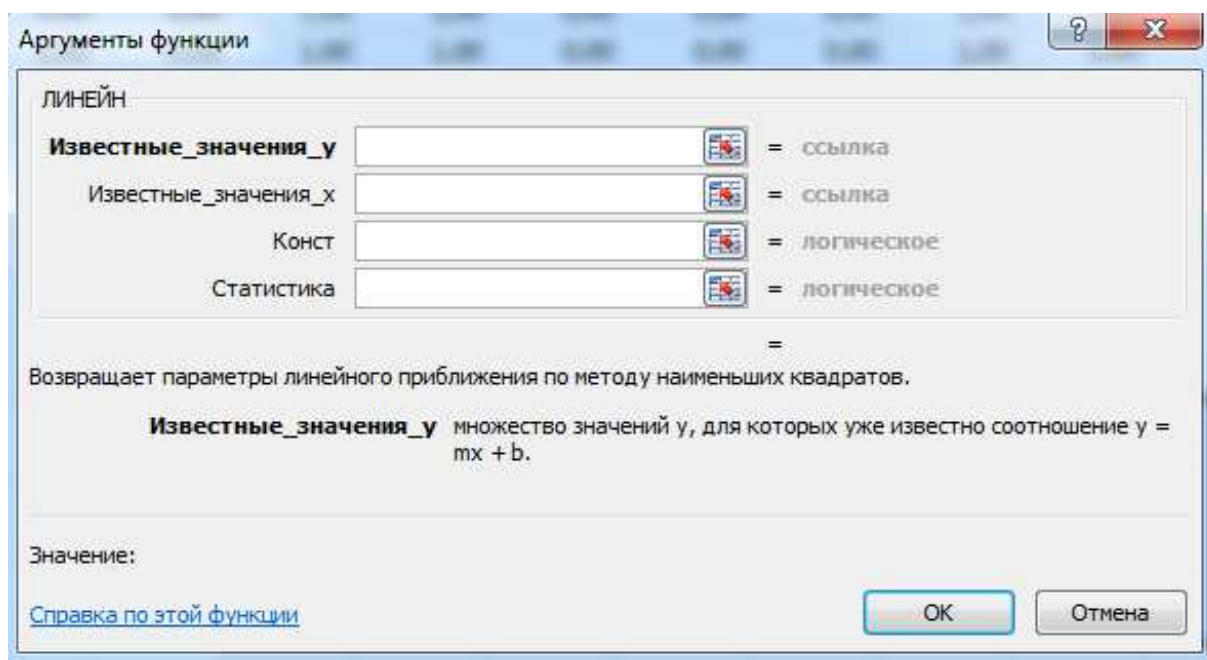


Рисунок 3.1 – Диалоговое окно функции ЛИНЕЙН

	A	B	C	D	E	F
1	$m_n$	$m_{n-1}$	...	$m_2$	$m_1$	$b$
2	$se_n$	$se_{n-1}$	...	$se_2$	$se_1$	$se_b$
3	$r^2$	$se_y$				
4	F	$d_f$				
5	ssreg	ssresid				

Рисунок 3.2 – Порядок возвращения результатов вычисления функции ЛИНЕЙН

После получения результатов необходимо оценить их адекватность, для этого были получены величины дополнительной регрессионной статистики. Далее рассмотрим, как провести оценку полученных коэффициентов весомости с помощью значений дополнительной регрессионной статистики.

### 3.3 Методика статистической обработки данных, применяемая для оценки адекватности модели

В проводимом исследовании возникает необходимость аппроксимировать (описать приблизительно) диаграмму рассеяния математическим уравнением, то есть зависимость между переменными величинами  $Y$  и  $X$  можно определить аналитически с помощью формул и

уравнений и графически в виде геометрического места точек в системе прямоугольных координат. График корреляционной зависимости строится по уравнениям функции  $\bar{y}_x = f(x)$  и  $\bar{x}_y = f(y)$ , которые называются регрессией. Здесь  $\bar{y}_x$  и  $\bar{x}_y$  – средние арифметические из числовых значений зависимых переменных Y и X [27].

Для выражения регрессии служат эмпирические и теоретические ряды, их графики – линии регрессии, а также корреляционные уравнения (уравнения регрессии) и коэффициент линейной регрессии [27].

Приводимое в статистике MSExcel значение  $r^2$  (коэффициент детерминации) определяет, с какой степенью точности полученное регрессионное уравнение аппроксимирует исходные данные. Если  $r^2 > 0,95$ , говорят о высокой точности аппроксимации (высокой адекватности модели). Если  $r^2$  лежит в интервале от 0,8 до 0,95, говорят об удовлетворительной аппроксимации (модель в целом адекватна). Если  $r^2 < 0,6$ , значит, что точность аппроксимации недостаточна и модель требует доработки.

Для параметра  $b$  критерий проверки Стьюдента имеет вид:

$$t_{(b=0)} = \frac{\tilde{b}}{\mu_{\tilde{b}}}, \quad (3.2)$$

где  $\tilde{b}$  – оценка коэффициента регрессии, полученная по наблюдаемым данным;

$\mu_{\tilde{b}}$  – стандартная ошибка коэффициента регрессии.

Для линейного парного уравнения регрессии стандартная ошибка коэффициента вычисляется по формуле [28]:

$$\mu_{\tilde{b}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2}{(n-1) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}. \quad (3.3)$$

Числитель в этой формуле может быть рассчитан через коэффициент детерминации и общую дисперсию признака-результата [28]:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2 = n \cdot (1 - R_{yx}^2) \cdot \sigma_y^2. \quad (3.4)$$

Для параметра  $m$  критерий проверки гипотезы о незначимом отличии его от нуля имеет вид [28]:

$$t_{(a=0)} = \frac{\tilde{a}}{\mu_{\tilde{a}}}, \quad (3.5)$$

где  $\tilde{a}$  – оценка параметра регрессии, полученная по наблюдаемым данным;  
 $\mu_{\tilde{a}}$  – стандартная ошибка параметра  $a$ .

Для линейного парного уравнения регрессии [28]:

$$\mu_{\tilde{a}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \sum_{i=1}^n x_i^2}{n(n-2) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}. \quad (3.6)$$

Значимость уравнения множественной регрессии оценивается с помощью F-критерия Фишера [29]:

$$F = \frac{S_{\text{факт}}}{S_{\text{ост}}} = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{n-m-1}{m}, \quad (3.7)$$

где  $S_{\text{факт}}$  – факторная сумма квадратов на одну степень свободы;

$S_{\text{ост}}$  – остаточная сумма квадратов на одну степень свободы;

$R^2$  – коэффициент (индекс) множественной детерминации;

$m$  – число параметров при переменных  $x$ ;

$n$  – число наблюдений (наземных пешеходных переходов).

Фактическое значение частного F-критерия сравнивается с табличным при уровне значимости  $\alpha$  и числе степеней свободы: 1 и  $n-m-1$ . Если фактическое значение  $F_{xi}$  превышает  $F_{\text{табл}}(\alpha, k_1, k_2)$ , то коэффициент чистой регрессии  $m_i$  при факторе  $x_i$  статистически значим. Если же фактическое значение  $F_{xi}$  меньше табличного, то коэффициент регрессии при данном факторе в этом случае статистически незначим.

### 3.4 Выводы по третьей главе

В третьей главе магистерской диссертации определили методику проведения натурного обследования наземных пешеходных переходов, предварительно ограничив количество значений в выборке наземными пешеходными переходами, на которых произошли ДТП с пострадавшими в период с 01.01.2018 г. по 31.12.2018 г. Также обозначили условия и необходимое оборудование для проведения исследования.

Сбор статистических данных для получения коэффициентов весомости не требует значительных денежных затрат.

Вычисление коэффициентов весомости будет проводиться с использованием функции ЛИНЕЙН программы MS Excel. Данная функция позволяет не только найти необходимые значения коэффициентов весомости,



но и выводит статистические критерии, которые позволяют оценить адекватность модели. Функция ЛИНЕЙН рассчитывает следующие статистические критерии:

- стандартные ошибки для наклона и сдвига;
- коэффициент детерминации и стандартную ошибку регрессии;
- значение F-статистики и число степеней свободы;
- регрессионную сумму квадратов;
- остаточную сумму квадратов.

Приводимое в статистике MSExcel значение  $r^2$  (коэффициент детерминации) определяет, с какой степенью точности полученное регрессионное уравнение аппроксимирует исходные данные. Чем ближе значение  $r^2$ , тем выше корреляция между сравниваемыми данными, тем точнее полученная модель.

С помощью стандартных ошибок будет проверяться значимость каждого полученного коэффициента весомости. Чем ближе к 0 значение стандартных ошибок, тем более точно определен коэффициент весомости.

Оценка качества уравнения регрессии в целом происходит с помощью F-критерия Фишера. Если  $F_{\text{факт}} > F_{\text{табл}}$ , то признается статистическая значимость уравнения в целом.

#### **4 Практические рекомендации по повышению безопасности наземных пешеходных переходов**

##### **4.1 Анализ результатов обследования пешеходных переходов**

За период с 01.01.2018 г. по 31.12.2018 г. на пешеходных переходах города Красноярска произошло 227 ДТП, в результате которых погибло 2 человека и было ранено 237 человек.

На рисунке 4.1 показана диаграмма интерпретированных данных проведенного обследования пешеходных переходов в зависимости от обеспечения «треугольника видимости», приведенные в таблице В.1.

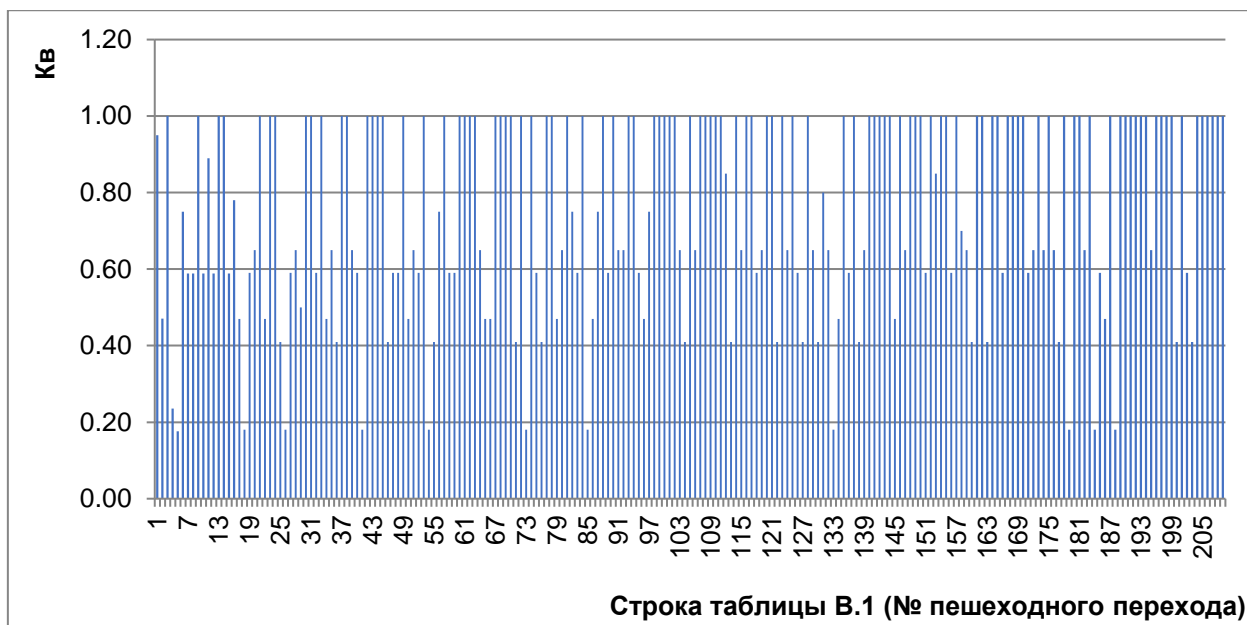


Рисунок 4.1 – Диаграмма интерпретированных данных проведенного обследования пешеходных переходов в зависимости от обеспечения «треугольника видимости»

Значение  $K_v = 1$  возможно, когда обеспечивается минимальное расстояние боковой видимости у пешеходного перехода 85 м и более при максимальной скорости движения в городе 60 км/ч. Из 210 пешеходных переходов значение  $K_v < 1$  у 106 пешеходных переходов, что больше половины обследованного количества. Наименьшее значение  $K_v$  составляет 0,18, а расстояние боковой видимости у пешеходного перехода равно 15,3 м. Данное расстояние будет недостаточно для остановки транспортного средства, соответственно водитель не будет иметь технической возможности предотвратить ДТП.

Опасность в недостаточном расстоянии боковой видимости у пешеходного перехода также заключается в том, что пешеход не учитывает то, что водитель просто не может его вовремя заметить и остановиться, пешеход переоценивает расстоянию боковой видимости.

Еще один важный параметр, наиболее актуальный для города Красноярск, состояние проезжей части. Основные магистральные улицы города требуют незамедлительного ремонта, с приходом весны ям становится все больше, что отвлекает водителя. Водитель не может принимать более четырех знаков одновременно, обычно это 2 – 3 объекта, также его внимание всегда ищет «главную опасность». «Главной опасностью» при разъезде на перекрестках являются автомобили, которым необходимо уступить, в местах установки пешеходных переходах – пешеходы, которых необходимо пропустить при переходе через проезжую

часть. Также водителю необходимо учитывать дорожные знаки и дорожную разметку, которые устанавливают определенные режимы движения на участке УДС. Появление все большего количества ям, которые угрожают серьезными неисправностями автомобилю, переключают внимание водителя на эту «главную опасность», ввиду чего водитель может упустить часть объектов.

На рисунке 4.2 показана диаграмма интерпретированных данных проведенного обследования пешеходных переходов в зависимости от состояния дорожного покрытия, приведенные в таблице В.1.

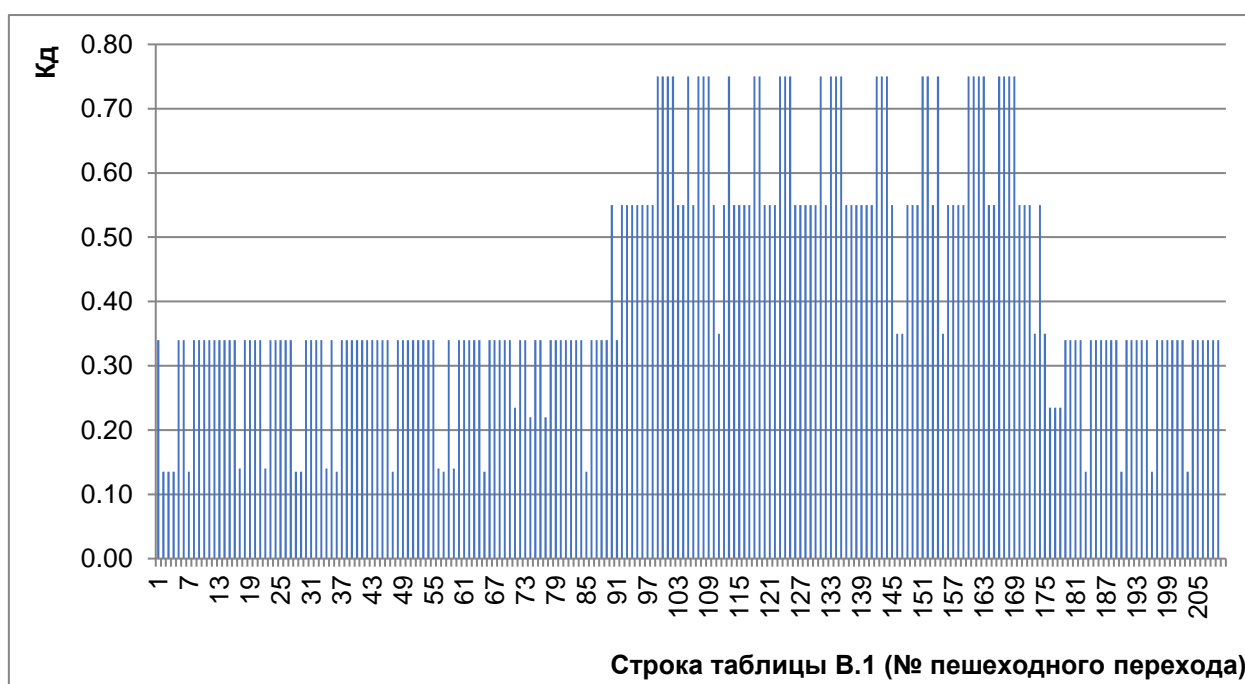


Рисунок 4.2 – Диаграмма интерпретированных данных проведенного обследования пешеходных переходов в зависимости от состояния дорожного покрытия

Наибольшее значение, которое принимает  $K_d = 0,75$  при сухом асфальте. На диаграмме можно заметить, что состояние дорожного покрытия зависит от времени года. В городе Красноярске летний период очень короткий, а соответственно высокое значение  $K_d$  может быть только в очень короткий промежуток времени.

Рассмотрим диапазон изменения параметров требований безопасности согласно таблице Г.1, в которую добавлены наземные пешеходные переходы, на которые не происходили ДТП. В таблице 4.1 приведены диапазоны изменений интерпретированных данных по параметрам требований безопасности.

Таблица 4.1 – Диапазоны изменений интерпретированных данных по параметрам требований безопасности

Исследуемые параметры наземного пешеходного перехода	Диапазон изменения интерпретированных данных
Категория автомобильной дороги, Кк	0,1 – 0,8
Регулирование пешеходных переходов, Кр	0 или 1
Ширина пешеходного перехода, Кш	0,5 – 1
Наличие дорожных знаков и правильность их установки, Кдз	0; 0,5; 1
Наличие дорожной разметки и правильность ее нанесения, Кдр	0; 0,5; 1
Обеспечение «треугольника видимости» пешеход-транспорт, Кв	0,18 – 1
Дополнительное обустройство пешеходного перехода шумовыми полосами, Кшум	0 или 1
Дополнительное обустройство пешеходного перехода островком безопасности с бортовым камнем в качестве защитного элемента, Кост.б	0 или 1
Обозначение пешеходного перехода световозвращателями, Ксв	0 или 1
Устройство на подъездах к пешеходному переходу дорожного знака «Впереди пешеходный переход», Кпред	0 или 1
Дополнительное обустройство пешеходного перехода искусственными неровностями, Кн	0 или 1
Устройство над основной проезжей частью приподнятого пешеходного перехода, Кпр	0 или 1

Окончание таблицы 4.1

Исследуемые параметры наземного пешеходного перехода	Диапазон изменения интерпретированных данных
Установка на обозначенных пешеходных переходах транспортных светофоров, работающих в постоянном режиме желтого мигания, Кж	0 или 1
Устройство стационарного электрического освещения пешеходного перехода, Косв	0 или 1
Устройство стационарного электрического освещения на подходах к пешеходному переходу, Косв.п	0 или 1

Состояние проезжей части, Кд	0,14 – 0,75
Наличие пешеходных ограждений, Кпо	0 или 1

Значения коэффициентов для большей части параметров наземных пешеходных переходов находятся в области от нуля до единицы. Параметры наземных пешеходных переходов, диапазон значений которых отличается от остальных, следующие:

- категория автомобильной дороги;
- ширина пешеходного перехода;
- обеспечение «треугольника видимости» пешеход-транспорт;
- состояние проезжей части.

Значения интерпретированных данных «категория автомобильной дороги» и «состояние проезжей части» по своему физическому смыслу не могут быть равными 0 и 1. «Обеспечение «треугольника видимости» пешеход-транспорт» не может быть равным 0, но и значение 0,18 слишком низкое и недопустимое, размещение таким образом наземного пешеходного перехода опасно. Параметр «ширина пешеходного перехода» равен 1 в 224 случаях из 229, что говорит о том, что нарушения данного параметра очень редки в г. Красноярске.

Наземные пешеходные, на которых не происходили ДТП с пострадавшими, отличаются высоким уровнем организации дорожного движения. На них применяются ТСОДД, которые обычно не встречаются на аварийных пешеходных переходах, например, приподнятые пешеходные переходы, оборудование искусственных неровностей, обозначение светофором типа Т.7ж, нанесение шумовых полос и т.д.

Обычно такие наземные пешеходные переходы располагаются вблизи школ, дошкольных учебных заведений, то есть мест массового пребывания детей.

## **4.2 Вывод формулы комплексного коэффициента безопасности наземных пешеходных переходов**

### **4.2.1 Практическое нахождение коэффициентов весомости для параметров требований безопасности**

Система линейных уравнений (2.3) будет состоять из того же количества уравнений, сколько пешеходных переходов в выборке таблицы

В.1, то есть 209. Решение системы линейных уравнений находится с помощью функции ЛИНЕЙН MSExcel.

Используя данные таблицы В.1, вводим аргументы функции ЛИНЕЙН. На рисунки 4.3 представлено диалоговой окно функции ЛИНЕЙН MSExcel.

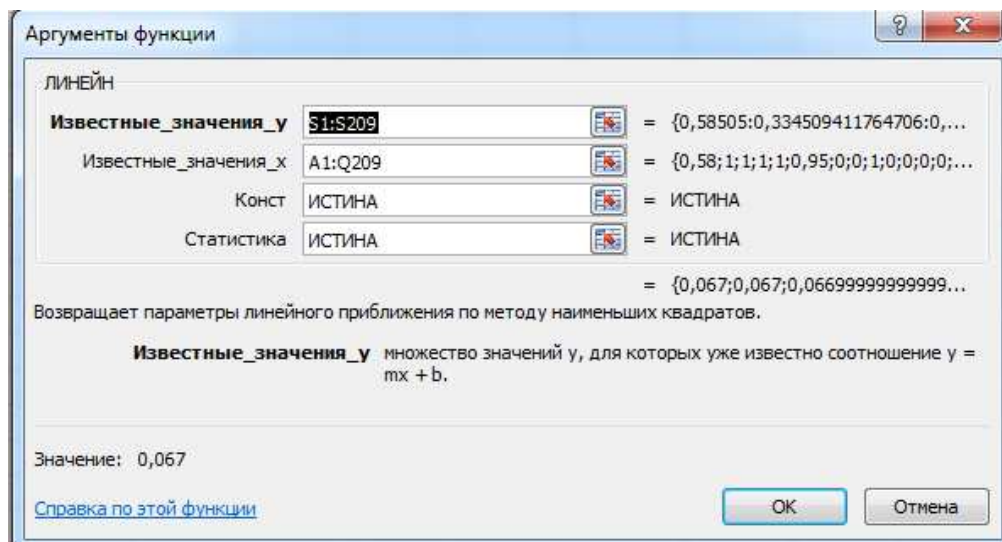


Рисунок 4.3 – Диалоговой окно функции ЛИНЕЙН MSExcel

На рисунке 4.3 видно, что при выводе результатов коэффициенты весомости будут выведены с учетом постоянной  $b$ .

При решении системы уравнений с использованием данных только о наземных пешеходных переходах, на которых произошли ДТП с пострадавшими, результаты будут недостаточно адекватны. На наземных пешеходных переходах с дополнительным обустройством пешеходного перехода искусственными неровностями и устройством приподнятого над основной проезжей частью не происходили ДТП с пострадавшими в указанный период, что свидетельством о том, что данные параметры могут иметь сильное влияние на коэффициент безопасности, а соответственно и на вероятность возникновения ДТП.

В целях нахождения более точного значения коэффициентов весомости добавим в выборку пешеходные переходы, на которых не произошло ни одного ДТП за период с 01.01.2018 г. по 31.12.2018 г. Количество пешеходных переходов для проверки устанавливаем равным 20.

Интерпретированные значения данных о параметрах пешеходных переходов приведены в таблице Г.1. Пешеходные переходы, попавшие в таблицу Г.1, отличаются высоким уровнем организации дорожного движения.

Решим систему уравнений (2.4) с учетом параметров пешеходных переходов, на которых не происходили ДТП, аналогично предыдущим

расчетам. На рисунке 4.4 приведены результаты расчетов коэффициентов весоности с вычислением константы.

0,077654999	0,163441	0,093009	0,081897	0,03342	0,261157	0,22349	0,106786	0,062199	0,073225	0,105373	0,097004	0,086096	0,081108	-0,01751	0,063108	0,081968	-0,03776048
0,008038916	0,019706	0,007086	0,011058	0,023058	0,040625	0,028483	0,00921	0,020153	0,008197	0,039888	0,01503	0,007537	0,009032	0,078746	0,009465	0,020942	0,073074199
0,911965909	0,051725	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д
128,5763977	211	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д
5,847989509	0,564519	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д

Рисунок 4.4 – Результаты расчетов коэффициентов весоности с вычислением константы

Полученные значения коэффициентов весоности параметров требований безопасности, предъявляемых к пешеходным переходам приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Значения коэффициентов весоности параметров требований безопасности, предъявляемых к пешеходным переходам, с вычислением константы

№ п/п	Коэффициент соответствия требованиям	Коэффициент весоности	Значения коэффициента весоности
1	$K_k$	$\alpha_1$	0,081968
2	$K_p$	$\alpha_2$	0,063108
3	$K_{ш}$	$\alpha_3$	-0,01751
4	$K_{дз}$	$\alpha_4$	0,081108
5	$K_{др}$	$\alpha_5$	0,086096
6	$K_v$	$\alpha_6$	0,097004
7	$K_{шум}$	$\alpha_7$	0,105373
8	$K_{ост.б}$	$\alpha_8$	0,073225
9	$K_{св}$	$\alpha_9$	0,062199
10	$K_{пред}$	$\alpha_{10}$	0,106786
11	$K_n$	$\alpha_{11}$	0,22349
12	$K_{пр}$	$\alpha_{12}$	0,261157
13	$K_{ж}$	$\alpha_{13}$	0,03342
14	$K_{осв}$	$\alpha_{14}$	0,081897

Окончание таблицы 4.2

№ п/п	Коэффициент соответствия требованиям	Коэффициент весоности	Значения коэффициента весоности
15	$K_{осв.п}$	$\alpha_{15}$	0,093009
16	$K_d$	$\alpha_{16}$	0,163441
17	$K_{по}$	$\alpha_{17}$	0,077654999

18	Константа	b	-0,03776048
----	-----------	---	-------------

Все полученные коэффициенты весомости в данном случае отличны от нуля. Только  $\alpha_3$ , характеризующее ширину пешеходного перехода, принимает отрицательное значение.

Формула комплексного коэффициента безопасности (2.4) при этом варианте расчетов примет следующий вид:

$$K_B = 0,081968K_K + 0,063108K_P - 0,01751K_{ш} + 0,081108K_{дз} + 0,086096K_{др} + 0,097004K_B + 0,105373K_{шум} + 0,073225K_{ост.б} + 0,062199K_{св} + 0,106786K_{пред} + 0,22349K_H + 0,261157K_{пр} + 0,03342K_{ж} + 0,081897K_{осв} + 0,093009K_{осв.п} + 0,163441K_D + 0,077654999K_{по} - 0,03776048 \quad (4.1)$$

Далее производим расчет с помощью функции ЛИНЕЙН MSExcel без вычисления константы. На рисунке 4.5 представлены результаты расчетов коэффициентов весомости без вычисления константы.

0,077932728	0,163348	0,092979	0,081612	0,033553	0,261326	0,223368	0,106955	0,063235	0,073284	0,104944	0,096972	0,086418	0,080335	-0,05565	0,063027	0,081623
0,008007051	0,019671	0,007074	0,011025	0,023017	0,040553	0,028433	0,009188	0,020019	0,008182	0,03981	0,015004	0,007499	0,008892	0,027408	0,009447	0,020896
0,992542635	0,051635	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д
1659,780736	212	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д
75,23014515	0,565234	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д

Рисунок 4.5 – Результаты расчетов коэффициентов весомости без вычисления константы

Полученные значения коэффициентов весомости параметров требований безопасности, предъявляемых к пешеходным переходам, при расчете без вычисления константы приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3–Значения коэффициентов весомости параметров требований безопасности, предъявляемых к пешеходным переходам, без вычисления константы

№ п/п	Коэффициент соответствия требованиям	Коэффициент весомости	Значения коэффициента весомости
1	$K_K$	$\alpha_1$	0,081623
2	$K_P$	$\alpha_2$	0,063027



3	$K_{ш}$	$\alpha_3$	-0,05565
4	$K_{дз}$	$\alpha_4$	0,080335
5	$K_{др}$	$\alpha_5$	0,086418
6	$K_{в}$	$\alpha_6$	0,096972
7	$K_{шум}$	$\alpha_7$	0,104944
8	$K_{ост.б}$	$\alpha_8$	0,073284
9	$K_{св}$	$\alpha_9$	0,063235
10	$K_{пред}$	$\alpha_{10}$	0,106955
11	$K_{н}$	$\alpha_{11}$	0,223368
12	$K_{пр}$	$\alpha_{12}$	0,261326
13	$K_{ж}$	$\alpha_{13}$	0,033553
14	$K_{осв}$	$\alpha_{14}$	0,081612
15	$K_{осв.п}$	$\alpha_{15}$	0,092979
16	$K_{д}$	$\alpha_{16}$	0,163348
17	$K_{по}$	$\alpha_{17}$	0,077932728

В этом варианте расчета также все коэффициенты весомости отличны от нуля. Приведем получившуюся формулу комплексного коэффициента безопасности (2.4):

$$\begin{aligned}
K_B = & 0,081623K_K + 0,063027K_p - 0,05565K_{ш} + 0,080335K_{дз} + \\
& + 0,086418K_{др} + 0,096972K_{в} + 0,104944K_{шум} + 0,073284K_{ост.б} + \\
& + 0,063235K_{св} + 0,106955K_{пред} + 0,223368K_{н} + 0,261326K_{пр} + \\
& + 0,033553K_{ж} + 0,081612K_{осв} + 0,092979K_{осв.п} + 0,163348K_{д} + \\
& + 0,077932728K_{по}
\end{aligned} \tag{4.2}$$

Теперь необходимо определить, при каком варианте расчетов коэффициентов весомости нахождение комплексного коэффициента безопасности будет наиболее точно.

#### 4.2.2 Анализ полученных результатов расчетов с помощью дополнительной регрессионной статистики

В первую очередь необходимо оценить стандартные ошибки коэффициентов весомости. В случае если стандартная ошибка больше половины коэффициента весомости, то коэффициент признается незначимым.

В таблице 4.4 приведены значения стандартных ошибок для расчетов по данным о наземных пешеходных переходах, на которых произошли ДТП с пострадавшими с учетом пешеходных переходов, на которых не происходили ДТП, с вычислением константы и без нее.

Таблица 4.4 – Значения стандартных ошибок для расчетов по данным о наземных пешеходных переходах, на которых произошли ДТП с пострадавшими с учетом пешеходных переходов, на которых не происходили ДТП, с вычислением константы и без нее

№ п/п	Коэффициент весомости	Стандартные ошибки при вычислении b	Оценка значимости коэффициента	Стандартные ошибки без вычисления b	Оценка значимости коэффициента
1	$\alpha_1$	0,020942	значим	0,020896	значим
2	$\alpha_2$	0,009465	значим	0,009447	значим
3	$\alpha_3$	0,078746	не значим	0,027408	не значим
4	$\alpha_4$	0,009032	значим	0,008892	значим
5	$\alpha_5$	0,007237	значим	0,007499	значим
6	$\alpha_6$	0,01503	значим	0,015004	значим
7	$\alpha_7$	0,039888	значим	0,03981	значим
8	$\alpha_8$	0,008197	значим	0,008182	значим
9	$\alpha_9$	0,020153	значим	0,020019	значим
10	$\alpha_{10}$	0,00921	значим	0,009188	значим
11	$\alpha_{11}$	0,028483	значим	0,028433	значим
12	$\alpha_{12}$	0,040625	значим	0,040553	значим
13	$\alpha_{13}$	0,023058	значим	0,023017	не значим
14	$\alpha_{14}$	0,011058	значим	0,011025	значим
15	$\alpha_{15}$	0,007086	значим	0,007074	значим
16	$\alpha_{16}$	0,019706	значим	0,019671	значим
17	$\alpha_{17}$	0,008038916	значим	0,008007051	значим
18	b	0,073074199	не значим	–	–

По таблице 4.4 видно, что в обоих случаях не значим оказался коэффициент весомости параметра требований безопасности  $K_{ш}$  (ширина наземного пешеходного перехода). Также при расчетах коэффициентов весомости с учетом константы, сама константа имеет большой разброс.

Во втором случае коэффициент весомости, отражающий наличие на наземном пешеходном переходе светофорного объекта Т.7.ж, находится в достаточно большой доверительном интервале.

Для выбора модели, наиболее точно описывающей исследуемый процесс, сравним значения коэффициентов детерминации и корреляции при каждом варианте расчетов. В таблице 4.5 приведены значения

множественных коэффициентов детерминации и корреляции для каждого варианта расчета.

Таблица 4.5 – Значения множественных коэффициентов детерминации и корреляции для каждого варианта расчета

Вариант расчетов	Множественный коэффициент детерминации $R^2$	Множественных коэффициент корреляции $R$
по данным о наземных пешеходных переходах, на которых произошли ДТП с пострадавшими с учетом пешеходных переходов, на которых не происходили ДТП, с вычислением константы	0,911965909	0,954969
по данным о наземных пешеходных переходах, на которых произошли ДТП с пострадавшими с учетом пешеходных переходов, на которых не происходили ДТП, без вычисления константы	0,992542635	0,996264

При расчетах коэффициентов весомости по данным о наземных пешеходных переходах, на которых произошли ДТП с пострадавшими с учетом пешеходных переходов, на которых не происходили ДТП за период с 01.01.2018 г. по 31.12.2018 г., множественный коэффициент детерминации близок к 1, что говорит о том, что присутствует функциональная зависимость между переменными.

Далее определяем значимость коэффициентов корреляции по критерию Стьюдента:

$$T_{\text{набл}} = R \frac{\sqrt{n-m-1}}{\sqrt{1-R^2}}, \quad (4.3)$$

$$T_{\text{набл}} = 0,99999962 \cdot \frac{\sqrt{209-17-1}}{\sqrt{1-0,99999924}} = 15852,94.$$

По таблице критических значений t-критерия Стьюдента определяем теоретическое значение  $T_{\text{кр}}$  при числе степеней свободы  $df = 191$  и

доверительной вероятности  $\beta = 0,95$  (уровне значимости  $\alpha = 0,05$ ). Значение  $T_{кр} = 1,972396$ . Поскольку  $T_{набл} > T_{кр}$ , то отклоняем гипотезу о равенстве нулю коэффициента корреляции, то есть коэффициент корреляции статистически значим.

В таблице 4.6 приведены расчеты значимости коэффициентов корреляции для каждого варианта сбора данных.

Таблица 4.6 – Расчеты значимости коэффициентов корреляции для каждого варианта сбора данных

Вариант вычисления	Значение R	Число степеней свободы df	$T_{набл}$	$T_{кр}$
по данным о наземных пешеходных переходах, на которых произошли ДТП с пострадавшими с учетом пешеходных переходов, на которых не происходили ДТП, с вычислением константы	0,954969	211	46,75252	1,971271
по данным о наземных пешеходных переходах, на которых произошли ДТП с пострадавшими с учетом пешеходных переходов, на которых не происходили ДТП, без вычисления константы	0,996264	212	167,5803	1,971217

Исходя из значений  $T_{набл} > T_{кр}$  в таблице 4.6, в каждом варианте вычисления коэффициент корреляции статистически значим.

Для того, чтобы убедиться, что полученное уравнение с достаточной степенью достоверности, адекватно описывает исследуемый процесс используем критерий Фишера. Наблюдаемое значение  $F_{набл}$  выводится в таблице дополнительной регрессионной статистики при выполнении функции ЛИНЕЙН MSExcell. В таблице 4.7 приведены значения для проверки уравнения на адекватность согласно критерию Фишера для уровня значимости  $\alpha = 0,05$  при  $f_1$  – число степеней свободы большей дисперсии,  $f_2$  – число степеней свободы меньшей дисперсии.

Таблица 4.7 – Значения для проверки уравнения на адекватность согласно критерию Фишера

Вариант вычисления	Число степеней свободы $f_1$	Число степеней свободы $f_2$	$\Phi_{эмп}$	$\Phi_{кр}$
по данным о наземных пешеходных переходах, на которых произошли ДТП с пострадавшими с учетом пешеходных переходов, на которых не происходили ДТП, с вычислением константы	211	211	128,5763977	1,14
по данным о наземных пешеходных переходах, на которых произошли ДТП с пострадавшими с учетом пешеходных переходов, на которых не происходили ДТП, без вычисления константы	212	212	1659,780736	1,14

По таблице 4.7 видим, что  $\Phi_{эмп} > \Phi_{кр}$  в случае каждого варианта расчетов, а это значит, что модель с достаточной степенью достоверности, адекватно описывает исследуемый процесс.

Таким образом, выбор уравнения обуславливает максимальное значение множественного коэффициента детерминации. Наибольшее значение множественный коэффициент детерминации принимает при расчетах по данным о наземных пешеходных переходах, на которых произошли ДТП с пострадавшими в период с 01.01.2018 г. по 31.12.2018 г., с учетом константы.

Такой выбор будет не совсем верным, так как на наземных пешеходных переходах с дополнительным обустройством пешеходного перехода искусственными неровностями и устройством приподнятого над основной проезжей частью не происходили ДТП с пострадавшими в указанный период. Но этот же факт говорит о том, что данные параметры требований безопасности оказывают решающее значение для предотвращения ДТП и снижения аварийности на объектах дорожно-транспортной инфраструктуры.

Также согласно таблице 4.3 параметры требований безопасности «дополнительное обустройство пешеходного перехода искусственными неровностями» и «устройством приподнятого над основной проезжей частью» имеют наибольший вес среди других параметров.

Тогда выбор наиболее полно описывающего исследуемый процесс уравнения должен основываться на двух вариантах расчетов:

- по данным о наземных пешеходных переходах, на которых произошли ДТП с пострадавшими с учетом пешеходных переходов, на которых не происходили ДТП, с вычислением константы;

- по данным о наземных пешеходных переходах, на которых произошли ДТП с пострадавшими с учетом пешеходных переходов, на которых не происходили ДТП, без вычисления константы.

Так как при расчетах по данным о наземных пешеходных переходах, на которых произошли ДТП с пострадавшими с учетом пешеходных переходов, на которых не происходили ДТП, без вычисления константы множественный коэффициент детерминации выше, принимаем верной математическую модель:

$$\begin{aligned} K_B = & 0,081623K_K + 0,063027K_P + 0,080335K_{дз} + +0,086418K_{др} + \\ & +0,096972K_B + 0,104944K_{шум} + 0,073284K_{ост.б} + +0,063235K_{св} + \\ & +0,106955K_{перед} + 0,223368K_H + 0,261326K_{пр} + +0,033553K_{ж} + \\ & +0,081612K_{осв} + 0,092979K_{осв.п} + 0,163348K_D. \end{aligned} \quad (4.4)$$

Таким образом, определили математическую модель, отражающую зависимость между требованиями безопасности, предъявляемым к наземным пешеходным переходам, и уровнем обеспечения их безопасности.

### **4.3 Расчет риска совершения ДТП на наземных пешеходных переходах**

Произведем расчет риска совершения ДТП на наземных пешеходных переходах. Согласно п. 2.4 рассчитываем следующие параметры:

- среднее значение комплексного коэффициента безопасности:

$$K_{cp} = 0,579258;$$

- среднее квадратическое отклонение комплексных коэффициентов безопасности:

$$\sigma_{K_{cp}} = 0,15961;$$

- коэффициент вариации этих значений:

$$C_v = \frac{0,15961}{0,579258} = 0,275542;$$

Средне значение комплексного коэффициента безопасности, вызывающего пятидесятипроцентный риск совершения ДТП, связанный с параметрами наземного пешеходного перехода:

- при  $C_v > 0,2$  и  $C_v < 0,2$ :

$$K_{50} = 2 \cdot 0,78 - \frac{\sqrt{0,78^2 + [25(0,012181)^2 - 1](0,78^2 - 25 \cdot 0,012019^2)} - 0,78}{25(0,012181)^2 - 1} = 0,853898.$$

Риск совершения ДТП в связи с недостатками в организации дорожного движения на пешеходных переходах находится по зависимости:

$$r = 0,5 - \Phi \left[ \frac{0,853898 - 0,579258}{\sqrt{0,318172^2 + 0,15961^2}} \right] = 0,22065.$$

Если полученное значение риска совершения ДТП в связи с недостатками в организации дорожного движения на пешеходных переходах меньше  $r = 1 \cdot 10^{-4}$  – для вновь оборудованных пешеходных переходах или  $r = 1 \cdot 10^{-3}$  – для эксплуатируемых участков УДС, принимается решение о совершенствовании наземных пешеходных переходах.

Полученное значение риска совершения ДТП в связи с недостатками в организации дорожного движения на пешеходных переходах составило  $r = 0,22065$  для эксплуатируемых наземных пешеходных переходов, что сильно превышает допустимое значение.

#### **4.4 Классификация наземных пешеходных переходов в зависимости от значения комплексного коэффициента безопасности**

Из статистических данных получили значение комплексного коэффициента безопасности для пятидесятипроцентного риска возникновения ДТП по формуле (2.12)  $K_{50} = 0,853898$ . При данном значении комплексного коэффициента безопасности необходимо принимать меры по совершенствованию обеспечения безопасности пешеходных переходов.

Для упорядочения работы с наземными пешеходными переходами их необходимо классифицировать в зависимости от опасности возникновения ДТП на объекте дорожно-транспортной инфраструктуры. Наземные

пешеходные переходы в зависимости от значения комплексного коэффициента безопасности распределим следующим образом:

- I – пешеходные переходы повышенной опасности ( $K_B < 0,57$ );
- II – опасные пешеходные переходы ( $K_B < 0,78$ );
- III – пешеходные переходы низкой опасности ( $K_B < 0,90$ );
- IV – безопасные пешеходные переходы ( $K_B > 0,90$ ).

На рисунке 4.6 представлена гистограмма со значениями комплексного коэффициента безопасности, полученными для обследованных пешеходных переходов.

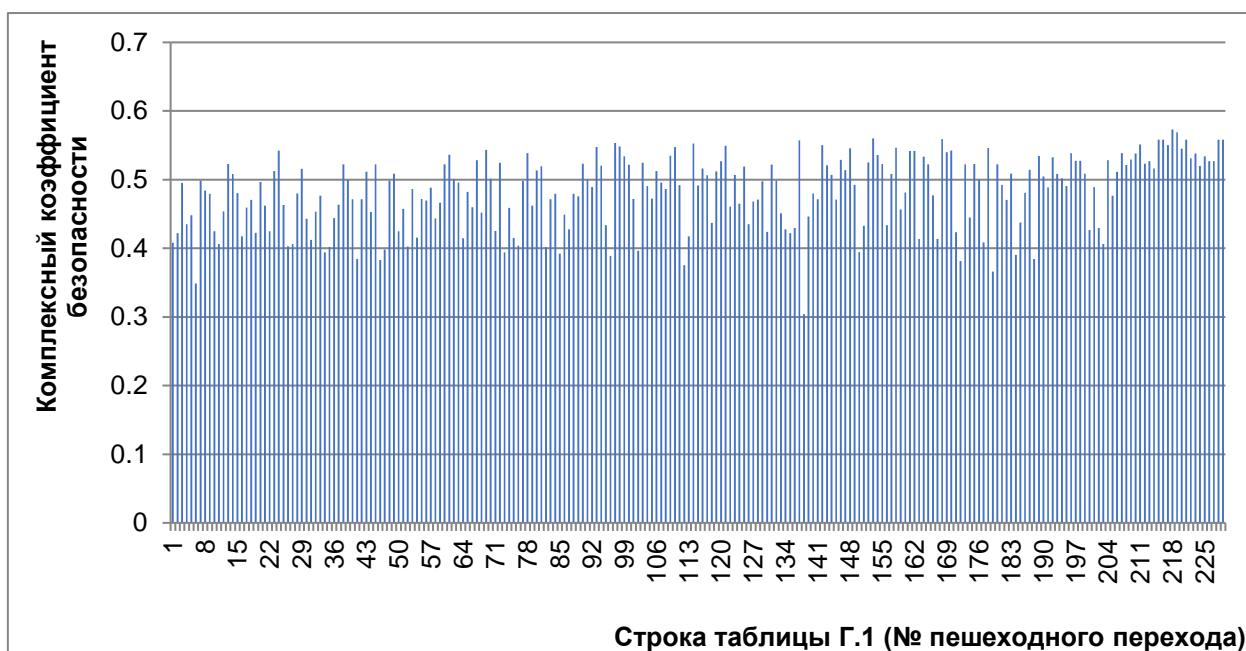


Рисунок 4.6 – Гистограмма значений комплексного коэффициента безопасности, полученных для обследованных пешеходных переходов

Среди обследованных пешеходных переходов согласно значениям комплексного коэффициента безопасности:

- пешеходные переходы повышенной опасности – 57 ед.;
- опасные пешеходные переходы – 144 ед.;
- пешеходные переходы низкой опасности – 18 ед.;
- безопасные пешеходные переходы – 10.

На рисунке 4.7 представлено распределение обследованных пешеходных переходов согласно классификации в зависимости от значения комплексного коэффициента безопасности.



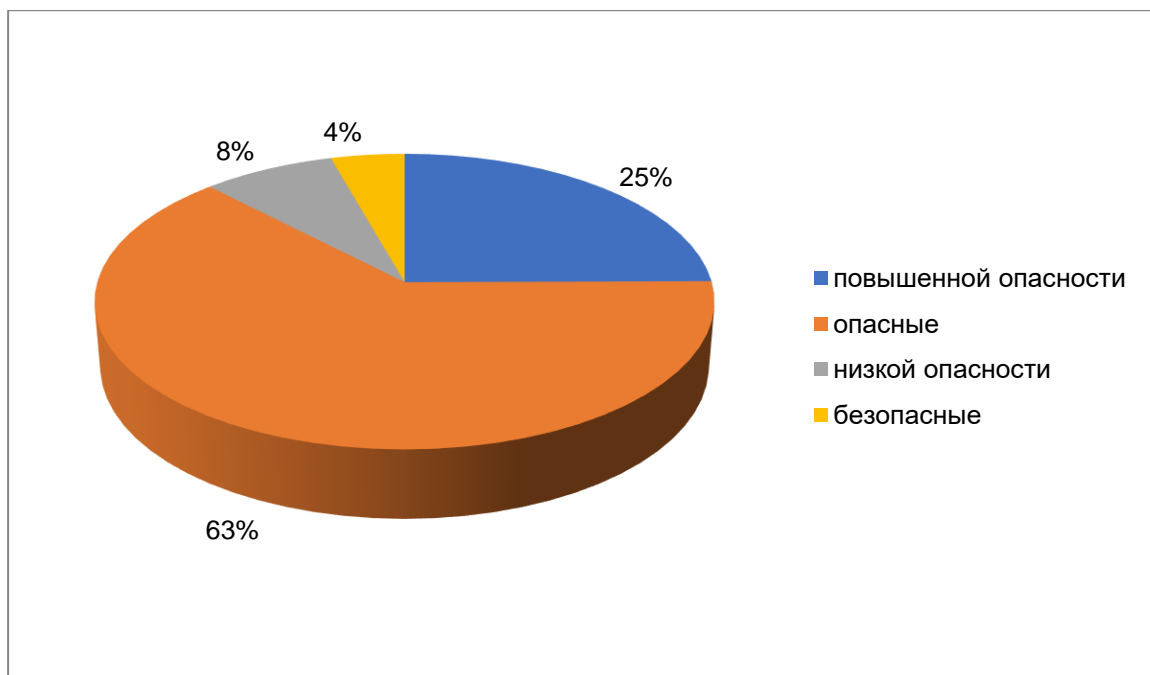


Рисунок 4.7 – Распределение обследованных пешеходных переходов согласно классификации в зависимости от значения комплексного коэффициента безопасности

Наибольший процент пешеходных переходов (63 %) составляют пешеходные опасные переходы. Также достаточно большое количество пешеходных переходов повышенной опасности (25 %). Это говорит о том, что для снижения риска возникновения ДТП необходимо повышать уровень обеспечения безопасности движения на данных пешеходных переходах. Безопасных пешеходных переходов всего 4 %, следовательно, можно сделать вывод о том, что в городе Красноярске организации дорожного движения в местах обустройства пешеходных переходов имеет множество недостатков, которые необходимо устранять.

#### 4.5 Выводы по четвертой главе

В четвертой главе были оценены 229 наземных пешеходных переходов, на 209 из которых за период с 01.01.2018 г. по 31.12.2018 г. произошли ДТП.

Отдельно были рассмотрены параметры расстояния боковой видимости у пешеходного перехода и состояния дорожного покрытия, так как эти параметры являются наиболее неудовлетворительными в городе Красноярске.

С учетом имеющихся данных по аварийности на пешеходных переходах была построена модель комплексного коэффициента безопасности, который рассчитывается на основании параметров

пешеходных переходов. Также были получены значения коэффициентов весомости для каждого параметра.

Расчеты коэффициентов весомости проводились согласно четырех вариантов расчетов:

- по данным о наземных пешеходных переходах, на которых произошли ДТП с пострадавшими с учетом константы;
- по данным о наземных пешеходных переходах, на которых произошли ДТП с пострадавшими без учета константы;
- по данным о наземных пешеходных переходах, на которых произошли ДТП с пострадавшими с учетом пешеходных переходов, на которых не происходили ДТП, с вычислением константы;
- по данным о наземных пешеходных переходах, на которых произошли ДТП с пострадавшими с учетом пешеходных переходов, на которых не происходили ДТП, без вычисления константы.

Затем проверили верность расчетов значений коэффициентов весомости с помощью дополнительной регрессионной статистики. Проверка выполнения по критерию Стьюдента и критерию Фишера. При нахождении критерия Стьюдента обоснована статистическая значимость коэффициента корреляции. По критерию Фишера убедились в том, что модель с достаточной степенью достоверности, адекватно описывает исследуемый процесс.

Выбор модели был основан на максимальном значении множественного коэффициента детерминации. Таким образом, комплексный коэффициент безопасности для наземных пешеходных переходов находится согласно формуле (4.3).

Согласно полученных значений коэффициентов весомости можно сделать выводы о том, какие мероприятия по совершенствованию ОДД должны проводиться в первую очередь при выполнении работ по обустройству наземных пешеходных переходов. Таким образом, расположим параметры соответствия требованиям по обустройству наземных пешеходных переходов по их влиянию на комплексный коэффициент безопасности:

- 1 устройство над основной проезжей частью приподнятого пешеходного перехода ( $K_{пр} = 0,261326$ );
- 2 дополнительное обустройство пешеходного перехода искусственными неровностями ( $K_{н} = 0,223368$ );
- 3 состояние проезжей части ( $K_{д} = 0,163348$ );
- 4 устройство на подъездах к пешеходному переходу дорожного знака «Впереди пешеходный переход» ( $K_{пред} = 0,106955$ );

- 5 дополнительное обустройство пешеходного перехода шумовыми полосами ( $K_{\text{шум}} = 0,104944$ );
- 6 обеспечение «треугольника видимости» пешеход-транспорт ( $K_{\text{в}} = 0,096972$ );
- 7 устройство стационарного электрического освещения на подходах к пешеходному переходу ( $K_{\text{осв.п}} = 0,092979$ );
- 8 наличие дорожной разметки и правильность ее нанесения ( $K_{\text{др}} = 0,086418$ );
- 9 устройство стационарного электрического освещения пешеходного перехода ( $K_{\text{осв}} = 0,081612$ );
- 10 наличие дорожных знаков и правильность их установки ( $K_{\text{дз}} = 0,080335$ );
- 11 наличие пешеходных ограждений ( $K_{\text{по}} = 0,077932728$ );
- 12 дополнительное обустройство пешеходного перехода островком безопасности с бортовым камнем в качестве защитного элемента ( $K_{\text{ост.б}} = 0,073284$ );
- 13 обозначение пешеходного перехода световозвращателями ( $K_{\text{св}} = 0,063235$ );
- 14 регулирование пешеходных переходов ( $K_{\text{р}} = 0,063027$ ).

Необходимо понимать, что вне зависимости от того, на каком пункте стоит тот или иной параметр, каждый из них имеет значения для снижения аварийности на участке УДС.

Таким образом, в четвертой главе были выполнены следующие задачи:

- определили факторы, влияющие на безопасность объектов транспортно-дорожной инфраструктуры;
- разработали классификацию наземных пешеходных переходов в зависимости от значения комплексного коэффициента безопасности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для того, чтобы определить регламентируемые параметры наземных пешеходных переходов, были изучены ТР ТС 014/2011 «Безопасность автомобильных дорог» и ГОСТы и СП, в результате применения которых выполняются требования технического регламента. В ходе анализа определили параметры, которые могут оказывать влияние на обеспечение безопасности пешеходного перехода.

Согласно разработанной методики провели обследование 227 наземных пешеходных переходов города Красноярска, на 20 из которых не было обнаружено серьезных нарушений требований.

На основании анализа параметров обследованных пешеходных переходов была установлена причинно-следственная связь и построена математическая модель для определения комплексного коэффициента безопасности в функции от параметров пешеходных переходов.

Обосновали параметры, которые оказывают влияние на безопасность пешеходных переходов, а также нашли степень влияния этих параметров на комплексный коэффициент безопасности путем определения коэффициентов весомости. Согласно полученным значениям коэффициентов весомости можно сделать выводы о том, какие мероприятия по совершенствованию ОДД должны проводиться в первую очередь при выполнении работ по обустройству наземных пешеходных переходов. Расположили параметры соответствия требованиям по обустройству наземных пешеходных переходов по их влиянию на комплексный коэффициент безопасности в следующем порядке:

- 1 устройство над основной проезжей частью приподнятого пешеходного перехода ( $K_{пр} = 0,261326$ );
- 2 дополнительное обустройство пешеходного перехода искусственными неровностями ( $K_{н} = 0,223368$ );
- 3 состояние проезжей части ( $K_{д} = 0,163348$ );
- 4 устройство на подъездах к пешеходному переходу дорожного знака «Впереди пешеходный переход» ( $K_{пред} = 0,106955$ );
- 5 дополнительное обустройство пешеходного перехода шумовыми полосами ( $K_{шум} = 0,104944$ );
- 6 обеспечение «треугольника видимости» пешеход-транспорт ( $K_{в} = 0,096972$ );
- 7 устройство стационарного электрического освещения на подходах к пешеходному переходу ( $K_{осв.п} = 0,092979$ );

8 наличие дорожной разметки и правильность ее нанесения ( $K_{др} = 0,086418$ );

9 устройство стационарного электрического освещения пешеходного перехода ( $K_{осв} = 0,081612$ );

10 наличие дорожных знаков и правильность их установки ( $K_{дз} = 0,080335$ );

11 наличие пешеходных ограждений ( $K_{по} = 0,077932728$ );

12 дополнительное обустройство пешеходного перехода островком безопасности с бортовым камнем в качестве защитного элемента ( $K_{ост.б} = 0,073284$ );

13 обозначение пешеходного перехода световозвращателями ( $K_{св} = 0,063235$ );

14 регулирование пешеходных переходов ( $K_p = 0,063027$ ).

Полученная математическая модель доказывает, что безопасность движения на наземных пешеходных переходах связана с параметрами требований безопасности, предъявляемых техническим регламентом.

Доказали адекватность разработанной математической модели с помощью критериев регрессионной статистики исследуемому процессу.

Для упорядочения работы с наземными пешеходными переходами ранжировали их в зависимости от степени обеспечения безопасности на объекте дорожно-транспортной инфраструктуры.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Симуль, М.Г. Повышение безопасности дорожного движения в зонах пешеходных переходов на магистральных улицах : дисс. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / Симуль Мария Геннадьевна. – Омск, 2012. – 142 с.

2 Симаков, А.В. Обеспечение безопасности движения на наземных пешеходных переходах в городах : дисс. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / Симаков Антон Владимирович. – Липецк, 2011. – 225 с.

3 Тюлькин, Е.В. Автоматизация процесса статистического исследования факторов ДТП / Е.В. Тюлькин // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – № 5 (52). – С. 248–253.

4 Столяров, В.В. Введение в теорию риска / В.В. Столяров // Повышение эффективности эксплуатации транспорта: Межвуз. науч. сб. - Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2003. – С. 118–139.

5 Авдеева Т. А. Исследование путей эффективности снижения вероятности ДТП / Т. А. Авдеева, Б. С. Доброборский // Автотранспортное предприятие. 2010. – № 3. – С. 15–17.

6 Азизов К. Х. Режимы движения автомобилей и пешеходов на городских улицах / К. Х. Азизов, И. С. Садиков // Наука и техника в дорожной отрасли. 2007. – № 3. – С. 14–16.

7 Бабков В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения : учебник для вузов / В. Ф. Бабков. – Москва : Транспорт, 1993. – 271 с.

8 Вавилонская Т. В. Градостроительная реконструкция. Стратегия, принципы и приемы / Т. В. Вавилонская // Архитектура и строительство России. 2009. – № 9. – С. 2–9.

9 ТР ТС 014/2011 Безопасность автомобильных дорог. [Электронный ресурс] : Технический регламент Таможенного союза 014/2011 утв. 18.10.2011 Комиссией Таможенного союза // Библиотека нормативной документации. – Введ. 15.02.2015. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru>.

10 ГОСТ Р 52766-2007 Дороги автомобильные общего пользования. Элементы обустройства. Общие требования. – Введ. 01.07.2008. – Москва : Стандартинформ, 2008. – 29 с.

11 СП 396.1325800.2018 Улицы и дороги населенных пунктов. Правила градостроительного проектирования. – Введ. 02.02.2019. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 85 с.

12 СТБ 1635-2006 Элементы обустройства автомобильных дорог и улиц. Термины и определения. Классификация. – Введ. 19.04.2006. – Минск : БелГИСС, 2006. – 84 с.

13 СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85. – Введ. 30.06.2012. – Москва : Госстрой России, 2013. – 112 с.

14 ГОСТ 33475-2015 Дороги автомобильные общего пользования. Геометрические элементы. Технические требования. – Введ. 31.08.2016. – Москва :Стандартинформ, 2019. – 15 с.

15 ОДМ 218.2.020-2012 Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог [Электронный ресурс] :Введ. 01.03.2012. – Официальный сайт Росавтодора. – Режим доступа: [www.rosavtodor.ru](http://www.rosavtodor.ru).

16 Домке, Э.Р. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий: учеб.пособие по направлению подготовки 23.03.01 «Технология транспортных процессов» / Э.Р. Домке. – Пенза: ПГУАС, 2016. – 240 с.

17 Молодцов, В.А. Расследование и экспертиза ДТП : методические указания по выполнению курсового проекта по дисциплине «Расследование и экспертиза ДТП» направления подготовки бакалавров 23.03.01 (190700.62) «Технология транспортных процессов» профилей «Безопасность дорожного движения», «Расследование и экспертиза ДТП» / В. А. Молодцов, А. А. Гуськов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. – 52 с.

18 Балакин, В.Д. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий: учебное пособие / В.Д. Балакин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Омск: СибАДИ, 2010. – 136 с.

19 ГОСТ 32944-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Пешеходные переходы. Классификация. Общие требования. – Введ. 08.09.2016. – Москва :Стандартинформ, 2019. – 16 с.

20 Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб.пособие / В. Е. Гмурман. – 12-е изд., перераб. – Москва : Высшая школа, 2008. – 480 с.

21 Рыбин, А. Л. Показатели риска ДТП для оценки участков автомобильных дорог при аудите безопасности дорожного движения [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.rosdornii.ru/files/08-12-14/5-2.pdf>.

22 ТР ТС 018/2011 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств» [Электронный ресурс] :Введ. 01.01.2015. – 465 с. – Режим доступа: <https://docviewer.yandex.ru>

- 23 Столяров В.В. Дорожные условия и организация движения с использованием теории риска / В.В.Столяров – Саратов: учебное пособие 1999г.
- 24 Столяров, В. В. Проектирование автомобильных дорог с учетом теории риска / В. В. Столяров; Сарат. гос. техн. ун-т. – Саратов : СГТУ, 1994. – Ч. 1. – 1994. – 184 с.
- 25 Столяров, В.В. Основные формулы теории риска, основанные на распределении Шарлье / В.В. Столяров // Проблемы транспорта и транспортного строительства: Межвуз. науч. сб. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2005. – С. 12–18.
- 26 Функция ЛИНЕЙН [Электронный ресурс] : Служба поддержки MSExcel. – Режим доступа: <https://support.microsoft.com/ru-ru/office/линейн-функция-линейн>.
- 27 Примеры как пользоваться функцией ЛИНЕЙН в Excel[Электронный ресурс] : Работа с таблицами ExcelTABLE. – Режим доступа: <https://exceltable.com>.
- 28 Балаш, В.А. Эконометрика : учеб.пособие / В.А. Балаш, О.С. Балаш, А.И. Землянухин. – Саратов : Коллектив авторов, 2005. – 80 с.
- 29 Петров, П. К. Математико-статистическая обработка и графическое представление результатов педагогических исследований с использованием информационных технологий: учеб.пособие/ П.К. Петров. – Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2013. – 179 с.
- 30 Государственный доклад о состоянии безопасности дорожного движения в Российской Федерации //Стоп-газета. – 2006. – № 4 (108).
- 31 Калугина А. Сколько стоит «зебра»? / А. Калугина // Автоперевозки: грузовые, пассажирские, международные. – 2008. – № 6.1. – С. 63.
- 32Клинковштейн Г. И. Организация дорожного движения : учебник для вузов / Г. И. Клинковштейн, М. Б. Афанасьев. – Москва: Транспорт, 2001. – 247 с.
- 33Коноплянко В. И. Организация и безопасность дорожного движения / В. И. Коноплянко.–Москва : МАДИ, 1983. – 240 с.
- 34 Коншин Е. П. Организация пешеходных зон в городах : метод, рекомендации / сост. Е. П. Коншин, Ю. Д. Шелков, И. В. Шемякин. – Москва : ВНИИБД МВД СССР, 1990. – 45 с.
- 35 Коршаков И. К. Автомобиль и пешеход: анализ механизма наезда / И. К. Коршаков. – Москва: Транспорт, 1988. –142 с.



36 Кременец Ю. А. Технические средства организации дорожного движения : учебник для вузов / Ю. А. Кременец, М. П. Печерский, М. Б. Афанасьев. – Москва : ИКЦ «Академкнига», 2005. – 279 с.

37 Лобанов Е. М. Транспортная планировка городов : учебник для студентов вузов / Е. М. Лобанов. – Москва : Транспорт, 1990. – 240 с.

38 Методические рекомендации по регулированию пешеходного движения / сост. : Ю. Д. Шелков, А. Г. Романов// Всесоюз. науч.-исслед. инт безопасности дорож. движения. – Москва, 1977. – 54 с.

39 Организация дорожного движения в городах : метод, пособие / НИЦ ГАИ МВД РФ ; под ред. Ю. Д. Шелкова. – Москва : Транспорт, 1995. – 143 с.

40 Федеральный закон О техническом регулировании N 184-ФЗ[Электронный ресурс]:принят Гос. Думой 15 декабря 2002 года.: одобр. Советом Федерации 18 декабря 2002 года / Справочник КонсультантПлюс. – Москва :2002. – 40с. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.

41 ГОСТ 32945-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Знаки дорожные. Технические требования. – Введ. 08.09.2016. – Москва :Стандартинформ, 2016. – 79 с.

42 ГОСТ 32953-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Разметка дорожная. Технические требования. – Введ. 01.10.2015. – Москва :Стандартинформ, 2019. – 24 с.

43 ГОСТ 33025-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Полосы шумовые. Технические условия. – Введ. 01.07.2015. – Москва :Стандартинформ, 2019. – 12 с.

44 ГОСТ 32964-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Искусственные неровности сборные. Технические требования. Методы контроля. – Введ. 01.02.2016. – Москва :Стандартинформ, 2016. – 17 с.

45 ГОСТ 32866-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Световозвращатели дорожные. Технические требования. – Введ. 01.07.2015. – Москва :Стандартинформ, 2015. – 20 с.

46 ГОСТ 33385-2015 Дороги автомобильные общего пользования. Дорожные светофоры. Технические требования. – Введ. 08.09.2016. – Москва :Стандартинформ, 2019. – 18 с.

47 Штепа, А. А. Определение риска возникновения ДТП при потере устойчивости автомобиля на кривой в плане / А.А. Штепа, В.А. Зеликов, Д.А. Шарипова // [Электронный ресурс] : Архив научных публикаций – Режим доступа: <http://www.rusnauka.com>.

48 Сорокин, А. А. Анализ факторов, влияющих на дорожно-транспортные происшествия / А.А. Сорокин, С.В. Яковлев, А.Ю. Орлова //

Вестник Северо-Кавказского федерального университета / Экономика и управление народным хозяйством. – СКФУ, 2019. – № 1 (70) – С. 95 – 99.

49 СТО 4.2–07–2014 Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности. – Введ. 07.2014. – Красноярск : ИПК СФУ, 2014. – 60 с.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ А**

**Форма протокола осмотра наземных пешеходных переходов**



## **ПРИЛОЖЕНИЕ Б**

**Сведения о ДТП с пострадавшими на наземных пешеходных переходах  
за период с 01.01.2018 г. по 31.12.2018 г.**













## **ПРИЛОЖЕНИЕ В**

### **Результаты натурного исследования параметров наземных пешеходных переходов**











## **ПРИЛОЖЕНИЕ Г**

**Результаты натурного исследования наземных пешеходных переходов,  
на которых за период с 01.01.2018 г. по 31.12.2018 г. не происходили ДТП**





**ПРИЛОЖЕНИЕ Д**  
**Расчет показателя относительной аварийности**



















## **ПРИЛОЖЕНИЕ Е**

**Результаты расчетов коэффициентов весомости по данным о наземных пешеходных переходах, на которых произошли ДТП с пострадавшими с учетом пешеходных переходов**



## **ПРИЛОЖЕНИЕ Ж**

**Результаты расчета комплексного коэффициента безопасности для  
наземных пешеходных переходов города Красноярска**















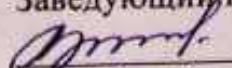


**ПРИЛОЖЕНИЕ 3**  
**Презентационный материал**

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Политехнический институт  
кафедра транспорта

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Е.С. Воеводин

подпись

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Совершенствование нормативов и методов оценки  
соответствия объектов транспортно-дорожной инфраструктуры  
(пешеходные переходы) требованиям технического регламента о  
безопасности автомобильных дорог»

23.04.01 «Технология транспортных процессов»

23.04.01.02 «Оценка соответствия и экспертиза безопасности  
на транспорте»

Научный руководитель  д-р техн. наук, проф. И.М. Блянкинштейн

подпись, дата

Выпускник

А.В. Красюк

  
подпись, дата

Рецензент

начальник отдела транспорта К.В. Козлов

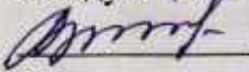
  
подпись, дата

Красноярск 2020

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Политехнический институт  
кафедра транспорта

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Е.С. Воеводин

подпись

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**  
**в форме магистерской диссертации**



Студенту Красюку Александру Викторовичу  
Группа ФТ18-06М направление (специальность) 23.04.01 «Технология  
транспортных процессов»

Тема выпускной квалификационной работы «Совершенствование нор-  
мативов и методов оценки соответствия объектов транспортно-дорожной  
инфраструктуры (пешеходные переходы) требованиям технического регла-  
мента о безопасности автомобильных дорог»

Утверждена приказом по университету № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Руководитель ВКР И.М. Блянкинштейн, д-р техн. наук, профессор

Исходные данные для ВКР: сведения о ДТП с пострадавшими за пери-  
од с 01.01.2018 г. по 31.12.2018 г. в городе Красноярске

Перечень разделов ВКР:

- 1 Анализ состояния вопроса. Цель и задачи исследования.
- 2 Расчет комплексного коэффициента безопасности наземного пешеходного перехода.
- 3 Методика проведения исследования.
- 4 Практические рекомендации по повышению безопасности наземных пешеходных переходов.

Перечень графического материала: Приложение 3 «Презентационный материал»

Руководитель ВКР



И.М. Блянкинштейн

Задание принял к исполнению



А.В. Красюк

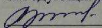
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.



Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Политехнический институт  
кафедра транспорта

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Е.С. Восводин

подпись


«    »                    2020 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

«Совершенствование нормативов и методов оценки  
соответствия объектов транспортно-дорожной инфраструктуры  
(пешеходные переходы) требованиям технического регламента о  
безопасности автомобильных дорог»

23.04.01 «Технология транспортных процессов»

23.04.01.02 «Оценка соответствия и экспертиза безопасности  
на транспорте»

Научный руководитель  д-р техн. наук, проф. И.М. Блянкинштейн

подпись, дата

Выпускник

А.В. Красюк

подпись, дата

Рецензент

начальник отдела транспорта К.В. Козлов

подпись, дата

Красноярск 2020