

На правах рукописи

***СЛОБОДЧИКОВА Надежда Анатольевна***

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ  
НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕШЕХОДНЫХ ВЫЗЫВНЫХ УСТРОЙСТВ**

Специальность **05.22.10** – Эксплуатация автомобильного транспорта

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Иркутск – 2010**

Работа выполнена на кафедре «Менеджмент на автотранспорте» Иркутского государственного технического университета

**Научный руководитель** доктор технических наук, профессор  
**Михайлов Александр Юрьевич**

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор  
**Зырянов Владимир Васильевич**

кандидат технических наук, доцент  
**Крипак Марина Николаевна**

**Ведущая организация:** ГОУ ВПО «Сибирская автомобильно-  
дорожная академия» (СибАДИ)

Защита состоится 11.05.2010 г. в 12.00 часов на заседании диссертационного совета Д. 212.073.04 в ГОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет» по адресу: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, корпус «Ж», аудитория Ж – 06а.; факс 8 (3952) 405-100; e-mail: 1.gor@istu.edu

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Иркутского государственного технического университета.

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2010 г.

Отзывы в 2 экз., заверенные печатью, просьба высылать на имя ученого секретаря совета.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор технических наук, профессор

Н.Н. Страбыкин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Безопасность дорожного движения – наиболее острая проблема эксплуатации автомобильного транспорта в нашей стране, а ДТП с участием пешеходов являются одной из важнейших составляющих высокого уровня аварийности. По данным статистики наезды на пешеходов в городах Российской Федерации за 2008 г. составили 40% от всех ДТП, при этом на расположенных вне перекрестков нерегулируемых пешеходных переходах происходит каждый шестой наезд на пешехода. Опыт организации дорожного движения (ОДД) убедительно показывает, что введение светофорного регулирования, регламентируемого ГОСТ 23457-86 "Технические средства организации дорожного движения. Правила применения", значительно повышает безопасность движения на пешеходных переходах. Документ указывает интенсивности движения транспортных средств и пешеходов, при которых необходимо введение регулирования на переходах. Применение жесткого режима регулирования (ЖРР) в случаях, когда интенсивности движения пешеходов на переходах имеют значительные колебания, приводит к неоправданным задержкам транспортных средств. Сократить эти задержки позволяет применение пешеходных вызывных устройств (ПВУ), которые получили широкое применение в мировой практике. Например, в Англии в 2009 г. эксплуатировалось 12 000 переходов с ПВУ ([www.whatdotheyknow.com](http://www.whatdotheyknow.com)). Следует отметить, что «Методические рекомендации по регулированию пешеходного движения» (ВНИИ БД МВД СССР 1977г.) и зарубежные нормативные документы (США, Великобритания, Австралия) рекомендуют применять ПВУ при меньших значениях интенсивности движения пешеходов, чем указываемые как условия введения регулирования действующим ГОСТ 23457-86.

В диссертационной работе выполнено сравнение разных типов пешеходных переходов с использованием оценки задержек транспортных средств и пешеходов. В том числе рассмотрено функционирование переходов при интенсивностях движения транспортных средств и пешеходов меньших, чем указанные в ГОСТ 23457-86 как условие введения светофорного регулирования.

**Основная идея работы.** Значительное снижение задержек транспортных средств на пешеходных переходах, расположенных вне перекрестков, может быть достигнуто применением ПВУ с режимом регулирования, имеющим фиксированную длительность сигнала, разрешающего движение пешеходов и заданную минимальную длительностью сигнала, разрешающего движение транспортных средств.

**Цель диссертационной работы** - повышение эффективности ОДД на пешеходных переходах, на основе применения ПВУ.

**Объект исследования** – движение потоков транспортных средств и пешеходных потоков на пешеходных переходах, расположенных вне перекрестков.

**Предмет исследования** – влияние светофорного регулирования на суммарные задержки транспортных средств и пешеходов на пешеходных переходах.

В соответствии с целью работы сформулированы следующие **задачи исследования:**

- теоретически обосновать режим регулирования для пешеходных переходов с ПВУ, позволяющий снизить задержки транспортных средств, и разработать для предлагаемого режима регулирования модели расчета задержек транспортных средств и пешеходов;
- предложить методику оценки ущерба от задержки транспортных средств и пешеходов на регулируемых пешеходных переходах с ПВУ;

- на основе численного моделирования задержек транспортных средств и пешеходов определить область оптимального использования пешеходных переходов с **ПВУ**, путем сравнения результатов выполненного моделирования и рекомендаций нормативных документов разных стран сформулировать предложения по применению регулируемых пешеходных переходов с **ПВУ**.

**Научная новизна исследования:**

- теоретически обоснован режим регулирования для пешеходных переходов с **ПВУ**, позволяющий минимизировать задержки транспортных средств;
- разработаны модели расчета задержек транспортных средств и пешеходов на регулируемых пешеходных переходах с вызывными устройствами;
- с использованием математического моделирования определена область оптимального применения регулируемых пешеходных переходов с **ПВУ**.

**Практическая ценность работы:**

- предложена методика расчета задержек транспортных средств и пешеходов и ущерба от них для регулируемых пешеходных переходов с **ПВУ**;
- установлен диапазон значений интенсивности движения транспортных и пешеходных потоков на пешеходных переходах, при которых целесообразно использовать **ПВУ**.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

- для снижения задержек транспортных средств на пешеходных переходах с **ПВУ** в условиях низкой интенсивности движения пешеходов целесообразно применять режимы регулирования с фиксированной длительностью сигнала, разрешающего движение пешеходов;
- модели расчета задержек транспортных средств и пешеходов на пешеходных переходах с **ПВУ** должны рассматривать длительность цикла регулирования как случайную величину, являющуюся функцией интенсивности движения пешеходов;
- область эффективного применения **ПВУ** следует определять на основе методов численного моделирования задержек транспортных средств и пешеходов, позволяющих оценить функционирование различных типов пешеходных переходов в широком диапазоне значений интенсивности движения транспортных средств и пешеходов.

**Реализация работы.** Результаты исследований внедрены в АНО «Институт Проблем Безопасности Движения» при подготовке текста ОДМ «Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог» (Росавтодор Минтранса России).

**Апробация работы.** Основные положения и результаты исследований докладывались на VI Международной научно-практической конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (Санкт-Петербург 2008 г.); на XVI Международной научно-практической конференциях «Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния» (Екатеринбург 2007 г.); на Международной научно-практической конференции «Вместе к эффективному дорожному движению» Минск (2008г.); на XIII Международной научно-практической конференции Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния (Екатеринбург 2009г.); на научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития бизнеса на предприятии и в регионе» (Иркутск 2009), на III Межрегиональной научно-практической

конференции «Дорожно-транспортный комплекс: состояние и перспективы развития» (Чебоксары 2009 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 10 печатных работ, в том числе 2 публикации в издании, утвержденном ВАК Минобробразования РФ для кандидатских диссертаций.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, основных выводов, приложения и списка литературы. Объем диссертации составляет 174 стр. машинописного текста, включая 70 рисунков и 27 таблиц. Библиографический список включает 136 наименований.

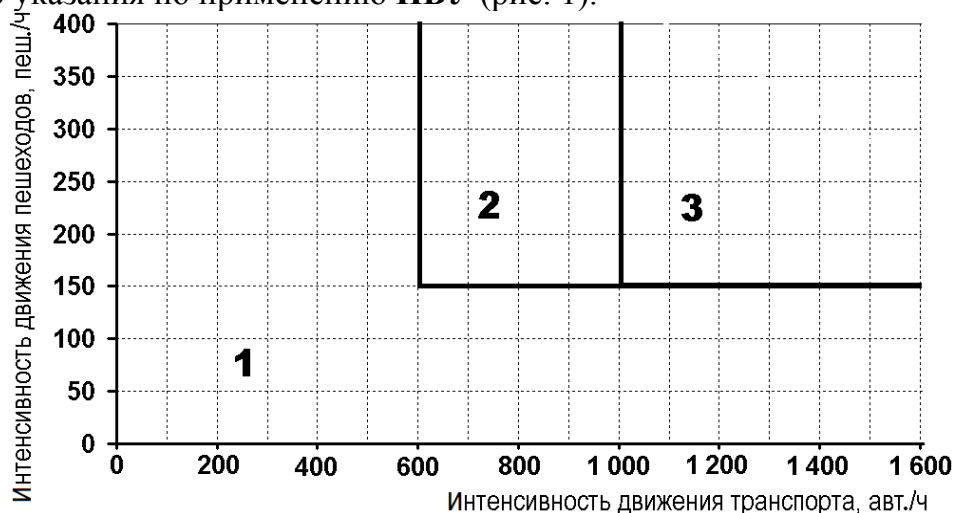
## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность работы, сформулирована ее цель, научная новизна, определены методы исследования, перечислены основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** выполнен анализ статистики ДТП с участием пешеходов в РФ, который показал высокий уровень аварийности на нерегулируемых пешеходных переходах. Проведен анализ исследований в области светофорного регулирования на пешеходных переходах в российской и зарубежной практике.

Принципы организации движения пешеходов рассмотрены в трудах многих отечественных ученых: В.Э Бакутиса, П.Г. Буги, М.Б. Афанасьева, Г.И. Клинковштейна, Ю.А. Кременца, Ю.А. Ставничего, Ю.Д. Шелкова, А.Г. Романова, Р.М. Пиир, В.В. Сильянова, В.В. Шештокаса и других. В этих работах изложены основные положения теории движения транспортных и пешеходных потоков. Вместе с тем в нашей стране в последние десятилетия не приводилось детальные исследования задержек транспортных средств и пешеходов на разных типах пешеходных переходов.

Действующий в РФ ГОСТ 23457-86 "Технические средства организации дорожного движения. Правила применения" указывает значения интенсивностей движения, при которых следует вводить светофорное регулирование, но при этом не содержит какие-либо указания по применению ПВУ (рис. 1).



**Рис. 1.** Область применения ЖРП согласно ГОСТ 23457-86: 1 – нерегулируемые переходы; 2 – регулируемый переход на проезжей части без разделительной полосы; 3 - регулируемый переход на проезжей части с разделительной полосой

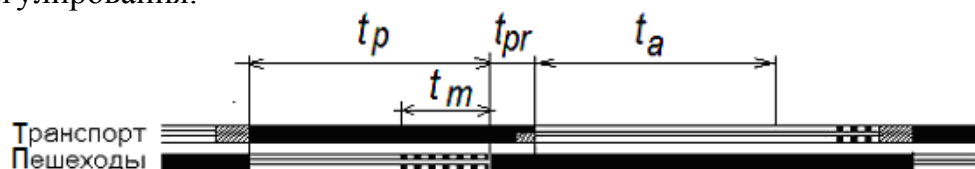
«Методическими рекомендациями по регулированию пешеходного движения» (ВНИИ БД МВД СССР 1977г.) предлагалось применять ПВУ при интенсивности движения пешеходов более 50 чел./ч. Вместе с тем указанные рекомендации разработа-

ывались в условиях низкой автомобилизации населения, когда уровень загрузки улично-дорожных сетей городов нашей страны был значительно ниже.

Рассмотрены критерии и условия введения различных технических средств ОДД на пешеходных переходах (пешеходные ограждения, островки безопасности, искусственные неровности (ИН), сужение проезжей части и т.п.). Установлена необходимость уточнения условий применения различных вариантов ОДД на пешеходных переходах (**ЖРР**, **ПВУ** и нерегулируемые переходы).

**Во второй главе** теоретически обоснован режим регулирования и разработаны модели расчета задержек пешеходов и транспортных средств на регулируемых и нерегулируемых пешеходных переходах.

Одна из главных целей данного исследования – обоснование режимов регулирования для пешеходных переходов с **ПВУ**, которые позволяют максимально снизить задержки транспортных средств и могут применяться при низких значениях интенсивности движения пешеходов вместо нерегулируемых переходов. В этой связи предлагается использовать режимы регулирования (рис.2) с задаваемыми постоянной длительностью зеленого сигнала для пешеходов  $t_p$  и минимальными допустимыми значениями длительности цикла регулирования и зеленого сигнала для транспортных средств  $t_a$ , которые рассчитываются как оптимальные для жесткого режима с двумя фазами регулирования.



**Рис. 2.** Предлагаемый режим светофорного регулирования для пешеходных переходов с ПВУ. Сигналы: - зеленый; - красный; - зеленый мигающий; - желтый; - красный и желтый

Расчет длительности цикла регулирования  $T$  (с) производится формуле Вебстера

$$T = (1,5L + 5)/(1 - Y), \quad (1)$$

$$L = t_p + \sum t_{pr}, \quad (2)$$

где  $L$  – потерянное время в цикле, с;  $Y$  – фазовый коэффициент;  $t_p$  – пешеходный такт, с;  $t_{pr}$  – переходный интервал (рис.2), с.

Время, необходимое для пропуска пешеходов  $t_p$ :

$$t_p = B/V + t_d, \quad (3)$$

где  $B$  – ширина проезжей части, м;  $V$  – скорость движения пешеходов,  $V=1,3$  м/с;  $t_d$  – дополнительное время, принимается 4-8 с.

Фазовый коэффициент

$$Y = N_{pr}T / t_{ae}M_n, \quad (4)$$

где  $N_{pr}$  – приведенная интенсивность движения, авт./ч;  $t_{ae}$  – эффективная длительность разрешающего сигнала для транспортных средств, с;  $M_n$  – идеальный поток насыщения, принимаемый 1 900 авт./ч.

Длительность разрешающего сигнала для транспортных средств  $t_a$  и его эффективная длительность  $t_{ae}$

$$t_a = T - L = T - (t_p + t_{pr}), \quad (5)$$

$$t_{ae} = t_a - t_{st}, \quad (6)$$

где  $t_{st}$  – стартовые потери времени, с.

Далее выполнен сравнительный анализ существующих моделей средней задержки пешеходов на регулируемых переходах (табл.1).

Таблица 1

**Модели оценки средней задержки пешеходов**

Автор	Формулы	Примечание
<b>Переходы с жестким режимом регулирования ЖРР</b>		
Pretty 1979 г.	При пересечении: однорядного транспортного потока $d_1 = P(C - w)^2 / 2C$ ; двухрядного транспортного потока и при условии $0,5C \neq 2w$ $d_2 = Pd(0,75C - w)^2$ При наличии полностью пешеходной фазы $d_{1\&2} = (P + P_d)(C - w)^2 / 2C$	$d_1, d_2$ – средняя задержка пешеходов, чел.ч/ч; $P$ – интенсивность, чел./ч; $C$ – длительность цикла, с; $w$ – длительность разрешающего (пешеходного) сигнала, с; $P_d$ – интенсивность пешеходов, чел./ч
Roddin 1981г.	$d_p = \frac{0,5(C - g)^2}{C}$	$d_p$ – средняя задержка пешеходов, с; $C$ – длительность цикла регулирования, с; $g$ – длительность разрешающего сигнала, с
<b>Переходы с ПВУ (Puffin)</b>		
Dunn 1984 г.	при ширине проезжей части 7,5 м $d = (g + 10)^2 / 2(g + 15)$ при ширине проезжей части 15 м $d = (g + 15)^2 / 2(g + 20)$	$d$ – средняя задержка пешеходов, с; $g$ – длительность зеленого сигнала для транспортных средств
Griffiths 1984 г.	При интенсивности движения транспортных средств менее 1 500 авт./ч $d_p = \left( \frac{60}{11} - \frac{4v}{1100} \right) + \left( \frac{v}{1100} - \frac{4}{11} \right) \frac{d_T}{\mu y_2}$ ; свыше 1 500 авт./ч: $d_p = d_T / \mu y_2$	$d_p$ – общая задержка пешеходов, с; $v$ – интенсивность транспортных средств, авт./ч; $\mu$ – интенсивность пешеходов, пеш./ч

Следует отметить, что модели расчета средней задержки пешеходов, разработанные ранее для **ПВУ** (Puffin), не учитывают влияние интенсивности движения на варьирование длительности цикла регулирования. Поэтому предлагается модель оценки средней задержки пешеходов на переходе с **ПВУ**, в которой приняты следующие условия:

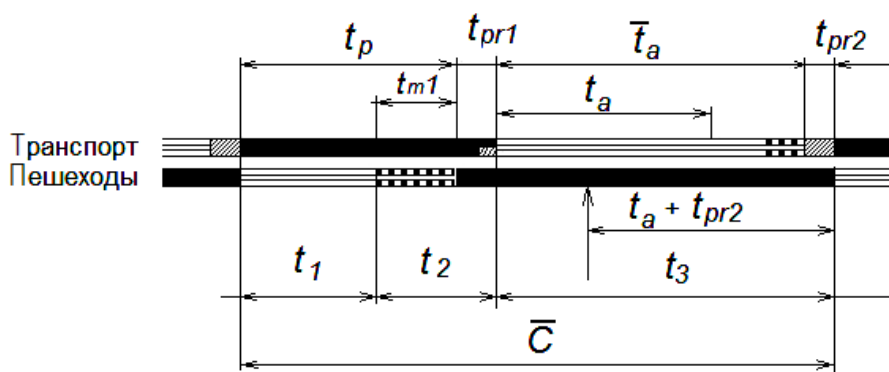
- рассматривается изолированный пешеходный переход;
- длительность разрешающего сигнала для пешеходов является фиксированной и определяется расчетом;
- длительность цикла регулирования и зеленого сигнала для транспорта являются случайными величинами, т.е. рассматриваются как функции интенсивности движения пешеходов;

- прибытие пешеходов рассматривается как пуассоновский процесс и предполагается, что распределение интервалов в пешеходном потоке подчиняется показательному закону.

В соответствии с указанными выше условиями цикл регулирования можно разделить на три интервала  $t_1, t_2, t_3$  (рис. 3). Тогда среднюю задержку пешеходов можно определять как сумму задержек, возникающих при прибытии пешеходов в любом из интервалов, умноженных на вероятности возникновения этих задержек (т.е. вероятности прибытия пешехода в интервалы  $t_1, t_2, t_3$ ):

$$d_{ped} = d_1 P_1 + d_2 P_2 + d_3 P_3,$$

где  $d_{1,2,3}$  – длительности задержек пешеходов при прибытии в интервалы времени  $t_1, t_2, t_3$ ;  $P_{1,2,3}$  – вероятность прибытия пешехода в интервалы времени  $t_1, t_2, t_3$ .



**Рис. 3.** Структура цикла режимов регулирования на переходах с ПВУ:  $\bar{C}$  – средняя длительность цикла регулирования,  $s$ ;  $t_{pr1}$  – переходный интервал между разрешающими сигналами  $t_p$  и  $t_a$ ;  $t_{pr2}$  – переходный интервал;  $t_a$  – зеленый сигнал для транспорта минимальной длительности;  $\bar{t}_a$  – средняя длительность зеленого сигнала для транспорта;  $t_1$  – интервал времени, в котором появление заявки не приводит к изменению длительности цикла;  $t_2, t_3$  – интервалы времени, в которых поступающая заявка уменьшает длительность цикла (сокращает разрешающий сигнал для транспорта)

Рассмотрим вероятности появления заявок  $P_{1,2,3}$  и возникающие при этом задержки пешеходов.

*Событие 1* – пешеход прибывает в период горения разрешающего сигнала  $t_1$ , задержка при этом отсутствует  $d_1=0$ . Вероятность прибытия хотя бы одной заявки в интервал  $t_1$

$$P_1 = \lambda t_1 e^{-\lambda t_1},$$

где  $\lambda t_1$  – среднее количество пешеходов.

*Событие 2* – пешеход прибывает в момент  $t_2$  (в период горения зеленого мигающего сигнала  $t_m$ , длительности которого недостаточно для перехода проезжей части, и в переходный интервал  $t_{pr1}$ ). Пешеход осуществляет вызов пешеходной фазы, средняя продолжительность ожидания которой оценивается как сумма (см. рис. 3):

$$d_2 = (t_m + t_{pr1})/2 + t_a + t_{pr2}.$$

Вероятность прибытия хотя бы одной заявки в интервал  $t_2$

$$P_2 = \lambda t_2 e^{-\lambda t_2}.$$



Событие 3 – пешеход прибывает в период горения зеленого сигнала для транспорта  $t_3$ . Поступающая заявка на включение зеленого сигнала для пешеходов обслуживается с задержкой  $t_a + t_{np2}$ :

$$d_3 = t_a + t_{pr2}.$$

Вероятность прибытия хотя бы одной заявки в интервал  $t_3$  можно рассматривать как дополняющую вероятности  $P_1$  и  $P_2$ :

$$P_3 = 1 - (P_1 + P_2) = 1 - (\lambda t_1 e^{-\lambda t_1} + \lambda t_2 e^{-\lambda t_2}).$$

С учетом формул (1) – (6) предлагаемая модель оценки средней задержки пешеходов на переходе с ПВУ получает следующий вид:

$$d_{ped} = \frac{1}{2}(t_m + t_{pr1})\lambda t_2 e^{-\lambda t_2} + (t_a + t_{pr2})(1 - \lambda t_1 e^{-\lambda t_1}).$$

Для оценки средней задержки транспортных средств  $d$ , предлагается рассматривать среднюю длительность цикла регулирования  $\bar{C}$  и зеленого сигнала для транспортных средств  $\bar{t}_a$ , как функции интенсивности движения пешеходов  $N_p$  (см. рис. 2):

$$\bar{C} = t_p + t_{pr1} + 1/\lambda + t_a + t_{pr2},$$

где  $1/\lambda$  – средняя величина запаздывания заявки по отношению к моменту включения зеленого сигнала для транспорта, оцениваемая как величина среднего интервала в пешеходном потоке, с.

Поскольку предполагается, что интервалы в пешеходном потоке описываются экспоненциальным распределением, то  $1/\lambda = 3600/N_p$ .

В результате сравнительного анализа методов расчета средней задержки транспортных средств (формулы Вебстера, CCG 1995, и т.д.) для моделирования задержек выбрана формула руководства HCM 2000:

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3,$$

где  $d$  – средняя задержка, вызванная регулированием, с;  $d_1$  – стандартная задержка, предполагающая равномерное прибытие автомобилей к перекрестку, с;  $PF$  – коэффициент прогрессии;  $d_2$  – дополнительная задержка, учитывающая случайный характер прибытия транспортных средств, с;  $d_3$  – начальная задержка из-за имеющейся очереди транспортных средств (т.е. затора) в начале анализируемого периода  $T$ , ч.

$$d_1 = \frac{0,5C(1 - g/C)^2}{1 - [\min(1, X)g/C]}, \quad (7)$$

где  $C$  – длина цикла регулирования, с;  $g$  – эффективная длительность зеленого сигнала, с;  $X$  – коэффициент насыщения.

Коэффициент прогрессии  $PF$ , учитывающий степень координации с соседним регулируемым объектом и характер прибытия транспортных средств:

$$PF = \frac{(1 - P)f_{PA}}{1 - (g/C)}, \quad (8)$$

где  $P$  – доля транспортных средств, прибывших в течение зеленого сигнала;  $f_{PA}$  – коэффициент, учитывающий тип прибытия транспортных средств к регулируемому пересечению.

$$d_2 = 900T \left[ (X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + 8kLX/cT} \right], \quad (9)$$

где  $c$  – пропускная способность рассматриваемой группы полос, авт./ч;  $k$  – коэффициент, учитывающий влияние параметров светофорного оборудования при адаптивном регулировании на величину дополнительной задержки;  $I$  – коэффициент, учитывающий удаленность предыдущего (по направлению движения) регулируемого объекта от рассматриваемого.

Формулы (7) – (10) являются наиболее гибким и универсальным инструментом расчета задержек, поскольку учитывает прогрессию и позволяет рассчитывать задержку транспортных средств в условиях насыщенных потоков (т.е. при  $X \geq 1$ ).

Для расчета средней задержки пешеходов при **ЖРР** использована формула (4):

В работе необходимо сравнить суммарные задержки транспортных средств и пешеходов на нерегулируемых и регулируемых переходах. Для расчета средней задержки пешеходов на нерегулируемом переходе выбрана модель HCM 2000:

$$d_p = \frac{1}{v} \left( e^{vt_g} - vt_G - 1 \right), \quad (10)$$

где  $d_p$  – средняя задержка пешехода, с;  $v_p$  – интенсивность движения пешеходов, пеш./ч;  $t_G$  – критический интервал для группы пешеходов, с;

$$t_G = t_c + 2(N_p - 1), \quad (11)$$

где  $t_c$  – критический интервал для одного пешехода, с;  $N_p$  – пространственное распределение пешеходов (количество пешеходов на 0,75 м ширины перехода), пеш.

Для оценки средней задержки транспортных средств на нерегулируемых пешеходных переходах выбрана эмпирическая формула, предложенная Ю.Д. Шелковым, П.Г. Буга:

$$Z = 0.00147 N_n N_{mp} / v^2, \quad (12)$$

где  $Z$  – суммарная задержка транспортных средств, авт.ч/ч;  $N_n$  – интенсивность движения пешеходов, чел./ч;  $N_{mp}$  – интенсивность движения транспортных средств, авт./ч;  $v$  – скорость движения транспортных средств, км/ч.

В качестве критерия сравнения вариантов ОДД на пешеходных переходах (нерегулируемый переход, **ЖРР**, **ВПУ**) использована величина суммарных потерь от задержек транспорта и пешеходов в год  $C_{год}$  (руб./г.):

$$C_{год} = 365 C_{сум} / k_{см},$$

где  $C_{сум}$  – суммарный ущерб за 1 ч;  $k_{см}$  – коэффициент суточной неравномерности (отношение интенсивности движения в час пик к суммарной интенсивности с 7:00 до 21:00).

Суммарный ущерб за 1 ч  $C_{сум}$  определяется как

$$C_{сум} = d_a (N_l C_l + N_{gp} C_{gp} + N_{авт} C_{авт}) / 3600 + d_n N_n C_n / 3600,$$

где  $d_a, d_n$  – средние задержки транспортных средств и пешеходов, с;  $N_l, N_{gp}, N_{авт}$  – интенсивность движения соответственно легковых, грузовых автомобилей и автобусов, авт./ч;  $C_l, C_{gp}, C_{авт}$  – стоимости задержки легковых автомобилей, грузовых автомобилей и автобусов, руб./ч;  $N_n$  – интенсивность движения пешеходов, пеш./ч;  $C_n$  – стоимость задержки пешеходов, руб./ч.

В **третьей главе** диссертации представлены результаты натурных обследований пешеходных и транспортных потоков на пешеходных переходах. Последовательность проведения исследований представлена на рис. 4.

Обследования интенсивности движения проводились с 7:00 до 21:00. на изолированных пешеходных переходах города Иркутска на магистральных улицах общегородского значения и районного значения. Учитывались следующие параметры (рис. 5): число полос движения; ширина проезжей части; интенсивность транспортного потока в каждом направлении; интенсивность пешеходного потока. Объем выполненных обследований представлен в табл. 2.

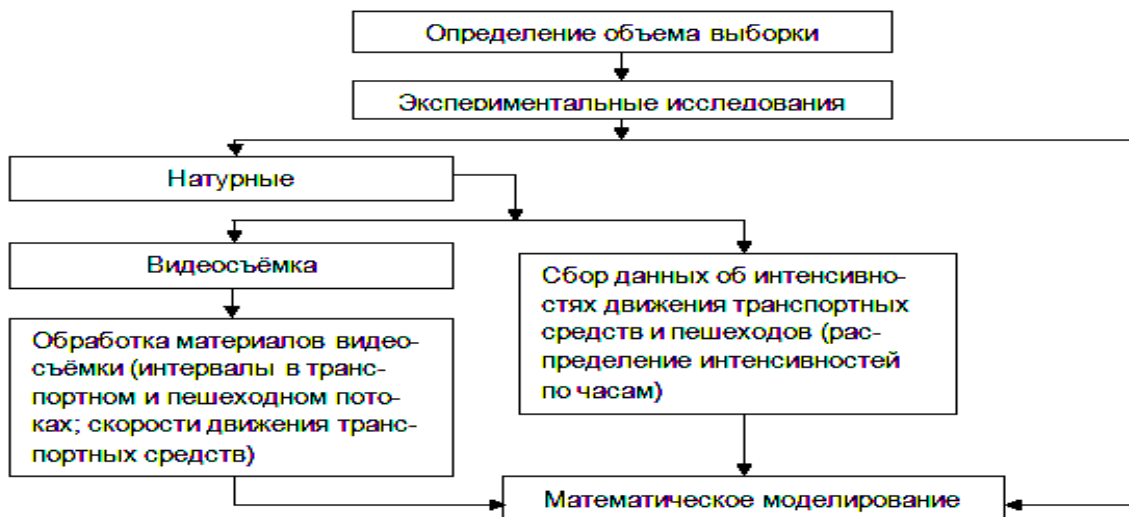


Рис. 4. Последовательность проведения экспериментальных исследований

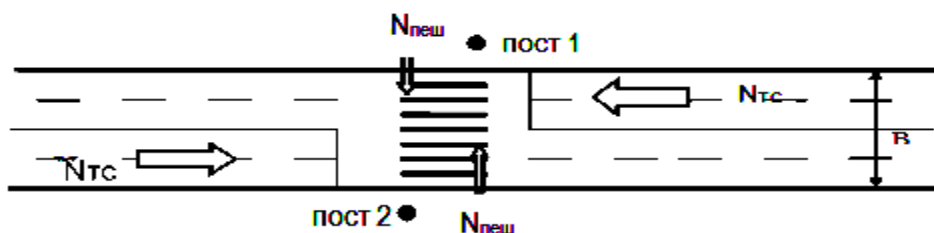


Рис. 5. Пример схемы обследования пешеходного перехода:  $N_{TC}$  – интенсивность движения транспортных средств;  $N_{пеш}$  – интенсивность движения пешеходов;  $B$  – ширина проезжей части

Таблица 2

**Объем и характеристика выполненных обследований**

Характеристика	Объем обследований	Получаемая информация
Количество обследованных пешеходных переходов (замеры интенсивности движения транспортных средств и пешеходов)	30	Распределение интенсивности движения транспорта и пешеходов в дневное время
Суммарная длительность видеосъемки пешеходных потоков, ч	15	Распределение поступления заявок - прибытия пешеходов к переходу. Задержки пешеходов на переходах
Суммарная длительность видеосъемки транспортных средств, ч	13	Скорости движения транспортных средств на переходах с ИН, состав потока
Измерение интенсивности движения интенсивности движения транспортных средств и пешеходов, чел./ч	760	Распределение потоков по часам суток
Диапазон интенсивности движения транспортных средств, авт./ч		400 – 3 500
Диапазон интенсивности движения пешеходов, пеш./ч		10 – 1 000

В результате обследований были получены данные о неравномерности распределения интенсивностей движения пешеходов и транспортных средств (рис. 6, рис. 7). Необходимый для применения в формуле (13) коэффициент суточной неравномерности (отношение интенсивности движения в час пик к суммарной интенсивности с 7:00 до 21:00)  $k_{см}$  составил в среднем:

для транспортных потоков – 0,089;  
 для пешеходных потоков – 0,11.

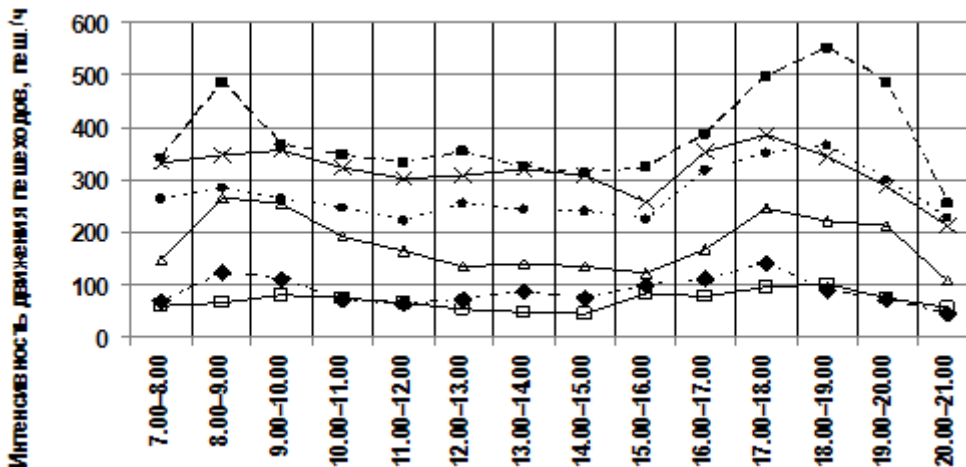


Рис. 6. Примеры интенсивности движения пешеходов на пешеходных переходах города Иркутска

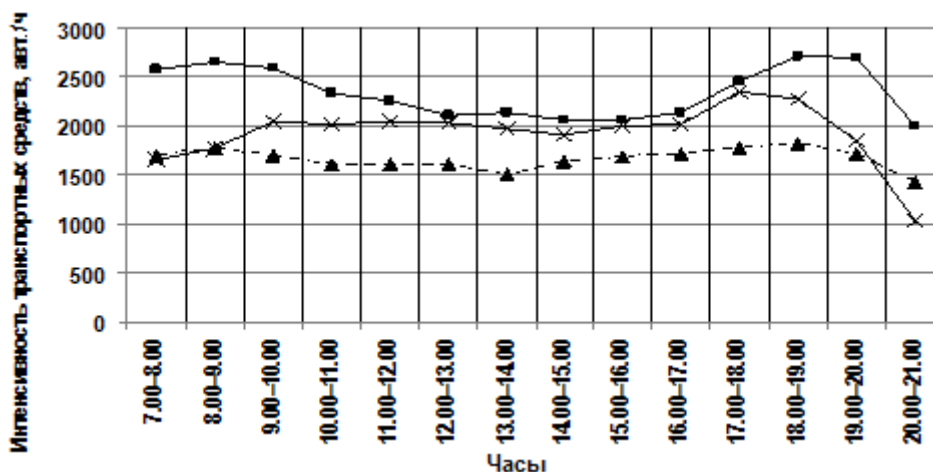


Рис. 7. Примеры интенсивностей движения транспортных средств на пешеходных переходах города Иркутска

Проверка сходимости теоретического и наблюдаемых распределений интервалов прибытия пешеходов по критерию Пирсона  $\chi^2$  установила правомерность применения распределения Пуассона во всем исследованном диапазоне интенсивности движения пешеходов.

Для сравнения переходов оборудованных искусственной неровностью (**ИН**) с другими типами переходов было необходимо адаптировать формулу расчета задержки транспортных средств на нерегулируемых переходах (12). По результатам обследований нерегулируемые пешеходные переходы имеют зону влияния до 30 м в каждую сторону от перехода, в пределах которой происходит снижение скорости автомобилей с последующим возрастанием до первоначальной величины. Скорость на магистральных улицах и дорогах, где проводились обследования, варьировалась в пределах 45 - 61 км/ч. Снижение средней скорости транспортного потока при наличии **ИН**

на пешеходном переходе происходит в среднем до 22 км/ч. т.е. на большую величину, чем на переходах без нее. Упрощенно потерянное одним транспортным средством время  $t$  на переходе, оборудованным **ИН**, можно оценить как:

$$t = 2(L_1 + L_2)/(V_1 + V_2) + L_2/V_2, \quad (13)$$

где  $L_1$  - протяженность участка снижения скорости перед переходом, м;  $L_2$  - протяженность участка набора скорости после перехода, м;  $V_1$  - средняя скорость движения потока, км/ч;  $V_2$  - средняя движения потока на участке перехода, км/ч;  $L_2$  - протяженность участка набора скорости после перехода, м.

Потерянное время составляет  $t=0,00224$  ч и формула (12) получает следующую корректировку:

$$Z = t \frac{N_n N_{mp}}{v^2} = 0,00224 \frac{N_n N_{mp}}{v^2}. \quad (14)$$

**Четвертая глава** посвящена определению области значений интенсивности движения пешеходов и транспортных средств, при которых на пешеходных переходах целесообразно использовать **ПВУ**.

На первой стадии выполнено сравнение результатов моделирования задержек пешеходов на нерегулируемых переходах с данными, полученными в результате обследований (табл. 3). Установлено, что при интенсивностях движения пешеходного потока до 600 пеш./ч наиболее точной моделью оценки задержек пешеходов на нерегулируемых переходах является формула НСМ 2000 (11), которая была выбрана для дальнейших расчетов и рекомендуется для практического использования.

Таблица 3

Оценка суммарных часовых задержек пешеходов на нерегулируемых переходах

Переход	Интенсивность движения транспортных средств, авт./ч	Интенсивность движения пешеходов, пеш./ч	Суммарная задержка пешеходов, пеш.ч/ч			
			измеренная	по методу Вирклера	по методу Гриффита	НСМ 2000
ул.Лермонтова ост.п. «19 школа»	2 070	296	1,49	0,08	0,56	0,71
ул. 2 Ж/д ост.п. «Чайка	1 729	601	0,52	0,05	0,48	0,34
ул. Джамбула	2 817	238	0,33	0,02	0,46	0,34
ул. Старокузьмихинская ост.п.«Университетский»	3 312	72	0,16	0,01	0,21	0,16
ул. Гоголя пер-ние с ул.Чернышевского	2 656	86	0,59	0,01	0,19	0,67
ул. Академическая «Энергетиков»	2 194	553	0,30	0,05	0,55	0,38
Ул. Сурикова (СИПЭУ)	2 436	179	0,15	0,01	0,30	0,15
Ул. Сурикова	2 440	30	0,001	0,001	0,06	0,03
ул. Лермонтова между ост.п. «Помяловского» и «19 школа»	1 997	186	0,03	0,01	0,16	0,03
М-н Университетский	1 490	264	0,07	0,02	0,17	0,07
Ул. Боткина	4 779	60	1,48	0,01	0,57	1,51

На следующем этапе исследования с использованием пакета Matlab для пешеходных переходов с **ПВУ** и **ЖРП** моделировались (рис. 8):

- средняя длительность цикла регулирования;
- средняя задержка пешеходов;
- средняя задержка транспортных средств.

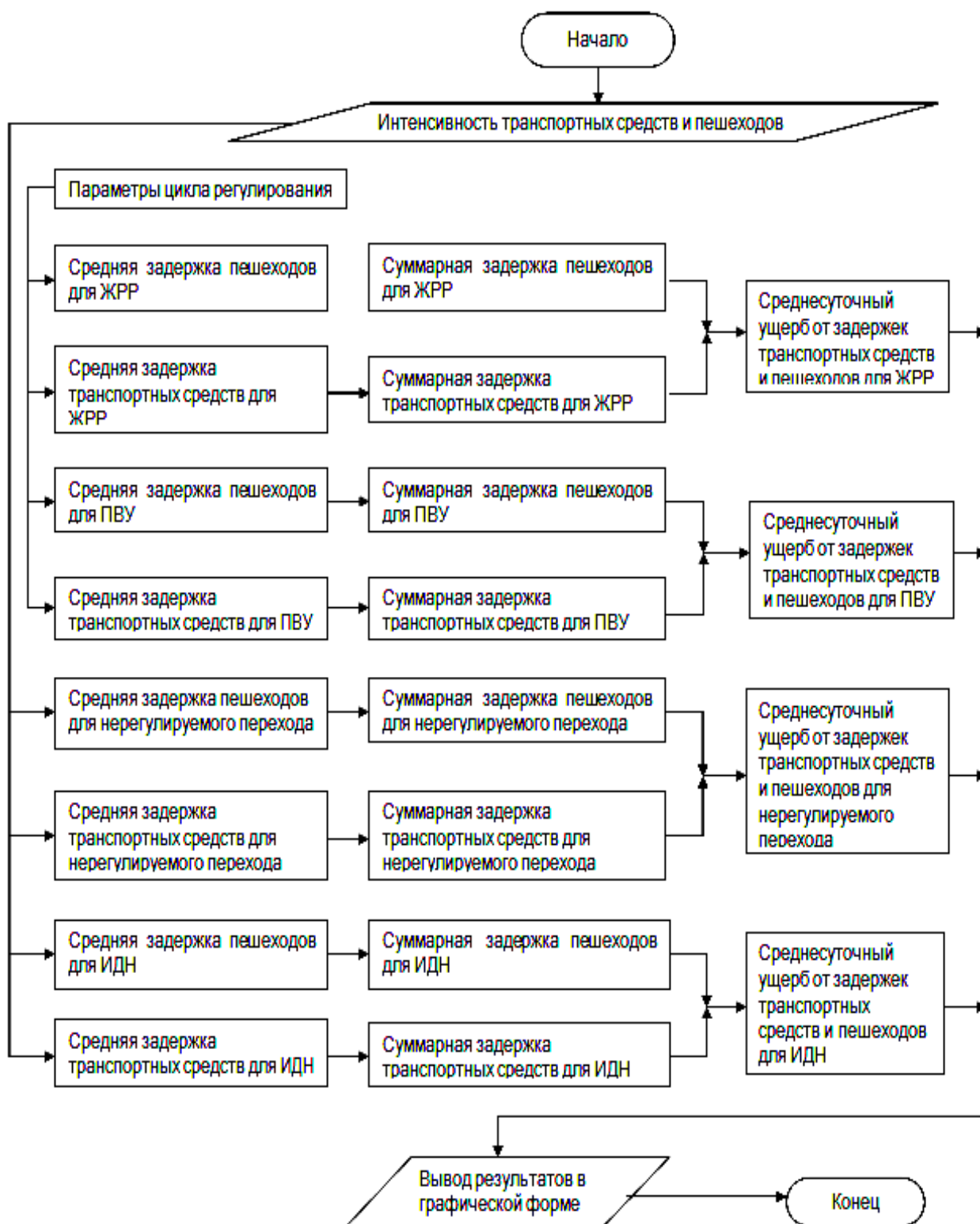
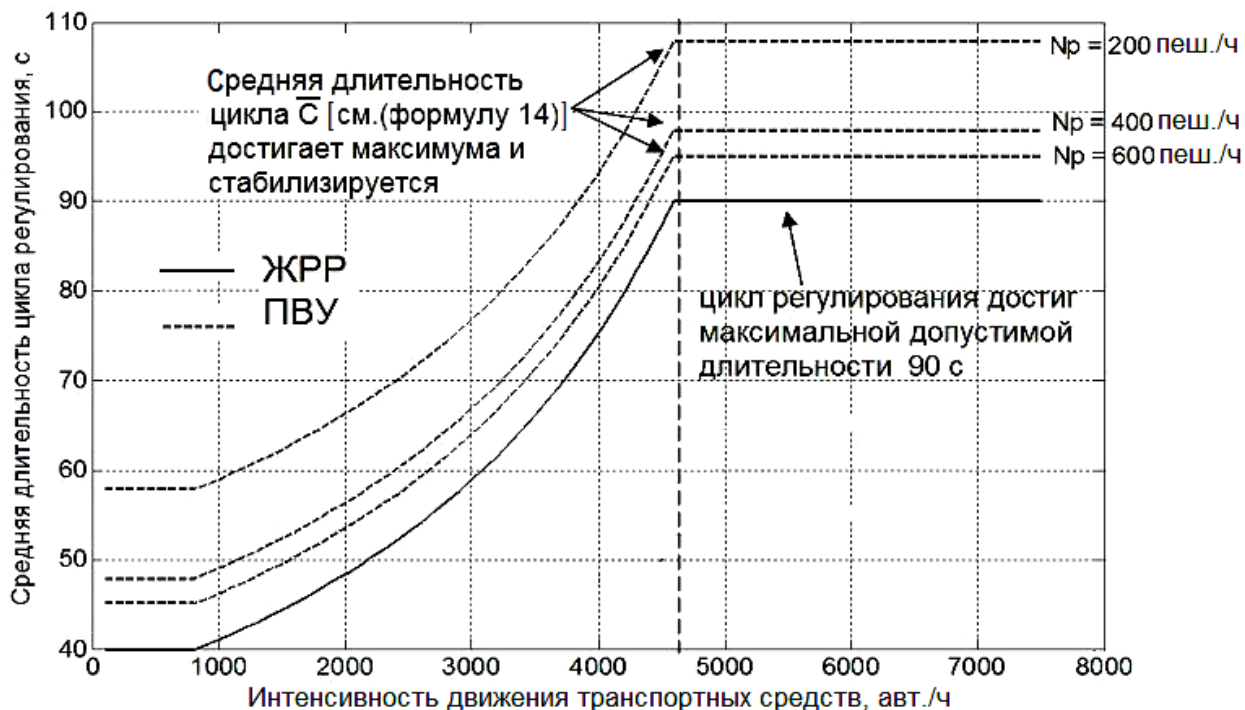


Рис. 8. Последовательность расчетов задержек транспортных средств и пешеходов

Рассматривались переходы на улицах и дорогах, имеющих от 2 до 4 полос движения, включая одностороннее движение.

Средняя длительность цикла регулирования при использовании **ПВУ** с ростом интенсивности движения пешеходного потока снижается и приближается к длительности цикла регулирования при использовании **ЖРП** (рис. 9). При интенсивностях 1 100 – 1 300 авт./ч на полосу и выше длительность циклов регулирования стабилизи-

руется. Т.е. при данных интенсивностях движения транспортных средств переход с **ПВУ** фактически функционирует как переход с жестким режимом регулирования.



**Рис. 9.** Средняя длительность цикла регулирования – функция интенсивности движения транспортных средств и пешеходов. Переход на проезжей части с четырьмя полосами движения

Важнейшим преимуществом **ПВУ** является снижение задержек транспорта в периоды низкой интенсивности движения пешеходов. В этой связи наибольший интерес представляет сравнение ущерба, испытываемого в суточном цикле. Поэтому проведено сравнение различных типов пешеходных переходов с использованием суточного и годового суммарного ущерба от задержек транспорта и пешеходов (рис. 10-12). Рассматривались переходы на улицах и дорогах, имеющих от 2 до 4 полос движения, включая одностороннее движение.

По результатам моделирования суммарного ущерба от задержек пешеходов и транспортных средств определены области применения сравниваемых типов пешеходных переходов (рис. 11). В соответствии с этими результатами **ПВУ** целесообразно применять, если значения интенсивностей движения пешеходов в час пик составляют:

- 50 – 440 пеш./ч для двух полос движения;
- 50 – 470 пеш./ч для трёх полос движения;
- 50 – 540 пеш./ч для четырех полос движения.

При этом при интенсивностях движения пешеходов 50 - 150 чел./ч применение **ПВУ** дает меньшие суммарные задержки, чем **ЖРР** практически во всем диапазоне интенсивностей движения транспортных средств.

Полученные в настоящем исследовании результаты сопоставлены с рекомендациями по применению **ПВУ**, содержащимися в нормативных документах и руководствах (табл. 4). Сопоставительный анализ результатов работы и положений нормативных документов и руководств подтвердил вывод о целесообразности применения **ПВУ**, начиная с интенсивности движения пешеходов более 50 чел./ч.

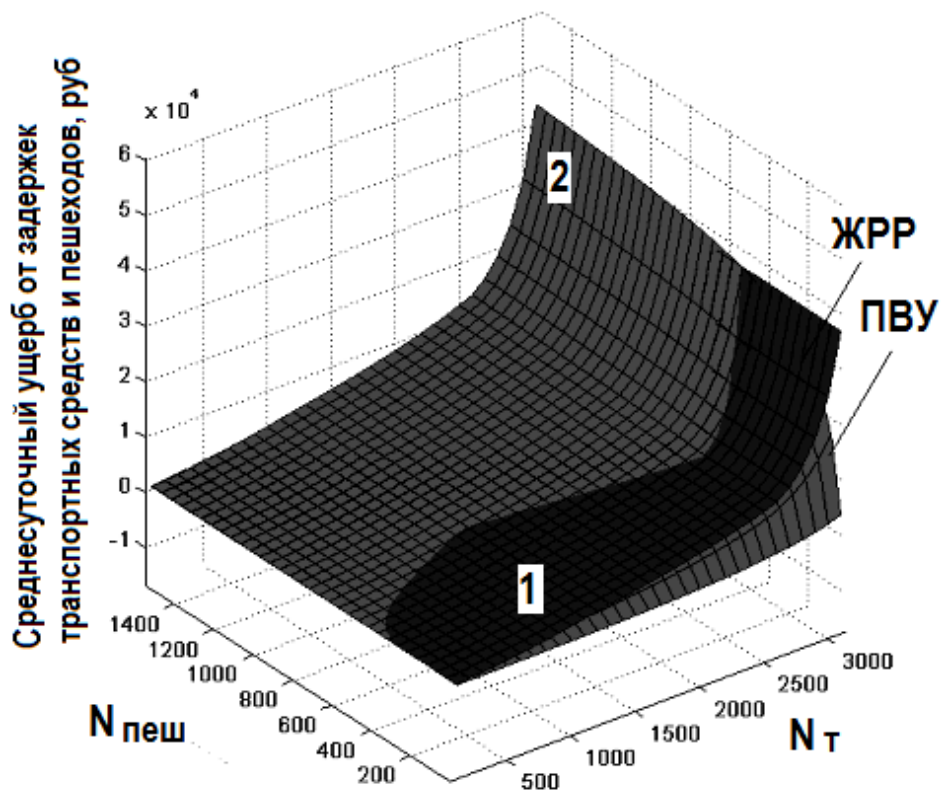


Рис. 10. Результаты моделирования - сравнение суммарного ущерба от интенсивности движения транспортных средств и пешеходов для случая 4-полосной улицы или дороги: 1 – область применения ПВУ; 2 – область применения ЖРР;  $N_{пеш}$  – интенсивность движения пешеходов в час пик, пеш./ч;  $N_T$  – интенсивность движения транспортных средств в час пик, авт./ч

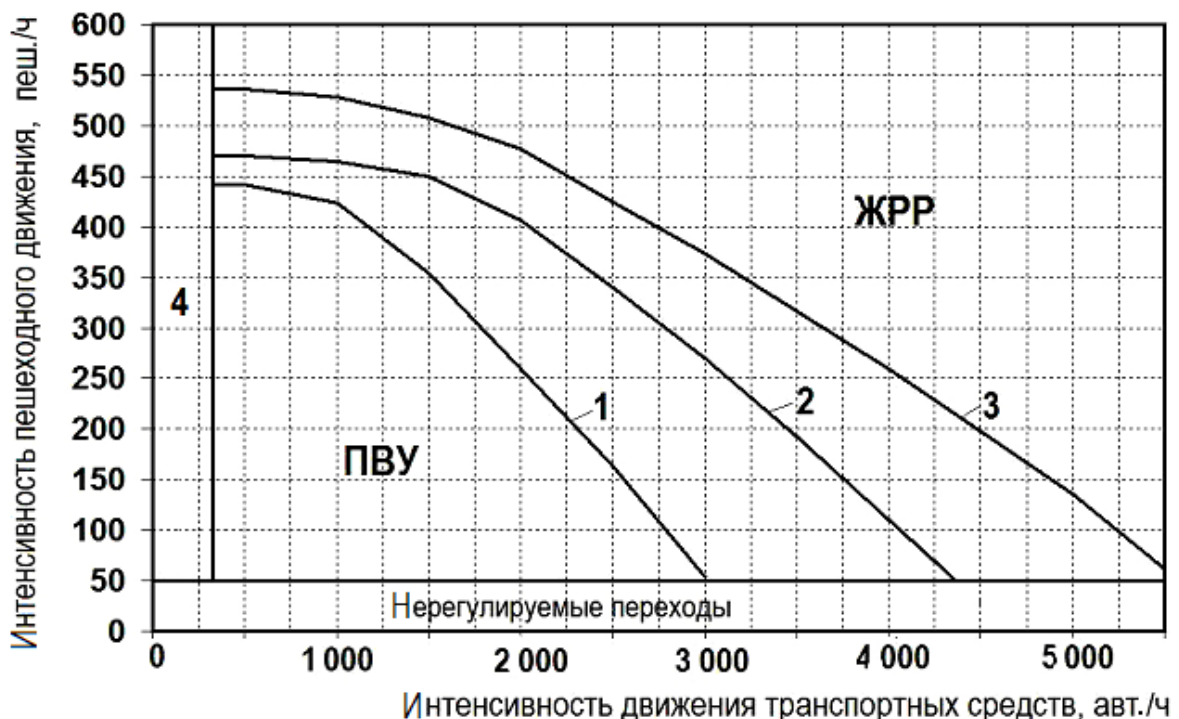


Рис. 11. Области применения средств организации дорожного движения на пешеходных переходах: 1 – верхняя граница применения ПВУ для улиц с двумя полосами движения (включая одностороннее движение); 2 - верхняя граница применения ПВУ для улиц с тремя полосами движения (включая одностороннее движение); 3 - верхняя граница применения ПВУ для улиц с четырьмя полосами движения; 4 – область применения средств успокоения движения



Таблица 4

## Анализ условий применения пешеходных переходов с ПВУ в российских и зарубежных нормативных документах

Руководство или нормативный документ	Мин. расстояние от ближайшего регулируемого пересечения, м	Максимально допустимая скорость движения транспортных средств, км/ч	Интенсивность движения пешеходов в пиковый период, пеш./ч	Интенсивность движения пешеходов возле школ, пеш./ч	Интенсивность движения транспортных средств
СНиП 2.07.01-89 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений	200 – 300	-	-	-	-
Методические рекомендации по регулированию пешеходного движения ВНИИ БДД МВД СССР 1977 г.	150 – 600	-	50	-	600 авт./ч
POLICY AND STANDARDS FOR PEDESTRIAN CROSSINGS City of Columbia, Missouri, Policy Resolution 134-00 (США)	-	56,33	50	-	3 500 авт./сут
Florida Pedestrian Planning and Design Handbook, Florida Department of Transportation By: University of North Carolina Highway Safety Research Center April 1999 (США)	182,88 (600 фт)	72,42	25	-	800 авт./ч
The Design of Pedestrian Crossings //Local Transport Note 2/95, UK Department for Transport, April 1995. (Англия)	182,88 (600 фт)	64,37	-	-	3 000 авт./сут
Traffic Signal Warrants Guidelines for Conducting a Traffic Signal Warrant Analysis, 2nd Edition (США)	182,88 (600 фт)	-	190	20	-
Pedestrian Crossing Control Manual for British Columbia. April 1994 (Канада)	-	-	40-60	-	-
Pedestrian Device Guidance. Workgroup Steve Hamilton, P.E. Al Grandy (США)	91,44 (300 фт)	-	100-400	-	400 авт./ч
<b>Результаты диссертационного исследования</b>	-	-	≥ 50	-	Максимальная интенсивность движения на полосе, авт./ч 2 полосы ≤ 1 500 3 полосы ≤ 1 430 4 полосы ≤ 1 370

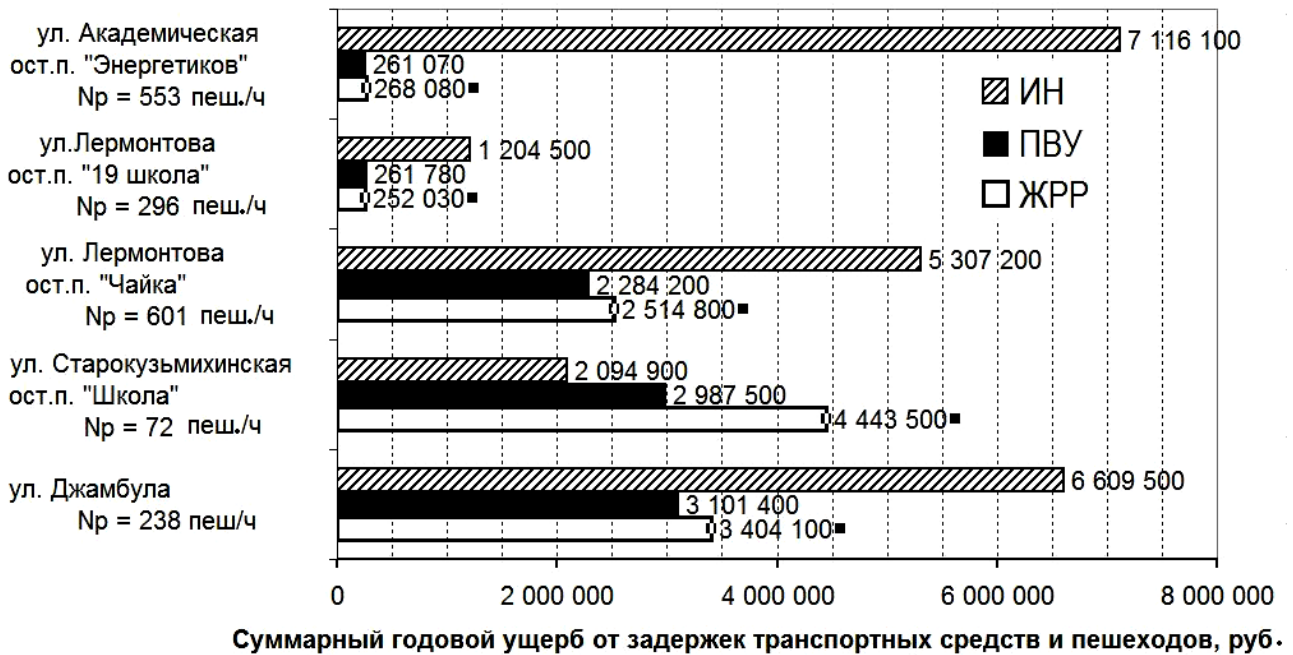


Рис. 12. Годовой ущерб от задержек транспортных средств и пешеходов на примере ряда пешеходных переходов города Иркутска

С использованием годового ущерба от задержек транспорта и пешеходов [формулы (13) и (14)] была произведена оценка экономической эффективности применения **ПВУ** вместо **ЖРР** на примере ряда пешеходных переходов в г. Иркутске (рис. 12). Диапазон значений интенсивностей движения на рассматриваемых переходах составил: пешеходы – 50 – 600 чел./ч; транспортные средства – 1 000 – 2 700 авт./ч. В среднем ожидаемый экономический эффект оценивается в размере 220 000 руб. на один пешеходный переход в год, что еще раз доказывает эффективность применения **ПВУ**.

## ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основе выполненных теоретических и экспериментальных исследований, автор решил важную задачу эксплуатации автомобильного транспорта, научно обосновав условия эффективного применения пешеходных вызывных устройств, что позволяет значительно снизить задержки транспортных средств на пешеходных переходах и повысить качество организации дорожного движения.

Основные выводы и рекомендации состоят в следующем:

1. Теоретически обоснован режим регулирования для пешеходных переходов с **ПВУ**, позволяющий минимизировать задержки транспортных средств. На пешеходных переходах с **ПВУ** в условиях незначительной и средней интенсивности движения пешеходов (50 - 540 пеш./ч) предложено применять режим регулирования с фиксированной продолжительностью разрешающего сигнала для пешеходов, при этом ограничивается минимальная длительность зеленого сигнала для транспортных средств.

Данный режим отличается от режимов регулирования с фиксированной длительностью сигнала, разрешающего движение транспортных средств, применяемых на переходах типа Pelican и Puffin.

Для предлагаемого режима регулирования разработаны модели оценки средней задержки транспортных средств и пешеходов. Основными положениями разработанных моделей является:

- длительность цикла и длительность зеленого сигнала для транспортных средств рассматривается случайная величина, являющаяся функцией интенсивности движения пешеходов;
- прибытие пешеходов к переходу подчиняется распределению Пуассона;
- расчет средней задержки транспортных средств производится с использованием формулы руководства HCM 2000.

2. Предложена методика оценки суточного ущерба от задержек транспортных средств и пешеходов для переходов с **ПВУ**. Предложено сравнивать различные типы пешеходных переходов по величине суммарного ущерба от задержек транспортных средств и пешеходов.

3. На основе численного моделирования задержек транспортных средств и пешеходов в широком диапазоне значений интенсивностей движения определена область эффективного использования пешеходных переходов с **ПВУ**.

Предложенный режим регулирования на переходах с **ПВУ** целесообразно применять, если значения интенсивностей движения пешеходов в час пик составляют:

- 50 – 440 пеш./ч для двух полос движения;
- 50 – 470 пеш./ч для трёх полос движения;
- 50 – 540 пеш./ч для четырех полос движения.

При интенсивностях движения пешеходов 50 - 150 чел./ч применение **ПВУ** дает меньшие суммарные задержки, чем **ЖРР** во всем исследованном диапазоне интенсивностей движения транспортных средств.

Сопоставительный анализ полученных в диссертационной работе результатов и рекомендаций российских и зарубежных руководств подтвердил правильность предложений по применению в **ПВУ** при интенсивностях движения пешеходов более 50 чел./ч.

4. Выполнена оценка экономической эффективности применения **ПВУ** вместо **ЖРР** на примере группы пешеходных переходов в городе Иркутске. Ожидаемый средний экономический эффект составил **220 000** руб. в год на один пешеходный переход.

5. Предметом дальнейших исследований должна быть оценка эффективности применения **ПВУ** на нерегулируемых и кольцевых пересечениях, что уже применяется в мировой практике ОДД.

## ПУБЛИКАЦИИ

**в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для кандидатских диссертаций:**

1. Скульбеденко Н.А.\* Модель оценки задержек на пешеходных регулируемых переходах с вызывными устройствами / Н.А. Скульбеденко// Вестник ИргТУ, 2008. - №4 (36). С. 105 - 109.

2. Скульбеденко Н.А. Методы расчета задержек и пешеходов на регулируемых пешеходных переходах / Н.А. Скульбеденко// Вестник ИргТУ, 2009. - №3 (39). С. 76 - 78.

**материалы научных конференций:**

3. Скульбеденко Н.А., Михайлов А.Ю. Задачи совершенствования норм проектирования пешеходных переходов// Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния / Научные материалы XIII международной (шестнадцатой екатеринбургской) научно-практической конференции. – Екатеринбург: Издательство АМБ, 2007. С. 158-163.

4. Михайлов А.Ю., Скульбеденко Н.А. Модель оценки задержек на пешеходных регулируемых переходах с вызывными устройствами // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: Сборник докладов восьмой международной научно-практической конференции / под ред. П.А. Кравченко. – Санкт-Петербург: С-Пб гос. Архит.-строит.ун-т., 2008. С. 259 - 263.

5. Скульбеденко Н.А., Михайлов А.Ю. Оценка задержек на пешеходных регулируемых переходах с вызывными устройствами // Вместе к эффективному дорожному движению: Сборник научных статей Международной научно-практической конференции. – Минск 2008. С. 150 – 154.

6. Скульбеденко Н.А., Михайлов А.Ю. Задачи формирования нормативной базы проектирования пешеходных переходов. Проблемы и перспективы развития бизнеса на предприятии и в регионе» : сб. науч. тр.: вып.3, ч.1/под ред. Г.В. Давыдовой, Е.Ю. Молоковой. – Иркутск: Изд-во БГУЭП, 2009. С.162-166.

7. Скульбеденко Н.А., Антонова А.А. Обзор основных методов расчета задержек пешеходов на регулируемых пешеходных переходах // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния / Научные материалы XIII международной научно-практической конференции. – Екатеринбург: Издательство АМБ, 2009. С. 134-140.

8. Липницкий А.С., Михайлов А.Ю., Скульбеденко Н.А. Результаты исследования интервалов в главных потоках на нерегулируемых пересечениях // Дорожно-транспортный комплекс: состояние и перспективы развития: Материалы III Межрегиональной научно-практической конференции. – Чебоксары, Волжский филиал МАДИ (ГТУ), 2009. С. 106-110.

**в рецензируемых изданиях:**

9. Скульбеденко Н.А., Антонова А.А., Липницкий А.С. Методики расчета средней задержки транспортных средств и пешеходов на регулируемых пересечениях; Ирк. гос. техн. ун-т. – Иркутск, 2009 21 с. Деп. в ВИНТИ. 13.03.2009. №129 – В2009.

10. Скульбеденко Н.А., Антонова А.А., Липницкий А.С. Определение области оптимального применения пешеходных переходов с вызывными устройствами; Ирк. гос. техн. ун-т. – Иркутск, 2009 22 с. Деп. в ВИНТИ. 13.03.2009. №130 – В2009.

\*Соискатель Слободчикова Н.А. до смены фамилии публиковалась как Скульбеденко Н.А.