

**ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПЕШЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДАХ****И.В. Макарова, Д.Ф. Давлетшин, А.Д. Бойко (Набережные Челны)**

В результате дорожно-транспортных происшествий (ДТП) на дорогах мира ежегодно погибает приблизительно 1,25 млн человек. ДТП являются главной причиной смерти среди молодежи в возрасте от 15 до 29 лет. Как из-за серьезных последствий дорожно-транспортного травматизма для общественного здравоохранения, так и из-за непропорционально значительного воздействия на самые молодые группы населения ДТП представляют собой серьезную проблему в области развития: дорожно-транспортные происшествия обходятся странам приблизительно в 3% от их ВВП, причем в странах с низким и средним уровнем дохода экономические потери составляют 5% от ВВП.

Примерно половина всех случаев смерти на дорогах мира (49%) приходится на уязвимых участников дорожного движения: пешеходов, велосипедистов и мотоциклистов. Для России эта проблема также существует. Так, по статистическим данным, число наездов на пешеходов в городах Российской Федерации за 2016 г. составило 47598, при этом на расположенных вне перекрестков нерегулируемых пешеходных переходах происходит каждый шестой наезд на пешехода. За три месяца 2017 года в Казани зарегистрировано 428 ДТП, 172 из которых – наезды на пешеходов. По информации ГИБДД, пешеходов сбивают чаще всего во дворах жилых домов либо на прилегающих к ним территориях. Непосредственно на пешеходных переходах в Казани произошло 82 наезда, почти на 30 больше, чем в прошлом году. Один человек погиб и 82 получили различные травмы. С начала года к административной ответственности привлечены более 8 тысяч водителей, не предоставивших преимущество в движении пешеходам. За этот период выявлено более 17,5 тысячи нарушений ПДД, допущенных пешеходами.

Статистика организации дорожного движения 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), когда интенсивности движения пешеходов на переходах имеют значительные колебания, приводит к неоправданным задержкам транспортных средств. Сократить эти задержки позволяет применение пешеходных вызывных устройств, которые получили широкое применение в мировой практике.

Рост автомобильного парка и объёма перевозок приводит к повышению интенсивности движения транспортных средств, что в условиях городов и особенно городов с исторически сложившейся застройкой приводит к возникновению серьезных транспортных проблем. Особенно остро она проявляется в узлах улично-дорожной сети (УДС). Здесь увеличиваются транспортные задержки, образуются очереди и заторы, что вызывает снижение скорости сообщения, рост расхода топлива [1].

В городах РФ негативные эффекты автомобилизации в значительной мере обусловлены недостаточным развитием улично-дорожной сети. Высокому уровню загрузки УДС сопутствуют неравномерный режим движения, частые остановки и очереди транспортных средств на подходах к пересечениям. Эти факторы являются причинами повышенного загрязнения воздушного бассейна городов продуктами сгорания топлива. Одновременно растет и число ДТП, в которых гибнут и получают ранения тысячи людей, повреждаются и выходят из строя дорогостоящая техника и грузы, о чем убедительно свидетельствует статистика. В Российской Федерации свыше 60 % всех ДТП приходится на города и другие населённые пункты [1].

По данным Всемирной организации здравоохранения [2] во всём мире ежегодно жертвами ДТП становятся 1,25 млн. человек, а около 50 млн. получают ранения или остаются инвалидами. Такие подсчеты основаны на анализе информации из 180 стран. Эта цифра практически не отличается от показателей, которые ВОЗ называл в своем отчете в 2013 году (1,24 млн.), хотя за это время число моторизованных транспортных средств, а также количество жителей на планете значительно выросло. Специалисты прогнозируют, что если не будут выработаны эффективные согласованные действия, то смертность и инвалидность в результате ДТП к 2020 г. возрастут на 60 %, а травматизм от ДТП как фактор, определяющий заболевания, с нынешнего 9 места поднимется на 3 место [3, 4].

## 1. Проблема обеспечения безопасности пешеходов и пути ее решения

### 1.1. Факторы, влияющие на безопасность пешеходных переходов

Статистика ДТП в России и в мире свидетельствует о том, что, несмотря на предпринимаемые усилия, пешеходы остаются самыми уязвимыми участниками дорожного движения, причем ДТП происходят как по вине водителей, так и по вине пешеходов (рис. 1) [5]. Поскольку в России значительная часть пешеходных переходов относится к нерегулируемым, то число ДТП на них, в том числе и с жертвами, значительно выше. При этом за городом гибнет практически в 20 раз меньше, чем в городах. Это связано с соотношением интенсивностей пешеходных и транспортных потоков. Среди главных факторов, влияющих на нарушение правил перехода пешеходами, выделяется время ожидания и параметры транспортного и пешеходного потоков, а также тип светофора [6]. Влияние конструкции светофора на безопасность перехода указывает автор статьи [7]. Еще одним фактором риска является конфликт транспортного и пешеходного потоков при левых поворотах [8, 9].

Для оценки рисков и разработки мер по повышению безопасности пешеходов предлагаются различные решения. Так, автор статьи [10] предлагает модель оценки влияния времени ожидания на число нарушений пешеходами правил перехода. При этом автор отмечает, что необходим многофакторный анализ рисков и плодотворное направление для будущих исследований будет заключаться в разработке многовариантного подхода к моделированию на основе предложенной модели.

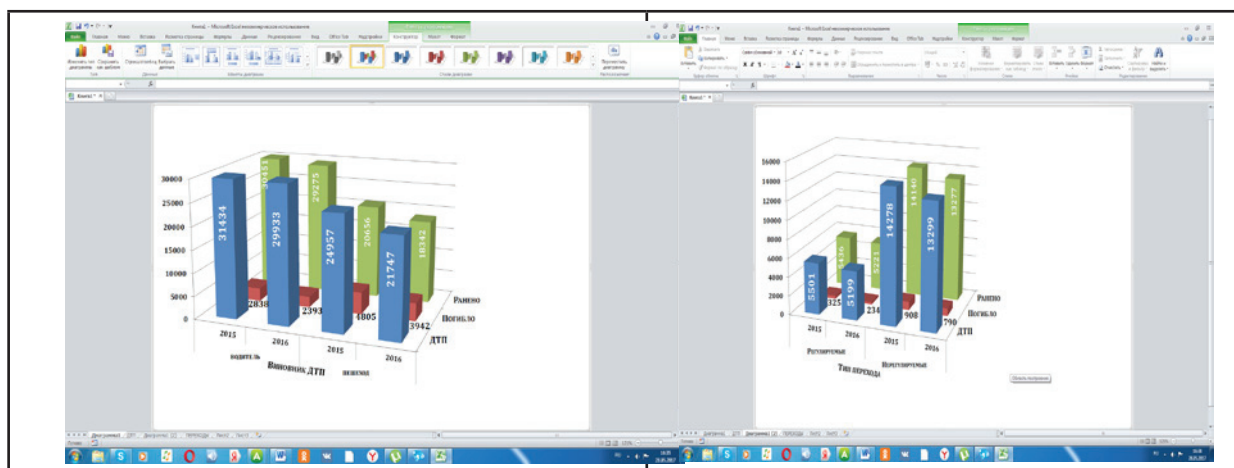


Рис. 1. Статистика ДТП по виновникам ДТП и типам пешеходных переходов

Авторы работы [11] исследовали зависимость тяжести последствий ДТП от скорости транспортного средства (ТС). При этом учитывалась возрастная категория пешеходов и тип ТС. Авторы установили, что пожилая возрастная группа (60 лет и старше) подвержена более высоким рискам серьезной травмы и смертельного случая, чем детская (12 лет и младше) и средняя (13–59 лет) возрастные группы. Авторы считают, что полученные данные должны быть включены в спецификацию систем обнаружения пешеходов.

## 1.2. Исследования транспортной системы с помощью имитационной модели

Как показывает мировая практика, на участках УДС с нестационарным движением и низкой плотностью пешеходного потока, кроме часов пик, эффективно применение вызывных светофоров. Для проверки эффективности такого метода управления был выбран участок Московского проспекта в г.Набережные Челны. Это проспект с трехполосным движением в каждом направлении. На рассматриваемом участке расположено регулируемое пересечение с Автозаводским проспектом, имеющим двухполосное движение в каждом направлении. Поскольку Автозаводский проспект связывает промышленную и жилую зоны города, в часы пик часто интенсивность движения по Московскому проспекту такова, что нерегулируемый пешеходный переход способствует созданию заторовых ситуаций. Это является причиной частых ДТП, в том числе с пешеходами. Исходная модель была построена в Any Logic (рис. 2).

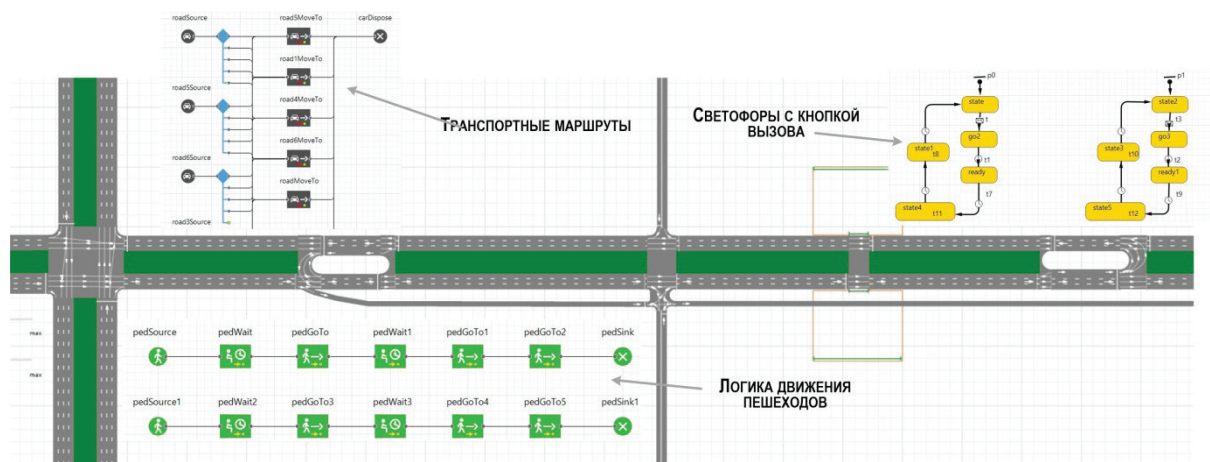


Рис. 2. Модель «Как есть» с добавленным вызывным светофорным объектом

Исследование включало 2 этапа. На первом строилась модель «Как есть». Параметры модели соответствовали текущей ситуации и были установлены путем наблюдения за движением транспорта и пешеходов на участке с помощью видеокамер (табл. 1). Параметры участка УДС, задаваемые в модели: горизонтальный прямолинейный участок автомобильной дороги, имеющей три полосы движения в двух направлениях. Дорожное покрытие сухое, с хорошей ровностью и хорошими сцепными качествами. При моделировании потока учитывали пять основных групп ТС: легковые автомобили, легкие и средние грузовые автомобили, мотоциклы, велосипеды и автобусы. Скорости движения каждой группы ТС соответствовали наблюдаемым средним скоростям свободного движения на подъездах и пересечениях. Верификация и валидация модели выполнялись путем сопоставления с реальной системой.

Таблица 1  
Результаты натурных наблюдений

Номер интервала	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Время	16:00	16:10	16:20	16:30	16:40	16:50	17:00	17:10	17:20	17:30
ТС	90	194	204	210	246	251	271	267	258	243
Пешеходов	9	16	23	24	37	41	29	31	29	25

На втором этапе строился вариант модели «Как должно быть», в которую добавлялся светофорный объект с кнопкой вызова для пешеходов, была синхронизирована работа главного светофора (перекресток пр. Московский и пр. Автозаводский) со светофором вызывного действия. Логика работы светофора с кнопкой вызова для пешеходов (рис. 3).соответствовала следующему алгоритму:

1. при подходе к проезжей части, пешеход нажимает кнопку;
2. запускается таймер ожидания зеленой фазы светофора;
3. по истечении времени ожидания загорается зеленый сигнал для пешеходов;
4. по истечении времени зеленой фазы загорается красный сигнал для пешеходов.

Зеленая фаза для автомобилей начинается только после того, когда на проезжей части не останется пешеходов;

5. запускается таймер, в течение которого кнопка вызова недоступна. Эта фаза может быть переменной и нужна для того, чтобы в часы пик светофор не начал работать как регулярный, что может привести к лавинообразному нарастанию очереди и образованию затора.

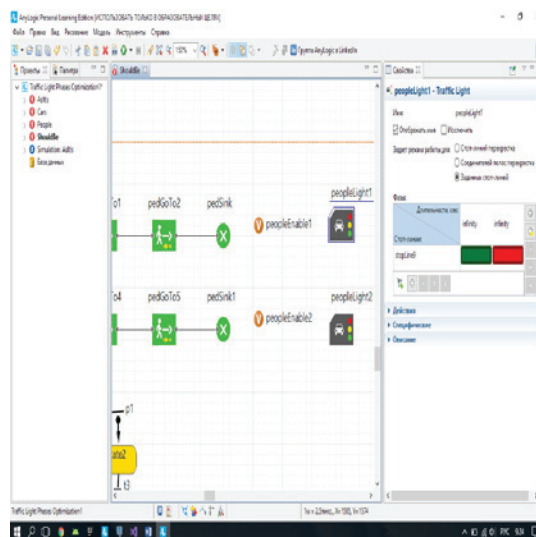


Рис. 3. Окно редактирования свойств светофорного объекта

В результате моделирования были определены плотность потока и непосредственно перед пешеходным переходом и пропускная способность участка. Эксперимент на модели показал, что хорошим решением будет установка пешеходного светофора и синхронизация его фаз со светофорами на ближайших регулируемых перекрестках. Результаты эксперимента приведены в таблице 2.

Таблица 2  
Результаты эксперимента на модели

Параметры транспортного потока	Без светофора	Со светофором	
		В обычное время	В часы пик
Средняя плотность потока	151	145	223
Средняя скорость автомобиля	62	70	60
Вероятность ДТП	0,57	0,27	0,23



### Заключение

Исследования показали, что имитационные модели могут стать хорошим инструментом принятия управленческих решений по повышению безопасности пешеходов на переходах. Выбор оптимального интервала сигнала светофора позволит снизить вероятность ДТП с пешеходами, при этом параметры транспортного потока изменятся незначительно. Качество решений будет зависеть от качества исходной информации. Для компенсации негативного воздействия целесообразно использовать адаптивную систему управления, которая имеет обратную связь с транспортным потоком. Она реализуется при помощи детекторов транспорта, находящихся в зоне перекрестка и фиксирующих непрерывный поток информации о параметрах транспортного потока.

### Литература

1. **Слободчикова Н.А.** Совершенствование организации дорожного движения на основе применения пешеходных вызывных устройств. Автореф. дис. кан. тех. наук. Иркутск, 2010.
2. **Бурдин И.О., Минзуренко А.А.** Имитационное компьютерное моделирование критических перекрестков на примере развязки улицы Цимлянкой и восточного обхода в городе Перми // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология, № 3, 2016. С.32–49.
3. **Изюмский А.А., Надирян С.Л., Сенин И.С.** Применение имитационного моделирования в сфере моделирования транспортных потоков // Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник). № 1. 2016. С. 52–54.
4. **Вахрамеев А.К., Зуев В.А.** Имитационное моделирование транспортных систем на кафедре «подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана // Седьмая всероссийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2015): Труды конф., 21-23 окт. 2015 г., Москва: в 2 т. / Ин-т проблем упр. им. В.А. Трапезникова Рос. Акад. наук ; под общ. ред. С.Н. Васильева, Р.М. Юсупова. Т. 1. М.: ИПУ РАН, 2015. С.100–103.
5. **Makarova I. et.al.** Simulation modeling in improving pedestrians' safety at non-signalized crosswalks // Transport Problems. Vol. 11. Iss.4. P. 139–150.
6. **Marilyne Brosseau, Sohail Zangenehpour, Nicolas Saunier, Luis Miranda-Moreno.** The impact of waiting time and other factors on dangerous pedestrian crossings and violations at signalized intersections: A case study in Montreal // Transportation Research Part F 21 (2013). P. 159–172.
7. **Leandro L. Di Stasi, Alberto Megías, Antonio Cándido, Antonio Maldonado and Andrés Catena.** The Influence of Traffic Signal Solutions on Self-Reported Road-Crossing Behavior. Spanish Journal of Psychology. 2014. 17, e103. P. 1–7.
8. **Wael K.M. Alhajyaseen, Miho Asano, Hideki Nakamura.** Estimation of left-turning vehicle maneuvers for the assessment of pedestrian safety at intersections. IATSS Research 36 (2012) 66–74.
9. **D. Alex Quistberg, Eric J. Howard, Beth E. Ebel, Anne V. Moudon, Brian E. Saelens, Philip M. Hurvitz, James E. Curtin, Frederick P. Rivara.** Multilevel models for evaluating the risk of pedestrian–motor vehicle collisions at intersections and mid-block.
10. **Baibing Li.** A model of pedestrians' intended waiting times for street crossings at signalized intersections // Transportation Research Part B 51 (2013). P. 17–28.
11. **Shoko Oikawa, Yasuhiro Matsui, Tsutomu Doi, Toshiaki Sakurai.** Relation between vehicle travel velocity and pedestrian injury risk in different age groups for the design of a pedestrian detection system // Safety Science 82 (2016). P.361–367.