

ТРАНСПОРТ

УДК 656.11:625.7

DOI 10.52928/2070-1616-2026-55-3-42-47

ИССЛЕДОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ
НА ОСНОВЕ МИНИМИЗАЦИИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ

*А.В. КОРЖОВА¹, д-р техн. наук, проф. В.П. ИВАНОВ², д-р техн. наук, доц. А.Г. БАХАНОВИЧ^{1,3},
О.А. СОНИЧ¹, Д.В. МОЗАЛЕВСКИЙ¹*

*(¹Белорусский национальный технический университет (БНТУ),
филиал БНТУ «Научно-исследовательский политехнический институт»,
Научно-исследовательский и испытательный центр транспортных средств, Минск;*

²Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой;

³Министерство образования Республики Беларусь, Минск)

Статья посвящена проблеме повышения эффективности функционирования транспортной инфраструктуры городов путем снижения всех видов потерь в дорожном движении на примере магистральной улицы районного значения. В ходе исследования выполнен детальный топографический и количественный анализ аварийности, а также натурные измерения параметров транспортных и пешеходных потоков, на основе которых произведен расчет экономических, экологических и аварийных издержек. Предложен комплекс инженерных мероприятий (введение светофорного регулирования, обустройство направляющих островков, кольцевых пересечений), экономическая целесообразность которых обоснована сокращением суммарных потерь и приемлемыми сроками окупаемости.

Ключевые слова: *организация дорожного движения, аварийность, теория потерь, светофорное регулирование, кольцевое пересечение, транспортный поток, задержки, экологический ущерб.*

Введение. Современный этап развития крупных городов неизбежно сопровождается интенсивным ростом уровня автомобилизации [1; 2]. Автомобильный транспорт, являясь драйвером экономической мобильности и обеспечения комфорта населения, а также устойчивого развития особенно мегаполисов, одновременно выступает главным источником ряда серьезных градостроительных и социально-экономических проблем. Среди наиболее острых негативных экстерналий дорожного движения выделяются дорожно-транспортная аварийность, сопровождающаяся гибелью и травматизмом людей, материальным ущербом, а также заторовые ситуации, ведущие к колоссальным потерям времени (задержкам), снижению скорости сообщения и критическому ухудшению экологической обстановки за счет выбросов отработавших газов и акустического загрязнения [3].

Решение проблем дорожного движения требует перехода от экстенсивных методов (бесконечное расширение проезжей части) к интенсивным – внедрению современных методов организации дорожного движения (ОДД) на базе глубокого анализа параметров транспортных и пешеходных потоков. В отечественной науке ведущим подходом к оценке качества ОДД является методология, основанная на квалитметрии и определении суммарных потерь в дорожном движении (экономических, экологических, социальных)¹ [4; 5]. Согласно данной методологии, любое управляющее воздействие в транспортной системе должно оцениваться через призму монетизации сэкономленного времени, предотвращенного ущерба здоровью и улучшению экологии.

Целью данного исследования является оценка существующих условий дорожного движения и разработка научно обоснованных предложений по совершенствованию ОДД на магистральной улице районного значения – ул. Одоевского во Фрунзенском районе г. Минска – для комплексного снижения всех видов потерь.

Основная часть. Аварийность является наиболее выраженным отрицательным фактором процесса автомобилизации [4; 5]. Анализ дорожно-транспортных происшествий (ДТП) позволяет не только установить места их концентрации (очаги), но и выявить первопричины их возникновения для последующей нейтрализации. В ходе исследования использовались официальные статистические данные ОГАИ Фрунзенского РУВД г. Минска за период с 2021 по 2025 гг. За исследуемый период на дорожной сети района произошло 19 698 ДТП. На самой улице Одоевского (протяженность 3,2 км) произошло 175 ДТП (доля от районной аварийности – 0,89%), в т.ч. 18 учетных ДТП, в которых было ранено 20 человек. Также отмечен высокий уровень аварийности на прилегающих дворовых территориях (132 ДТП).

¹ RTF-Road traffic flows: свидетельство о регистрации компьютерной программы № 222 / Д.В. Капский, Д.В. Мозалевский, В.Н. Кузьменко и др. – Нац. центр интеллектуальной собственности, 2010.

Количественный анализ распределения ДТП по месяцам показал, что наиболее аварийно-опасными периодами являются осенне-зимние месяцы (с октября по декабрь). Суммарно на этот период приходится большинство происшествий, что коррелирует с ухудшением коэффициента сцепления дорожного покрытия и ухудшением видимости. Распределение по дням недели демонстрирует пики в понедельник и пятницу. Внутрисуточное распределение ярко выделяет два пика аварийности: утренний (08:00–09:00) и вечерний (15:00–21:00).

В структуре ДТП абсолютно доминируют попутные столкновения (включая наезды сзади) и столкновения на перекрестках. Подобное распределение указывает на дефицит пропускной способности узлов, наличие непредвиденных остановок в потоке (перед нерегулируемыми пешеходными переходами) и конфликтные ситуации при маневрировании. Выявлены очаги аварийности: перекрестки ул. Одоевского с пр. Пушкина, ул. Бельского, ул. Я. Мавра, ул. Е. Полоцкой и ул. Б. Берута, а также нерегулируемые пешеходные переходы (НПП) в районе домов №81 и №115А. Топографический анализ аварийности представлен на рисунке 1.

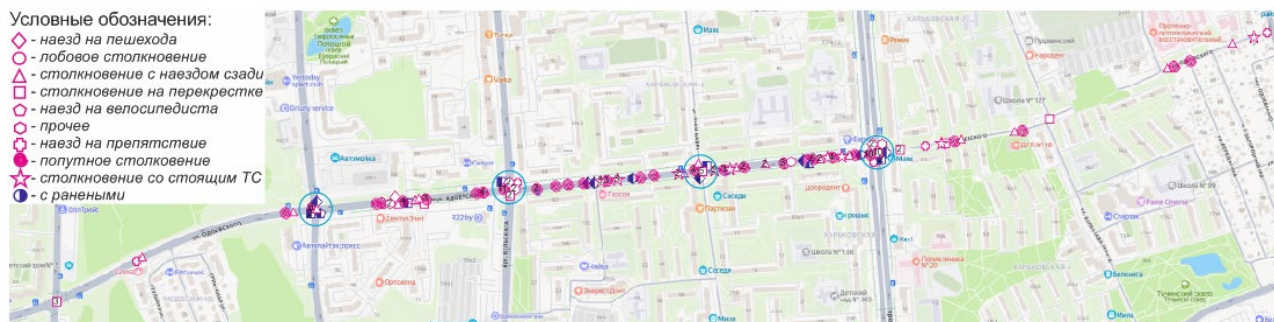


Рисунок 1. – Топографический анализ аварийности на исследуемом участке улицы

Для разработки адекватной математической модели существующего состояния был осуществлен сбор эмпирических данных. Любое вмешательство в существующую ОДД невозможно без знания гидродинамических параметров потока. Были проведены натурные обследования и измерения микро- и макропараметров (интенсивности, плотности и состава потока) в репрезентативные дни, автоматическая обработка которых проводилась в программе RTF-Road traffic flows². Измерения интенсивности и состава движения проводились по полосам на входах с 07:30 до 20:00 в будний день. Дискретность измерений составляла 10 светофорных циклов (либо 15 мин для нерегулируемых объектов). Пример картограммы представлен на рисунке 2.

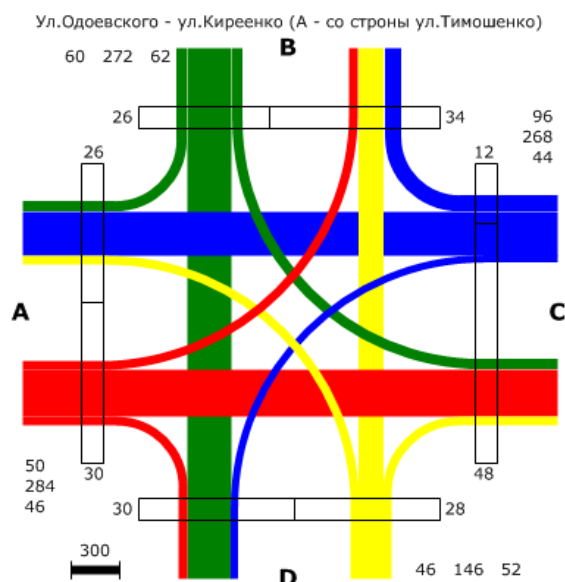


Рисунок 2. – Картограмма интенсивности движения (пример)

² RTF-Road traffic flows: свидетельство о регистрации компьютерной программы № 222 / Д.В. Капский, Д.В. Мозалевский, В.Н. Кузьменко и др. – Нац. центр интеллектуальной собственности, 2010.

Картограмма интенсивности для самого загруженного пересечения (ул. Одоевского – ул. Е. Полоцкой) показала, что значительную долю в структуре потока занимают левоповоротные направления, которые в условиях отсутствия выделенных полос и специализированных фаз регулирования создают «запирающий» эффект для транзитного потока, генерируя высокие задержки.

Расчет потерь в дорожном движении при существующей схеме ОДД. Оценка состояния производилась по математическим моделям расчета экономических, экологических и аварийных потерь [2–5].

Экономические потери включают потери от транспортных задержек, простоев и задержек пешеходов. Расчет удельной задержки транспорта выполнялся по модифицированной формуле Вэбстера, учитывающей случайный характер прибытия транспортных средств (ТС) и степень насыщения. Экологические потери определялись ущербом от выбросов вредных веществ (приведенных к CO) и от акустического воздействия. Аварийные потери рассчитывались исходя из стоимости последствий ДТП различной степени тяжести.

Пример (*Перекресток ул. Одоевского – ул. Е. Полоцкой*): существующая 4-фазная схема с конфликтами приводила к высоким потерям. Расчетные экономические потери составили 493,98 тыс. у.е./год, экологические потери – 240,51 тыс. у.е./год, аварийные – 6,43 тыс. у.е./год (сумма – 740,92 тыс. у.е./год). На НПП (в районе дома № 81) применение искусственных неровностей (ИН1) вызывало постоянные циклы «торможение-разгон», из-за чего экологические издержки превышены.

Разработка комплекса предложений по совершенствованию ОДД. Опираясь на системный подход, с учетом требований действующих технических нормативных правовых актов, предложены мероприятия, направленные на минимизацию конфликтных точек³ [6–10].

Пересечение ул. Одоевского – ул. Е. Полоцкой (рисунок 3):

- Устройство конструктивно выделенных островков на входах А и С;
- канализирование движения: выделение полосы для левого поворота (вход А) и для правого поворота (вход С);
- изменение диаграммы светофорного регулирования с добавлением дополнительных секций для бесконфликтного пропуска поворачивающих потоков.

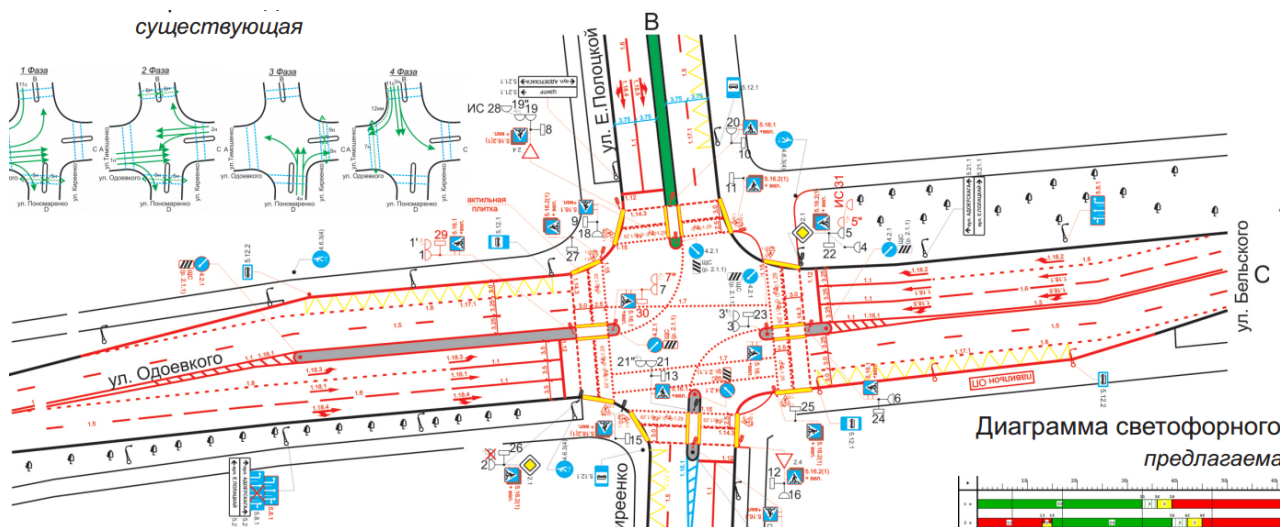


Рисунок 3. – Предлагаемая схема ОДД на перекрестке

Пересечение ул. Одоевского – ул. Янки Мавра (рисунок 4):

- создание карманов для остановочных пунктов маршрутных транспортных средств;
- устройство островков безопасности и выделение отдельной полосы для правого поворота;
- организация легализованных велопереездов и корректировка пофазного разъезда.

НПП на ул. Одоевского (р-н дома № 81) (рисунок 5):

- демонтаж искусственной неровности ИН1;
- обустройство пешеходного перехода светофорами с табло вызова пешеходов (ПВУ) и строительство конструктивного островка безопасности. Это устранил генерацию выбросов от торможения и разгона транспортного потока.

³ Технические средства организации дорожного движения. Правила применения: СТБ 1300-2024. – Взамен 1300-2014; введ. 01.04.2025. – Минск: Госстандарт, 2024. – 124 с.

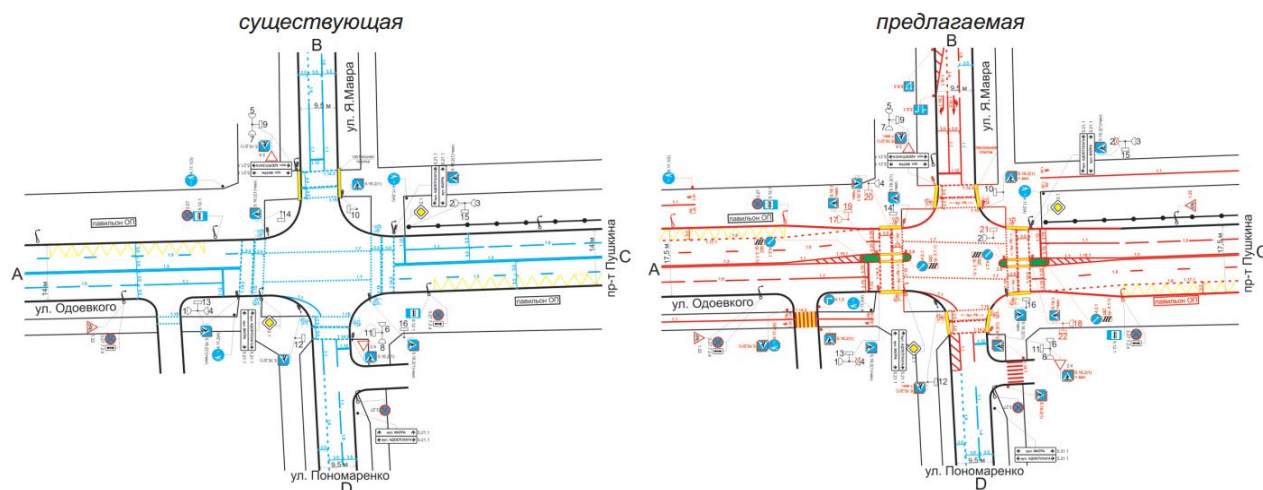


Рисунок 4. – Существующая и предлагаемая схемы ОДД на перекрестке

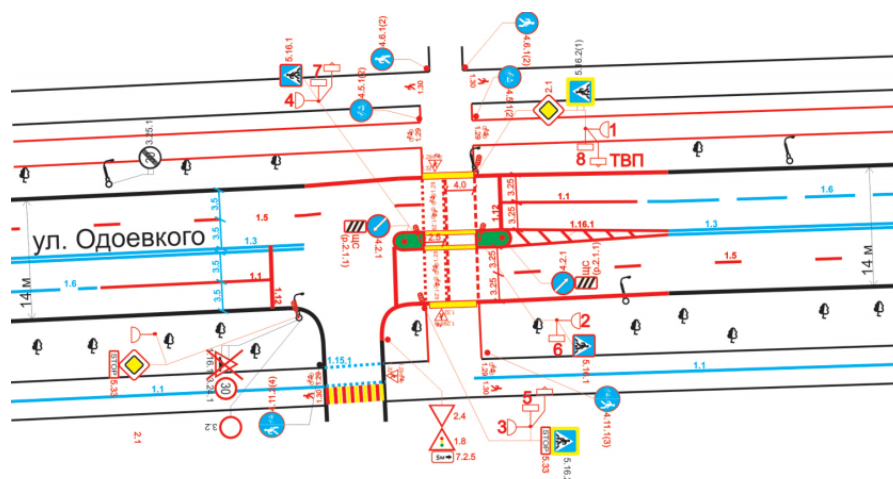


Рисунок 5. – Предлагаемая схема ОДД на пешеходном переходе

Пересечение ул. Одоевского – ул. Б. Берута (рисунок 6):

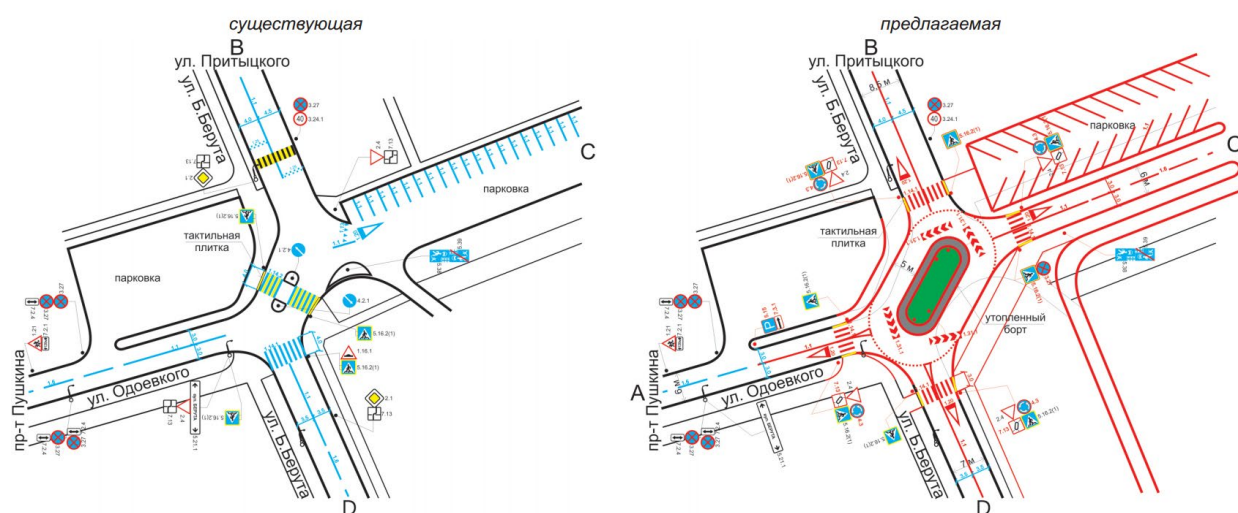


Рисунок 6. – Существующая и предлагаемая схемы ОДД на перекрестке

– реорганизация узла в одноуровневое кольцевое пересечение малого радиуса («мини-кольцо» с утопленным центральным бортом). Кольцевые пересечения кардинально снижают тяжесть ДТП и минимизируют транспортные задержки на пересечениях второстепенных улиц.

Внедрение предложенных инженерных мер кардинально меняет коэффициенты безопасности и структуру потерь. Прогнозы показали падение суммарных аварийных потерь на исследуемых узлах. Экологические показатели значительно улучшаются благодаря исключению лишних остановок-разгонов и сокращению длины очередей перед перекрестками (рисунок 7).

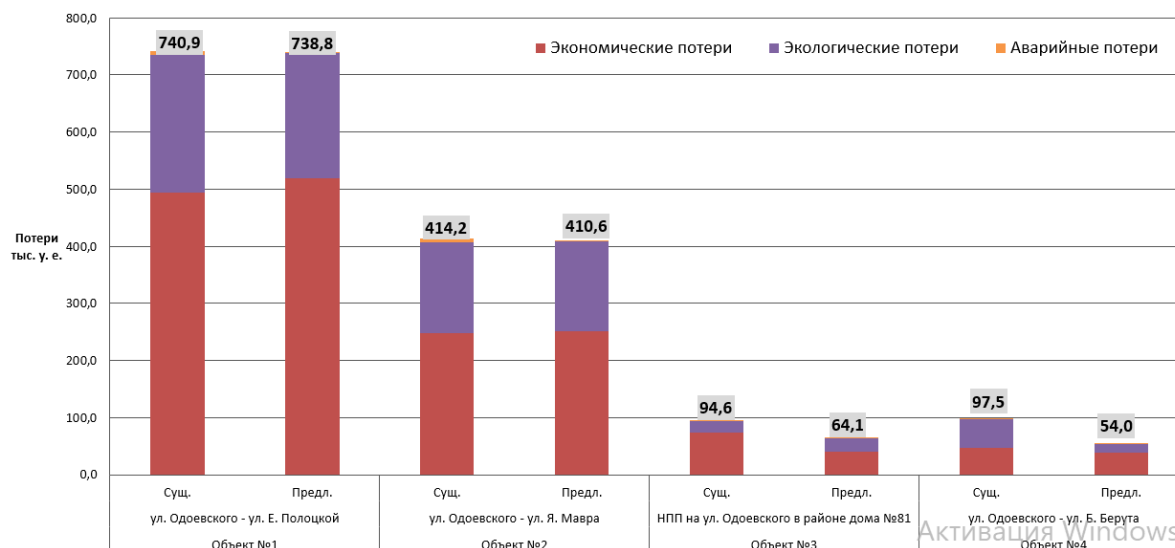


Рисунок 7. – Потери при существующей и предлагаемой ОДД

Закключение. Организация дорожного движения в урбанизированных агломерациях требует категорического отказа от интуитивно-эмпирического подхода в пользу строгих физико-математических и квалитетрических методов. Настоящее исследование, проведенное на полигоне улично-дорожной сети г. Минска с применением теории потерь, эксплицитно доказывает, что таргетная инженерная оптимизация генерирует макроэкономические дивиденды.

Детализированная алгоритмизация процессов управления позволила идентифицировать узкие места системы. Доказано, что применение грубых методов трафик-калминга (искусственные неровности) на магистральных артериях экономически и экологически контрпродуктивно. Их замена на адаптивные светофорные объекты с пешеходным вызовом, наряду с внедрением кольцевых саморегулируемых микроузлов и жесткого канализирования потоков, не только устраняет кинематические парадоксы (циклы «разгон-торможение»), но и прерывает генерацию аварийных конфликтов.

Экономическое обоснование подтвердило беспрецедентную инвестиционную емкость локальных проектов ОДД: сроки окупаемости разработанных решений не превышают 5 лет, а для проектов замены ИН на ПВУ и внедрения «мини-колец» исчисляются 4 месяцами. Практическая имплементация предложенного алгоритмического и инфраструктурного комплекса гарантирует минимизацию интегральных издержек общества, повышение индекса транспортной мобильности населения и устойчивое экологическое оздоровление городской среды.

ЛИТЕРАТУРА

- Капский Д.В. Методологические основы создания системы повышения безопасности дорожного движения в городских очагах аварийности в Республике Беларусь // Вестник Белорусского национального технического университета. – 2009. – № 6. – С. 81–88.
- Врубель Ю.А., Капский Д.В., Кот Е.Н. Определение потерь в дорожном движении. – Минск: БНТУ, 2006. – 240 с.
- Капский Д.В. Методология повышения качества дорожного движения / Белорусский национальный технический университет. – Минск: БНТУ, 2018. – 370 с.
- Капский Д.В. Прогнозирование аварийности в дорожном движении. – Минск: БНТУ, 2008. – 243 с.
- Капский Д.В. Организация дорожного движения. Аварийность: анализ, оценка, прогнозирование: учеб.-метод. пособие. – Минск: БНТУ, 2023. – 439 с.
- Кот Е.Н., Капский Д.В., Коржова А.В. Технические средства организации дорожного движения. – Минск: БНТУ, 2016. – 239 с.
- Капский Д.В. Совершенствование организации дорожного движения на пешеходных переходах // Вестник Белорусского национального технического университета. – 2006. – № 6. – С. 62–64.
- Korzhova A., Kapski D. The research of traffic offences by pedestrians on the unregulated crossings with humps // MATEC Web of Conferences-2018 / Bydgoszcz (25–26 сент. 2018 г.) – Bydgoszcz, 2018. – P. 02012. DOI: 10.1051/matecconf/201818202012

9. Капский Д. В. Разработка мероприятий по повышению безопасности движения на регулируемых перекрестках // Вестник Белорусского национального технического университета. – 2005. – № 1. – С. 55–58.
10. Sarazhinsky D.S., Kapski D.V. An analytical model of pedestrian delay for pedestrian-actuated cycle length preserving signal traffic control // Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physics and Mathematics Series. – 2025. – Vol. 61, No. 1. – P. 63–73. DOI: 10.29235/1561-2430-2025-61-1-63-73

Поступила 17.07.2026

**A STUDY OF ROAD TRAFFIC ORGANIZATION
BASED ON MINIMIZING SOCIO-ECONOMIC LOSSES**

A. KORZHOVA¹, V. IVANOV², A. BAKHANOVICH^{1,3}, O. SONICH¹, D. MOZALEVSKY¹

(¹Belarusian National Technical University (BNTU),

BNTU Branch “Research Polytechnic Institute”,

Research and Testing Center for Vehicles, Minsk;

²Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk;

³Ministry of Education of the Republic of Belarus, Minsk)

This article examines the problem of improving the efficiency of urban transport infrastructure by reducing all types of traffic losses, using a major street of district significance as an example. The study included a detailed topographic and quantitative analysis of accident rates, as well as in-kind measurements of traffic and pedestrian flow parameters, which were used to calculate economic, environmental, and accident costs. A set of engineering measures (introduction of traffic lights, installation of guide islands, and roundabouts) was proposed. Their economic feasibility was justified by a reduction in total losses and acceptable payback periods.

Keywords: *traffic management, accident rate, loss theory, traffic lights, roundabouts, traffic flow, delays, environmental damage.*