

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ/CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS**DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.72.4>

EDN: SCVKJW

ВЛИЯНИЕ БАРЬЕРНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ НА КОЛИЧЕСТВО И ХАРАКТЕР ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ НА ГОРОДСКИХ МАГИСТРАЛЯХ

Научная статья

Толкачев А.А.^{1,*}, Акопян И.Т.², Урханова Л.А.³¹ORCID : 0009-0009-1416-7980;³ORCID : 0000-0002-2716-2144;^{1,2,3}Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (tolkachew46rus2[at]mail.ru)

Предложена: 19.03.2026; Принята: 28.04.2026; Опубликовано: 21.05.2026

Аннотация

В статье рассматривается проблема повышения безопасности дорожного движения на городских магистралях за счёт применения эффективных дорожных барьерных ограждений. Отмечается, что значительная часть дорожно-транспортных происшествий связана со съездом транспортных средств с проезжей части, что приводит к тяжёлым последствиям для участников движения. В связи с ростом интенсивности транспортных потоков, изменением их состава и усложнением режимов движения особую актуальность приобретает оценка эффективности различных типов удерживающих систем.

Целью исследования является анализ эффективности дорожных барьерных ограждений при столкновении транспортных средств на основе численного моделирования в программной среде LS-DYNA. В работе использован метод конечных элементов, позволяющий оценивать поведение ограждений при ударе, включая динамический прогиб конструкции, траекторию движения транспортного средства, а также показатели безопасности для пассажиров. При анализе учитывались ключевые параметры столкновения: скорость и масса транспортного средства, угол удара, конструктивные характеристики барьера и условия дорожной среды.

В ходе исследования выполнено моделирование столкновений транспортных средств с различными типами барьерных ограждений, включая металлические, тросовые и роликовые системы. Оценка результатов проводилась на основе энергетического анализа модели и стандартных индексов безопасности, таких как индекс тяжести ускорения (ASI) и теоретическая скорость удара головы (THIV). Полученные результаты показали, что изменение конструктивных параметров барьера, в частности усилия натяжения тросов и жёсткости опор, существенно влияет на рабочую ширину прогиба и уровень перегрузок в салоне транспортного средства. Установлено, что увеличение натяжения тросов позволяет снизить прогиб ограждения и улучшить показатели безопасности, а рост скорости и угла удара приводит к увеличению индексов травматичности и поглощённой энергии удара.

Доказана необходимость комплексного подхода к проектированию барьерных систем, включающего использование численного моделирования для предварительной оценки и натурных краш-тестов для подтверждения полученных результатов. Результаты исследования могут быть использованы при разработке и оптимизации дорожных удерживающих систем для повышения уровня безопасности на городских магистралях.

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, барьерные ограждения, краш тесты, компьютерное моделирование, метод конечных элементов, деформация дорожной удерживающей системы.

THE INFLUENCE OF CRASH BARRIERS ON THE NUMBER AND NATURE OF ROAD TRAFFIC ACCIDENTS ON URBAN ARTERIAL STREETS

Research article

Tolkachev A.A.^{1,*}, Akopyan I.T.², Urhanova L.A.³¹ORCID : 0009-0009-1416-7980;³ORCID : 0000-0002-2716-2144;^{1,2,3}Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (tolkachew46rus2[at]mail.ru)

Suggested: 19.03.2026; Accepted: 28.04.2026; Published: 21.05.2026

Abstract

The article examines the issue of improving road safety on urban arterial streets through the use of effective road barrier systems. It is noted that a significant proportion of road traffic accidents are caused by vehicles leaving the roadway, which leads to serious consequences for road users. In view of the increasing intensity of traffic flows, changes in their composition and the growing complexity of traffic patterns, the assessment of the effectiveness of various types of restraint systems is becoming particularly relevant.

The aim of this study is to analyse the effectiveness of road crash barriers in vehicle collisions using numerical simulation within the LS-DYNA software environment. The research uses the finite element method, which allows the behaviour of the barriers during an impact to be evaluated, including the dynamic deflection of the structure, the vehicle's trajectory, and safety



indicators for passengers. The analysis took into account key collision parameters: vehicle speed and mass, angle of impact, structural characteristics of the barrier, and road conditions.

In the course of the study, simulations were carried out of vehicle collisions with various types of barrier systems, including metal, cable and roller systems. The results were evaluated on the basis of a model energy analysis and standard safety indices, such as the Acceleration Severity Index (ASI) and the Theoretical Head Impact Velocity (THIV). The results showed that changes in the barrier's design parameters, in particular the cable tension and the stiffness of the supports, significantly affect the effective deflection width and the level of acceleration in the vehicle's passenger compartment. It has been found that increasing cable tension reduces barrier deflection and improves safety performance, while increasing impact speed and angle leads to higher injury indices and absorbed impact energy.

The need for a complex approach to the design of barrier systems has been demonstrated, involving the use of numerical modelling for preliminary assessment and full-scale crash tests to validate the results obtained. The research results can be used in the development and optimisation of road restraint systems to improve safety on urban motorways.

Keywords: road safety, crash barriers, crash tests, computer simulation, finite element method, deformation of the road restraint system.

Введение

Обеспечение безопасности дорожного движения является одной из приоритетных задач современной транспортной инфраструктуры. Значительная часть дорожно-транспортных происшествий (ДТП) сопровождается съездом транспортных средств с проезжей части, что нередко приводит к тяжёлым последствиям для участников движения. За последние годы ежегодная смертность в ДТП в России превышает 31 тыс. человек, а суммарный ущерб достигает 2,2–2,6% внутреннего валового продукта. Отмечено, что темпы роста аварийности обгоняют рост автопарка, что связано с усложнением режимов движения в городах. При отсутствии изменений в организации движения фиксируется двукратное увеличение интенсивности на отдельных магистралях и падение средней скорости с 9 до 3 м/с, что формирует условия для частых конфликтов между транспортными средствами. Изменение состава потока также оказывает влияние на рост ДТП: доля грузовых автомобилей в исследованной выборке выросла на 5% (с 13% до 18%), что приводит к снижению равномерности движения и увеличению вероятности столкновений на магистралях [5].

Защитный барьер должен выдерживать удары различных типов транспортных средств (от легковых автомобилей до грузовиков или автобусов) в различных условиях воздействия, в зависимости от скорости транспортного средства, угла удара и дорожных условий. В случае удара транспортного средства меньшей массы (легкового автомобиля) удерживающая система должна обладать способностью деформироваться, чтобы кинетическая энергия удара поглощалась в основном удерживающей системой и деформацией транспортного средства. Это значительно снижает уровень торможения, с которым сталкиваются пассажиры транспортных средств, и повышает их безопасность. Однако в случае столкновения с транспортным средством большей массы (грузовиком, автобусом) система должна сохранять свою целостность, чтобы сдерживать и отклонять транспортное средство на дороге. Таким образом, конструкция барьера представляет собой компромисс между его жесткостью (деформируемостью) и прочностью.

Барьерные ограждения устанавливаются на участках повышенной опасности — на мостах, путепроводах, крутых поворотах, участках с насыпями, а также в местах расположения объектов дорожной инфраструктуры. Их основная функция заключается в предотвращении выезда транспортного средства за пределы проезжей части и снижении энергии удара за счёт контролируемой деформации конструкции [2]. Эффективность барьерной системы определяется её способностью одновременно обеспечивать достаточную прочность для удержания транспортного средства и необходимую деформируемость для уменьшения перегрузок, воздействующих на пассажиров. При этом одним из ключевых инструментов проверки барьерных конструкций остаются натурные краш-тесты.

Актуальность исследования обеспечивается тем, что именно на городских магистралях формируется наибольшее количество аварийных ситуаций. Схемы организации движения напрямую влияют на частоту дорожно-транспортных происшествий и тяжесть их последствий. В отечественных и зарубежных работах подробно рассматриваются отдельные элементы улично-дорожной сети: геометрия перекрёстков, схемы канализации потоков, светофорное регулирование, круговые пересечения, выделенные полосы [3]. Их влияние на аварийность и пропускную способность изучено. Однако большинство исследований ограничивается отдельными решениями, а сравнение различных типов барьерных ограждений на городских магистралях практически не освещается.

Целью данного исследования является анализ эффективности различных типов дорожных барьерных ограждений при столкновении транспортных средств на основе численного моделирования в программной среде LS-DYNA и оценка ключевых параметров, характеризующих безопасность и работоспособность удерживающих систем. Во время испытаний оценивались такие параметры, как уровень перегрузки пассажиров (ASI), скорость удара головы (THIV), динамический прогиб конструкции и способность удержать транспортное средство в пределах безопасной зоны.

Методы и принципы исследования

Для анализа эффективности различных типов дорожных барьерных ограждений в работе использовано численное моделирование в программной среде LS-DYNA, разработанной компанией LSTC (Livermore Software Technology Corporation) (США). Предназначена для решения трёхмерных динамических нелинейных задач механики деформируемого твёрдого тела, механики жидкости и газа, теплопереноса, а также связанных задач. Моделирование ударов в LS-DYNA даёт возможность заранее просчитать поведение барьерных систем при столкновении, заменяя собой трудоёмкие и затратные полигонные испытания. Программа основана на методе конечных элементов и используется при проектировании для оценки таких параметров, как прогиб, усилия в конструктивных элементах и траектория движения транспортного средства после удара. Это позволяет корректно подбирать конструкцию уже на

раннем этапе, в том числе выбирать оптимальную высоту ограждения, шаг стоек, характеристики анкеров и степень натяжения тросов.

В основе модели лежит представление о формировании аварийности на городских магистралях за счёт устойчивых конфликтных взаимодействий между транспортными и пешеходными потоками. Конфликтные ситуации возникают на перегонах, в зонах примыканий, на перекрёстках и пешеходных переходах. Модель формируется для одного выделенного участка городской магистрали, рассматриваемого как единая система. В пределах участка учитываются элементы улично-дорожной сети, участвующие в формировании аварийности.

Основные результаты

ГОСТ Р 52721–2007 «Технические средства организации дорожного движения» предписывает точные критерии, которым должна соответствовать дорожная удерживающая система в конкретных условиях удара. Существует множество различных параметров, которые необходимо учитывать при столкновении транспортного средства с ограждением: скорость транспортного средства (v), масса транспортного средства (m), угол удара (α), тип и поведение транспортного средства, дорожные условия и деформация дорожной удерживающей системы (W). Одним из показателей адекватности расчетов при моделировании является анализ графиков энергии полученных из базы данных Gstat или Matsum. Например, полная энергия на всем протяжении расчета не должна отличаться больше 1% от начальной полной энергии, энергия скольжения (sliding energy) должна быть 1% или менее от внутренней энергии, если трение равно нулю, а также не должна быть отрицательной более чем на 5-10% от пиковой энергии и др. Еще одним показателем является проверка энергетического коэффициента (Energy ratio), который не должен отличаться более чем на 1% (рис. 1).

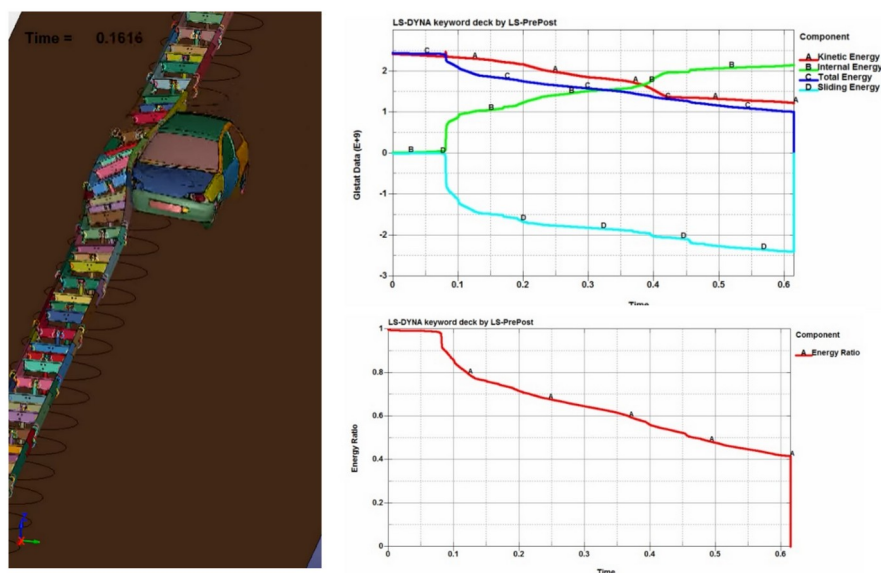


Рисунок 1 - Анализ результатов моделирования столкновения легкового автомобиля с металлическим барьерным ограждением

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.72.4.1>

Энергия Sliding связана с контактным скольжением и в общем случае эта энергия оказывает существенное влияние на результат. Многочисленные начальные тестовые испытания с полной моделью показали, что данная энергия может значительно увеличиваться и соответствовать по значению начальной кинетической энергии. Хотя по рекомендациям данная энергия не должна превышать 5–10% от пиковой внутренней энергии. Это является неверным результатом.

Анализ энергий и визуальный анализ модели привел к выводу, что резкое увеличение отрицательной энергии контакта вызвано необнаруженными начальными проникновениями. Кроме того, причиной может быть скольжение деталей друг относительно друга в процессе проникновения: один узел проникает в главный сегмент, проникновение обнаруживается и возникает значительная энергия скольжения (рис. 2).

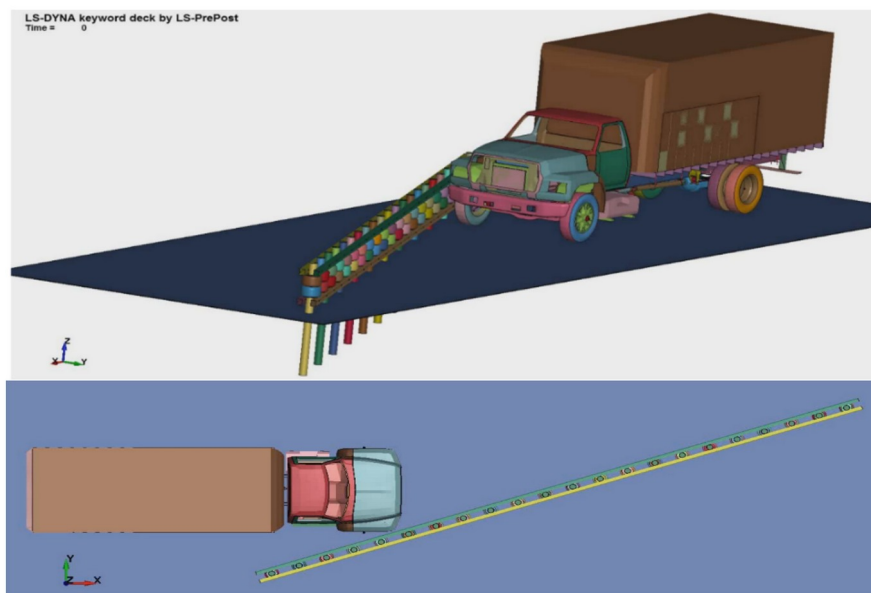


Рисунок 2 - Модель столкновения грузового автомобиля с роликовым барьерным ограждением
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.72.4.2>

Роликовое барьерное ограждение изобретено в Южной Корее, и по словам производителей имеет ряд преимуществ по сравнению со стандартным металлическим ограждением: простота установки и обслуживания на извилистых дорогах, ролик из синтетической смолы практически не повреждается при ударе, минимизируются повреждения автомобиля и возможные травмы пассажиров. Для оценки воздействия ударов на организм человека наиболее важной мерой, проводимой в дорожных краш-тестах, является ускорение (3 компонента). Три ускорения измеряются в положении, максимально близком к центру тяжести транспортного средства, в системе отсчета, закрепленной на раме транспортного средства. С помощью данных о трех ускорениях, скорости и положении транспортного средства можно рассчитать обычные индексы: индекс тяжести ускорения (ASI), теоретическая скорость напора при ударе (THIV), замедление напора после удара (PHD) и т.д., которые используются для получения представления о тяжести удара.

С помощью численного моделирования в среде LS-DYNA была исследована эффективность тросовых ограждений при различных конструктивных и ударных параметрах. Повышение усилия натяжения в среднем тросе с 40 до 70 кН позволило сократить рабочую ширину (прогиб) с 3,8 до 2,1 м, при этом индекс ASI снизился с 1,4 до 0,9, что соответствует безопасной категории по стандарту EN 1317. Было установлено, что увеличение жесткости опор на 35% приводит к снижению уровня перегрузки в салоне на 18%.

Отдельно анализировалось влияние высоты барьера: при увеличении на 5 см рабочая ширина возрастала до 1,11 м, а при занижении — ухудшалась траектория удержания, поскольку тросы смещались ниже зоны максимального контакта. Это особенно важно в ситуациях, когда за ограждением располагаются объекты, чувствительные к увеличенному прогибу (опоры освещения, кабельные каналы и др.).

Параллельно оценивались динамические характеристики удара. При увеличении скорости с 50 до 140 км/ч индекс ASI возрастал с 0,49 до 1,04, а рабочая ширина — с 0,68 до 1,33 м. Показатель THIV (скорость удара головы) в этих случаях составлял 21,7 км/ч и 30,8 км/ч соответственно, приближаясь к граничным значениям допустимого уровня. При изменении угла удара с 10° до 30° ASI увеличивался более чем вдвое — с 0,53 до 1,06, а контактная длина с барьером, наоборот, снижалась с 14,5 до 7,5 м. Увеличение угла и скорости также приводило к росту поглощенной энергии — от 10,5 до 82,1 кДж, что превышает расчётные значения, заложенные в стандартных испытаниях (рис. 3).

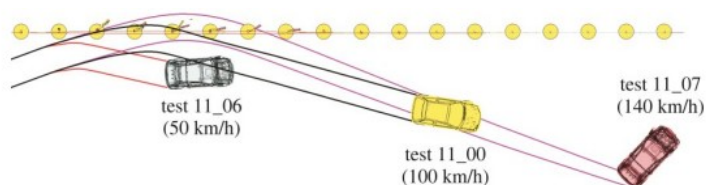


Рисунок 3 - Сравнение траекторий движения транспортного средства в зависимости о скорости движения при столкновении с тросовым барьерным ограждением
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.72.4.3>

Заключение

В результате проведённого исследования установлено, что эффективность дорожных барьерных ограждений определяется совокупностью их конструктивных характеристик и параметров ударного воздействия. В условиях роста интенсивности движения, увеличения доли грузового транспорта и усложнения транспортных потоков на городских магистралях применение удерживающих систем приобретает особую значимость как средство снижения тяжести последствий дорожно-транспортных происшествий.

На основе численного моделирования в программной среде LS-DYNA подтверждена целесообразность использования метода конечно-элементного анализа для оценки работоспособности и защитных свойств барьерных ограждений. Установлено, что достоверность результатов моделирования обеспечивается соблюдением критериев энергетического баланса, контролем величины sliding energy, а также исключением начальных проникновений и некорректных контактных взаимодействий в расчётной модели.

В ходе исследования выявлено, что изменение конструктивных параметров тросовых и барьерных ограждений оказывает существенное влияние на показатели безопасности. Повышение усилия натяжения тросов и жёсткости опор способствует уменьшению рабочей ширины системы и снижению уровня перегрузок, действующих на транспортное средство. Изменение высоты ограждения влияет на характер контакта и траекторию удержания транспортного средства, что имеет принципиальное значение для обеспечения требуемого уровня безопасности на участках с ограниченным боковым пространством.

Установлено, что увеличение скорости и угла наезда приводит к росту показателей ASI, THIV, рабочей ширины и поглощённой энергии, что свидетельствует об увеличении тяжести ударного воздействия и повышении требований к прочности и энергоёмкости удерживающих конструкций. Полученные результаты подтверждают необходимость комплексного учёта как конструктивных, так и эксплуатационных факторов при проектировании и выборе дорожных ограждений.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения результатов исследования при совершенствовании методов расчёта, выборе рациональных конструктивных решений и повышении эффективности дорожных удерживающих систем на участках повышенной опасности. Это, в свою очередь, способствует повышению уровня безопасности дорожного движения и снижению тяжести последствий дорожно-транспортных происшествий.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Рецензия

Вишторский Е.М., Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.72.4.4>

Review

Vishtorsky E.M., National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.72.4.4>

Список литературы / References

1. Государственные элементные сметные нормы. ГЭСН-2001. Сборник 27 «Автомобильные дороги». — Москва: Росстрой, 2008. — 94 с.
2. Каюмов А.И. Методика оценки удерживающей способности дорожного ограждения / А.И. Каюмов, П.В. Жданов, С.В. Мартынов. — Казань: КГАСУ, 2016. — 18 с.
3. Влияние дорожных ограждений на снижение аварийности / НПО «РОСС». — Екатеринбург, 2019. — 12 с.
4. Жигульский С.А. Сравнительный анализ дорожных ограждений разной жёсткости / С.А. Жигульский, С.Г. Митрофанов, Е.В. Ланская // Концепт. — 2015. — № 8.
5. Антоненко Н.С. Оценка эффективности регулирования дорожных условий, влияющих на смертность в ДТП / Н.С. Антоненко. — Москва: МАДИ, 2023. — 48 с.
6. Bruski P. Numerical studies on the influence of selected construction parameters on safety barriers performance / P. Bruski [et al.] // MATEC Web of Conferences 231:01003. — 2018. — 11 p.
7. Взятченков И.А. Современные виды дорожных ограждений: Сравнительный анализ и перспективы внедрения роликовых систем / И.А. Взятченков, Е.В. Голов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2025. — № 11. — С. 29–33.



8. Бадоян Н.Ш. Обоснование применения габионных конструкций для создания барьерных ограждений при строительстве автомобильных дорог / Н.Ш. Бадоян, Л.С. Щепетева, К.Г. Пугин // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». — 2019. — № 2. — DOI: 10.15862/05SATS219.

9. Кисельков А.Л. Расчетное исследование прочности дорожных ограждений / А.Л. Кисельков, С.А. Фандо, А.О. Шукюров // Труды БНТУ. — 2020. — С. 28–36.

10. Тавшавадзе Б.Т. Разработка и обоснование методологии расчётов, испытаний и сертификации дорожных удерживающих ограждений барьерного типа : дис. ... канд. техн. наук / Тавшавадзе Бека Темурович; Моск. автомоб.-дорож. гос. техн. ун-т (МАДИ). — Москва, 2019. — 147 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Gosudarstvennie elementnie smetnie normi. GESN-2001. Sbornik 27 «Avtomobilnie dorogi» [State Unit Cost Standards. GESN-2001. Collection 27: 'Motorways']. — Moscow: Rosstroj, 2008. — 94 p. [in Russian]

2. Kayumov A.I. Metodika otsenki uderzhivayushchei sposobnosti dorozhnogo ograzhdeniya [Methodology for assessing the retention capacity of road barriers] / A.I. Kayumov, P.V. Zhdanov, S.V. Martinov. — Kazan: KSASU, 2016. — 18 p. [in Russian]

3. Vliyaniye dorozhnikh ograzhdenii na snizhenie avariinosti [The impact of road barriers on reducing accident rates] / NPO «ROSS». — Yekaterinburg, 2019. — 12 p. [in Russian]

4. Zhigulskii S.A. Sravnitel'nii analiz dorozhnikh ograzhdenii raznoi zhyostkosti [A comparative analysis of road barriers of varying stiffness] / S.A. Zhigulskii, S.G. Mitrofanov, Ye.V. Lanskaya // Kontsept [Concept]. — 2015. — № 8. [in Russian]

5. Antonenko N.S. Otsenka effektivnosti regulirovaniya dorozhnikh uslovii, vliyayushchikh na smertnost v DTP [An assessment of the effectiveness of regulations governing road conditions that affect road traffic fatalities] / N.S. Antonenko. — Moscow: MADI, 2023. — 48 p. [in Russian]

6. Bruski P. Numerical studies on the influence of selected construction parameters on safety barriers performance / P. Bruski [et al.] // MATEC Web of Conferences 231:01003. — 2018. — 11 p.

7. Vzyatchenkov I.A. Sovremennye vidi dorozhnikh ograzhdenii: Sravnitel'nii analiz i perspektivi vnedreniya rolikovikh sistem [Modern Types of Road Barriers: A Comparative Analysis and Prospects for the Implementation of Roller Systems] / I.A. Vzyatchenkov, Ye.V. Golov // Mezhdunarodnii zhurnal prikladnikh i fundamentalnikh issledovaniy [International Journal of Applied and Fundamental Research]. — 2025. — № 11. — P. 29–33. [in Russian]

8. Badoyan N.Sh. Obosnovaniye primeneniya gabionnikh konstruksii dlya sozdaniya barernikh ograzhdenii pri stroitelstve avtomobilnikh dorog [Justification for the use of gabion structures in the construction of barrier fences during road construction] / N.Sh. Badoyan, L.S. Shchepeteva, K.G. Pugin // Internet-zhurnal «Transportnie sooruzheniya» [Online journal 'Transport Structures']. — 2019. — № 2. — DOI: 10.15862/05SATS219. [in Russian]

9. Kiselkov A.L. Raschetnoe issledovanie prochnosti dorozhnikh ograzhdenii [A Computational Study of the Strength of Road Barriers] / A.L. Kiselkov, S.A. Fando, A.O. Shukyurov // Trudi BNTU [Proceedings of BNTU]. — 2020. — P. 28–36. [in Russian]

10. Tavshavadze B.T. Razrabotka i obosnovaniye metodologii raschyotov, ispitanii i sertifikatsii dorozhnikh uderzhivayushchikh ograzhdenii barernogo tipa [Development and justification of a methodology for the calculation, testing and certification of barrier-type road safety barriers] : diss. ... PhD in Technical Sciences / Tavshavadze Beka Temurovich; Moscow State Automobile and Road Construction Technical University (MADI). — Moscow, 2019. — 147 p. [in Russian]