Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>
Russian journal of transport engineering

2019, №2, Том 6 / 2019, No 2, Vol 6 <https://t-s.today/issue-2-2019.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/05SATS219.pdf>

DOI: 10.15862/05SATS219 (<http://dx.doi.org/10.15862/05SATS219>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Бадоян Н.Ш., Щепетева Л.С., Пугин К.Г. Обоснование применения габионных конструкций для создания барьерных ограждений при строительстве автомобильных дорог // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2019 №2, <https://t-s.today/PDF/05SATS219.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/05SATS219

For citation:

Badoyan N.Sh., Shepeteva L.S., Pugin K.G. (2019). Justification of the use of gabion structures to create barrier fences in the construction of roads. *Russian journal of transport engineering*, [online] 2(6). Available at: <https://t-s.today/PDF/05SATS219.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/05SATS219

УДК 625.7/8:626

Бадоян Нарек Шагенович

ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия
Аспирант
E-mail: n.s.badoyan@gmail.com

Щепетева Людмила Станиславовна

ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия
Заведующая кафедрой «АДМ»
Доцент
E-mail: shls54@mail.ru

Пугин Константин Георгиевич

ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия
Профессор
Доктор технических наук
E-mail: 123zzz@rambler.ru

Обоснование применения габионных конструкций для создания барьерных ограждений при строительстве автомобильных дорог

Аннотация. Данная исследовательская работы посвящена теме габионных барьерных ограждений в качестве инструмента для защиты от дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах. На сегодняшний день рост транспортных средств привел к росту дорожно-транспортных происшествий. Связи с тем, что классические дорожные ограждения, которые применяются на автомобильных дорогах не всегда эффективно выполняют свою функцию, возникает потребность в конфигурации нового более эффективного дорожного барьера, благодаря которому удалось бы снизить дорожно-транспортные происшествия, а также расходы на материалы, устройство, содержание и ремонт конструкции. В статье представлен подробный анализ барьерных ограждений применяемых в строительстве автомобильных дорог многих стран мира. В работе рассмотрены теоретические и эмпирические аспекты дорожных ограждений. Проведен анализ традиционных дорожных барьеров, новых зарубежных разработок, а также представлен новый вид ограждения из габионов, который практически никем из исследователей не рассматривался в качестве инструмента для защиты

от дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах. Для проведения эмпирической оценки преимуществ габионов от классических барьерных ограждений в статье была представлена модель ограждения, а также программные пакеты, с помощью которых возможно оценить эффективность применения габионов в качестве барьеров безопасности. Проведенное исследование и опыт дорожно-мостового строительства ряда стран, включая и отечественный опыт последних лет, продемонстрировал, что габионные конструкции обладают весьма широкими возможностями и свойствами, такими как экономичность, прочность и долговечность, которые являются ключевыми в строительстве автомобильных дорог.

Ключевые слова: барьерные ограждения; дорожно-транспортные происшествия; тросовые ограждения; бетонные ограждения; габионные ограждения; роликовые барьеры; демпфирующие системы

Введение

На сегодняшний день динамичный рост транспортных средств привел к увеличению интенсивности дорожного движения, а также к большим темпам роста дорожно-строительных проектов по всему миру. Все данные факторы оказывают отрицательное воздействие на безопасность дорожного движения, так как с увеличением транспортных средств и строительства новых дорог увеличивается и количество дорожно-транспортных происшествий, которые наносят значимый материальный и моральный ущерб.

Среди всех видов дорожных происшествий одними из самых опасных являются столкновения автомобилей, и съезда автомобиля с дорожного полотна. Связи с этим, следует отметить, что одним из ключевых инструментов для повышения безопасности дорожного движения являются дорожные ограждения. Сегодня в России, а также многих зарубежных странах используются барьерные ограждения, представляющие из себя балку, закрепленную на опорных конструкциях. Данная конструкция изготавливается из металла и является одной из самых популярных инструментов для гашения энергии удара при столкновении автотранспорта с ограждением, а также для предотвращения съезда с проезжей части автомобильной дороги.

Металлические дорожные ограждения в целом выполняют свою функцию, и снижают риски, возникновения более серьезных аварий на дорогах. Однако, стоит отметить, что данный вид дорожного ограждения не всегда эффективен в горных местностях, серпантинах и т. п., а также для предотвращения более серьезных аварий возникающих при столкновении автомобилей при высокой скорости движения. По данной причине стоит рассмотреть новые разработки, предложенные различными учеными из зарубежных стран и на основе сравнения определить преимущества и недостатки классической конструкции дорожного ограждения и другими потенциальными дорожными ограждениями.

Сегодня существует огромное количество научных трудов как зарубежных, так и отечественных авторов посвященных теме дорожных ограждений. Изучением конструкций отечественных и иностранных дорожных ограждений занимались К.П. Андреев, В.В. Терентьев, А.В. Шемякин [1]. Авторы в своей статье предложили свой вариант энергопоглощающей конструкции, которая позволяет снизить аварийность на дорогах и ее последствия. Также следует подчеркнуть исследование британских авторов G. Amato, F. O'Brien, B. Ghosh, C. Simms [9], которые в своем исследовании оценивали потенциал габионов в качестве барьеров безопасности на автомобильных дорогах. Для достижения поставленной цели авторы создали прототип барьера безопасности из габионов, который в процессе исследования был подвергнут тотальной доработке и испытанию с помощью краш-тестов в соответствии с Европейскими стандартами EN1317 для защитных барьеров N1 [9]. Благодаря проделанным краш-тестам в эмпирической части работы авторы выявили, что

столкновение автомобиля и барьера безопасности из габионов привело к опрокидыванию транспортного средства и разрыву габионной сетки.

В работе G. Amato, F. O'Brien, B. Ghosh, C. Simms также подробно рассмотрено дорожное ограждение, изготовленное из габионов. В отличие от классических ограждений конструкции из габионов обладают множеством преимуществ, благодаря которым можно достичь снижения риска возникновения аварий, а также тяжести последствий для человека [8; 10]. На маловажной функции барьера должно быть не только сохранение жизни человека после аварии, а также сохранение транспортного средства, поскольку после дорожно-транспортных происшествий большинство автомобилей невозможно восстановить. Данный фактор имеет отрицательное воздействие для владельцев транспортных средств, так как они в долгосрочной перспективе сталкиваются с большими финансовыми затратами после ДТП [11]. По данной причине следует оценить наиболее эффективное дорожное ограждение, которое удовлетворяла бы всем рассмотренным ранее условиям одновременно.

На сегодняшний день существует четыре вида ограждений, которые применяются в строительстве автомобильных дорог:

- Металлические ограждения.
- Бетонные ограждения.
- Тросовые ограждения.
- Роликовые ограждения.

На практике отечественного дорожного строительства наиболее широко применяются металлические и бетонные дорожные ограждения. Металлические ограждения являются одними из самых популярных в строительстве автомобильных дорог. Они представляют собой конструкцию, которая деформируется при столкновении с ней. Профиль металлических ограждений прикрепляется на отдельных деревянных и стальных стойках. При столкновении автотранспорта конструкция часть энергии принимает на себя амортизатор, который расположен между профилем и стойками. Данные ограждения легко устанавливаются и демонтируются. Они изготавливаются в соответствии с ГОСТ 52607-2006, ГОСТ 52289-2004 и ГОСТ 26804-2016.

Бетонные ограждения изготавливают из бетона или железобетона в виде больших бордюров. Применяют данный вид ограждения:

- Высотой от 35–50 см с крутой кромкой, позволяющие удерживать транспортное средство на проезжей части автомобильной дороги.
- Высотой до 35см, имеющая закругленную кромку.

В зарубежных странах как США, Канада, Австралия и т. д. в некоторых случаях используют тросовые ограждения. Преимуществами данных ограждений являются:

- Низкое значение индекса тяжести (ASI).
- Низкая стоимость конструкции.
- Отсутствие снегозадержания.

Тросовые ограждения обладают высоким уровнем геометрической нелинейности, а грунт и стойки физической нелинейности [4; 6]. Стойки тросовых ограждений предназначены только для поддержания тросов. Следовательно, они не должны оказывать значимое сопротивление при столкновении автомобиля о тросы между стойками, а также излишне жесткими на изгиб.

Стоит также рассмотреть роликовые ограждения, которые были разработаны корейскими учеными. Данные ограждения выполнены на базе высокопрочного каркаса стальной трубы высотой 96 см установленными между ними вращающимися роликами, изготовленными из пластика толщиной 400 мм.

При столкновении с автомобилем данная конструкция начинает сгибаться, тем самым принимает на себя энергию удара и гасит ее. Что касается роликов, то они гасят инерцию автотранспорта и позволяет ее развернуть ее боком к ограждению. Основное преимущество данных ограждений заключается в том, что они по сравнению с бетонными ограждениями они приносят меньше ущерба, а также не рискуют перевернуться [2].

Сегодня также существуют американская разработка барьера SAFER (Steel and Foam Energy Reduction) с демпфирующей системой [1], которая представляет собой удерживающую конструкцию с поглощающими энергию диафрагмами. При столкновении диафрагмы барьера складываются, сменными картриджами имеющие демпфирующие свойства. После столкновения автомобиля и данного барьера картриджи заменяют на новые.

Данный барьер используется на гоночных трассах. Конструкция состоит из внешнего обвода металлического и внутренней гасящей энергию зоны, которая закрепляется на бетонную стену [1]. Представленное дорожное ограждение имеет следующие недостатки:

- Высота габаритов ограждения сокращает видимость дороги.
- В зимний период между демпфирующими диафрагмами будет попадать снег, тем самым система перестанет выполнять эффективно свою функцию.
- Сложность размещения на дороге из-за необходимости возведения бетонной стены.
- Большие расходы на содержание конструкции и ремонт.

Стоит рассмотреть еще один вид защитных конструкций, который имеет большой потенциал для применения на автомобильных дорогах, однако эффективность применения данного типа ограждения эмпирически не оценена – габионные ограждения. В отличие от всех предыдущих барьеров безопасности габионы нигде не применялись и мало исследовались в качестве защитных конструкций. Барьер из габионов представлен на рисунке 1. Габионы имеют широкое применение при строительстве различных гидротехнических сооружений, укреплении откосов, оврагов, косогоров и других дорожно-мостовых сооружений [5].

Рисунок 1. Барьер из габионов (составлено авторами)

Для строительства габионных барьеров используется стальная сетка [3; 7]. В качестве заполнителей могут использоваться как камни различных пород, так и другие материалы, которые по фракции можно будет поместить в габион. На рисунке 2 представлен вид сверху двух габионов, которые могут использоваться в качестве барьеров безопасности на автомобильных дорогах. Основной смысл использования двух габионных конструкций в том, что между ними возможно установить демпфирующие элементы, которые при столкновении с барьером будут гасить удар транспортного средства. В отличие от других барьеров безопасности габионы можно выполнять из различных местных материалов, они несут низкие расходы на устройство, содержание и ремонт, что помогает сэкономить значительные средства.

Что касается энергопоглощающего материала, то возможно использовать, как обычные материалы, такие как песок, термоизол, асфальтогранулят, щебень мелких фракций и т. д. В тоже время возможно использование зарубежных энергопоглощающих систем, таких как демпфирующие диафрагмы, применяемые в системе SAFER или аналоги [1].

*Рисунок 2. Вид сверху барьеров из габионов
с демпфирующими элементами (составлено авторами)*

Стоит добавить ключевые преимущества габионов среди классических конструкций, применяемых в строительстве автомобильных дорог:

- Высокая сопротивляемость нагрузкам, прочность каркасно-армирующих элементов и лицевых граней.
- Коррозионная устойчивость от воздействия воды и атмосферных осадков.
- Долговременность срока службы – от 50 лет.
- Низкие издержки на эксплуатацию и ремонт.
- Простота конструкции, не требующая квалифицированной рабочей силы.
- Минимальные объемы работ по подготовке основания сооружения.
- Не требует дополнительных затрат на устройство дренажных систем.
- Не вызывают проблем климатические или сезонные условия.

Ряд преимуществ габионов дает потенциал и возможность для создания наиболее перспективного дорожного ограждения, который сможет обеспечить безопасность на автомобильных дорогах, а также позволит снизить издержки на материалы, устройство, содержание и ремонт конструкции [9]. Для того, чтобы определить эффективность габионного ограждения следует провести эмпирический анализ с построением модели, которая поможет найти более точные, несмещенные и состоятельные оценки модели. С помощью результатов модели станет возможным определить потенциал данной конструкции, а также удастся

определить и составить требования к заполнителям габионов и сетчатым изделиям конструкции.

В первом приближении для расчета габионных ограждающих конструкций возможно использовать геотехнические программы Plaxis, Midas, LS-DYNA и т. д. Однако для ограждающих конструкций необходимо учитывать динамические нагрузки. Для оценки эффективности габионов в качестве дорожных барьеров наиболее оптимальной программой является LS-DYNA, поскольку данный пакет позволяет решать задачи как в квазистатической, так и динамической постановке. LS-DYNA является наиболее оптимальной программой, который по геометрической модели делает сетку конечных элементов необходимого для упругопластических задач качества [4].

Для проектирования габионов с демпфирующими элементами необходимо учитывать динамические нагрузки, возникающие при взаимодействии с автомобилями разной массы и имеющих различные скорости и векторы взаимодействия. Необходимо получить жесткость и устойчивость габиона которые позволят создать условия, при которых автомобиль и человек поучат минимальный ущерб. Модель ограждения включает в себя модель габионного ограждения и легкового автомобиля, которая имеет следующий вид:

$$M_y = EI_{xx}(k_x - k_x^0) \quad (1)$$

$$M_x = EI_{yy}(k_y - k_y^0) \quad (2)$$

$$T_z = C(t_z - t_z^0) \quad (3)$$

где:

M – момент;

E – модуль упругости;

I – момент инерции;

k – кривизна;

T – крутящий момент;

t – угол закручивания;

C – жесткость на кручение.

Смещения, возникающие в процессе удара транспортного средства с ограждением, определяется по следующей формуле:

$$a = \sqrt{\left[\frac{(T - F_e)}{(2AE)} * L + 1 - b \right] \left[\frac{(T - F_e)}{(2AE)} * L \right]} \quad (4)$$

где:

A – рабочая площадь сечения троса;

L – расстояния между опорами ограждения;

b – ширина контактирующей части автомобиля.

Скорость в момент контакта ограждения и автомобиля принимают равной средней скорости на участке 5 м перед ограждением с точностью 0,1 м/с.

Фактическую энергию соударения E , кДж, вычисляют по формуле:

$$E = 0.5Q(v * \sin \alpha)^2 \quad ()$$

где:

Q – масса автомобиля, т;

V – скорость движения автомобиля перед соударением, м/с;

α – угол наезда, ... °.

Ускорения в центре масс в трех направлениях определяют по спектру ускорений и выражают в единицах g (что является фактически инерционными перегрузками). Рассматривают участки в зоне самых высоких перегрузок. Определяют средние перегрузки на этих участках продолжительностью 50 мс, отфильтрованные по частоте 180 Гц.

Обобщенным показателем инерционной перегрузки в центре масс автомобиля является показатель индекса безопасности И (индекс тяжести травм):

$$И = \left[\left(\frac{N_x}{12} \right)^2 + \left(\frac{N_y}{9} \right)^2 + \left(\frac{N_z}{10} \right)^2 \right]^{0.5} \quad (5)$$

где:

N_x, N_y, N_z – средние значения инерционных перегрузок на рассматриваемом участке вдоль продольной, поперечной и вертикальной осей автомобиля (соответственно), проходящих через центр масс.

Безопасным считается выбег, при котором испытуемый автомобиль после взаимодействия с ограждением движется в пределах полосы шириной C на длине коридора B . Длину коридора принимают равной 10 м или 20 м соответственно при наезде легковым и грузовым (автобусом) автомобилями. Ширину коридора вычисляют по формуле

$$K = C + 0,16L + 0,22B \quad (6)$$

где:

C – габаритная ширина испытуемого автомобиля;

L – габаритная длина испытуемого автомобиля¹.

Рассмотренные выше программные пакеты, а также методы расчета смещения, энергии соударения конструкции и т. п. позволят более корректно оценить эффективность применения габионных дорожных ограждений, а построенная модель позволит получить наиболее оптимальное решение, которое будет удовлетворять условиям Гаусса-Маркова.

Заключение

Таким образом, анализ работ позволил определить теоретические и эмпирические аспекты классических барьеров, новых разработок, применяемых в зарубежных странах, а также было предложено применение габионных конструкций в качестве дорожных ограждений. Проведенный анализ позволил определить преимущества и недостатки каждого вида конструкции. Благодаря этому в работе удалось определить направления для улучшения барьеров, чтобы достичь снижения дорожно-транспортных происшествий на дорогах, а также снижения расходов на конструкцию. Следует сделать вывод, что габионы ограждения имеют большой потенциал для использования их в качестве дорожных ограждений на автомобильных

¹ ГОСТ Р 52721-2007 Технические средства организации дорожного движения. Методы испытаний дорожных ограждений <https://files.stroyinf.ru/Data1/50/50712/index.htm>.

дорогах. Однако, для того чтобы в этом убедиться, необходимо провести эмпирическое исследование данного барьера безопасности с учетом построения модели для ее оценки.

Проведенные исследования и опыт дорожно-мостового строительства ряда стран, включая и отечественный опыт последних лет, продемонстрировал, что габионные конструкции обладают весьма широкими возможностями их применения как для укрепления откосов, склонов, подмостовых конусов, береговых линий и русел.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев К.П., Терентьев В.В., Шемякин А.В. Применение дорожного энергопоглощающего ограждения для повышения безопасности движения // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2018. №1. С. 5–12.
2. Демьянушко И.В., Карпов И.А. Моделирование наезда автомобиля на стойку дорожного ограждения // Транспортное строительство. 2013. №10. С. 16.
3. Иванов И.А., Медведев С.С. Габионы в мелиорации и дорожном строительстве. – Улан-Удэ, 2005. – 121 с.
4. Карпов И.А. Разработка конечно-элементных моделей тросовых дорожных ограждений с использованием программного комплекса ls-dyna // Автомобиль, Дорога, Инфраструктура, 2014. №2(2). С. 1–11.
5. Перевозников Б.Ф. Автомобильные дороги. Дорожно-мостовые габионные конструкции и сооружения. Обзорная информация. Выпуск 2 / Б.Ф. Перевозников, В.Л. Селиверстов. – Информавтодор, 2001.
6. Тавшавадзе Б.Т. Моделирование тросовых ограждений в городских паркингах// Автомобиль, Дорога, Инфраструктура, 2014. №2(2). С. 12–19.
7. Шеина Т.В., Авдеева Е.А. Габионные и армогрунтовые конструкции // Градостроительство и архитектура. 2017. Т.7, No3. С. 50–56.
8. Amato G., O'Brien F., Simms C.K. and Ghosh B., Multibody modelling of gabion beams for impact applications, International Journal of Crashworthiness 18 (2013), pp. 237–250.
9. Amato, G., O'Brien, F., Ghosh, B., & Simms, C. (2015). Gabions: evaluation of potential as low-cost roadside barriers. International Journal of Crashworthiness, 20(1), 12–26.
10. Brown, C.T. (1979) Gabion report on some factors affecting the use of Maccaferri gabions and Reno-mattresses for coastal revetments, Water Research Laboratory, The University of New South Wales, Report No. 156, 75 p.
11. Silberman, E. Effect of helix angle on flow in corrugated pipes. [Closure discussion]. Proceedings A.S.C.E. Journal of the Hydraulics div., v. 98, No 8, 1972.

Badoyan Narek Shagenovich

Perm national research polytechnical university, Perm, Russia
E-mail: n.s.badoyan@gmail.com

Shepeteva Ludmila Stanislavovna

Perm national research polytechnical university, Perm, Russia
E-mail: shls54@mail.ru

Pugin Konstantin Georgievich

Perm national research polytechnical university, Perm, Russia
E-mail: 123zzz@rambler.ru

Justification of the use of gabion structures to create barrier fences in the construction of roads

Abstract. This research is devoted to the topic of gabion barriers as a tool to protect against road accidents on highways. Nowadays, the growth of vehicles has led to an increase in traffic accidents. Due to the fact that classic road barriers that are used on highways don't always effectively perform their function, exists a need to configure a new more effective road barrier which would reduce traffic accidents as well as the cost of materials, device, maintenance and repair designs. The article provides a detailed analysis of the barrier fences used in the construction of roads of many countries. The paper deals with the theoretical and empirical aspects of road barriers. The article analyzes the traditional road barriers new foreign developments and a new type of gabion fencing, which was not considered by investigators as a tool for protection against road accidents on highways. For empirical evaluation of the benefits of gabions from classical barrier fences, the article presented a model of fencing, as well as software packages by which to evaluate the effectiveness of gabions as security barriers. The research and experience of road and bridge construction in many countries, including the domestic experience of recent years, demonstrated that gabion structures have very wide capabilities and properties, such as economy, durability and durability, which are key in the construction of roads.

Keywords: gabion structures; mattress gabions; culvert pipe; strengthening of river beds and slopes; box-shaped gabions; cylindrical gabions; heads of culvert pipe

REFERENCES

1. Andreev K.P., Terentyev V.V., Shemyakin A.V. (2018). The use of road energy absorbing fences to improve traffic safety. *Transport. Transport facilities. Ecology*, 1, pp. 5–12 (in Russian).
2. Demyanushko I.V., Karpov I.A. (2013). Simulation of car hitting a road fence rack. *Transport Construction*, 10, p. 16 (in Russian).
3. Ivanov I.A., Medvedev S.S. (2005). Gabiony v melioratsii i dorozhnom stroitel'stve. [*Gabions in amelioration and road construction.*] Ulan-Ude, p. 121.
4. Karpov I.A. (2014). Development of finite element models of cable road barriers using the ls-dyna software package. *Automobile, Road, Infrastructure*, 2(2), pp. 1–11 (in Russian).
5. Perevoznikov B.F., Seliverstov V.L. (2001). Avtomobil'nye dorogi. Dorozhno-mostovye gabionnye konstruksii i sooruzheniya. Obzornaya informatsiya. Vypusk 2. [*Car roads. Road and bridge gabion structures and structures. Survey information. Issue 2.*] Informavtodor.
6. Tavshavadze B.T. (2014). Modeling of cable barriers in city parking lots. *Automobile, Road, Infrastructure*, 2(2), pp. 12–19 (in Russian).
7. Sheina T.V., Avdeeva E.A. (2017). Gabion and armored soil structures. *Urban planning and architecture*, 3(7), pp. 50–56 (in Russian).
8. Amato G., O'Brien F., Simms C.K., Ghosh B. (2013). Multibody modelling of gabion beams for impact applications. *International Journal of Crashworthiness*, 18, pp. 237–250.
9. Amato G., O'Brien F., Ghosh B., Simms C. (2015). Gabions: evaluation of potential as low-cost roadside barriers. *International Journal of Crashworthiness*, 20(1), pp. 12–26.
10. Brown C.T. (1979). Gabion report on some factors affecting the use of Maccaferri gabions and Reno-mattresses for coastal revetments, Water Research Laboratory. *The University of New South Wales, Report*, 156, p. 75.
11. Silberman E. (1972). Effect of helix angle on flow in corrugated pipes. [Closure discussion]. *Proceedings A.S.C.E. Journal of the Hydraulics*, 8(98).