

**А.А. Трапезников, Р.Э. Борисов, Д.А. Щербаков, В.В. Кошелев,
Д.А. Чуркин, А.П. Мордвинов, Н.А. Богоявленский**

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

МАТРИЧНЫЙ МЕТОД ВЫБОРА ОГРАЖДЕНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ МОСТАХ И ДОРОГАХ

Рассмотрены вопросы проектирования барьерных ограждений на дорогах и мостовых конструкциях. Подробно описаны параметры и характеристики барьерных ограждений на дорогах и мостах. Представлены таблицы и графики параметров ограждений. Отражены общие требования современных актуализированных нормативных документов (ГОСТы и рекомендации по применению ограждающих устройств на мостовых сооружениях и автомобильных дорог). Значительное внимание уделено методам выбора типа барьерного ограждения. Цель статьи – показать рациональный подход к выбору дорожного ограждения для безопасной эксплуатации автомобильных дорог, мостовых сооружений и безопасности участников дорожного движения: водителей и пассажиров автотранспортных, безмоторных и гужевых средств передвижения, пешеходов, домашнего и дикого скота. Барьерные ограждения считаются простым элементом дорожной инфраструктуры, но одновременно очень важным, поскольку благодаря знаниям об их проектировании можно значительно сократить количество аварийных ситуаций на дороге, тем самым предотвратить возможное ДТП и максимально снизить ущерб в нем, если таковое произошло. В статье представлены практические знания, которые помогут ответить на проблемные вопросы, связанные с ограждением безопасности на автомобильных дорогах общего пользования и мостовых конструкциях.

Ключевые слова: барьерное ограждение, параметры барьерного ограждения и дорожных конструкций, удерживающая способность, высота ограждения, допустимые прогибы.

**A.A. Trapeznikov, R.E. Borisov, D.A. Shcherbakov, V.V. Koshelev,
D.A. Churkin, A.P. Mordvinov, N.A. Bogoiavlenskii**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

MATRIX METHOD FOR SELECTING SAFETY FENCES ON ROAD BRIDGES AND MOTORROADS

The problems of designing barrier fences on roads and bridge structures are considered. The parameters and characteristics of barrier fences on motorroads and bridges are described in detail. Tables and graphs of fencing parameters are presented. The general requirements of modern updated normative documents (GOSTs and recommendations on the application of safety fences on bridge structures and motorroads) are discussed. Considerable attention is paid to the methods of choosing a type of barrier fencing. The main goal of the article is to show a rational approach to choosing a road fence for the safe operation of roads, bridge structures and the safety of road users: drivers and passengers of motor vehicles, non-motorized and horse-drawn vehicles, pedestrians, livestock and wild cattle. Barrier fences are considered a simple element of road infrastructure, but at the same time very important, because due to the knowledge of their design it is possible to prevent the number of accidents and reduce damage of an accident. In the article practical knowledge are presented, that will help answering the problem questions related to safety fencing on public motorroads and bridge structures.

Keywords: barrier fencing, barrier fencing and road structures parameters, holding capacity, fence height, allowable deflections.

Дорожные ограждения на сегодняшний день являются неотъемлемой частью конструкций дорог и мостов, позволяя обеспечить безопасность дорожного движения. Все дорожные ограждения делятся на типы в зависимости от вида гашения энергии удара (табл. 1).

Таблица 1

Дорожные ограждения по принципу работы подразделяются на типы

№ п/п	Тип дорожного ограждения	Принцип работы
1	Барьерные	Энергию удара гасят за счет деформации материала конструкций
2	Парапетные	Энергию удара гасят за счет подъема колес, уменьшающего опрокидывающий момент
3	Тросовые	Энергию удара гасят за счет натяжения тросов и демпфирования удара за счет трения в системе
4	Комбинированные	Энергию удара гасят за счет совместного действия

Выбор типа дорожного ограждения напрямую зависит от конструктивных параметров автомобильных дорог и мостов, а также характеристик самих ограждений (рис. 1).

Одной из самых важных характеристик барьерного ограждения является его удерживающая способность (энергоемкость) – это способность ограждения удерживать транспортные средства на дороге и мостовом сооружении, при этом не позволяя им опрокинуться или переехать через него. Удерживающая способность делится на уровни, каждый из которых имеет свой диапазон энергии удара (рис. 2). Ее определяют в зависимости от категории дороги, разрешенной скорости и групп дорожных условий (рис. 3).

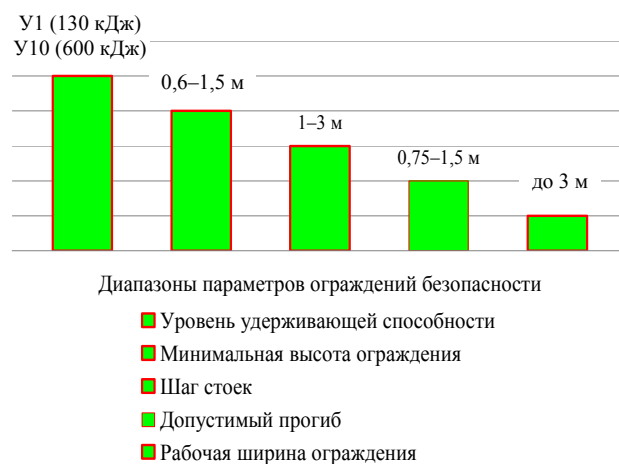


Рис. 1. Основные параметры барьерного ограждения

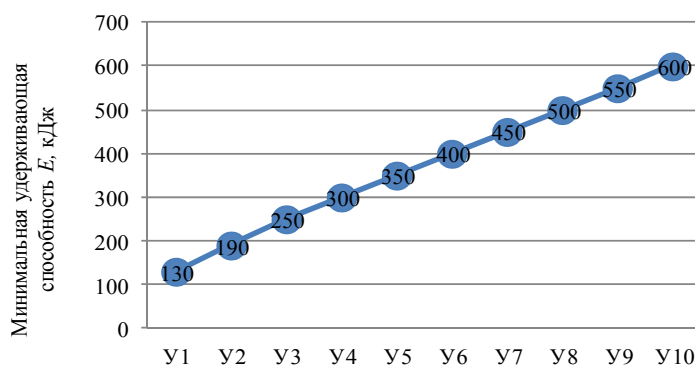


Рис. 2. Уровни удерживающей способности дорожных ограждений

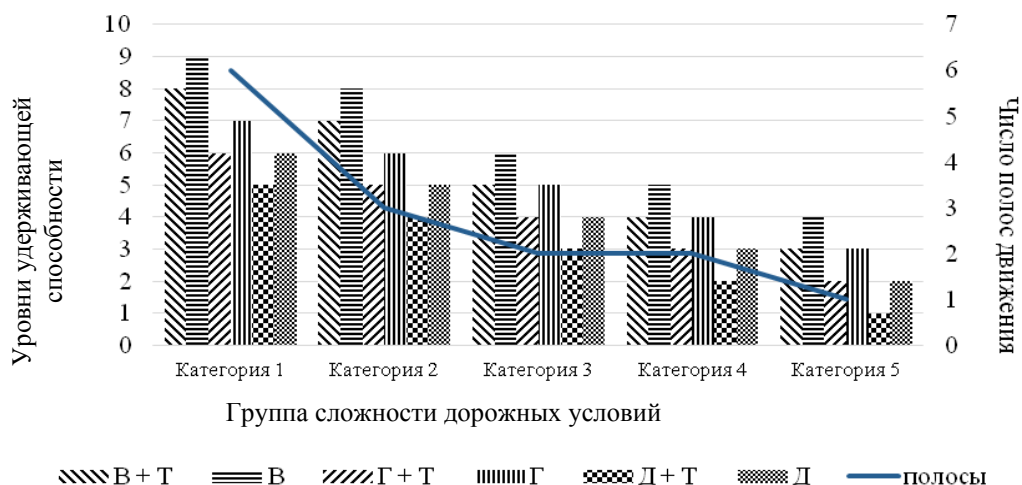


Рис. 3. Уровни удерживающей способности на мостовых сооружениях автомобильных дорог

Второй важной характеристикой является высота барьерного ограждения, обеспечивающая устойчивость автомобиля против опрокидывания (рис. 4). Высотой ограждения считается расстояние от наивысшей точки ограждения до уровня покрытия обочины, дороги или разделительной полосы, измеренное у края ограждения со стороны проезжей части. Высота определяется исходя из параметров элементов проезжей части дороги (рис. 5, 6), ширины тротуара (рис. 7, а, б), а также технических условий предприятий – изготовителей ограждений.

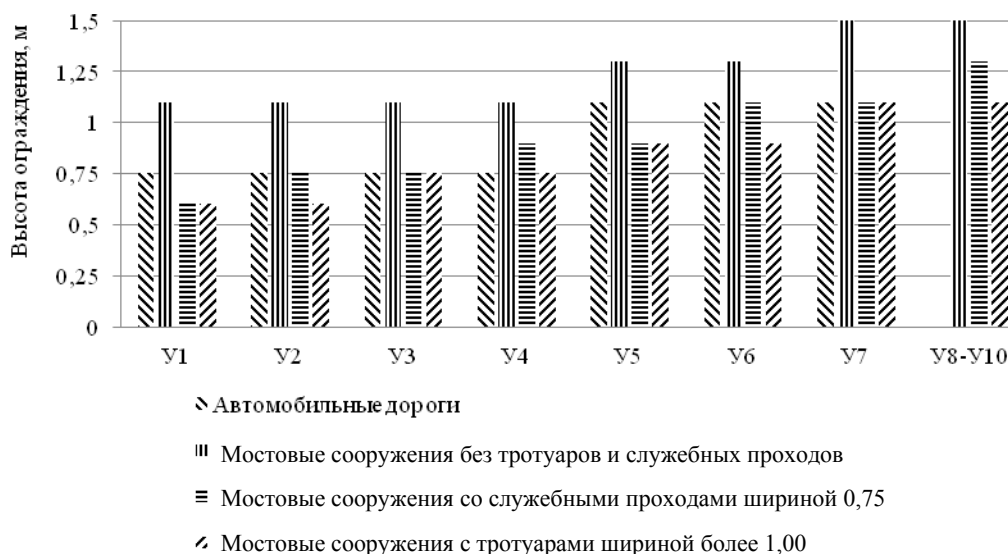


Рис. 4. Минимальная высота ограждения

Помимо высоты, тросовые и барьерные ограждения характеризуются расстоянием между стойками. В настоящее время у современных ограждений стойки располагают на расстоянии от 2 до 3 м, так как данный показатель существенно влияет на динамический прогиб этого ограждения. Чем меньше шаг стоек, тем меньше динамический прогиб, но при этом увеличивается стоимость самого ограждения. Также изменение шага стоек может влиять на изменение уровня удерживающей способности ограждения.

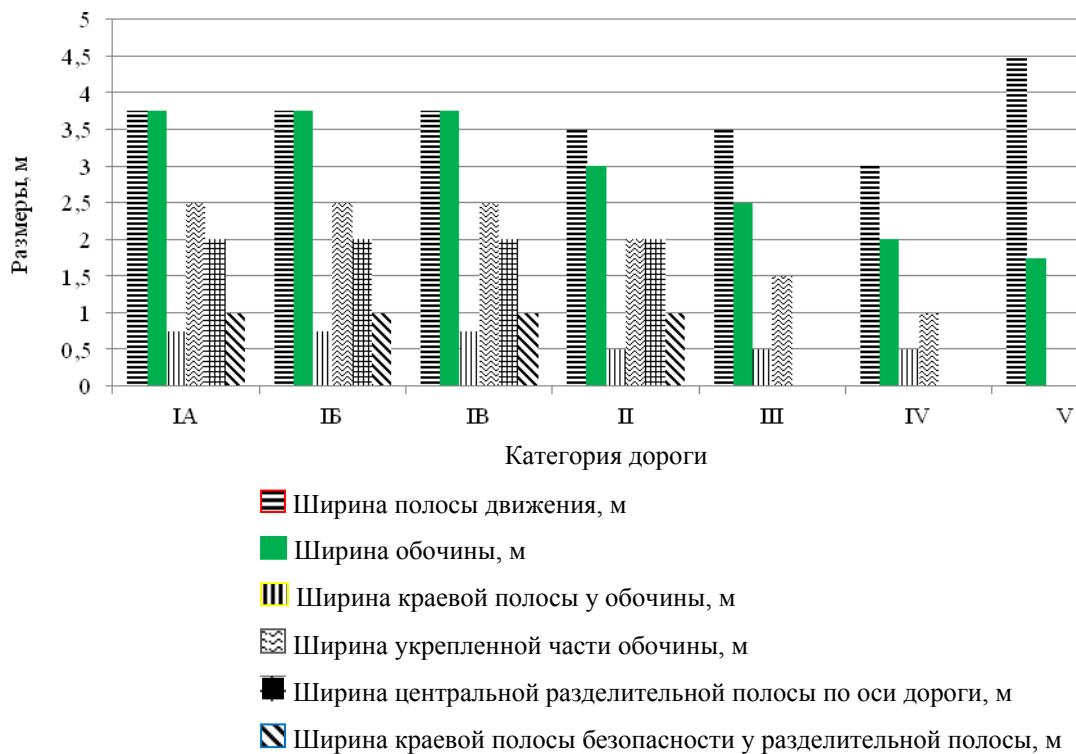
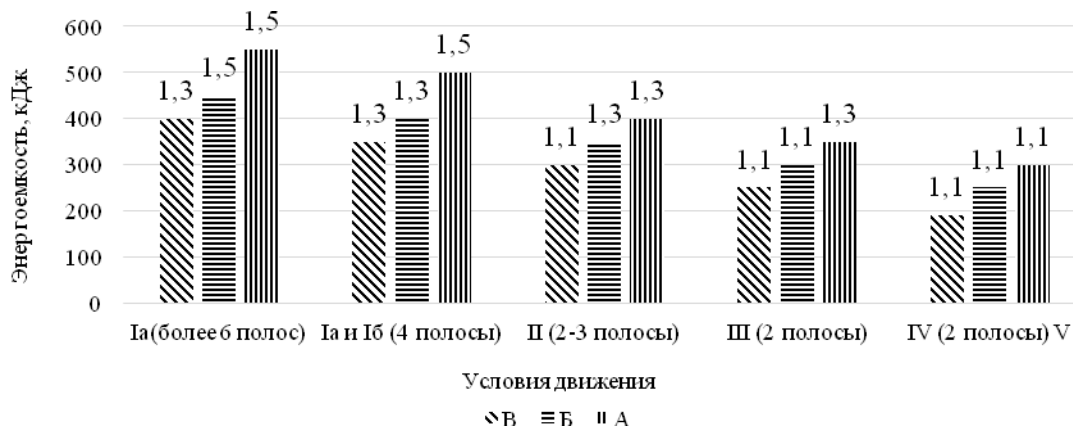


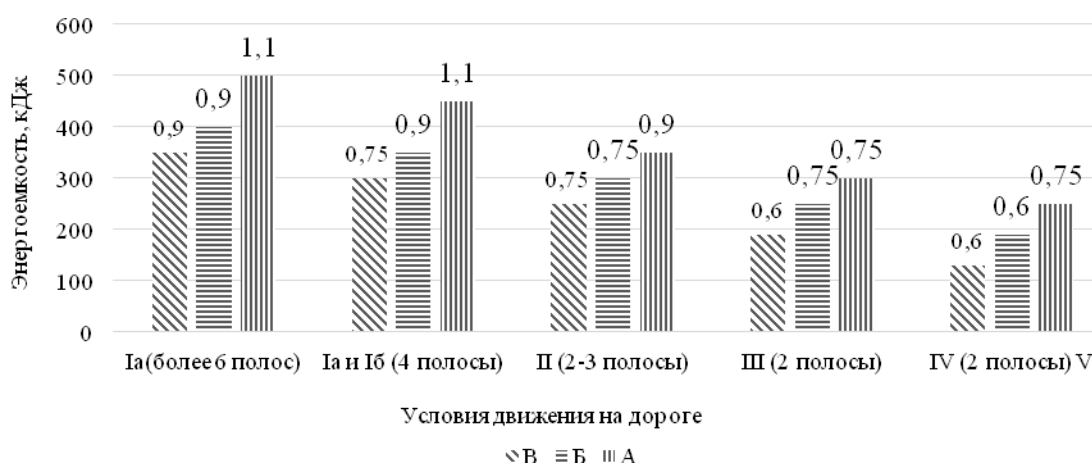
Рис. 5. Параметры элементов проезжей части дороги



Рис. 6. Параметры элементов проезжей части мостов



а



б

Рис. 7. Зависимость энергоёмкости от высоты ограждения: а – тротуары отсутствуют; б – тротуары имеются

Динамический прогиб ограждения – это максимальное перемещение лицевой поверхности ограждения со стороны проезжей части в поперечном горизонтальном направлении относительно лицевой поверхности ограждения до наезда на него транспортного средства (рис. 8).

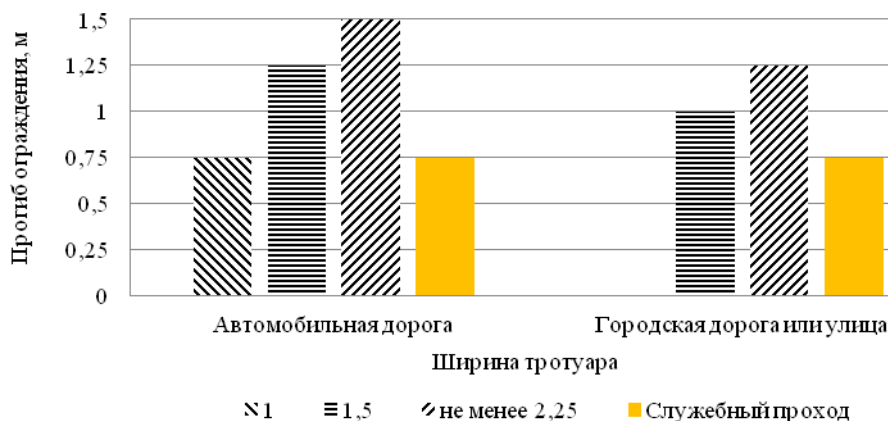


Рис. 8. Допустимый прогиб ограждения

Главными элементами конструкции, характеризующими прогиб ограждения, являются шаг стоек и их поперечное сечение, толщина листа балки ограждения, количество тросов и их расположение относительно стоек. Прогиб барьерного ограждения на автомобильных дорогах без служебных проходов или тротуаров не должен превышать 1,0 м, а прогиб тросового ограждения допускается больше 1,0 м. При установке тросового ограждения на радиусах менее 400 м для снижения динамического прогиба необходимо уменьшать расстояние между стойками (шаг). Ниже приводится зависимость динамического прогиба от шага стоек при длине участка в 200 м:

Шаг между стойками	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
Динамический прогиб, %	68	79	89	100	121	142	163

Автомобильные дороги в зависимости от их транспортно-эксплуатационных качеств и потребительских свойств подразделяют на пять категорий: с I по V. Каждая из категорий имеет свои разрешенные скорости (рис. 9) и уровни удерживающей способности (энергоёмкости) ограждения безопасности (рис. 10).

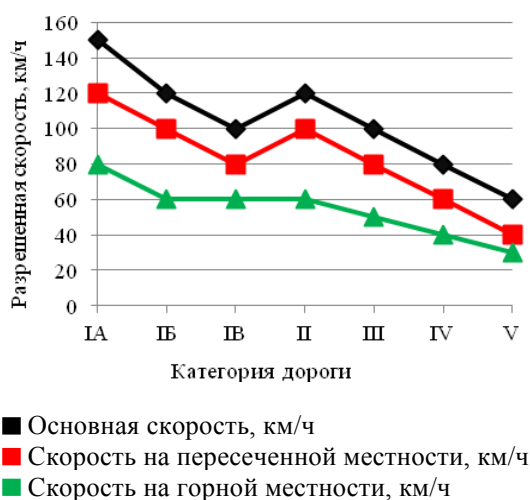


Рис. 9. Зависимость разрешенной скорости от класса дороги

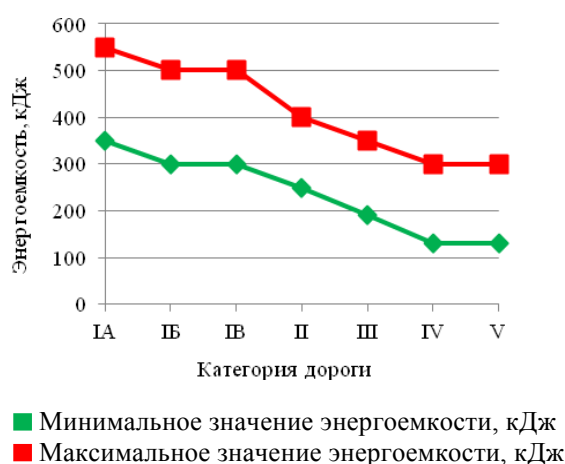


Рис. 10. Зависимость энергоёмкости от категории дороги

Разрешенная скорость, выбираемая на дороге, зависит от продольного уклона (рис. 11) и радиуса поворота дороги в плане (рис. 12), если таковые имеются. Это существенно влияет на выбор удерживающей способности ограждения безопасности и его высоты.

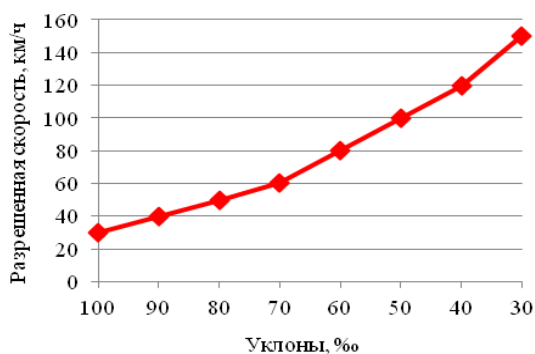


Рис. 11. Зависимость разрешенной скорости от продольного уклона

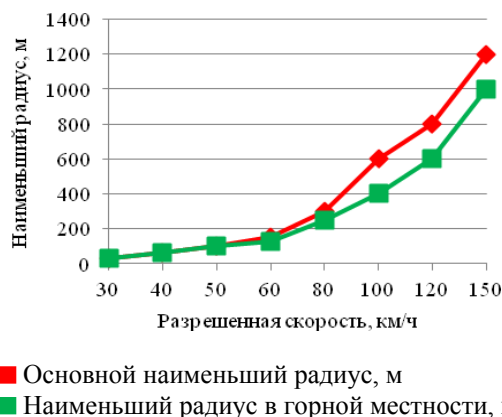


Рис. 12. Зависимость скорости от радиуса

На основании полученных данных можно составить зависимость удерживающей способности от высоты для разных видов ограждений безопасности (рис. 13).

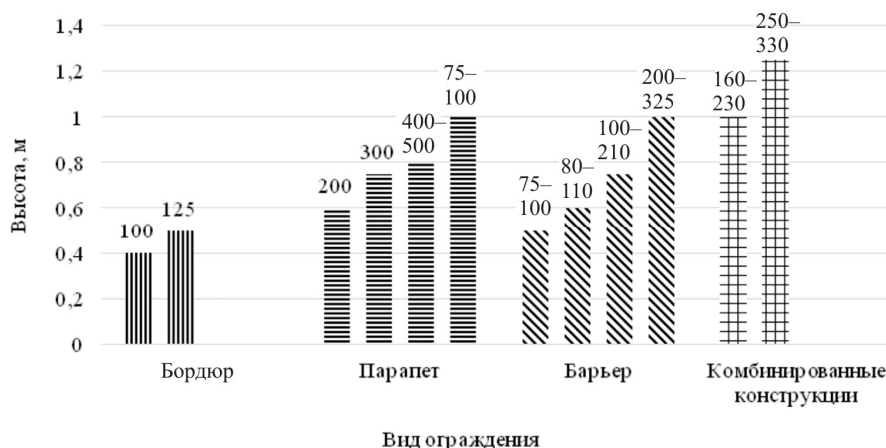


Рис. 13. Удерживающая способность (энергоемкость, кДж)

Дорожные ограждения безопасности, как и другие элементы конструкций дорог, подвергаются испытаниям, определяющим их соответствие потребительским качествам. Испытания проводят в соответствии с ГОСТ 33129–2014. Они бывают стендовые и натурные. По результатам испытаний устанавливаются основные потребительские характеристики: значение удерживающей способности, динамический прогиб и рабочая ширина (табл. 2).

Таблица 2

Виды испытаний барьерного ограждения

№ п/п	Испытания	Цель испытания
1	Стендовые испытания	Проверка прочности и надежности крепления элементов ограждения между собой и к основанию
2	Ударные Статические	
3	Натурные испытания	Проверка соответствия конструкции ограждения требованиям безопасности и установление предельного значения удерживающей способности

На стендовых статических испытаниях проверяют фрагменты или отдельные детали конструкции всех типов дорожных ограждений. Испытания выполняют, как правило, на стадии разработки конструкции. Ударные испытания проводят на площадках с разным покрытием: жестким, грунтовым и варьируемым (например, асфальтобетонным). Также используют ударную технику массой 850 кг, которую разгоняют до 30 км/ч и ударяют о барьерное ограждение.

Натурные испытания проводят с целью определения фактических значений удерживающей способности и других характеристик дорожных ограждений.

Удерживающую способность при ударе U , кДж, рассчитывают по формуле

$$U = 1 / 2 M V^2 \sin^2 a, \tag{1}$$

где M – масса автомобиля (варьируется от 1 до 35 т); V – скорость в момент наезда (от 50 до 100 км/ч в зависимости от вида испытываемого транспорта); a – угол удара (может быть как прямым, так и острым, измеряется в градусах).

Барьерные ограждения, как и дороги, под действием окружающей среды со временем теряют свои функциональные качества. Такое свойство конструкций называется износом. Согласно ОДН 218.017–2003 износ ограждения зависит от безопасной скорости автомобиля:

Износ, %	0–20	50	100
V , км/ч	V_p	$0,7 \cdot V_p$	20

Параметр износа зависит от изменения энергоемкости конструкции, которая характеризуется размерами и состоянием конструкции (бордюрные, парпетные и барьерные).

Износ ограждения определяется по формуле

$$I_{\text{огр}} = \left(1 - \frac{E_{\phi}}{E_{\text{тр}}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{D \cdot E}{E_{\text{тр}}}\right) \cdot 100, \quad (2)$$

где E_{ϕ} – значение энергоемкости для наиболее распространенных отечественных конструкций в зависимости от высоты приведены на рис. 5; $E_{\text{тр}}$ – требуемое значение энергоемкости для мостов на дорогах различной категории; D – показатель дефектности конструкций.

В результате анализа всех вышеприведенных данных можно подобрать метод выбора ограждения безопасности. Наиболее рациональным является матричный метод. Матрица – это, как правило, математическая прямоугольная таблица элементов, представляющая собой совокупность строк и столбцов, на пересечении которых находятся ее элементы. В большинстве случаев такими элементами являются числа. В нашем случае матрица в виде табл. 4 – она наиболее полно отражает выбор параметров ограждений безопасности в зависимости от параметров автомобильных дорог. Также матрица позволяет составить в соответствии с нормативными документами логичные формулы, приведенные ниже.

Пример выбора ограждения безопасности:

Выбор дорожного ограждения безопасности одностороннего металлического для участка автомобильной дороги категории IV, без тротуаров, с уклоном 40 ‰ без радиуса:

1. Определяем условия движения согласно табл. 4: средние.
2. Выбираем удерживающую способность ограждения согласно табл. 4: У4 (4Q).
3. Выбираем высоту ограждения согласно табл. 4: 0,75 м (11Q).
4. Выбираем шаг стоек ограждения согласно табл. 4: 2 м (19Q).
5. Допустимый прогиб ограждения согласно табл. 4: 1,1 м (24Q).
6. Рабочая ширина ограждения согласно табл. 4: 1,1 м (29Q).

На основании выбранных данных можно составить формулу (3) (выбранные обозначения согласно представленному матричному методу = выбранные характеристики ограждения безопасности)

$$4Q + 11Q + 19Q + 24Q + 29Q = 21\text{ДО/У4} - 0,75 \cdot 2 - 1,1(1,1). \quad (3)$$

Выбор дорожного ограждения безопасности одностороннего металлического для участка автомобильной дороги категории III, с тротуаром, с уклоном 35 ‰ и радиусом 900 м (формула (4)):

1. Определяем условия движения: средние;
2. Выбираем удерживающую способность ограждения: У3 (3N).
3. Выбираем высоту ограждения: 0,75 м (11N).
4. Выбираем шаг стоек ограждения: 1,5 м (18N).
5. Допустимый прогиб ограждения: 1,2 м (25N).
6. Рабочая ширина ограждения: 1,2 м (31N).

$$3N + 11N + 18N + 25N + 31N = 21\text{ДО/У3} - 0,75 \cdot 1,5 - 1,2(1,2). \quad (4)$$

Выбор дорожного ограждения безопасности одностороннего тросового для участка автомобильной дороги категории III, без тротуаров, с уклоном 35 ‰ и радиусом 1000 м (формула (5)):

1. Определяем условия движения: средние.
2. Выбираем удерживающую способность ограждения: У4 (4N).
3. Выбираем высоту ограждения: 1 м (13N).
4. Выбираем шаг стоек ограждения: 2 м (19N).
5. Допустимый прогиб ограждения: 2,2 м (26N).
6. Рабочая ширина ограждения: 2,4 м (32N).

$$4N + 13N + 19N + 26N + 32N = 21\text{ДО/У4} - 1\ 2- 2(2,4). \quad (5)$$

Рассмотрим на примере итоговой таблицы (см. табл. 4) зависимость шага стоек барьерного ограждения от его цены на 1 км пути на рабочем участке.

Шаг стоек принимаем 1, 1,5 и 2 м; высота ограждения 0,75 м.

Цена 1 кг веса конструкции – 80 руб.

80 руб. – средняя стоимость металла в европейской части Российской Федерации с учетом покрытия горячего цинкования на конец третьего квартала 2017 г.

Возьмем дорожные ограждения односторонние: 11ДО – рабочий участок на 1 км.

Шаг стоек зависит от веса ограждений и напрямую влияет на его стоимость (табл. 5, 6).

Таблица 5

Стоимость дорожных ограждений

Наименование ограждения	Уровень удерживающей способности	Шаг стоек, м	Прогиб, м	Толщина секции балки, мм	Высота ограждения, м	Сечение стойки швеллер	Вес на 1 км, т	Стоимость 1 кг веса, руб.	Стоимость, тыс. руб.	Сравнение стоимостей, %	Заглубление стоек в грунт, м
11-МО	У3	1,0	0,7	3	0,75	№ 12	33,540	80	2683,20	106	–
11-МО	У3	1,5	0,7	4	0,75	№ 14	31,389	80	2511,14	100	–
15-МО	У3	1,5	0,55	4	0,75	№ 16	33,727	80	2698,16	107	–

Таблица 6

Стоимость мостовых ограждений

Наименование ограждения	Уровень удерживающей способности	Шаг стоек, м	Прогиб, м	Толщина секции балки, мм	Высота ограждения, м	Сечение стойки швеллер	Вес на 1 км, т	Стоимость 1 кг веса, руб.	Стоимость, тыс. руб.	Сравнение стоимостей, %	Заглубление стоек в грунт, м
11-ДО	У3	1,0	1,5	4	0,75	№ 12	37,934	80	3034,78	175	1,1
11-ДО	У3	1,5	1,25	4	0,75	№ 14	32,574	80	2605,98	150	1,1
11-ДО	У3	2,0	1,0	4	0,75	№ 16	29,889	80	2391,18	138	1,1
11-ДО	У3	2,5	1,35	3	0,75	№ 16	21,600	80	1728,00	100	1,1
11-ДО	У3	3,0	1,0	4	0,75	№ 16	25,300	80	2024,00	117	1,1

В итоге, на основании представленных таблиц и диаграмм зависимостей параметров ограждения и дорог, можно сказать, что выбор ограждения – достаточно сложный процесс, требующий досконального изучения условий движения и особенностей трассы. Рассмотренный матричный метод выбора ограждения является цифровым вариантом подбора того или иного ограждения. Но надо помнить, что при выборе конструкции главным ее критерием должна является безопасность. В данной методике основным критерием является именно безопасность.

Список литературы

1. Аптыкаева Д.З., Тулупова А.В., Богоявленский Н.А. Основные характеристики ограждений безопасности, применяемые на автомобильных дорогах общего пользования и мостах // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2017. – № 2. – С. 19–28.
2. Иашвили М.В., Петров С.В. Безопасность на дороге и в общественном транспорте. – Новосибирск: НГПУ, 2011. – 123 с.
3. Саламахин П.М. Инженерные сооружения в транспортном строительстве. Кн. 2. – М.: Академия, 2007. – 267 с.
4. Булдаков С.И. Проектирование основных элементов автомобильных дорог. – Екатеринбург, 2011. – 275 с.
5. Красильщиков И.М., Елизаров Л.В. Проектирование автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 2003. – 215 с.

6. Варачева С.А. Современные ограждающие устройства на автодорожных мостах // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2008.
7. Жигульский В.И., Слинко Е.В., Полянская Е.К. Требования к дорожным ограждениям и принципы их размещения // Научно-методический электронный журнал «Концепт» – 2015. – Т. 35. – С. 56–60.
8. Ивченко И., Морозова Т., Новизенцев В. В. Анализ влияния мостовых удерживающих ограждений на аварийность // Молодой ученый. – 2011. – № 4, Т. 3. – С. 100–104.
9. Бычковский Н.Н., Пименов С.И. – Саратов: Саратовский государственный технический университет, 2006. – 404 с.
10. Жигульский В.И., Черткова Ю.А. Применение дорожных ограждений в г. Шахты // Научная мысль. – 2015. – № 2. – С. 91–95.
11. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения. – М.: Транспорт, 1993. – 271 с.
12. Пивоварова К.А., Веселов А.В., Домнин В.Ю. Использование новых дорожных ограждений для безопасности движения на автодорогах // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2016. – № 3 (119). – С. 190–194.
13. Черткова Ю.А., Жигульский В.И. Использование дорожных ограждений в условиях крупного города // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. – 2015. – Т. 2, № 1. – С. 236–238.
14. 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.
15. Трапезников А.А., Борисов Р.Э., Богоявленский Н.А. Повышение безопасности на автомобильных мостах и дорогах путем рационального подбора ограждений безопасности // Химия. Экология. Урбанистика. – 2018. – Т. 1. – С. 524–529.

References

1. Aptykaeva D.Z., Tulupova A.V., Bogoiavlenskii N.A. Osnovnye kharakteristiki ograzhdenii bezopasnosti, primeniaemye na avtomobil'nykh dorogakh obshchego pol'zovaniia i mostakh [The main characteristics of safety fences used on public roads and bridges] *Transport. Transportnye sooruzheniia. Ekologiya*, 2017, no. 2, pp. 19-28.
2. Iashvili M.V., Petrov S.V. Bezopasnost' na doroge i v obshchestvennom transporte [Safety on the road and in public transport] Novosibirsk: NGPU, 2011, 123 p.
3. Salamakhin P.M. Inzhenernye sooruzheniia v transportnom stroitel'stve [Engineering constructions in transport construction] Moscow, Akademiia, 2007, 267 p.
4. Buldakov S.I. Proektirovanie osnovnykh elementov avtomobil'nykh dorog [Design of the main elements of roads] Ekaterinburg, 2011, 275 p.
5. Krasil'shchikov I.M., Elizarov L.V. Proektirovanie avtomobil'nykh dorog [Road design] Moscow, Transport, 2003, 215 p.
6. Varacheva S.A. Sovremennye ograzhdaiushchie ustroistva na avtodorozhnykh mostakh. Dorogi i mosty. [Modern fencing devices on road bridges. Roads and bridges.] Moscow, ROSDORNII, 2008, 332 p.
7. Zhigul'skii V.I., Slin'ko E.V., Polianskaia E.K. Trebovaniia k dorozhnym ograzhdeniiam i printsipy ikh razmeshcheniia [Requirements for road fences and principles for their placement] *Nauchno-metodicheskii elektronnyi zhurnal «Konsept»*, 2015, vol. 35, pp. 56-60.
8. Ivchenko I., Morozova T., Novizentsev V.V. Analiz vliianiia mostovykh uderzhivaiushchikh ograzhdenii na avariinost' [Analysis of the influence of bridge holding fences on accident rate] *Molodoi uchenyi*, 2011, no. 4, vol.3, pp. 100-104.
9. Bychkovskii N.N., Pimenov S.I. Zhelezobetonnye mosty. Nauchnoe izdanie. [Reinforced concrete bridges. Scientific publication.] Saratov: Saratovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2006, 404 s.
10. Zhigul'skii V.I., Chertkova Iu.A. Primenenie dorozhnykh ograzhdenii v g.Shakhty [The use of road fences in the city of Shakhty] *Nauchnaia mysl'*, 2015, no. 2, pp. 91-95.
11. Babkov V.F. Dorozhnye usloviia i bezopasnost' dvizheniia [Road conditions and traffic safety] Moscow, Transport, 1993, 271 p.
12. Pivovarova K.A., Veselov A.V., Domnin V.Iu. Ispol'zovanie novykh dorozhnykh ograzhdenii dlia bezopasnosti dvizheniia na avtodorogakh [Use of new road fences for road safety] *Vestnik Donbasskoi natsional'noi akademii stroitel'stva i arkhitektury*, 2016, no. 3(119), pp. 190–194.
13. Chertkova Iu.A., Zhigul'skii V.I. Ispol'zovanie dorozhnykh ograzhdenii v usloviakh krupnogo goroda [Use of road barriers in a large city] *Alternativnye istochniki energii v transportno-tekhnologicheskom komplekse: problemy i perspektivy ratsional'nogo ispol'zovaniia*, 2015, vol. 2, no. 1, pp. 236–238.

14. Andreev K.P., Terent'ev V.V., Shemiakin A.V. Primenenie dorozhnogo energopogloshchaiushchego ograzhdeniia dlia povysheniia bezopasnosti dvizheniia [The use of energy-absorbing road fencing to improve traffic safety] *Transport. Transportnye sooruzheniia. Ekologiya*, 2018, no. 1, pp. 5-12.

15. Trapeznikov A.A., Borisov R.E., Bogoiavlenskii N.A. Povyshenie bezopasnosti na avtomobil'nykh mostakh i dorogakh putem ratsional'nogo podbora ograzhdenii bezopasnosti [Improving safety on road bridges and roads through the rational selection of safety fences] *Proceeding of the all-Russian scientific and practical conference «Khimiia. Ekologiya. Urbanistika»*, 2018, vol. 1, pp. 524-529

Получено 05.08.2019

Об авторах

Трапезников Алексей Андреевич (Пермь, Россия) – студент кафедры «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: ntyjkjubz0914@yandex.ru).

Борисов Ростислав Эдуардович (Пермь, Россия) – студент кафедры «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: rostic96@mail.ru).

Щербаков Дмитрий Александрович (Пермь, Россия) – студент кафедры «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: krasno-chorniiamkar@mail.ru).

Кошелев Владислав Владимирович (Пермь, Россия) – студент кафедры «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: taylorkovlavi@gmail.com).

Чуркин Денис Андреевич (Пермь, Россия) – студент кафедры «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: denis.churkin.97@mail.ru).

Мордвинов Александр Павлович (Пермь, Россия) – студент кафедры «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: mordvinov-97@mail.ru).

Богоявленский Николай Анатольевич (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: nb1848@yandex.ru).

About the authors

Aleksey A. Trapeznikov (Perm, Russian Federation) – Student, Department of Automobile Roads and Bridges, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: ntyjkjubz0914@yandex.ru).

Rostislav E. Borisov (Perm, Russian Federation) – Student, Department of Automobile Roads and Bridges, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: rostic96@mail.ru).

Dmitriy A. Shcherbakov (Perm, Russian Federation) – Student, Department of Automobile Roads and Bridges, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: krasno-chorniiamkar@mail.ru).

Vladislav V. Koshelev (Perm, Russian Federation) – Student, Department of Automobile Roads and Bridges, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: taylorkovlavi@gmail.com).

Denis A. Churkin (Perm, Russian Federation) – Student, Department of Automobile Roads and Bridges, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: denis.churkin.97@mail.ru).

Alexander P. Mordvinov (Perm, Russian Federation) – Student, Department of Automobile Roads and Bridges, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: mordvinov-97@mail.ru).

Nikolay A. Bogoyavlensky (Perm, Russian Federation) – Senior Lecturer, Department of Automobile Roads and Bridges, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: nb1848@yandex.ru).