

## МАТРИЧНЫЙ МЕТОД ВЫБОРА ОГРАЖДЕНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ МОСТАХ И ДОРОГАХ

*Трапезников Алексей Андреевич, студент 4 курса  
кафедры «Автомобильные дороги и мосты»*

*Борисов Ростислав Эдуардович, студент 4 курса кафедры  
«Автомобильные дороги и мосты»*

*Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет, г. Пермь*

*(Научный руководитель – Богоявленский Н.А., старший преподаватель  
кафедры «Автомобильные дороги и мосты»)*

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

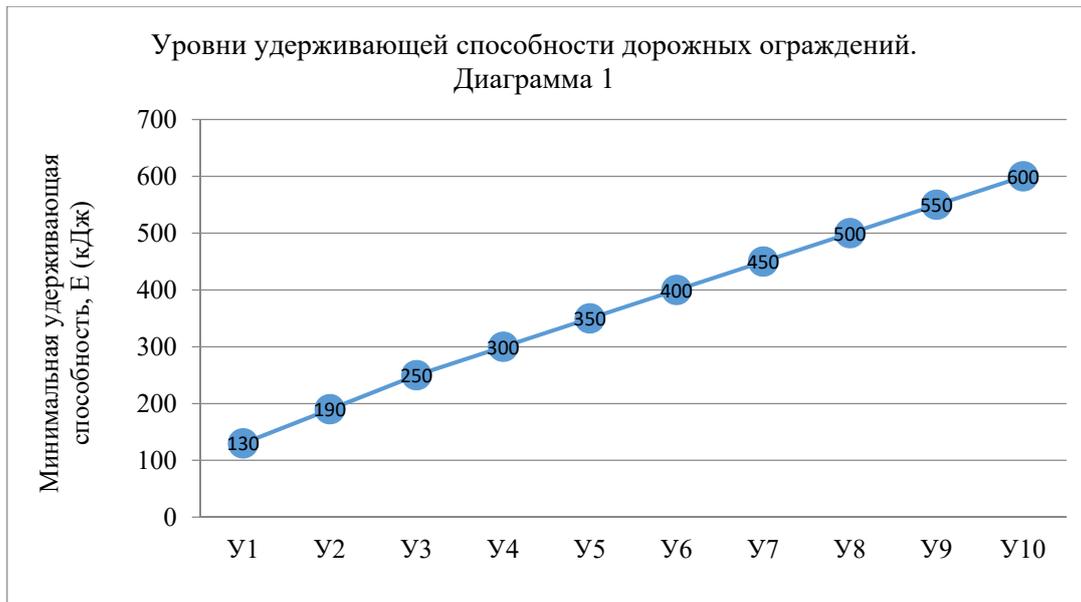
Таблица 1 – Дорожные ограждения по принципу работы подразделяются на типы

	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

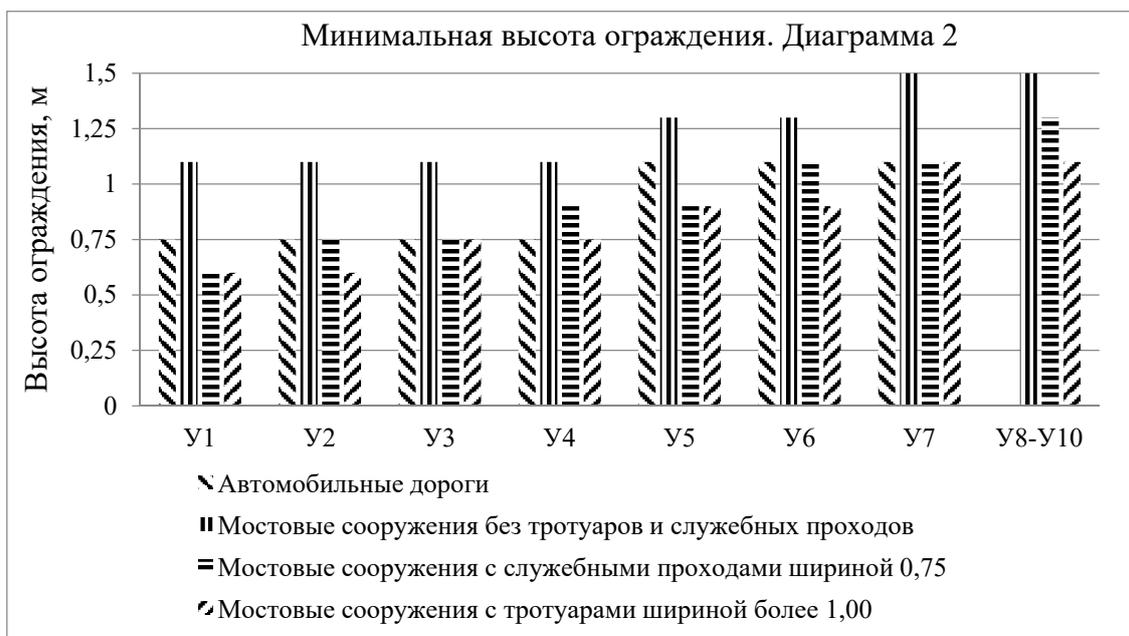
Выбор типа дорожного ограждения напрямую зависит от конструктивных параметров автомобильных дорог и мостов, а также характеристик самих ограждений (см. ГОСТ 52607-2006).

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 (Диаграмма 1). Ее определяют в зависимости от категории дороги, разрешенной скорости и групп дорожных условий.



Второй важной характеристикой является высота барьерного ограждения, обеспечивающая устойчивость автомобиля против опрокидывания (Диаграмма 2). 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 (Диаграмма 3), ширины тротуара, а также техническими условиями предприятий-изготовителей ограждений.



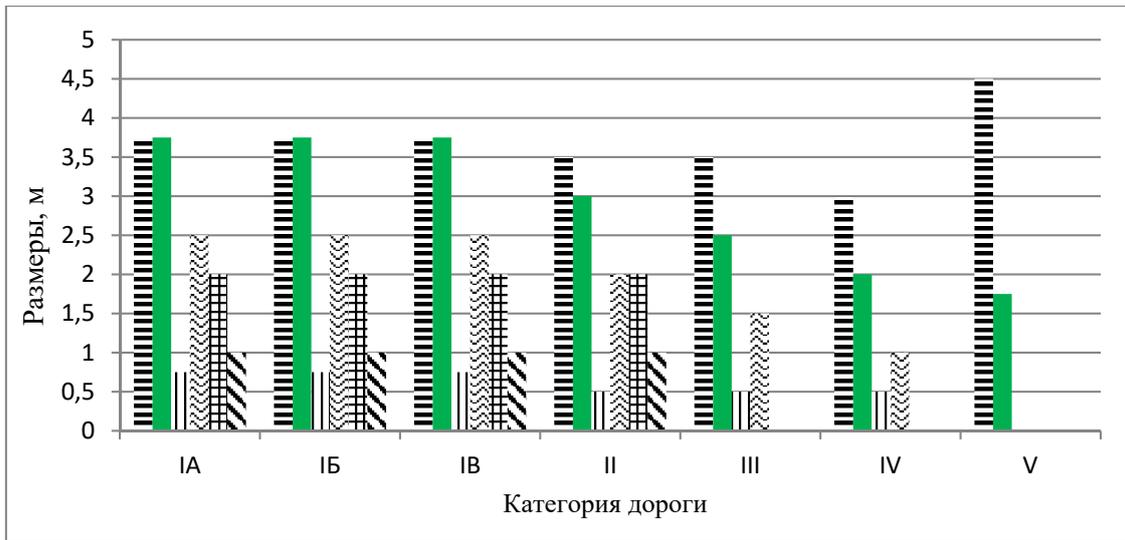
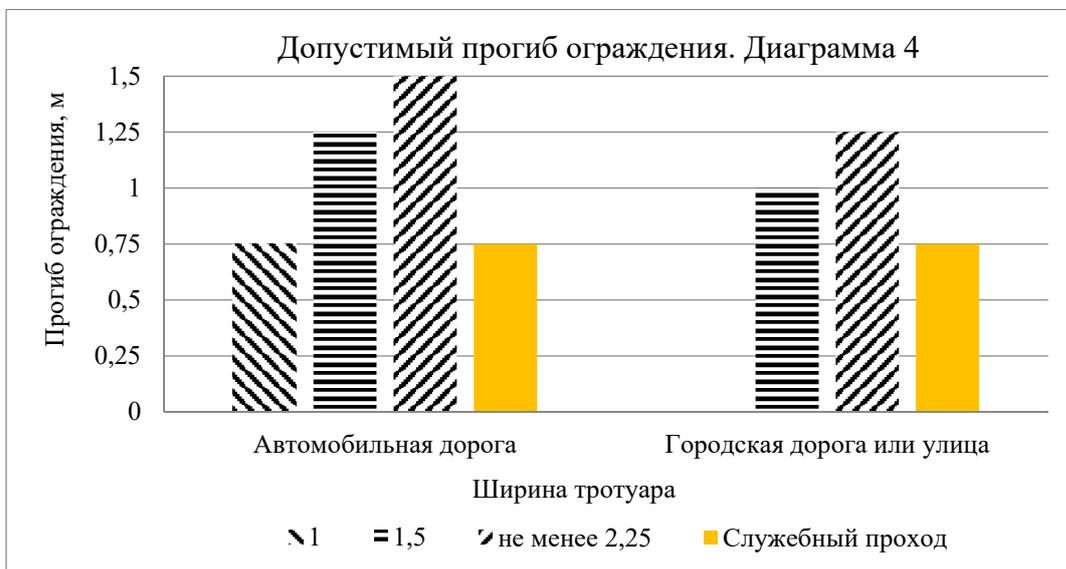


Диаграмма 3 – Параметры элементов проезжей части дороги:

- Ширина полосы движения, м;
- Ширина обочины, м;
- Ширина краевой полосы у обочины, м;
- Ширина укрепленной части обочины, м;
- Ширина центральной разделительной полосы по оси дороги, м;
- Ширина краевой полосы безопасности у разделительной полосы, м.

Помимо высоты тросовые и барьерные ограждения характеризуются расстоянием между стойками. В настоящее время у современных ограждений безопасности стойки располагают на расстоянии от 2-х до 3-х метров, так как этот 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.

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 (Диаграмма 4).



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, но прогиб тросового ограждения допускается больше 1,0 м. При установке тросового ограждения на радиусах менее 400 м для уменьшения динамического прогиба необходимо уменьшать расстояние между стойками (шаг). В таблице 2 приводится зависимость динамического прогиба от шага стоек при длине участка в 200 м.

Таблица 2 – Зависимость динамического прогиба от шага стоек

1.	Шаг между стойками	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
2.	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 (Диаграмма 5) и уровни удерживающей способности (энергоемкости) ограждения безопасности (Диаграмма 6).

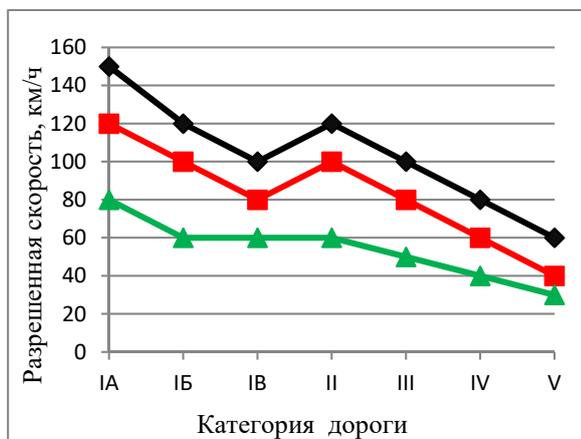


Диаграмма 5. Зависимость разрешенной скорости от класса дороги:

- Основная скорость, км/ч;
- Скорость на пересеченной местности, км/ч;
- Скорость на горной местности, км/ч.

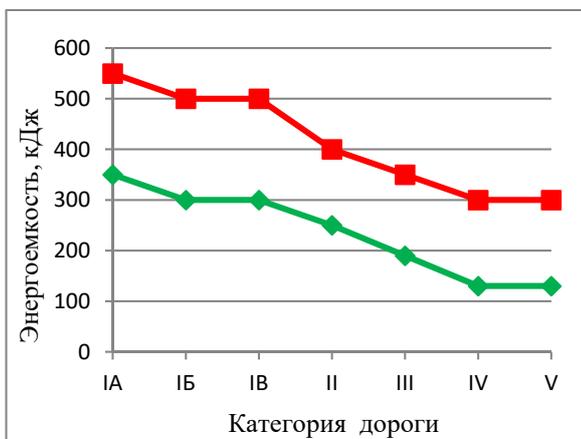
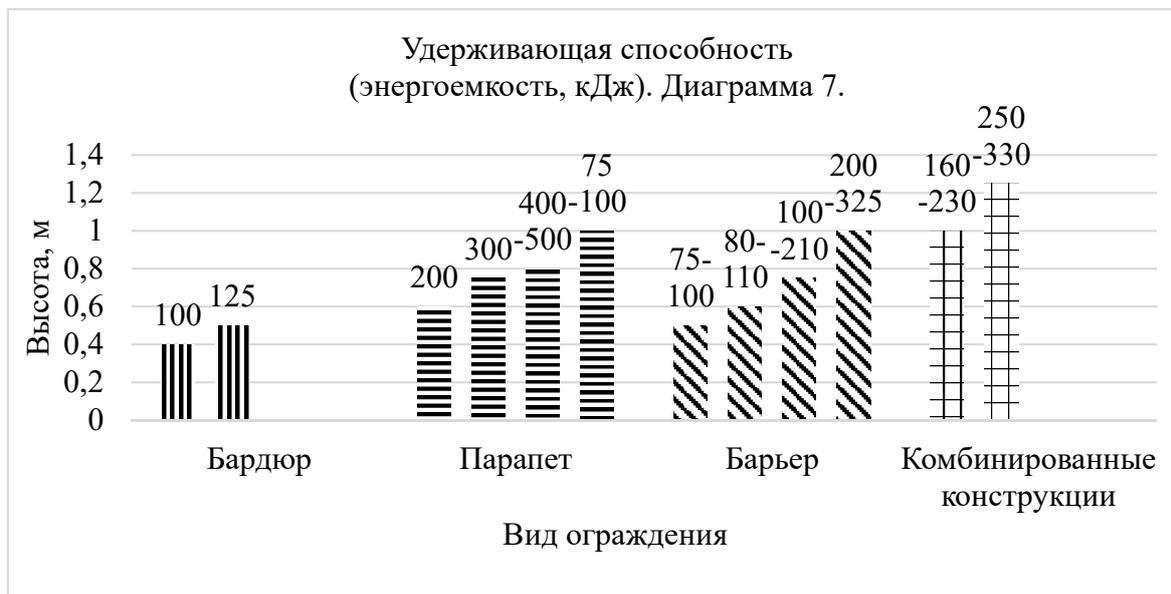


Диаграмма 6. Зависимость энергоемкости от категории дороги:

- Минимальное значение энергоемкости, кДж;
- Максимальное значение энергоемкости, кДж.

Разрешенная скорость, выбираемая на дороге, зависит от продольного уклона и радиуса поворота дороги в плане, если таковые имеются (см. СП 34.13330.2012. «Автомобильные дороги»). Это существенно влияет на выбор удерживающей способности ограждения безопасности и его высоты.

На основании полученных данных можно составить зависимость удерживающей способности от высоты для разных видов ограждений безопасности (Диаграмма 7):



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. 3).

Таблица 3 – Виды испытания барьерного ограждения

	Испытания	Цель испытания
1.	Стендовые испытания	Проверка прочности и надежности крепления элементов ограждения между собой и к основанию
2.	Ударные                      Статические	
3.	Натурные испытания	Проверяют соответствие конструкции ограждения требованиям безопасности и устанавливают предельное значение удерживающей способности.

На стендовых статических испытаниях проверяют фрагменты или отдельные детали конструкции всех типов дорожных ограждений. Испытания проводят, как правило, на стадии разработке 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  $У$ , кДж рассчитывают по формуле (1):

$$У = \frac{1}{2}MV^2\sin^2\alpha(1)$$

где:

- $M$  — масса автомобиля варьируется от 1 до 35 тонн;
- $V$  — скорость в момент наезда от 50 до 100 км/ч в зависимости от вида испытуемого транспорта;
- $\alpha$  — 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 отраслевым дорожным нормам 218.017-2003 износ ограждения зависит от безопасной скорости автомобиля (Табл. 4).

Таблица 4 – Износ ограждения

1.	Износ, %	0-20	50	100
2.	[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, парапетные и барьерные).

Износ ограждения определяется по формуле (2):

$$И_{огр} = \left(1 - \frac{E_{\phi}}{E_{тр}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{Д \cdot E}{E_{тр}}\right) \cdot 100 \quad (2)$$

где:

- $E_{\phi}$  - значение энергоемкости для наиболее распространенных отечественных конструкций в зависимости от высоты приведены на диаграмме 5;
- $E_{тр}$  - требуемое значение энергоемкости для мостов на дорогах различной категории;
- $Д$  - показатель дефектности конструкций.

В результате анализа всех выше представленных 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 её элементы. В большинстве случаев такими элементами являются числа. В нашем случае матрица в виде таблице наиболее полно отражает выбор параметров ограждений безопасности в зависимости от параметров автомобильных дорог.

Таблица 5 – Матричный метод выбора ограждения безопасности

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U				
Характеристик а О.Б.	Категория дороги	IA			IB			IV			II			III			IV			V						
	Условия движения	Легкие $\alpha\% \leq 30$ , $R_m \geq 3000$	Средние $\alpha\% \leq 30$ , $R_m \geq 1500$	Сложные $\alpha\% > 30$ , $R_m < 1500$	Легкие $\alpha\% \leq 30$ , $R_m \geq 2500$	Средние $\alpha\% \leq 30$ , $R_m \geq 1000$	Сложные $\alpha\% > 30$ , $R_m < 1000$	Легкие $\alpha\% \leq 30$ , $R_m \geq 2500$	Средние $\alpha\% \leq 30$ , $R_m \geq 1000$	Сложные $\alpha\% > 30$ , $R_m < 1000$	Легкие $\alpha\% \leq 30$ , $R_m \geq 2000$	Средние $\alpha\% \leq 30$ , $R_m \geq 800$	Сложные $\alpha\% > 30$ , $R_m < 800$	Легкие $\alpha\% \leq 30$ , $R_m \geq 1500$	Средние $\alpha\% \leq 40$ , $R_m \geq 600$	Сложные $\alpha\% > 40$ , $R_m < 600$	Легкие $\alpha\% \leq 30$ , $R_m \geq 1500$	Средние $\alpha\% \leq 50$ , $R_m \geq 600$	Сложные $\alpha\% > 50$ , $R_m < 600$	Легкие $\alpha\% \leq 50$ , $R_m \geq 1000$	Средние $\alpha\% \leq 60$ , $R_m \geq 500$	Сложные $\alpha\% > 60$ , $R_m < 500$				
Выбор типа ограждения																										
1.	Уровни удерживающей способности	У1 (130 кДж)																			1					
2.		У2 (190 кДж)													1			1			1*	1				
3.		У3 (250 кДж)												1,3			1*,3*	1,3			1*,3*	1,3		1*,3	1,3	
4.		У4 (300 кДж)				1,3			1,3					1,1*,3*	1,3			1*,3*	1,3		1*,3*	1,3		1*		
5.		У5 (350 кДж)	1			1,1*	1		1,1*	1				1,1*	1			1*				1*				
6.		У6 (400 кДж)	1*	1			1,1*			1,1*						1,1*										
7.		У7 (450 кДж)		1,1*							1															
8.		У8 (500 кДж)			1						1,1*															
9.		У9 (550 кДж)			1,1*																					
10.		У10 (600 кДж)			1,1*																					
Выбор высоты ограждения																										
11.	Высота ограждения	0,75 м												1,1*	1		1,1*	1,1*	1	1,1*	1,1*	1	1,1*	1,1*	1,1*	
12.		0,9 м																								
13.		1 м				3,3*			3,3*					3,3*	3		3*	3,3*	3	3*	3,3*	3		3*	3	
14.		1,1 м	1,1*	1	1	1,1*	1	1	1,1*	1	1			1*	1,1*			1*				1*				
15.		1,3 м		1*			1*			1*																
16.		1,5 м			1*			1*			1*															
Выбор шага стоек ограждения																										
17.	Шаг стоек	1 м	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
18.		1,5 м	1'	1'		1'	1'		1'	1'		1'	1'	1'	1'	1'	1'	1'	1'	1'	1'	1'	1'	1'	1'	
19.		2 м	1"			1"	1"		1"	1"		1",3	1"	1"	1"	1",3	1"	1"	1"	1",3	1"	1"	1"	1",3	1"	
20.		2,5 м													1'''			1'''					1'''	1'''		
21.		3 м				3			3					3			3			3			3	1''''	1''''	
22.		4 м																					1''''	1''''		
Выбор допустимого прогиба																										
23.	Допустимый прогиб	1 м	1,1'	1'	1	1		1	1		1															
24.		1,1 м	1"	1		1"	1"		1"	1"		1,1',1"	1,1"	1"	1',1",1'''	1,1"	1,1"	1',1",1'''	1,1"	1,1"	1",1"',1''',1''''	1',1",1'''	1,1"	1,1"		
25.		1,2 м				1'	1'		1'	1			1'	1'		1'	1'		1'	1'		1'	1'		1'	
26.		2,2 м										3				3				3			3		3	
27.		2,8 м				3			3				3				3			3			3		3	
Выбор рабочей ширины																										
28.	Рабочая ширина	1	1*	1,1*	1,1*		1,1*	1,1*		1,1*	1,1*			1,1*												
29.		1,1	1			1,1*	1		1,1*	1				1,1*	1,1*	1		1*	1,1*		1*	1,1*	1	1,1*	1*	
30.		1,15													1			1				1*	1			
31.		1,2												1		1*	1		1*	1			1*	1	1	
32.		2,4												3			3			3					3	
33.		2,9				3			3					3				3			3				3	

Описание к таблице:

В таблице представлены ограждения безопасности барьерного (1) и тросового (3) типа дорожные (Д) односторонние (О). Ограждение барьерного типа с удерживающей способностью У1-У4 – одноярусное, с У5-У10 – двухъярусное.

Обозначение:

- 1 – барьерное металлическое ограждение безопасности;
- 3 – тросовое ограждение безопасности;
- \* – отсутствие тротуаров;
- ', ", ", ", ", "" – при выборе высоты ограждения показывает, каким будет допустимый прогиб.

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

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

$$4Q+11Q+19Q+24Q+29Q=21ДО/У4-0,752-1,1(1,1) \quad (3)$$

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);

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

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

Определяем условия движения: средние;

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

$$4N+13N+19N+26N+32N=21ДО/У4-12-2(2,4) \quad (5)$$

Рассмотрим на примере итоговой таблицы (Табл. 5) зависимость шага стоек барьерного ограждения от его цены на 1 км. пути на рабочем участке.

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

Цена 1 кг. веса конструкции - 80 рублей.

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

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

Шаг стоек зависит от веса ограждений и напрямую влияет на его стоимость. (Табл. 6,7).

Таблица 6. – Стоимость дорожных ограждений

№	Наименование ограждения	Уровень удерживающей способности	Шаг стоек, м	Прогиб, м	Толщина секции балки, мм	Высота ограждения, м	Сечение стойки швеллер	Вес в тоннах на 1 км.	Стоимость 1 кг веса, руб.	Стоимость, тыс. руб.	Сравнение стоимостей, %	Заглубление стоек в грунт, м
1	11-МО	У3	1,0	0,7	3	0,75	№12	33,540	80	2683,20	106%	-
2	11-МО	У3	1,5	0,7	4	0,75	№14	31,389	80	2511,14	100%	-
3	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 в тоннах на 1 км.	Стоимость 1 кг веса, руб.	Стоимость, тыс. руб.	Сравнение стоимостей, %	Заглубление стоек в грунт, м
1	11-ДО	У3	1,0	1,5	4	0,75	№12	37,934	80	3034,78	175%	1,1
2	11-ДО	У3	1,5	1,25	4	0,75	№14	32,574	80	2605,98	150%	1,1
3	11-ДО	У3	2,0	1,0	4	0,75	№16	29,889	80	2391,18	138%	1,1
4	11-ДО	У3	2,5	1,35	3	0,75	№16	21,600	80	1728,00	100%	1,1
5	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 дает лишь поверхностный взгляд на способы подбора того или иного ограждения и не является действующим методом. На сегодняшний день, не смотря на обилие технологических характеристик ограждений безопасности, главным показателем выбора ограждения для заказчика является его цена. Но, надо помнить, что при выборе конструкции, главным её критерием должна является безопасность.

#### Литература:

1. Д.З. Аптыкаева, А.В. Тулупова, Н.А. Богоявленский Основные характеристики ограждений безопасности, применяемые на автомобильных дорогах общего пользования и мостах.
2. М.В. Иашвили, С.В. Петров. Безопасность на дороге и в общественном транспорте — Новосибирск: НГПУ, 2011. — 123 с.
3. П.М. Саламахин. Инженерные сооружения в транспортном строительстве. Книга 2 – Москва: Академия, 2007. – 267 с.
4. С.И. Булдаков. Проектирование основных элементов автомобильных дорог – Екатеринбург, 2011. – 275 с.
5. СТО521000-001-01375096-2015 Ограждения дорожные удерживающие тросовые. Технические требования.
6. СТО 589921-001-03984346-2015 Ограждения дорожные удерживающие парапетные. Технические условия.
7. СТО 05765820-001-2015 Ограждения дорожные удерживающие боковые барьерного типа для автомобилей. Технические условия.
8. ГОСТ 26804-2012 Ограждающие дорожные металлические барьерного типа. Технические условия.
9. ГОСТ33129-2014 Дороги автомобильные общего пользования ограждения дорожные. Методы контроля.
10. ГОСТ 33127-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Ограждения дорожные. Классификация.