

Д.М. Абсаметов¹, О.Ж. Рабат¹, Ж.Б. Байнатов²

¹Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова,
г. Алматы, Казахстан

²Центрально-Азиатский университет, г. Алматы, Казахстан

ТЕОРИЯ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА НОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТОРМОЗЯЩИХ И НАПРАВЛЯЮЩИХ БАРЬЕРОВ БЕЗОПАСНОСТИ

Аннотация. В статье приводится теория и методы расчета новых конструкции тормозящих и направляющих барьеров безопасности на автомобильных дорогах. Рассматривается установка специальных устройств на горных перевалах при спуске и поворотах для замедления движения и остановки автомобилей в случае отказа их тормозной и рулевой системы и при гололеде. Расчетная схема представляется в виде натянутых тросов с сосредоточенными массами на упругих опорах возникающие за счёт трения блоков с поверхностью дороги. Рассмотрен упрощенный метод распределения ударных нагрузок между несущими блоками ограждения.

Ключевые слова: тормозной путь, барьеры безопасности, транспортное средство, автомобильная дорога.

...

Түйіндеме. Мақалада қауіпсіздіктің тежеуші және бағыттаушы кедергілерінің жаңа құрылымын есептеудің теориясы мен әдістері келтіріледі. Тежегіш және рульдік жүйе істен шыққан жағдайда және кектайғақ кезінде автомобильдердің қозғалысын баяулату және тоқтату үшін және бұрылу кезінде тау үйінділерінде арнайы құрылғыларды орнату қарастырылады. Есептік схема жолдың үстімен блоктардың үйкелуі есебінен пайда болатын серпімді тіректердегі массаларымен тартылған тростар түрінде ұсынылады. Қоршаудың кетергіш блоктары арасында соққы жүктемелерін белудің оңайлатылған әдісі қарастырылған.

Түйінде сөздер: тежепш жолы, қауіпсіздік кедергілері, келік құралы, автомобиль жолы.

...

Abstract. The article presents the theory and methods to calculate of new design of braking and guiding safety barriers. The article considers installation of special devices on road in mountainous areas at descents and turns for slowing down and stopping vehicles in case of braking and steering system failure and driving on icy roads. The design scheme is presented in the form of stretched cables with concentrated masses on elastic supports caused by the friction of blocks with the road surface. The simplified method to distribute shock loads between bearing blocks of a protection is considered.

Keywords: braking distance, safety barriers, vehicle, road.

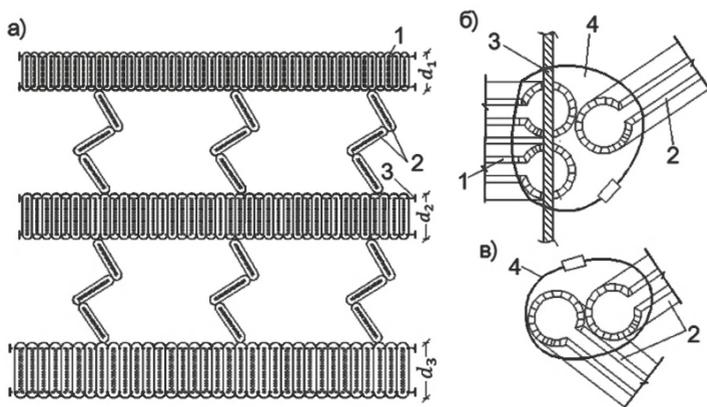
Введение. На горных перевалах при спуске и поворотах ставятся специальные устройства для замедления движения и остановки автомобилей в случае отказа их тормозной и рулевой системы и при гололеде. В качестве удерживающих устройств используются улавливающие сетки с присоединенными боковыми подвижными блоками [1] и различные виды буферных упругих устройств. При взаимодействии автотранспорта с этими устройствами в большей степени повреждается не только передняя часть автомобиля, но и боковые стороны корпуса. Основными недостатками удерживающего устройства с боковыми подвижными блоками являются массивность, протяженность в плане и неэффективность работы. Например, при взаимодействии автотранспорта с улавливающей сеткой по закону теоретической механики появляются большие составляющие силы, которые, опрокидывая подвижные блоки, прижимают автомобиль с двух сторон. Кроме того, на горных дорогах не всегда имеются длинные запасные участки для аварийного заезда автотранспорта.

Основными недостатками устройства буферного типа являются необходимость резервирования большого участка дороги в поперечном направлении, так как при взаимодействии автотранспорта с устройством двухрядный упругий элемент становится четырехрядным; огнеопасность; неэффективность эксплуатации в зимних условиях и при наезде груженых и массивных автомобилей [2]. Гармошкообразная конструкция ЛББ, состоящая из большого количества покрышек разных диаметров, представлена на рисунке 1. Параллельные ряды покрышек, обжатых тросами, устанавливаются фронтально и для совместной работы соединяются гармошкообразными вставками, составленными также из покрышек, причем во вставках покрышки направлены под углом друг к другу. Первый фронтальный ряд представляет с собой покрышки наименьшего диаметра.

В последующих рядах диаметр покрышек увеличивается. Сообразно с увеличением диаметра растет величина реактивного сопротивления рядов наезду ТС. Гармошкообразные вставки между рядами покрышек могут быть выполнены из железобетона, металла, деревянных элементов – главное, конструктивными мерами предусмотреть поворот элементов в углах сопряжений, обеспечивающий складывание вставок [3, 4].

Гармошкообразный ЛББ благодаря функциональному разделению работы фронтальных рядов способен обеспечить безопасному аварийному заезду на площадку всех видов ТС – от легковых до тяжелых

грузовых. ЛББ с направляющими боковыми тросами, заанкерованными в фундаментах, и подвижным рабочим звеном, составленным из поставленных друг на друга покрывшек, стянутых поперечным тросом, концы которого могут перемещаться по направляющим тросам, представлен на рисунке 2. Вертикальные полости блоков покрывшек рабочего звена заполняются песком. Рабочее звено благодаря поперечному тросу совместно с наехавшим ТС перемещается в продольном направлении. При этом участки боковых тросов, расположенные позади рабочего звена, натягиваются, а из вертикальных полостей блоков на площадку высыпается песок. По мере продвижения рабочего звена с ТС вперед промежуток между направляющими тросами расширяется, заклинивая поперечный трос и увеличивая сопротивление его перемещению, что создает условия для торможения и полной остановки ТС.



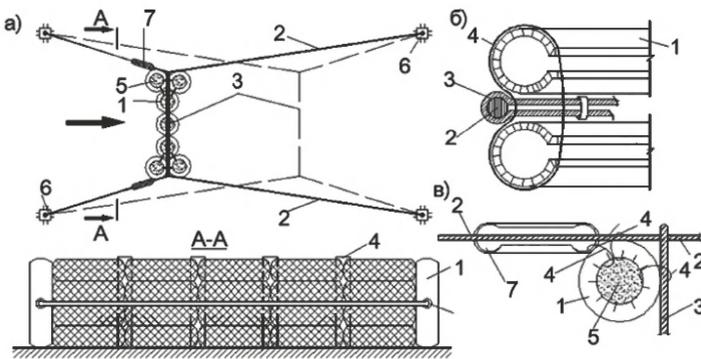
а - общий вид; б, в - соединение покрывшек в «гармошке»;
1 – покрывшка параллельного ряда; 2, 3 – трос; 4 – хомут.

Рисунок 1 - Гармошкообразный ЛББ из автомобильных покрывшек

Методы исследования. Предложена простая, но более эффективная конструкция лобового устройства. Устройство состоит из нескольких кольцеобразных блоков в виде ёмкостей установленных плотно в шахматном порядке поперек дороги и соединенные между собой свободно натянутыми тросами [5].

Для повышения массивности блоки заполнены инертными материалами (песок, грунт, щебень, камни и т.д.). Тросы крепятся на

тумбовые опоры расположенные на обочине дороги (рисунок 2). При взаимодействии автотранспорта с лобовым устройством, блоки перемещаются по направлению движения и останавливаются при натянутом состоянии удерживающих тросов [6]. Блоки могут быть изготовлены из автопокрышек, что повышает деформативность всего устройства, за счёт чего автотранспорт получит минимальные повреждения, а пассажиры не получают серьезных травм. Ещё одна особенность состоит в том, что используются старые автопокрышки и тросы.



а – общий вид в плане (пунктирной линией обозначено положение барьера после наезда транспорта); б – вид со стороны наезда транспорта; в – схема соединения покрышек с тросами и взаимное расположение направляющего и поперечного тросов. 1 – покрышка; 2 – направляющий трос; 3 – поперечный трос; 4 – хомут; 5 – песок; 6 – опорная тумба; 7 – бортовые автопокрышки

Рисунок 2 - Подвижный барьер с направляющими тросами

Расчёт опор и поперечного троса лобового ограждения. Расчетная схема представляется в виде натянутых тросов с сосредоточенными массами на упругих опорах возникающих за счёт трения блоков с поверхностью дороги. Для упрощения расчетной схемы рассмотрим три массы. Так как трос гибкий и воспринимать изгибающие моменты не может, то в любом сечении, в том числе и на опорах, усилия могут быть направлены только вдоль троса. Поэтому реакции опор будут направлены по касательным к тросу [7].

Вертикальные и горизонтальные реакции опор определяются на основании уравнений статики

$$(\sum X = 0; \sum M_B = 0; \sum M_C = 0)$$

Распор определяется по формуле

$$H = \frac{M}{y} c, \quad (1)$$

где M - момент внешних сил; y – ординаты троса; c – коэффициент трения.

Наибольшее усилие растяжения в тросах определяется по формуле

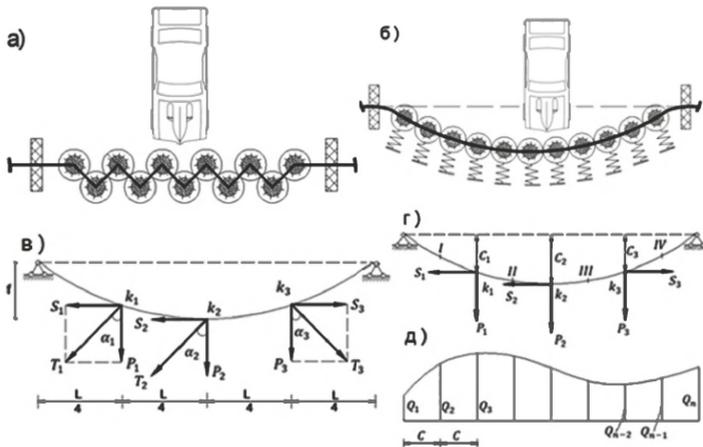
$$N_{TP} = \sqrt{H_{max}^2 + V^2} \quad (2)$$

где H_{max} - распор; V - вертикальная составляющая опорной реакции.

Для того чтобы трос мог выдержать нагрузку от транспорта, необходимо соблюдение условия

$$n N_{TP} < [N_p], \quad (3)$$

где n – коэффициент запаса, равный 3; $[N_p]$ - допустимое разрывное усилие.



а - конструктивная схема (план); б - деформированная схема;
в – расчетная схема

Рисунок 3 - Этапы расчета конструкции тормозящего устройства

Натяжение троса с учетом изменения расчетной схемы от действия дополнительных сил определяется по универсальной формуле:

$$H_1^3 \left[(EF \int_L Q_0^2 dx / 2lH_0^2) - H_0 \right] H_1^2 - (EF/2l) \int_L Q_1^2 dx = 0, \quad (4)$$

где H_0, H_1 - натяжение соответственно при начальной и расчетной нагрузках; EF - жесткость троса; Q_0 - поперечная сила в произвольном сечении простой балки, нагруженной точно так же, как трос при начальной нагрузке; Q_1 - то же, при расчетной нагрузке.

Из уравнения (4) H_1 определяется либо путем подбора, либо с помощью специальных таблиц для решения кубических уравнений. Величина расчетного натяжения, H_1 зависит только от одной переменной величины интеграла $\int_L Q_1^2 dx$. Определение параметра нагрузки $\int_L Q_1^2 dx$ довольно громоздко. Допустим, что нагрузка дала очертания эпюры балочной силы (рисунок. 3 г).

Эту эпюру надо преумножить саму на себя. Для этого делим всю эпюру на равные по длине пролета участки S . Каждую из образовавшихся площадок считаем трапецией. Тогда, используя формулу Верещагина, получим

$$\int_L Q_1^2 dx = \frac{c}{3} (Q_1^2 + Q_1 \cdot Q_2 + 2Q_2^2 + Q_2 \cdot Q_3 + 2Q_3^2 + \dots + 2Q_{n-2}^2 + Q_{n-1} Q_{n-2} + 2Q_{n-1}^2 + Q_{n-1} Q_n + Q_n^2) \quad (5)$$

Пример. Рассмотрим упругую балку пролётом $l = 10$ м с тремя массами, с несущим тросом, прикреплённым к подпорным опорам. Действуют равномерно распределенная нагрузка $q_0 = 1$ т/м и равнодействующие силы $V_1 = 3$ т, $V_2 = 4$ т, $V_3 = 5$ т, которые приложены в местах установки массы и имеют разный угол отклонения в плане от оси дороги $\alpha_1 = 30^\circ$, $\alpha_2 = 40^\circ$, $\alpha_3 = 35^\circ$. Влиянием трения массы барьеро-транспортных средств и троса в местах соединения пренебрегаем. Жесткость троса $EF = 5000$ т максимальное отклонение троса от оси опор $f = 5$ м.

Определим сначала натяжение нити H_0 от нагрузки q_0 и вертикальных составляющих P_i от равнодействующих T_i ($i = 1, 2, 3$)

$$H_0 = \frac{ql^2}{8 \cdot f} = \frac{1 \cdot 10^2}{8 \cdot 5} = 2,5 \text{ т} P_1 = 3 \cos 30^\circ = 2,6 \text{ т}$$

$$P_2 = 4 \cos 40^\circ = 3,06 \text{ т} P_3 = 5 \cos 35^\circ = 4,09 \text{ т}$$

С учетом этих нагрузок, - добавляя к ним нагрузку q_1 , определим натяжение H_1 по формуле (4), т.е. $H_1 = 43,9 \text{ Т}$.

Теперь перейдём к определению натяжения на разных участках троса. Для этого найдем сначала горизонтальные составляющие усилий T_1, T_2 и T_3 (рисунок 3 г)

$$S_1 = 3 \sin 30^\circ - 1,5 T S_2 - 4 \sin 40^\circ = 2,57 T S_3 = 5 \sin 35^\circ = 2,87 T$$

Натяжение на первом участке (рисунок. 3 г)

$$H_I = H_1 - \left(\frac{3S_1 l / 4}{l} \right) - \left(\frac{S_2 l / 2}{l} \right) + \left(\frac{S_3 l / 4}{l} \right) = 42,21 \text{ м}$$

$$H_{II} = H_I + S_1 = 43,71 \text{ Т}; H_{III} = H_{II} + S_2 = 46,27 \text{ Т}; H_{IV} = H_{III} - S_3 = 43,4 \text{ Т};$$

Немаловажным при расчете такого ограждения с подвижными блоками является определение опрокидывающих сил опоры. Для этого определяем хотя бы одну из двух опорных реакций. Реакция левой опоры от вертикальных сил (рисунок 3, г).

$$R'_A = q_0 l / 2 + 3P_1 / 4 + P_2 / 2 + P_3 / 4 = 9,50 \text{ Т}$$

Реакция от горизонтальных сил:

$$R''_A = -S_1 C_1 / l - S_2 C_2 / l + S_3 C_3 / l = -0,15 C_1 - 0,257 C_2 + 0,287 C_3$$

$$\text{Полная реакция } R_A = R'_A + R''_A = 9,50 - 0,15 C_1 - 0,257 C_2 + 0,287 C_3$$

Для определения C_1, C_2 и C_3 надо составить три уравнения. В качестве таких уравнений воспользуемся равенством нулю балочных моментов в точках нити k_1, k_2 и k_3

$$M_{k1} = R_A \cdot l / 4 - q_0 (l / 4)^2 / 2 - H_1 \cdot C_1 = 0;$$

$$M_{k2} = R_A \cdot l / 2 - q_0 (l / 2)^2 / 2 - H_1 \cdot C_2 - S_1 (C_2 - C_1) - P_1 l / 4 = 0;$$

$$M_{k3} = 3 R_A \cdot l / 4 - \frac{q_0 \left(3 l / 4 \right)^2}{2} - H_1 \cdot C_3 - S_1 (C_3 - C_1) - S_2 (C_3 - C_2) - P_1 l / 2 + P_2 l / 4 = 0.$$

В результате решения получим

$$C_1 = 0,479\text{м}; C_2 = 0,674\text{м}; C_3 = 0,520\text{м}$$

Теперь можно вычислить реакцию левой опоры $R_A = 9,405$ т.

Динамическую нагрузку на трос от удара транспорта можно определить по формуле

$$N_{трос}^D = m \cdot \omega^2 \sqrt{H_{max}^2 + V^2}, \quad (6)$$

где $m = \frac{Q}{g}$ – масса нагрузки на трос; $(\omega = \sqrt{\frac{g}{\lambda_{ст}}})$ – частота собственных колебаний троса.

Распределение ударных нагрузок между лобовыми блоками ограждения.

Следует также отметить, что при отсутствии удерживающих устройств и наличии по местным условиям свободного пространства, позволяющего, вместо ЛББ сооружать аварийные тупики наиболее экономичное решение получается при проектировании их продольного профиля очертанию эквидистанты брахистохроны. После определения ударной нагрузки её распределяют между одновременно работающими блоками ограждения. Взаимосвязанные блоки перераспределяют нагрузку и обеспечивают пространственную работу ограждений [8].

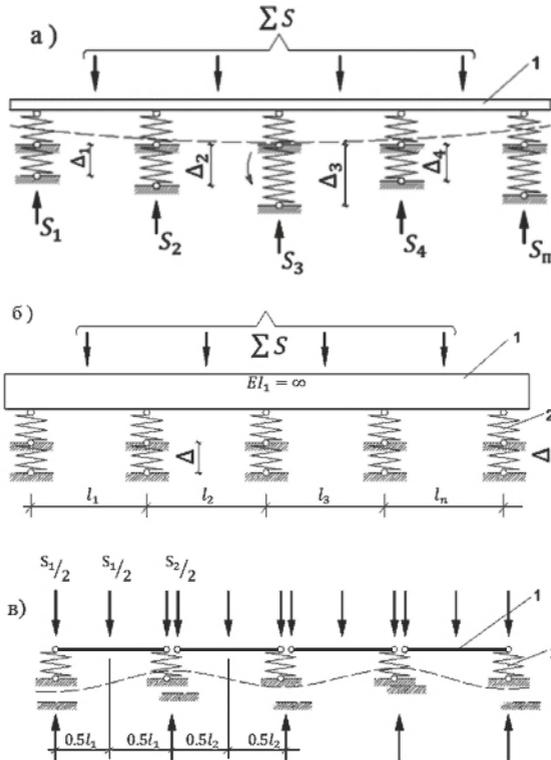
Рассмотрим упрощённый метод распределения ударных нагрузок между несущими блоками ограждения. Если считать блоки в горизонтальном направлении абсолютно жесткими, то перемещения Δ_m всех упругих опор при их симметричном расположении и симметричной нагрузке будут одинаковыми (рисунок 4б)

При этом предположении реакция в k -й опоре может быть найдена по формуле

$$S_k^1 = \mu_k \sum_1^n P_m, \quad (7)$$

где $\sum_1^n P_m$ – равнодействующая горизонтальной нагрузки на все блоки ограждения найденная по формуле (2):

$$\mu_k = \frac{B_k}{B_1 + B_2 + \dots + B_k + \dots + B_n} = \frac{B_k}{\sum_{m=1}^n B_m}; \quad (8)$$



а – в плане ограждения при $\Delta_1 \neq \Delta_2 \neq \Delta_n$; б – то же, при $\Delta_1 = \Delta_2 = \dots = \Delta_n$;
 в – в предположении, что в пределах между двумя опорами ограждения работает по схеме простой балки; 1- блоки; 2 – опоры.

Рисунок 4 - Возможные схемы работы блочного ограждения

$B_1 = 1/\delta_1, \dots, B_k = 1/\delta_k$ жесткости опор ограждения, имеющие номера $1, \dots, k$; $\delta_1, \dots, \delta_k$ – горизонтальные перемещения опор $1, \dots, k$, под действием силы $S_1 = 1, \dots, S_k = 1$. Если жесткость опор одинакова ($B_1 = B_k$), то $p_k = 1/n$, где n – число опор.

В случае, если жёсткость блоков по сравнению с жёсткостью опор очень мала или если горизонтальные связи между блоками соседних пролетов имеют очень малую жесткость по сравнению с жесткостью самого блоков в горизонтальной плоскости, то с известным приближением ограждения можно рассматривать как шарнир-

но-опертые простые балки (рисунок 4 г). При этом в каждой точке k -й опоры независимо от ее жесткости реакция S^H равна сумме реакций двух смежных простых балок. В этом случае сейсмическая нагрузка распределяется между опорами по грузовым площадям.

Выводы. В действительности соотношения жесткостей блоков и опор, а также жесткости связей таковы, что возникающие в опорах реакции имеют промежуточную величину между двумя установленными выше пределами, что можно выразить формулой

$$S_K = \vartheta_I \mu_K S_K^I + \vartheta_{II} S_K^{II} . \quad (9)$$

Принимая один из коэффициентов ϑ_I или ϑ_{II} равным нулю, а другой – единице, можно получить один из рассмотренных выше предельных случаев. Промежуточные значения ϑ_I и ϑ_{II} соответствуют тем или иным реальным соотношениям жесткостей блоков, опор и связей.

Список литературы

1 Байнатов Ж.Б. Каро-Маде В.Э. Барьеры безопасности на автомобильных дорогах. О.И. №3. «Автомобильные дороги» М., 1994.- 77с.

2 Малинин П.К. Удерживающие ограждения // Автомоб. дороги. Сер. Организация и безопасность движения: Приложение к информ. сб. - „Экспресс-информ“. /ЦБНТИ Минавтодора РСФСР. - 1990 - Вып. 5.

3 Байнатов Ж.Б. Направляющие и удерживающие конструкции ограждений на автомобильных дорогах // Автомоб. дороги. - 1991.

4 Астров В.А. Использование изношенных покрышек автомобильных шин для повышения надежности дорожного ограждения. // Тез. докл. регион, науч.-техн. конф. Использование отходов промышленности при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог. - Суздаль. -1989. -с. 32.

5 Михайлов В.В. Предварительно напряженные комбинированные и вантовые конструкций. изд АСВ М. 2002 – 256.с

6 Байнатов Ж.Б. Удерживающие ограждения. - М., 1990. - (ЭИ / ЦБНТИ Автомобильные дороги; Серия. Ограждения и безопасность движения; Выпуск. № 2).

7 Астров В.А. Методика оценки устойчивости автомобиля против опрокидывания при наезде на боковое недеформируемое ограждение

дение // Развитие методов и средств использования ЭВМ для оценки проектных решений автомобильных дорог/Сб. науч. тр./Союздорнии. - 41.; -1989. -с. 159-163.

8 *Каро-Мадэ В.А.* Разработка методики расчета различных типов ограждающих конструкций и их элементов для автодорог - Алма-Ата, 1977.- 93 с.

Абсаметов Д.М. - магистр наук, докторант

Рабат О.Ж. - доктор технических наук, профессор

Байнатов Ж.Б. - доктор технических наук, профессор