

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОТРЕБНЫХ ТОРМОЗНЫХ УСИЛИЙ ВАГОНЕТОК ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ЛЮДЕЙ ПО НАКЛОННЫМ ВЫРАБОТКАМ С МАГНИТОФРИКЦИОННЫМИ ПАРАШЮТНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

Шавлак В.Ф., канд. техн. наук, доц., Тарабаева И.В., ассистент,
Донецкий национальный технический университет

Исследован процесс торможения людской вагонетки в наклонной выработке и установлены необходимые величины тормозных усилий магнитофрикционных парашютных устройств.

The process of braking of a human trolley in sloping development is investigated and the necessary magnitudes of brake magnetic frictional of parachute devices are established.

Перевозка людей по наклонным выработкам шахт осуществляется при помощи концевой канатной откатки вагонетками типа ВЛ и ВЛН, оснащенных клиновыми захватами и канатно-винтовыми или деревянными амортизаторами.

Несмотря на массовое внедрение, эти вагонетки не удовлетворяют правилам безопасности, в частности, надежности работы парашютного устройства. В парашютах резания невозможно точно определить сопротивляемость резанию дерева, геометрические параметры и количество зубьев резцов. Парашютную систему нельзя проконтролировать, так как после каждого торможения деревянные амортизаторы должны заменяться новыми [1].

Канатные амортизаторы, применяющиеся в вагонетках типа ВЛН, хотя и позволяют проверять работу парашюта, но имеют ряд недостатков: нестабильность работы; быстрый износ. Срабатывание парашютной системы вагонеток ВЛ и ВЛН влечет за собой разрушение рельсового полотна, известны случаи схода с рельсов, опрокидывания вагонетки. Кроме того, парашютные системы этих вагонеток не допускают применения более долговечных и прочных железобетонных шпал.

Одним из перспективных направлений является разработка вагонеток с фрикционными парашютами. Они не наносят повреждения рельсовому полотну и позволяют применять железобетонные шпалы. Но область применения таких вагонеток ограничивается величиной

угла наклона выработки, так как тормозная характеристика у них зависит от нормальной составляющей силы тяжести. Из вышеприведенного видно, что до сих пор не создано надежного парашюта. Поэтому необходимо создание нового парашютного устройства, которое бы максимально обеспечило требование безопасности.

Вариант конструкции вагонетки для перевозки людей по наклонным выработкам с магнитофрикционным парашютным устройством, удовлетворяющий вышеприведенным требованиям и устраняющий недостатки известных конструкций, разработан на кафедре горнозаводского транспорта и логистики.

В данной работе приведены теоретические исследования процесса торможения вагонетки в наклонной выработке.

Входными данными для расчета кинематических и силовых параметров вагонетки для перевозки людей по наклонным выработкам являются: скорость движения вагонетки, которая равняется $V_0 = 5 \text{ м/с}$, и время холостого движения парашюта $t_x = 0.15$

с. Все расчеты кинематических и силовых параметров вагонетки для перевозки людей по наклонным выработкам и построение графиков проводились с использованием аппарата языка программирования Microsoft Visual Basic для программы Excel. Данное программное обеспечение было выбрано для исследований с учетом возможных изменений многих расчетных параметров.

Скорость в начале торможения найдем по формуле [2]:

$$V_2 = V_0 + t_x \cdot g \cdot \sin \alpha = 6,127 \text{ м/с}, \quad (1)$$

где $g = 9,81$ – ускорение свободного падения;

$\alpha = 50^\circ$ – угол наклона выработки.

Минимальный тормозной путь:

$$L_T^{\min} = \frac{V_2^2}{2 \cdot j_1} = 0,469 \text{ м}, \quad (2)$$

где $j_1 = 40 \text{ м/с}^2$ – замедление по данным МакНИИ.

Максимально допустимый тормозной путь согласно правилам безопасности равняется $L_T^{\max} = 20 \text{ м}$.

Таким образом, допустимый тормозной путь лежит в границах: $0,46 \text{ м} \leq L_T^{\text{доп}} \leq 20 \text{ м}$

На выявление преград и включение парашютов кондуктор тратит 1,7-3,5с. Время холостого хода парашютной системы составляет 0,15-0,25с.

Тогда путь, который проходит вагонетка к началу торможения:
 $L_x = V_0 \cdot t = 15 \text{ м},$ (3)

где t выбирают соответственно указанному выше.

Учитывая, что путь до остановки по “Правилам безопасности” не должна превышать 20м, а холостой ход вагонетки перед началом торможения - L_x , делаем вывод, что путь, необходимый для торможения состава, не должен превышать: $S_T = L_T^{\max} - L_x = 5 \text{ м}$ (4)

Для нахождения максимально допустимого замедления необходимо воспользоваться формулой:

$$J_T^{\max} \leq 5 \cdot g \cdot \left[(1 + \operatorname{tg}(50^\circ - \alpha)) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha \right], \quad (5)$$

Найдем J_T^{\max} для разных углов наклона выработки в границах от 5° до 50° . Результаты расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Максимально допустимые замедления

α , град	6	10	15	20	25	30	35	40	45	50
J_T^{\max} , м/с ²	101	97,3	93,2	89,4	85,9	82,4	79,0	75,7	72,4	69,1

Величина наименьшего допустимого замедления имеет не менее важное значение, так как при чрезмерном его уменьшении торможение может не привести к желательному результату, то есть к остановке вагонетки.

Величина наименьшего допустимого замедления находится по формуле:

$$J_T^{\min} = \frac{V_0^2}{2 \cdot S_T} + \frac{V_0 \cdot t_x}{S_T} \cdot g \cdot \sin \alpha, \quad (6)$$

где $V_0 = 5 \text{ м/с}$ – скорость движения вагонетки;

S_T – тормозной путь;

t_x – время холостого движения парашюту.

Найдем J_T^{\min} для разных углов наклона выработки в границах от 5° до 50° . Результаты расчета приведены в таблице 2.

Таблиця 2 – Минимально допустимые замедления

α , град	6	10	15	20	25	30	35	40	45	50
J_T^{\min} , м/с ²	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6

В результате испытания МакНИИ были установлены максимальные замедления в зависимости от угла наклона выработки, которые приведены в таблице 3:

Таблиця 3 – Замедления по данным Мак НИИ

α , град	6	10	20	30	40	50
$J_{гр}$, м/с ²	28,8	30	32,5	35	37,5	40

По полученным значениям замедлений построены графики зависимости замедления от угла наклона выработки (рисунок 1).

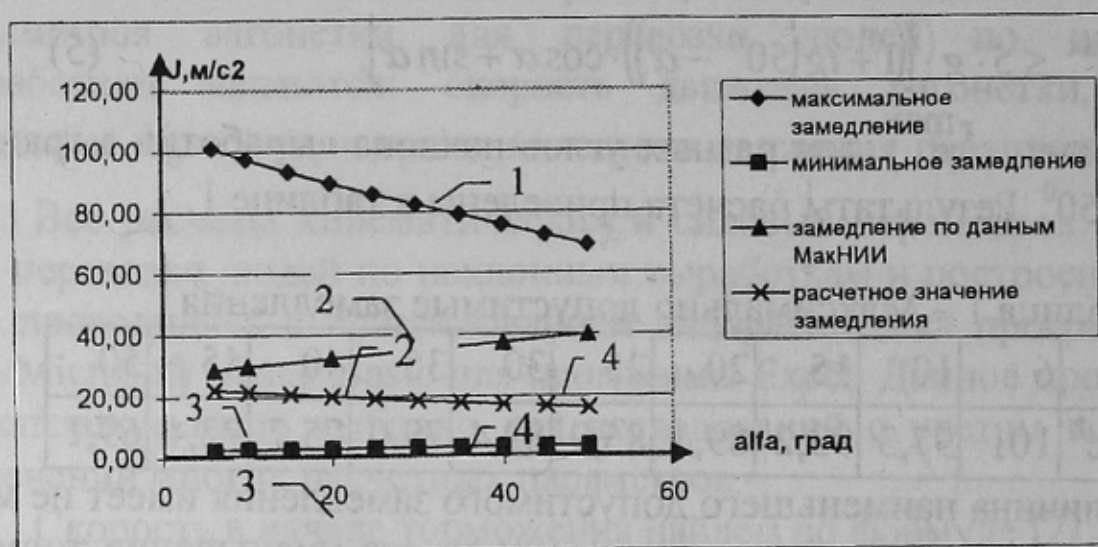


Рисунок 1- Графики зависимости замедления от угла наклона выработки

Парашютные устройства людских вагонеток должны создавать такое тормозное усилие и обеспечивать такой режим торможения, чтобы величины замедлений не выходили из зоны между линиями 2 и 3 рисунка 1. Значения этих замедлений будут исходными для определения допустимых тормозных усилий.

Для разрабатываемой вагонетки, когда парашютами создано тормозное усилие B , уравнение движения имеет вид:

$$M_{np} \cdot J_T = B - F + W_x, \quad (7)$$

где W_x – сопротивление ходовой части; $M_g = 2280 \text{ кг}$ – масса вагонетки; $w' = 0,018$ – коэффициент сопротивления движения; F – составная часть веса вагонетки, которая параллельна оси пути

$$F = M_g \cdot g \cdot \sin \alpha; \quad (8)$$

Общее тормозное усилие находится по формуле:

$$B = B_1 + B_2, \quad (9)$$

где B_1 – тормозное усилие, создаваемое магнитными блоками;

$$B_1 = W_M \cdot \mu, \quad (10)$$

где W_M – сила притяжения магнитных блоков к рельсам;

μ – коэффициент трения магнитных башмаков о рельсы;

B_2 – тормозное усилие, создаваемое нормальной составляющей силы тяжести вагонетки.

$$B_2 = \mu \cdot M_g \cdot g \cdot \cos \alpha. \quad (11)$$

Общая сила торможения находится по формуле:

$$B = M_{np} \cdot J_T + M_g \cdot g (\sin \alpha - w' \cdot \cos \alpha) \quad (12)$$

Из формулы видно, что величина тормозного усилия зависит от трех переменных: силы тяжести, которая изменяется от минимального значения, если в вагонетке находится один человек, к максимальному значению, если вагонетка полностью загружена; угла наклона выработки, который изменяется от 5^0 до 50^0 ; от замедления вагонетки.

Если в вагонетке находится один человек, то ее масса находится по формуле:

$$M_{\min}^g = M_g + \bar{M}_l = 2280 + 80 = 2360 \text{ кг} \quad (13)$$

где \bar{M}_l – средняя масса человека;

Так как количество мест в вагонетке 10, то:

$$M_{\max}^g = M_g + 10 \cdot \bar{M}_l = 2280 + 10 \cdot 80 = 3080 \text{ кг} \quad (14)$$

Приведенная масса определяется по формуле:

$$M_{np} = M_g (1 + \gamma), \quad (15)$$

где $(1 + \gamma)$ – коэффициент инерции вращающихся частей;

$$M_{\min}^{2p} = 2360 \cdot 1,075 = 2537 \text{ кг} \quad (16)$$

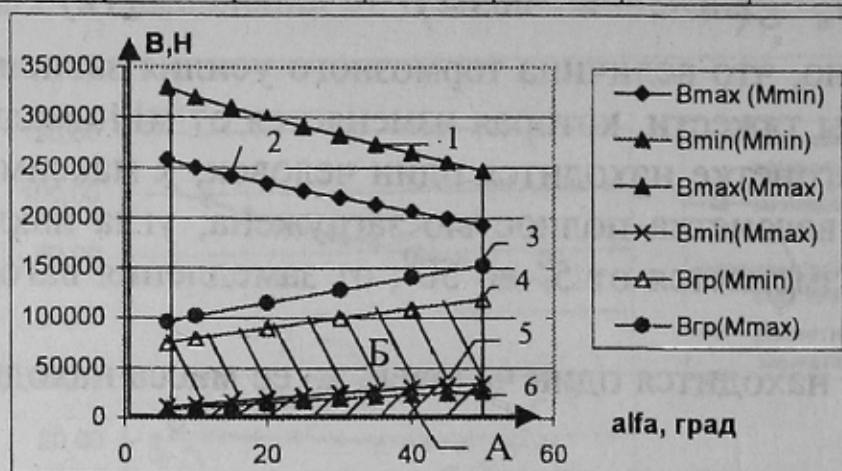
$$M_{\max}^{2p} = 3080 \cdot 1,053 = 3243 \text{ кг}$$

Значения минимальных, предельных и максимальных тормозных усилий для угла наклона выработки от 5^0 до 50^0 приведены в таблице 4.

По полученным значениям тормозных усилий построены графики зависимости тормозного усилия от угла наклона выработки (рисунки 2).

Таблица 4 – Тормозные усилия для разрабатываемой вагонетки

Угол	α , град	6	10	15	20	25	30	40	50
M_{mir}	B_{max} Н	258283	250599	242161	234535	227369	220427	206686	192782
	B_{2p} , Н	75071	79720		89979		100010	206686	192782
	B_{min} Н	8738	10601	12898	15146	17327	19424	109700	118947
M_{max}	B_{max} Н	330236	320456	309723	300026	290914	282088	23304	26670
	B_{2p} , Н	96023	102008		115228		128150	264611	246915
	B_{min} Н	11224	13648	16638	19563	22401	25131	140627	152526

Рисунок 2 – Графики зависимости тормозного усилия B от угла наклона выработки α

На рисунке 2 показаны зоны допускаемых тормозных усилий. Зона А располагается между осью абсцисс и прямой 5; зона Б, соответствующая замедлениям рекомендованным МакНИИ, располагается между прямыми 3 и 5. Из приведенных графиков видно, что при одном и том же тормозном усилии величина замедления с одним человеком в вагонетке будет больше, чем в полностью загруженной вагонетке. Следовательно, для определения максимально допустимого тормозного усилия необходимо брать усилие, рассчитанное для случая, когда в вагонетке находится один человек. При этом надо учитывать, что каждый типоразмер вагонеток работает в определенном диапазоне углов наклонов выработок, следовательно, за исходное надо принимать наименьшее тормозное усилие, так как при большем усилии на данном угле наклона выработки величина замедления будет для человека недопустимо большой.

Учитывая вышеизложенное, за максимально допустимое тормозное усилие для разрабатываемой вагонетки принимается $B_{\max} = 75071\text{Н}$. В работе выполнен проверочный расчет значений тормозных замедлений для полностью загруженной вагонетки из условия, что при принятом тормозном усилии $B_{\max} = 75071\text{Н}$ тормозной путь не превышает 5м. При этом величина замедления вагонетки не должна быть больше минимально допустимой. Результаты расчета приведены в таблице 5 и показаны на рисунке 1 (график 4).

Таблица 5 – Результаты проверочного расчета

α , гр	6	10	15	20	25	30	35	40	45	50
J_T , м/с ²	22,34	21,70	20,90	20,12	19,36	18,64	17,94	17,29	16,68	16,12

Минимально допустимая величина тормозного усилия вагонетки должна выбираться из условия, что вагонетка полностью загружена и находится в выработке с максимальным для данного типа вагонетки углом наклона. Для разрабатываемой вагонетки эта величина составляет $B_{\min} = 34560\text{Н}$.

Таким образом, диапазон допустимых значений величин тормозных усилий для разрабатываемой вагонетки составляет:

$$34560\text{Н} \leq B_T \leq 75071\text{Н}$$

Эти данные являются исходными для проектирования магнитофрикционных парашютных устройств людских вагонеток.

Список источников.

1. Григорьев В.Н. Механизация перевозки людей по горным выработкам. – М.: Углетехиздат, 1958 г. – 204с.
2. Галушко М.К. Перевозка людей по шахтным выработкам. – М.: Углетехиздат, 1954 г. – 176с.