

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Горный институт
Кафедра горных машин и комплексов

**Расчет подвешного
монорельсового дизелевоза**

Методические указания к лабораторной работе

Составитель В. М. Юрченко

Кемерово 2015

Цель лабораторной работы: научиться рассчитывать массу перевозимого груза по монорельсовым дорогам с помощью подвесных дизелевозов.

1. Общие сведения

Подвесные монорельсовые дороги с дизельным приводом являются вспомогательным видом транспорта, предназначенного для перевозки по разветвленным горизонтальным и наклонным горным выработкам материалов оборудования и людей. Наибольшая эффективность достигается при транспортировании секций механизированной крепи. Главное достоинство подвесных монорельсовых дорог состоит в том, что осуществляется безперегрузочное транспортирование. Благодаря этому снижается трудоемкость процесса.

Монорельсовая дорога должна включать следующее оборудование:

поезд монорельсовый;

монорельсовый путь;

вспомогательное оборудование (пусковой агрегат для пуска дизельного двигателя, цистерна и насос для дизельного топлива, приборы для экспресс-анализа состава выхлопных газов, комплект оборудования для заправки гидросистемы и т.п.).

Поезд монорельсовый состоит из подвесного дизельного локомотива, грузовых тележек, пассажирских салонов и приспособления для перевозки тяжелых грузов. Единицы подвижного состава поезда должны соединяться сцепками, контрсцепками и коммуникациями управления.

Монорельсовый путь состоит из секций монорельса с подвесной арматурой, стрелочных переводов и концевых упоров.

Подвесной дизельный локомотив должен включать: дизельную секцию с гидropередачей, тяговые блоки, тормозные тележки, кабины машиниста. Составные части должны иметь габариты, допускающие их спуск в шахту в клетях. При необходимости соединения составных частей локомотива должны быть шарнирными для обеспечения вписываемости дизелевоза в горизонтальные и вертикальные кривые.

2. Исходные данные для расчета

Наименование параметров	Обозначение, ед. измерения	Величина
Дизелевоз (марка и количество приводных блоков)		
масса дизелевоза	P_d , т	
максимальное тяговое усилие приводных блоков	F_{max} , кН	
тормозное усилие	$F_{торм}$, кН	
скорость	v , км/ч	
Характеристика маршрута транспортирования		
Длина (маршрута, участка)		
угол наклона	β , градус	
Характеристика транспортируемых грузов		
масса секции мехкрепи	$m_{г}$	
масса тары грузовой тележки	m_o	

3. Определение массы перевозимого груза

В отличие от локомотива напочвенного, у которого максимальное тяговое усилие зависит от массы локомотива, приходящейся на приводные пары колес, и коэффициента сцепления колес с рельсом, у подвешенного монорельсового дизелевоза не зависит от его массы. Тяговое усилие подвешенного F_{max} монорельсового дизелевоза создается силой прижатия приводных дисков к шейке монорельса.

Уравнение движения поезда (состава транспортных тележек с грузом и подвешенного монорельсового дизелевоза) имеет вид

$$[(m_o + m_{г})n_{т} + P_d]g (w_{г} + i_p + w_{кр} + 108a_{min}) \leq F_{max} \quad (1)$$

где m_o – масса тары транспортной тележки, т; $m_{г}$ – масса груза (например: масса секции мехкрепи), т; $n_{т}$ – число транспортных тележек (при транспортировании секции мехкрепи $n_{т} = 1$), шт.; P_d – масса дизелевоза, т; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; $w_{г}$ – основное удельное сопротивление движению груженых тележек, даН/т, определяется по формуле

$$w_{\Gamma} = w_0 + w_3 + w_K,$$

где $w_0 = 1,5 + 0,45 v + 0,00027v^2$ – основное удельное сопротивление движению транспортной тележки при массе, приходящейся на пару колес – $q_0 \leq 6$ т, даН/т; v – скорость движения (при трогании $v = 0$), м/с; $w_3 = (0,47 + 0,014v)n_d/n_T$ – удельное сопротивление движению в силовой трансмиссии дизелевоза, даН/т; n_d – число дизелевозов, соединенных последовательно (принимается 1 или 2 – спарка), шт.; $w_K = 28/(q_0 + 27)$ – удельное сопротивление движению в зависимости от конструкции подшипниковых узлов тележки (для подшипников качения), даН/т; $i_p = 1000 \operatorname{tg} \beta$ – преобладающий уклон монорельсового пути, ‰ (промилле); $a_{\min} = 0,03$ м/с² – минимальное ускорение дизелевоза при трогании;

Угол наклона выработки, градус	3	5	7	10	12	14	16
Уклон монорельсового пути, ‰	52,4	87,5	122,8	176,3	212,6	249,3	286,7
Угол наклона выработки, градус	18	20	22	24	26	28	30
Уклон монорельсового пути, ‰	324,9	364,0	404,0	445,2	487,7	531,7	577,4

$$w_{\text{кр}} = \frac{120 S_{\delta} \delta \varepsilon l_{\text{кр}}}{R_{\text{кр}} l_c} - \text{дополнительное удельное сопротивление}$$

при трогании транспортных тележек на криволинейном в плане участке трассы, даН/т

где S_{δ} – жесткая база секции транспортной тележки, м. (принимается $S_{\delta} = 1$ м); $R_{\text{кр}}$ – радиус кривой в горизонтальной плоскости, м (принимается согласно технической характеристике дизелевоза минимальный радиус, равный 4 м; δ – коэффициент, учитывающий влияние загрузки транспортной тележки (для мелких штучных и насыпных грузов $\delta = 0,85$, для порожней $\delta = 1$, для секции мехкрепи $\delta = 1$); ε – коэффициент, учитывающий состояние поверхности монорельса (для сухой $\varepsilon = 1$, для мокрой $\varepsilon = 0,45$);

$l_{кр}$ – длина криволинейного в плане участка пути, м; l_c – длина состава, м (принимается $l_c = 10$ м);

3.1. Масса груженого состава при трогании на уклон

Масса груженого состава определится из уравнения движения (1)

$$(m_o + m_{г})n_{т} = \frac{F_{\max}}{g(w_{г} + i_p + w_{кр} + 108 a_{\min})} - P_{д}, \text{ Т}$$

3.2. Масса груженого состава при установившемся движении на уклон

$$(m_o + m_{г})n_{т} = \frac{F_{\max}}{g(w_{г} + i_p + i_{кр})} - P_{д},$$

где $i_{кр} = \frac{\sum w_{кр} \times l_{кр}}{L_p}$, ‰ – фиктивный подъем, учитывающий влияние нескольких кривых.

Для дальнейших расчетов из двух величин принимаем меньшую массу перевозимого груза.

4. Проверка запаса тормозного усилия по отношению к расчетной нагрузке на максимально допустимом уклоне

Согласно п. 3.11. Система стояночного торможения должна обеспечивать удержание поезда расчетной массы на максимально допустимом уклоне, причем, запас тормозного усилия, по отношению к расчетной нагрузке на максимально допустимом для эксплуатации дороги уклоне, должен быть не менее 2,5. РД 05-311-99 (с изм. 1 – РДИ 05-478(311)-02) [1],

$$2,5 \leq K = \frac{B_{д}}{[(m_o + m_{г})n_{т} + P_{д}]g \cdot \sin \beta},$$

где $B_{д}$ – тормозная сила дизелевоза (суммарная сила принятого количества тормозных тележек), кН.

В случае если окажется $K \leq 2,5$, то необходимо уменьшить массу перевозимого груза.

5. Проверка допустимой массы перевозимого груза по тяговому усилию, развиваемому мощностью двигателя дизелевоза

Возможное тяговое усилие, которое способен развить двигатель дизелевоза мощностью N_d определяется по формуле

$$F_{\partial}^g = \frac{N_d \eta_p \eta_z \eta_o}{v}, \text{ кН}$$

где $\eta_p = 0,85$ – КПД осевых редукторов, $\eta_z = 0,77-0,8$ – КПД гидропривода (насос и гидродвигатель), $\eta_o = 0,85$ – КПД системы очистки выхлопных газов, $v \leq 1,0$ м/с – скорость движения поезда по монорельсовой дороге при перевозке длинномерных и крупногабаритных грузов (п.5.18 РД 05-312-99).

5.1. При движении поезда на уклон необходимая для перемещения сила тяги (сумма сил сопротивления движению) определяется по формуле

$$F_{\partial}^H = [(m_o + m_z) n_m + P_{\partial}] g (w_z + i), \text{ даН}$$

Масса перевозимого груза допустима, если соблюдается условие:

$$F_{\partial}^g \geq F_{\partial}^H$$

Если условие не соблюдается, необходимо уменьшить массу перевозимого груза.

5.2. При движении поезда под уклон (вниз) необходимая для перемещения сила тяги (при углах $\beta < 0$, скатывающая сила) определяется по формуле

$$F_{\partial}^H = [(m_o + m_z) n_m + P_{\partial}] g (w_z - i), \text{ даН}$$

В случае если $F_{\partial}^H < 0$, то дизелевоз на спуске должен двигаться с торможением. То есть, должно выполняться условие: $B_d > F_{\partial}^H$. В случае если условие не выполнено при максимальном числе тормозных тележек, то необходимо уменьшить массу перевозимого груза.

6. Проверка допустимой массы перевозимого груза по условию обеспечения допустимой скорости движения при соблюдении допустимого тормозного пути

Согласно п. 3.12. Система аварийного торможения должна срабатывать при ручном воздействии, а также автоматически при превышении максимальной скорости движения (2 м/с) на 25 % или при разрыве состава и обеспечивать остановку поезда расчетной массы на максимально допустимом уклоне на пути не более 10 м с замедлением не более 35 м/с².

6.1. По условию обеспечения допустимой скорости движения поезда при реализации тормозной силы B_d и допустимого тормозного пути

Допустимая скорость движения груженого поезда вниз по уклону определяется по формуле

$$v_{don} = \sqrt{0,24[l_m] \cdot (b_m + w_2 - i)}, \text{ м/с}$$

где $[l_m] \leq 10$, м – допустимая длина тормозного пути согласно п. 3.12 РД 05-311-99 (с изм. 1 – РДИ 05-478(311)-02) [1], b_m – удельная тормозная сила, создаваемая тормозными тележками (B_d) и силой сопротивления движению, даН/т:

$$b_m = \frac{B_d + [(m_o + m_z)n_\phi + P_\partial]}{(m_o + m_z)n_\phi + P_\partial}$$

Масса груза допустима к перевозке, если соблюдается условие: $v_{don} > v_{инстр} = 1,5$ м/с, где $v_{инстр}$ – скорость подвешного дизелевоза при движении по уклону (согласно заводской инструкции).

6.2. По условию действительного тормозного пути при реализации тормозной силы B_d

Допустимая скорость движения груженого поезда вниз по условию торможения определяется по формуле

$$v_{don} = \sqrt{(a t_n)^2 + 2 a l_m - a t_n}, \text{ м/с}$$

где $t_n = 2$ с – время срабатывания тормозной системы, a – замедление поезда под действием тормозной силы B_d , м/с².

При движении груженого поезда вверх по уклону замедление определяется по формуле

$$a = - \frac{w_2 + i_p + \frac{B_d}{(m_o + m_2)n\phi + P_d}}{108}, \text{ м/с}^2$$

При торможении груженого поезда, движущегося вниз под уклон, замедление определяется по формуле

$$a = - \frac{w_2 - i_p + \frac{B_d}{(m_o + m_2)n\phi + P_d}}{108}, \text{ м/с}^2.$$

При соблюдении п. 285 «Правил безопасности в угольных шахтах» (Приказ Ростехнадзора от 19.11.2013 № 550 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности») [3] скорость поезда по монорельсовым дорогам составляет $v_{инстр} = v_{дон} = 2$, м/с. Тогда тормозной путь составит

$$l_m = \frac{v_{инстр}^2 + 2v_{инстр} a t_n}{2a}, \text{ м}$$

Масса груза допустима к перевозке, если соблюдается условие $l_m < [l_m] = 10$, м

Литература

1. РД 05-311-99 (с изм. 1 – РДИ 05-478(311)-02) Нормы безопасности на транспортные машины с дизельным приводом для угольных шахт
2. РД 05-323-99 (с изм. 1 – РДИ 05-481(323)-02) Временные требования к безопасной эксплуатации монорельсовых дорог.
3. Приказ Ростехнадзора от 19.11.2013 № 550 "Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности в угольных шахтах" (Зарегистрировано в Минюсте России 31.12.2013 № 30961) <http://www.consultant.ru>

Таблица 1

Технические характеристики подвесных монорельсовых дизелевозов

Марка дизелевоза		N – мощность двигателя, кВт	F_{\max} – максимальное тяговое усилие, кН	$F_{\text{торм}}$ – тормозное усилие одного устройства, кН	V_{\max} – скорость максимальная, км/ч	угол наклона максимальный, град.	$R_{\text{кр}}$ – радиус кривой линейности пути в плане, м	$R_{\text{пр}}$ – радиус кривой линейности профиля пути, м	Длина дизелевоза, м	Масса дизелевоза, т
ЛСП 70. ДО F *	3 бл.	68	63		7,2	25	4	8	7,65	4,31
ЛСП 70. ДО F *	4 бл.	68	80		5,4	25	4	8	8,60	4,70
DLZ 110F Ferrit	3 бл.	81	60	24,5×3/4	7,2	25	4	10	7,65	4,4
DLZ 110F Ferrit	4 бл.	81	80	24,5×4/5	7,2	30	4	10	8,65	4,8
DLZ 110F Ferrit	5 бл.	81	100	24,5×5/6	7,2/5,9	30	4	10	9,65	5,2
DLZ 110F Ferrit	6 бл.	81	120	24,5×6/7	7,2/4,9	30	4	10	10,65	5,6
DLZ210F Ferrit	4 бл.	127 ÷ 142	110 96	42×4/5/6	11,2 12,6	30			14,3	7,4

Марка дизелевоза		N – мощность двигателя, кВт	F_{\max} – максимальное тяговое усилие, кН	$F_{\text{торм}}$ – тормозное усилие одного устройства, кН	V_{\max} – скорость максимальная, км/ч км/ч	угол наклона максимальный, град.	$R_{\text{кр}}$ – радиус кривой линейности пути в плане, м	$R_{\text{пр}}$ – радиус кривой линейности профиля пути, м	Длина дизелевоза, м	Масса дизелевоза, т
DLZ210F Ferrit	5 бл.	127÷ 142	137,5 120	42×5/6/7	9,0 10,1	30			15,4	7,9
DLZ210F Ferrit	6 бл.	127 142	165 144	42×6/7/8	7,5 8,4	30			16,5	8,4
DLZ210F Ferrit	7 бл.	127 142	192,5 168	42×7/8/9	6,4 8,2	30			17,6	8,9
DLZ210F Ferrit	8 бл.	127 142	220 192	42×8/9/ 10	5,6 6,3	30			18,7	9,4
DLZ210F Ferrit	9 бл.	127÷ 142	247,5 216	42×9/10/1 1	5,0 5,6	30			19,8	9,9
DLZ210F Ferrit	10 бл.	127÷ 142	275 240	42×10/ 11/12	4,5 5,0	30			20,9	10,4

Марка дизелевоза			N – мощность двигателя, кВт	F_{\max} – максимальное тяговое усилие, кН	$F_{\text{торм}}$ – тормозное усилие одного устройства, кН	V_{\max} – скорость максимальная, км/ч	угол наклона максимальный, град.	$R_{\text{кр}}$ – радиус кривой линейности пути в плане, м	$R_{\text{пр}}$ – радиус кривой линейности профиля пути, м	Длина дизелевоза, м	Масса дизелевоза, т
DLZ210F	Ferrit	11 бл.	127÷ 142	302,5 264	42×11/ 12/13	4,1 4,6	30			22,0	10,9
DLZ210F	Ferrit	12 бл.	127÷ 142	330 288	42×12/ 13/14	3,7 4,2	30			23,1	11,4
DZ 66	1+1 Scharf	4 бл.	69	40	24,5×4	14,4/7,2	27	4	10	11,38	5,83
DZ 66	2 Scharf	4 бл.	69	40	24,5×3	14,4/7,2	27	4	10	10,09	6,15
DZ 66	2+1 Scharf	6 бл.	69	60	24,5×4	14,4/7,2	27	4	10	10,98	6,86
DZ 66	2+2 Scharf	8 бл.	69	60	24,5×7	14,4/7,2	27	4	10	12,68	7,75
DZ 1500	Scharf		84	80		9,0	30	4	8		
DZ 2200	Scharf		130	120		9,0	30	4	8		

Марка дизелевоза		N – мощность двигателя, кВт	F_{\max} – максимальное тяговое усилие, кН	$F_{\text{торм}}$ – тормозное усилие одного устройства, кН	V_{\max} – скорость максимальная, км/ч	Угол наклона максимальный, град.	$R_{\text{кр}}$ – радиус кривой линейности пути в плане, м	$R_{\text{пр}}$ – радиус кривой линейности профиля пути, м	Длина дизелевоза, м	Масса дизелевоза, т
PIOMA CS120 FAMUR	6 бл.	123	120		7,2	30				7,5
Bizon	4 бл.	93	80	30	7,2/5,4	30			10,1	4,8
Bizon	5 бл.	93	100	30	7,2/5,7	30			10,8	5,2
Bizon	6 бл.	93	120	30	5,7/4,8	30			12,1	5,6
IMM 80 TD	3 бл.	78,8	60		4,7	25	4	8	9,27	4,8
IMM 80 TD	4 бл.	78,8	80		3,35	25	4	8	9,27	4,8