DOI: 10.25558/VOSTNII.2020.91.74.006

УДК 622.2 © В.О. Торро, А.В. Ремезов, Е.В. Кузнецов, А.Н. Супруненко, А.Н. Ульянов, 2020

B.O. TOPPO

старший преподаватель филиал КузГТУ, г. Междуреченск e-mail: torrovo@mail.ru



А.В. РЕМЕЗОВ д-р техн. наук, профессор г. Кемерово e-mail: lion742@mail.ru

Е.В. КУЗНЕЦОВ канд. техн. наук, заместитель директора по науке филиал КузГТУ, г. Междуреченск е-mail: kevlad@mail.ru







А.Н. СУПРУНЕНКО канд. техн. наук, доцент КузГТУ, г. Кемерово e-mail: san1948@mail.ru

А.Н. УЛЬЯНОВ соискатель КузГТУ, директор АО «Шахтоуправление «Талдинское- Кыргайское», с. Большая Талда

ИЗМЕНЯЕМОСТЬ СИЛ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ СОСТАВА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МАССЫ ТРАНСПОРТИРУЕМОЙ СЕКЦИИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УГЛАХ НАКЛОНА ТРАССЫ

Результаты исследований, приведённые в данной статье, были получены в ходе наблюдений, сделанных в рамках изучения проблем, связанных с эксплуатацией монорельсовых дорог в подземных условиях, отличающихся изменяющимся профилем трассы. Это позволило определиться с расширением возможностей диапазона регулирования скорости движения состава.

Ключевые слова: КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ, КОЭФФИЦИЕНТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ, СОПРОТИВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЮ СОСТАВА, УСТАНОВИВШАЯСЯ СКО-РОСТЬ ДВИЖЕНИЯ СОСТАВА, МАССА СЕКЦИИ КРЕПИ, УГОЛ НАКЛОНА ТРАССЫ, СИСТЕМА: «МОНОРЕЛЬС-ПРИВОДНЫЕ КОЛЕСА», ТЯГОВОЕ УСИЛИЕ, ДИАПАЗОН РЕ-ГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ СОСТАВА.

Значения коэффициентов трения в теории транспортных машин получили название коэффициентов сопротивления движению (*W*) [1]. Сопротивление движению *W* для дизелевоза DZL110F, перемещающегося с установившейся скоростью движения, определяется по формуле:

 $W = G(w\cos\beta \mp \sin\beta),$

где *G* — масса транспортируемых секций крепи, т; *w* — коэффициент сопротивления движению; β — угол наклона трассы, град.

Результаты расчётов по определению сил сопротивления движению состава для транспортируемых секций крепи, имеющих различную массу, и трасс с углами наклона 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30°приведены в табл. 1–6 соответственно.

Таблица 1

Расчет сил сопротивления движению состава при различной массе транспортируемых секций по трассе с углом наклона 5°

(1)

Масса транспортируемой секции (G), т	Суммарный коэффи- циент сопротивления движению, (w)	Косинус угла наклона трассы, (cosβ)	Синус угла наклона трассы, (sinβ)	Сопротивление движению, (W)
12	0,3	0,996	0,087	4,6296
15	0,3	0,996	0,087	5,787
20	0,3	0,996	0,087	7,716
25	0,3	0,996	0,087	9,645
30	0,3	0,996	0,087	11,574
35	0,3	0,996	0,087	13,503
40	0,3	0,996	0,087	15,432
45	0,3	0,996	0,087	17,361
50	0,3	0,996	0,087	19,29

• www.nc-vostnii.ru • 3-2020 • Вестник НЦ ВостНИИ

48

Таблица 5

Расчет сил сопротивления движению состава при различной массе транспортируемых секций по трассе с углом наклона 25°

G, т	W	cosβ	sinβ	W
12	0,3	0,906	0,422	9,1896
15	0,3	0,906	0,422	11,487
20	0,3	0,906	0,422	15,316
25	0,3	0,906	0,422	19,145
30	0,3	0,906	0,422	22,974
35	0,3	0,906	0,422	26,803
40	0,3	0,906	0,422	30,632
45	0,3	0,906	0,422	34,461
50	0,3	0,906	0,422	38,29

Таблица 6

Расчет сил сопротивления движению состава при различной массе транспортируемых секций по трассе с углом наклона 30°

G, т	W	cosβ	sinβ	W
12	0,3	0,886	0,5	9,1896
15	0,3	0,886	0,5	11,487
20	0,3	0,886	0,5	15,316
25	0,3	0,886	0,5	19,145
30	0,3	0,886	0,5	22,974
35	0,3	0,886	0,5	26,803
40	0,3	0,886	0,5	30,632
45	0,3	0,886	0,5	34,461
50	0,3	0,886	0,5	38,29

На основе анализа полученных данных (табл. 1–6) можно сделать вывод о нелинейной зависимости сил сопротивления движению состава от увеличения угла наклона трассы.

Графические зависимости сил сопротивления движению (*W*) от угла наклона трассы (β) при различной массе транспортируемых секций изображены на рис. 1.

Таблица 2

Расчет сил сопротивления движению состава при различной массе транспортируемых секций по трассе с углом наклона 10°

G, т	W	cosβ	sinβ	W
12	0,3	0,984	0,173	5,6184
15	0,3	0,984	0,173	7,023
20	0,3	0,984	0,173	9,364
25	0,3	0,984	0,173	11,705
30	0,3	0,984	0,173	14,046
35	0,3	0,984	0,173	16,387
40	0,3	0,984	0,173	18,728
45	0,3	0,984	0,173	21,069
50	0,3	0,984	0,173	23,41

Таблица 3

Расчет сил сопротивления движению состава при различной массе транспортируемых секций по трассе с углом наклона 15°

G, т	W	cosβ	sinβ	W
12	0,3	0,965	0,258	6,57
15	0,3	0,965	0,258	8,2125
20	0,3	0,965	0,258	10,95
25	0,3	0,965	0,258	13,6875
30	0,3	0,965	0,258	16,425
35	0,3	0,965	0,258	19,1625
40	0,3	0,965	0,258	21,9
45	0,3	0,965	0,258	24,6375
50	0,3	0,965	0,258	27,375

Таблица 4

Расчет сил сопротивления движению состава при различной массе транспортируемых секций по трассе с углом наклона 20°

G, т	W	cosβ	sinβ	W
12	0,3	0,939	0,342	7,4844
15	0,3	0,939	0,342	9,3555
20	0,3	0,939	0,342	12,474
25	0,3	0,939	0,342	15,5925
30	0,3	0,939	0,342	18,711
35	0,3	0,939	0,342	21,8295
40	0,3	0,939	0,342	24,948
45	0,3	0,939	0,342	28,0665
50	0,3	0,939	0,342	31,185



Рис. 1. Зависимость сил сопротивления движению (*W*) от угла наклона трассы (β) при различной массе транспортируемых секций

Согласно графикам (рис. 1), зависимость сил сопротивления движению (W) от угла наклона трассы (β) при различной массе транспортируемых секций характеризуется резким увеличением силы сопротивления движению при увеличении угла наклона трассы. В табл. 7 приведены выявленные в ходе проведённых исследований по факторам тяговое усилие и скорость, закономерности взаимодействия в системе: «монорельс–приводные колеса».

Таблица 7

Закономерности взаимодействия в системе: «монорельс-приводные колеса»
по факторам тяговое усилие и скорость

Условия взаимодей- ствия в системе: «мо- норельс—приводные колеса»	Линейная зависимость	Пороговая скорость выхода на установив- шейся режим, км/ч	Макси- мальная скорость согласно ПБ, км/ч	Эффек- тивный диапазон регулирова- ния скоро- стью, %	Коэффициент корреляции между тяго- вым усилием и пороговой скоростью
Три привода (мак- симальное тяговое усилие 60 кН)	y =- 3,886x + 66,528	3,6	7,2	50	
Четыре привода (максимальное тяго- вое усилие 80 кН)	y =-7,9733x + 89,06	2,7	7,2	62,5	0.076
Пять приводов (мак- симальное тяговое усилие 100 кН)	y = -11,631x + 107,44	2,10	7,2	70,8	-0,970
Шесть приводов (максимальное тяго- вое усилие 120 кН)	y = -13,908x + 123,63	1,8	7,2	75	

Из табл. 7 следует:

1. В результате увеличения мощности привода дизелевоза DZL 110F с 60 кН до 120 кН, эффективный диапазон регулирования скорости увеличился с 50 до 75 %.

2. Ограничение скорости движения дизелевоза до 7,2 км/ч [3–5] является сдерживающим фактором.

3. Пункт 3.12 РД 05-311-99 [4] допускает увеличение скорости движения состава до 25 % от максимальной (т. е. с 7,2 км/ч до 9 км/ч). Это позволит расширить диапазон эффективного регулирования скорости движения состава, увеличивая, тем самым, потенциал используемой техники.

4. Следует учитывать, что увеличение угла спуска трассы с 5° до 30° уменьшает силу сопротивления движения в 5–7 раз и увеличивает время торможения в 3,6 раза, а увеличение подъема в тех же пределах, сокращает время торможения на 70 % при увеличении сил сопротивления движению в среднем в 6 раз.

Движению транспортных машин или тяговых органов препятствуют силы сопротивления. Из расчетов известно, что около 33 % мировых энергетических ресурсов бесполезно затрачиваются на работу, связанную с трением.

В горной промышленности для перемещения тяжелых грузов разного назначения широкое применение в классе вспомогательного транспорта нашли, в первую очередь, подвесные монорельсовые дороги в основном с дизельным приводом.

В настоящее время необходимым является вопрос изучения предельной силы сопротивления движению в установившемся режиме при учете распределенных грузов и количества приводов.

Решению данной задачи посвящено содержание работы. Расчет произведен по формуле, известной в теории транспорта $W = G(w\cos\beta \mp \sin\beta)$ для дизелевоза DZL110F при углах наклона трассы $\beta = 5-30^\circ$. Для удобства анализа расчеты сведены в табл. 8–10.

Анализ расчетных данных таблиц 8, 9 показывает, что увеличение угла наклона трассы в шесть раз (с 5° до 30°) нелинейно повышает силы сопротивления движению. Обобщая все расчеты, можно сделать следующий вывод: увеличение мощности приводов монорельсового дизелевоза в два раза повышает эффективный диапазон регулирования скорости с 50 до 75 %, снижает пороговую скорость перехода в установившийся режим движения в два раза, однако при увеличении угла наклона эксплуатируемых трасс с 5 до 25° нелинейно увеличиваются силы сопротивления при движении вверх до четырех раз.

Таблица 8

Масса тран- спортируе- мой секции	Удельное со- противление движению	Величина наиболь- шего уклона	Добавоч- ное сопро- тивление движению в кривой пути	Суммарный коэффици- ент сопро- тивления движению	Косинус угла наклона трассы	Синус угла наклона трассы сопротивле- ние движе- нию	Сопротивле- ние движе- нию, да·Н
12	0,2	0,005	0,005	0,3	0,996	0,087	4,6296
15	0,2	0,005	0,005	0,3	0,996	0,087	5,787
20	0,2	0,005	0,005	0,3	0,996	0,087	7,716
25	0,2	0,005	0,005	0,3	0,996	0,087	9,645
30	0,2	0,005	0,005	0,3	0,996	0,087	11,574
35	0,2	0,005	0,005	0,3	0,996	0,087	13,503
40	0,2	0,005	0,005	0,3	0,996	0,087	15,432
45	0,2	0,005	0,005	0,3	0,996	0,087	17,361
50	0,2	0,005	0,005	0,3	0,996	0,087	19,29

Расчет сопротивления движению при различных классах массы транспортируемых секций при угле наклона трассы 5°

Таблица 9

Расчет сопротивления движению при различных классах массы транспортируемых секций при угле наклона трассы 30°

Масса тран- спортируе- мой секции	Удельное со- противление движению	Величина наиболь- шего уклона	Добавоч- ное сопро- тивление движению в кривой пути	Суммарный коэффици- ент сопро- тивления движению	Косинус угла наклона трассы	Синус угла наклона трассы сопротивле- ние движе- нию	Сопротивле- ние движе- нию, да-Н
12	0,2	0,005	0,005	0,3	0,886	0,5	9,1896
15	0,2	0,005	0,005	0,3	0,886	0,5	11,487
20	0,2	0,005	0,005	0,3	0,886	0,5	15,316
25	0,2	0,005	0,005	0,3	0,886	0,5	19,145
30	0,2	0,005	0,005	0,3	0,886	0,5	22,974
35	0,2	0,005	0,005	0,3	0,886	0,5	26,803
40	0,2	0,005	0,005	0,3	0,886	0,5	30,632
45	0,2	0,005	0,005	0,3	0,886	0,5	34,461
50	0,2	0,005	0,005	0,3	0,886	0,5	38,29

Таблица 10

Закономерности взаимодействия в системе «монорельс–приводные колеса» по факторам «тяговое усилие» и «скорость»

Условия взаимодействия в системе «монорельс– приводные колеса»	Линейная зависимость силы сопротивления движению от веса секций	Пороговая скорость вы- хода на уста- новившемся режиме, км/ч	Макси- мальная скорость, разрешен- ная ПБ, км/ч	Эффектив- ный диапа- зон регу- лирования скоростью, %	Коэффициент корреляции между тяговым усилием и поро- говой скоро- стью
Три привода (максимальное тяговое усилие 60 кН)	y = - 3,886x + 66,528	3,6	7,2	50	
Четыре привода (максимальное тяговое усилие 80 кН)	y = - 7,9733x + 89,06	2,7	7,2	62,5	0.076
Пять приводов (максимальное тяговое усилие 100 кН)	γ = - 11,631x + 107,44x	2,1	7,2	70,8	- 0,976
Шесть приводов (максимальное тяговое усилие 120 кН)	y =- 13,908x + 123,63	1,8	7,2	75	

Анализируя данные расчетов в табл. 10, необходимо отметить, что при увеличении мощности привода дизелевоза с 60 до 120 кН повышает эффективный диапазон регулирования скорости до 70 %. В отдельных случаях допускается увеличение скорости на 25 %, т. е. с 7,2 км/ч до 9 км/ч.

Кроме того можно сказать, что увеличение угла трассы значительно повышает сопротивление движению как минимум в два раза при движении состава вверх, на пологих прямолинейных участках трассы скорость движения можно увеличивать до 9 км/ч, вместо 7,2 км/ч в связи с документом РД 05-311-99.

На основе эксплуатационных замеров,

данные сведены в табл. 11, рассчитаны коэффициенты корреляционной связи между скоростью транспортного состава и его массой при угле 25°.

Таблица 11

Скорость					Уклон, г	рад.				
транспортного состава, м/с	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	25	30
0,63	50000	50000	50000	50000	48161	41367	36131	32414	26815	23015
0,7	50000	50000	50000	50000	43022	36952	32438	28955	23954	20559
0,8	50000	50000	50000	45145	37644	32333	28383	25336	20960	17989
0,9	50000	50000	50000	40129	33461	28741	25229	22521	18631	15990
1	50000	50000	45211	36116	30115	25867	22706	20269	16768	14391
1,1	50000	50000	41101	32833	27378	23515	20642	1426	15243	13083
1,2	50000	50000	37676	30097	25096	21556	18922	16891	13973	11993
1,3	50000	46602	34778	27782	23166	19897	17467	15591	12898	11070
1,4	50000	43273	32294	25797	21511	18476	16219	14478	11977	10280
1,5	50000	40388	30141	24077	20077	17244	15138	13513	11178	9594
1,6	50000	37864	28257	22573	18822	16167	14192	12668	10480	8995
1,7	50000	35637	26595	21245	17715	15216	13357	11923	9863	8465
1,8	50000	33675	25117	20064	16731	14370	12615	11260	9315	7995
1,9	48451	31886	23795	19008	15850	13614	11951	10668	8825	_
2	46028	30291	22606	18058	15058	12933	11353	10134	8384	-
2,1	43836	28849	21529	17198	14341	12317	10813	9652	7985	_
2,2	41844	27537	20550	16416	13689	11758	10321	9213	_	-
2,3	40024	26340	19657	15703	13094	11246	9872	8813	_	_
2,4	38357	25243	18838	15048	12548	10778	9461	8445	-	-

Зависимость массы транспортного состава и скорости транспортировки

Коэффициент корреляции между скоростью транспортного состава и его массой составил $\approx 0,783$, при угле 20° составил $\approx 0,958$, при угле 30° приближается к абсолютной отрицательной корреляционной связи (-1).

Зависимость предельной скорости состава при максимальном угле трассы и массы поезда приведены в табл. 12.

Таблица 12

Зависимость предельной скорости при максимальном угле трассы и массы локомотива в диапазоне 10–50 т

Угол трассы	Предельная скорость и максимальный угол при массе 10000 кг, м/с	Предельная скорость и максимальный угол при массе 20000 кг, м/с	Предельная скорость и максимальный угол при массе 30000 кг, м/с	Предельная скорость и максимальный угол при массе 40000 кг, м/с	Предельная скорость и максимальный угол при массе 50000 кг, м/с
2,5	-	-	-	-	1,8
5	-	-	-	1,5	-
10	-	-	1,2	-	-
20	-	1	_	-	-
30	1,4	_	_	_	_

Определения оптимальной скорости при расчетных константах, учитывающих массу, силу сопротивления и угол наклона трассы приведены в табл. 13 с помощью надстройки «Поиск решения» в среде Excel.

Таблица 13 Определение оптимальной скорости движения дизелевоза при ограничениях по массе, коэффициентам трения, углу наклоны трассы

X1	X ²		
0	0	-	-
2,34	21,9	0	-
1	-	2,34	120
-	\uparrow	0	340
47,48	_	0	120

Монорельсовый транспорт на многих шахтах становится главным вспомогательным транспортом и вытесняет вспомогательный транспорт, такой как концевую откатку, в основе которого входят различные виды лебедок и стальной канат. Последний является травмоопасным в высокой степени.

Расширяется ряд производителей монорельсового транспорта как зарубежных, так и отечественных. Монорельсовый транспорт используется для доставки рабочих к месту работы, для доставки горношахтного оборудования и материалов для крепления горных выработок, оборудования и элементов для устройства как временных, так и постоянных водоотливов.

Монорельсовый транспорт используется, как в горизонтальных, так и в наклонных выработках с углом наклона до 22–25°. При доставке тяжелого оборудования при значительном угле наклона горной выработки применяются напольные монорельсовые дороги с зубчатым зацеплением дизельного или электрического привода с напочвенным полотном, передвижение закрепленного в почве выработки при помощи анкерного крепления.



Рис. 2. Зависимость массы транспортного состава и скорости транспортировки

В горных выработках с переменным углом профиля в настоящее время применяется монорельс, на котором закреплено зубчатое крепление, а сам приводной блок имеет дополнительные приводные элементы для перемещения по монорельсу с дополнительным зубчатым зацеплением. Отдельные элементы монорельсовых подвесных дорог используются для подвески различного электрооборудования, входящего в энергопоезд для его перемещением вслед за подвиганием подготовительного или очистного забоя. Постоянно увеличивается мощность монорельсовых дизель-гидравлических приводов, улучшаются элементы газоочистки, то есть улучшаются их экологические характеристики, за счет этого улучшается состав шахтной атмосферы.

Дизель-гидравлические локомотивы оснащаются различными видами автоматических устройств, которые повышают безопасность их эксплуатации, а в целом повышают безопасность эксплуатации монорельсового транспорта. За счет развития средств связи диспетчера с машинистом монорельсовых поездов в любой точке маршрута обеспечивается быстрая ликвидация непредвиденных обстоятельств.

За счет постоянного совершенствования всех элементов и средств, входящих в состав формирования монорельсовых поездов, есть объективные предпосылки автоматизированного управления монорельсовым транспортом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фролов К.В., Попов С.А., Мусатов А.К. Теория механизмов и машин. М.: Высшая школа, 1987. 496 с.

2. Васильев К.А., Николаев А.К., Сазонов К.Г. Транспортные машины и оборудование шахт и рудников. СПб: Лань, 2012. 544 с.

3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах». М.: ЗАО «НТЦ ПБ», 2014. Серия 05. Выпуск 40. 200 с.

4. РД 05-311-99. Нормы безопасности на транспортные машины с дизельным приводом для угольных шахт // Безопасность горнотранспортного оборудования угольных шахт: Сб. документов. М.: «НТЦ Промышленная безопасность», 2000. Выпуск 10. Часть 2. С. 4–22.

5. РД 05-325-99 Нормы безопасности на основное горнотранспортное оборудование для угольных шахт // Безопасность горнотранспортного оборудования, электроустановок и электрооборудования угольных шахт и разрезов: Сб. документов. М.: «НТЦ Промышленная безопасность», 2003. Серия 05. Выпуск 9. С. 4–58.

6. Ремезов А.В., Ульянов В.В.. Определение зависимости сил сопротивления движению монорельсовых дизелевозов от массы транспортируемых секций и углов наклона трассы // Уголь. 2016. № 10. С. 31–33.

7. Ульянов В.В., Ремезов А.В. Определение оптимальной скорости движения монорельсового дизель-гидравлического локомотива при учете его массы и груза // Уголь. 2016. № 11. С. 10–13.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2020.91.74.006

UDC 622.2 © A.V. Remezov, S.V. Novoselov, V.O. Torro, E.V. Kuznetsov, A.N. Ulyanov, 2020

V.O. TORRO Senior Lecturer KuzGTU branch, Mezhdurechensk e-mail: torrovo@mail.ru

A.V. REMEZOV

Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department KuzGTU, Kemerovo e-mail: lion742@mail.ru

E.V. KUZNETSOV

Candidate of Engineering Sciences, Deputy Director for Science KuzSTU branch, Mezhdurechensk e-mail: kevlad@mail.ru

A.N. SUPRUNENKO

Candidate of Engineering Sciences, associate professor KuzGTU, Kemerovo e-mail: san1948@mail.ru

A.N. ULYANOV

Applicant KuzSTU, Director of Taldinskoye-Kyrgayskoye Mine Management JSC, Big Talda

VARIABILITY OF RESISTANCE FORCES TO TRAIN MOVEMENT DEPENDING ON WEIGHT OF TRANSPORTED SECTION AT DIFFERENT ANGLES OF ROUTE INCLINATION

The results of the researches given in this article were obtained during the observations made as part of the study of problems associated with the operation of monorail roads in underground conditions that differ in the changing profile of the route. This made it possible to determine the expansion of composition speed control range.

Keywords: FRICTION COEFFICIENT, MOVEMENT RESISTANCE COEFFICIENT, COMPOSITION MOVEMENT RESISTANCE, STEADY SPEED OF COMPOSITION, WEIGHT OF SUPPORT SECTION, ANGLE OF ROUTE, SYSTEM: «MONORAIL-DRIVE WHEELS», TRACTION FORCE, RANGE OF COMPOSITION SPEED CONTROL.

REFERENCES

1. Frolov K.V., Popov S.A., Musatov A.K. The theory of mechanisms and machines. M.: Higher school, 1987. 496 p. [In Russ.].

2. Vasiliev K.A., Nikolaev A.K., Sazonov K.G. Transport machines and equipment for mines and mines. SPb: Lan, 2012. 544 p. [In Russ.].

3. Federal norms and rules in the field of industrial safety «Safety rules in coal mines». M.: CJSC STC PB, 2014. Series 05. Issue 40. 200 p. [In Russ.].

4. RD 05-311-99. Safety standards for transport vehicles with diesel drive for coal mines // Safety of mining equipment for coal mines. M.: «NTC Industrial Safety», 2000. Issue 10. Part 2. P. 4–22. [In Russ.].

5. RD 05-325-99 Safety standards for the main mining equipment for coal mines // Safety of mining equipment, electrical installations and electrical equipment of coal mines and open pits. M.: «NTC Industrial Safety», 2003. Series 05. Issue 9. P. 4–58. [In Russ.].

6. Remezov A.V., Ulyanov V.V. Determination of the dependence of the resistance forces to the movement of monorail diesel locomotives on the mass of the transported sections and the slope angles of the route // Coal [Ugol]. 2016. No. 10. P. 31–33. [In Russ.].

7. Ulyanov V.V., Remezov A.V. Determination of the optimal speed of a monorail diesel-hydraulic locomotive taking into account its weight and load // Coal [Ugol]. 2016. No. 11. P. 10–13. [In Russ.].