

ISBN 978-83-945717-4-0

# Transport Problems 2017

IX INTERNATIONAL  
SCIENTIFIC  
CONFERENCE

28.06-30.06 2017

Katowice

Sulejów

VI INTERNATIONAL  
SYMPOSIUM OF YOUNG  
RESEARCHERS

26.06-27.06 2017

Katowice



Conference  
proceedings



Faculty of Transport  
Silesian University of Technology

Silesian University of Technology  
Faculty of Transport



# Transport Problems 2017

**Proceedings**

**IX International Scientific Conference**

**VI International Symposium of Young Researchers**

**UNDER THE HONORARY PATRONAGE  
OF MAYOR OF KATOWICE CITY**

Media patronage:  
Transport Problems International Scientific Journal  
ISSN 1896-0596, Silesian University of Technology,  
Faculty of Transport

**Transport Problems**  
*International Scientific Journal*

**IX INTERNATIONAL CONFERENCE  
TRANSPORT PROBLEMS 2017**

**TABLE OF CONTENTS**

No.	Authors, Title	Pages	
		Begin	End
1.	Zhomart ABDIRASSILOV, Amangeldy MOLGAZH DAROV, Aleksander SŁADKOWSKI <b>TRANSNATIONAL VALUE OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN IN INTERNATIONAL CONTAINER TRANSPORTATION</b>	<a href="#">13</a>	26
2.	Abduaziz ABDURAZAKOV, Jamshed AVLIYOKULOV <b>DETERMINATION OF THE HEIGHT OF ROAD FACILITIES IN SALTED SOILS UNDER CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN</b>	<a href="#">27</a>	30
3.	Madinur AKHMETOVA, Ivan STOLPOVSKIKH, Dmitry BONDAREV, Anatoly KOLGA, Aleksander SŁADKOWSKI <b>EFFICIENCY OF USING ELECTROMAGNETIC DEVICE OF OPEN TYPE FOR CREATING ADDITIONAL LOAD IN CAREER LOCOMOTIVE</b>	<a href="#">31</a>	42
4.	Andrey ANDREWSHCENKO, Pavel KOLPAHCHYAN, Alexandre ZARIFYAN Jr. <b>INDICATORS OF POWER EFFICIENCY FOR FREIGHT ELECTRIC LOCOMOTIVES WITH ASYNCHRONOUS TRACTION DRIVE FEEDING FROM AC CATENARY</b>	<a href="#">43</a>	47
5.	Patricija BAJEC, Danijela TULJAK-SUBAN <b>SELECTING A LOGISTICS SERVICE PROVIDER: A DEFINITION OF CRITERIA WHICH CONSIDERS THE REQUIREMENTS OF AN EXTERNAL COMPETITIVE ENVIRONMENT</b>	<a href="#">48</a>	59
6.	Dmitry BANNIKOV, Nina SIRINA, Alexander SMOLYANINOV <b>MODEL OF THE MAINTENANCE AND REPAIR SYSTEM IN SERVICE MAINTENANCE MANAGEMENT</b>	<a href="#">60</a>	65
7.	Krzysztof BIZOŃ <b>MODEL RESEARCH AND LABORATORY TESTS OF RAIL PAD PWE TYPE</b>	<a href="#">66</a>	69
8.	Andrey BORODIN <b>METHODS OF SUBSTANTIATION OF SPECIALIZATION OF RAILWAY LINES</b>	<a href="#">70</a>	77
9.	Vitaly BRUSENTOV, Volodymyr PUZYR <b>CONTROL OF THE LEVEL OF FUNCTIONAL RELIABILITY AS A MEANS OF REDUCING PROFESSIONAL RISKS OF RAILWAY OPERATORS</b>	<a href="#">78</a>	82
10.	Gintautas BUREIKA, Marek KOMAIŠKO, Virgilijus JASTREMSKAS <b>MODELLING THE RANKING OF LITHUANIAN RAILWAYS LEVEL CROSSING BY SAFETY LEVEL</b>	<a href="#">83</a>	94

**Ключевые слова:** электровоз, уклон, транспортная машина, касательная сила тяги, коэффициент трения (сцепления), электромагнитный догрузатель, лабораторный стенд

**Мадинар АХМЕТОВА, Иван СТОЛПОВСКИХ\***

Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева  
ул. Сатпаева 22а, 050013, Алматы, Казахстан

**Дмитрий БОНДАРЕВ, Анатолий КОЛЬГА**

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова  
пр. Ленина, 38, Магнитогорск, 455000, Россия

**Александр СЛАДКОВСКИ**

Силезский технический университет, Факультет транспорта  
ul. Krasin'skiego 8, 40-019 Katowice, Poland

\*Corresponding author. E-mail: [ivanstol@rambler.ru](mailto:ivanstol@rambler.ru)

## **EFFICIENCY OF USING ELECTROMAGNETIC DEVICE OF OPEN TYPE FOR CREATING ADDITIONAL LOAD IN CAREER LOCOMOTIVE**

**Summary.** The results of the studies carried out to increase the traction force of locomotives using various electromagnetic loaders are presented, for locomotive installation on closed and open systems. To select a rational method for installing the loaders, a comparison was made, advantages and disadvantages of their application were revealed. The results of experimental studies in laboratory conditions for determining the change in the magnitude of the tractive effort of an electric locomotive and the inclines it deviates are described, depending on the magnitude of the current supplied to the electromagnetic loader. It is established that the use of electromagnetic loaders allows to significantly increase the power of the locomotive's traction and to increase the scopes of the railway track in deep quarries.

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ДОГРУЖАТЕЛЕЙ РАЗОМКНУТОГО ТИПА В КАРЬЕРНЫХ ЛОКОМОТИВАХ**

**Аннотация.** Приведены результаты выполненных исследований по увеличению силы тяги локомотивов с использованием различных электромагнитных догрузателей, для установки их на локомотивах по замкнутой и разомкнутой системам. Для выбора рационального способа установки догрузателей произведено сравнение, выявлены достоинства и недостатки их применения. Изложены результаты экспериментальных исследований в лабораторных условиях по определению изменения величины тягового усилия электровоза и преодолеваемых им уклонов в зависимости от величины силы тока подаваемого на электромагнитный догрузатель. Установлено, что использование электромагнитных догрузателей, позволяет значительно повысить силу тяги локомотива и увеличить преодолеваемые уклоны железнодорожного пути в глубоких карьерах.

Для перемещения вскрышных пород и полезного ископаемого на открытых горных работах, как правило, используется автомобильный и железнодорожный транспорт [1]. Железнодорожный транспорт имеет следующие достоинства: небольшой коэффициент сопротивления качению и соответственно низкий (на порядок меньше чем у автомобильного транспорта) расход энергии. Удельное сопротивление движению подвижного состава за счет использования стальных колесных пар движущихся по рельсам составляет всего 20 - 25 Н на 1 т массы. Однако максимальный уклон, который может преодолеть железнодорожный транспорт, составляет всего 30 ‰ (в четыре раза меньше чем у автомобильного транспорта). Поэтому при разработке глубоких карьеров приходится использовать комбинированный вид транспорта (автомобильный и железнодорожный). С нижних горизонтов горная масса автомобильным транспортом перемещается на промежуточный склад, а далее уже железнодорожным транспортом транспортируется на поверхность.

Такие схемы применяются на карьерах, глубина которых приближается или превышает 300 метров: Житигаринском карьере АО «Костанайские минералы»; Качарском (рис. 1), Лебединском (рис. 2) ГОКах [2]; Соколовско-Сарбайском карьере (рис. 3) и др.



Рис. 1. Железнодорожные пути на станции Магнитная Качарского карьера

Таким образом, опыт эффективного применения железнодорожного транспорта в карьерах позволяет констатировать, что тенденция возможно более глубокого ввода железнодорожного транспорта в карьерах сохраняется в современных условиях.

Основным направлением развития и совершенствования карьерного транспорта следует считать увеличение преодолеваемых уклонов путей до 60–80 ‰, что позволит увеличить глубину ввода железнодорожного транспорта в карьеры до 350–450 м, скорость его понижения в 1,4 раза, снизить суммарные затраты на транспортирование горной массы с глубины 300–350 м на 20–25%.

Для увеличения касательной силы тяги и соответственно преодолеваемого уклона железнодорожного транспорта идут по пути увеличения сцепной массы локомотива или объединяют несколько локомотивов с управлением из одной секции. Такое их использование в

поездной службе называют работой по системе многих единиц, что позволяет преодолевать уклоны до 55-60 %.



Рис. 2. Железнодорожный транспорт на Лебединском ГОКе



Рис. 3. Железнодорожные пути на Сарбайском карьере

Например, на Житикаринском карьере АО «Костанайские минералы» в качестве локомотива используется тяговый агрегат ПЭ2М (рис. 4) [3], включающий в себя электровоз управления и два моторных думпкара. Использование таких тяговых агрегатов позволяет перемещать 10 думпкаров 2ВС-105 (рис. 5, таблица 1 [4]) по уклону выездных траншей равному 40%.



Рис. 4. Тяговый агрегат постоянного тока двойного питания ПЭ2М



Рис. 5. Карьерный думпкар 2ВС-105

На Качарском ГОКе используются тяговые агрегаты ОПЭ-1А и думпкары 2ВС-105 (рис. 6, таблица 2 [4]) при уклонах 38 %. При переходе с горизонта 94 м на 134 м вынуждены были увеличить уклон железнодорожного пути с 38% до 50%. При этом полезная масса состава была снижена на 214 т, то есть из состава убрали два вагона и даже при 8-ми груженых вагонах вместо 10-ти поездов не могли преодолевать такие уклоны и приходилось в таких случаях

использовать второй локомотив в виде «толкача». Производительность локомотивосоставов на этой линии снизилась на 20%.

На Соколово-Сарбайском карьере используются тяговый агрегат ПЭ2М и думпкары марки 2ВС-105 с уклонами железнодорожных путей до 40%.

Таблица 1

Технические характеристики вагона думпкара 2ВС-105

Параметры	Показатели
Грузоподъемность, т	105
Масса тары (выгона), т	54
Вместимость кузова, м <sup>3</sup>	50
Коэффициент тары	0,46
Расчетная нагрузка от колесной пары на рельс, кН	251
Число осей, шт.	6
<i>Габариты вагона, м:</i>	
Длина	14,90
Ширина	3,52
Высота	3,241
Число разгрузочных пневмоцилиндров, шт	6
База вагона, м	9,34
Габариты по ГОСТ 9238-2013	1-Т



Рис. 6. Тяговый агрегат ОПЭ-1А

Однако, увеличение сцепной массы, в свою очередь, ограничивается «мощностью» пути и экономичностью его содержания. Для магистральных железных дорог стран СНГ осевая нагрузка в настоящее время ограничена величиной 228-245 кН.

Для уменьшения осевой нагрузки при одновременном увеличении сцепного веса конструкторы увеличивают осность локомотива.

При увеличении осности локомотива конструкторы сталкиваются с определенными ограничениями. Отдельные авторы отмечают что с увеличением числа колесных пар локомотива возникают сложности с обеспечением соприкосновения с наружным рельсом в кривых участках железнодорожного пути. При наименьшем радиусе кривых пути, принятом в



России и Казахстане (200 метров), в одной раме удается разместить не более четырех движущих колесных пар [5].

Таблица 2

Технические характеристики тяговых агрегатов ОПЭ1А

Параметры	Показатели
Сцепной вес, кН	3646
Состав агрегата	ЗУ+ДС+МД
Осевая формула	3(2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub> )
Ток	переменный
Напряжение, кВ	10
Часовой режим:	
Мощность, кВт	5325
Тяговое усилие, кН	662
Скорость, км/ч	29,5
Нагрузка на ось, кН	310
Грузоподъемность моторного вагона, т	44
Мощность дизеля автономного питания, кВт	1470
Радиус кривой min, м	80
Длина ТА, мм	51306

Таким образом, в настоящее время величина тягового усилия развиваемого локомотивами железнодорожного транспорта за счет увеличения сцепного веса достигла своего предела.

Отсутствие технических решений, повышающих эффективность железнодорожного транспорта, вынуждает производителей искать новые организационные решения позволяющие повысить эффективность использования существующих транспортных машин. Для решения задачи увеличения преодолеваемых уклонов железнодорожного пути требуется создание локомотивов, способных создавать большие тяговые усилия.

Чтобы установить, какие существуют способы увеличения касательной силы тяги колесных машин необходимо рассмотреть принцип работы колесного движителя.

В процессе движения локомотива появляется динамическая составляющая вертикальных нагрузок колесных пар, что ухудшает сцепление колес с рельсами. За критерий, непосредственно характеризующий тяговые свойства локомотива, может быть принята предельная работа, выполненная на заданном участке пути. Она определяется силой тяги  $F_c$ , достигнутой при предельном значении тягового момента, выше которого проход участка без необратимого срыва сцепления невозможен [6]:

$$F_c = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} \sum_{i=1}^n 2\Pi_i(t) \varphi_i [v_{cki}(t)] dt, \quad (1)$$

где,  $T_0$  - время нарастания силы тяги;  $n$  - число движущих осей;  $2\Pi_i(t)$  - вертикальные нагрузка на колесную пару;  $\varphi_i$  - коэффициент сцепления.

$$2\Pi_i(t) = 2\Pi_{cti} + \beta_k [z_i(t) - z_p(t) - \eta(t)] + \beta_k [z_i(t) - z_p(t) - \eta(t)];$$

$$v_{cki}(t) = f_1(M_i) = f_1(M_{эли} + \beta_{ум} [\varphi_{яi}(t) - (u+1) \varphi_{ди}(t) + u\varphi_{ни}(t)] + \beta_{ум} (\varphi_{яi}(t) - (u+1) \varphi_{ди}(t) + u\varphi_{ни}(t))).$$

Здесь  $2\Pi_{cti}$ ,  $M_{эли}$  - соответственно статическая нагрузка на ось колесной пары и постоянная составляющая тягового момента;  $\beta_k$ ,  $\beta_k$  - параметры упругой и диссипативной связей контакта колесо - рельс;  $z_i(t)$ ,  $z_p(t)$ ,  $z_i(t)$ ,  $z_p(t)$  - функции и их производные, определяющие колебания колесной пары и пути;  $\eta(t)$  - случайная функция неровностей на поверхности рельса (при  $v = \text{const}$ );  $f_1(M_i)$  - нелинейная функция, связывающая скорость проскальзывания колеса относительно рельса  $v_{cki}(t)$  с тяговым моментом;  $\beta_{ум}$ ,  $\beta_{ум}$  - соответственно угловая жесткость и коэффициент вязкого трения, характеризующие упругие и диссипативные свойства механизма, передающего вращающий момент от тягового двигателя на ось колесной пары;  $\varphi_{яi}(t)$ ,  $\varphi_{ди}(t)$ ,  $\varphi_{ни}$

(t) – случайные функции и их производные, описывающие соответственно угловые колебания якоря, двигателя и оси колесной пары;  $u$  – передаточное отношение тягового редуктора. Возникающая в процессе качения касательная сила тяги должна преодолевать сопротивление движению машины.

Общая касательная сила тяги развиваемая всеми ведущими колесами определяется крутящим моментом подводимым к каждому ведущему колесу.

Очевидно, что для увеличения касательной силы тяги есть только два пути – увеличение нормальной реакции поверхности движения и увеличение трения (сцепления) колеса с поверхностью движения [7].

Повышение эффективности использования железнодорожного транспорта в глубоких карьерах непосредственно связано с решением вопроса значительного увеличения руководящего уклона капитальных траншей при сохранении минимальной массы локомотива.

Увеличение величины руководящего уклона выездной капитальной траншеи может быть достигнуто путем применения тяговых средств, у которых увеличение нормальной реакции поверхности движения обеспечивается силами, не зависящими от сцепного веса локомотива. Повысить нормальную реакцию поверхности движения, действующую на колеса локомотива без увеличения сцепного веса возможно за счет реализации системы догружающих сил, действующих между ходовой частью локомотива и рельсами.

Для увеличения тягового усилия целесообразно использовать магнитные догрузатели. В этом случае нормальная реакция поверхности движения при движении поезда на руководящем уклоне будет складываться из двух составляющих: сцепного веса, создаваемого локомотивом, и дополнительного усилия, создаваемого магнитным догрузателем.

Классификация существующих магнитных догрузателей обеспечивающих прижатие за счет внешних сил представлена на схеме, (рис. 7) [8]. Данная классификация составлена на основании трех патентных решений США [9 - 11] и трех патентов стран СНГ [12 - 14]. Как отмечают авторы основным препятствием использования догрузателей в настоящее время является недостаточный опыт создания таких конструкций и неоднозначные полученные результаты. К настоящему времени не найдено конструктивной схемы догрузателей, которые обеспечили бы существенное повышение тяговых свойств локомотива при компоновке в габаритах его экипажной части. Наиболее перспективной схемой являются электромагнитные догрузатели с расположением их в межосевом пространстве локомотива.

Для выбора рационального способа использования таких магнитных догрузателей, обеспечивающих дополнительное прижатие проведено их сравнение, и выявлены основные достоинства и недостатки применения того или иного способа.

При использовании электромагнитного догрузателя, необходимо определиться с системой регулирования величины догружения.

Исходя из формулы (2) следует, что сила догружения зависит от магнитной индукции  $B$  [15].

$$F_{дог} = \frac{B^2 \cdot S}{2 \cdot \mu_0} , \quad (2)$$

где  $\mu_0$  - магнитная постоянная,  $\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6}$  Г/м.

Магнитная индукция зависит от магнитного потока  $\Phi$ , формула (3)

$$B = \frac{\Phi}{S} . \quad (3)$$

Магнитный поток в свою очередь зависит от четырех величин: количества витков  $\omega$  в обмотке катушки, площадь сечения обмотки магнитного догрузателя  $S$ , силы тока  $I$  и зазора  $\delta$  между рельсом и догрузателем.

$$\Phi = (I \cdot \omega) \frac{S \mu_0}{\delta} . \quad (4)$$

Исходя из формулы (4) основной величиной для регулирования силы догружения была выбрана сила тока  $I$  электромагнитного догрузателя. Так как конструктивные особенности электромагнитного догрузателя не позволяют изменять площадь сечения и количество витков в обмотке, а зазор между рельсами должен быть минимально допустимым. Для более точной

картины был произведен эксперимент с электромагнитным догрузателем в лабораторных условиях.

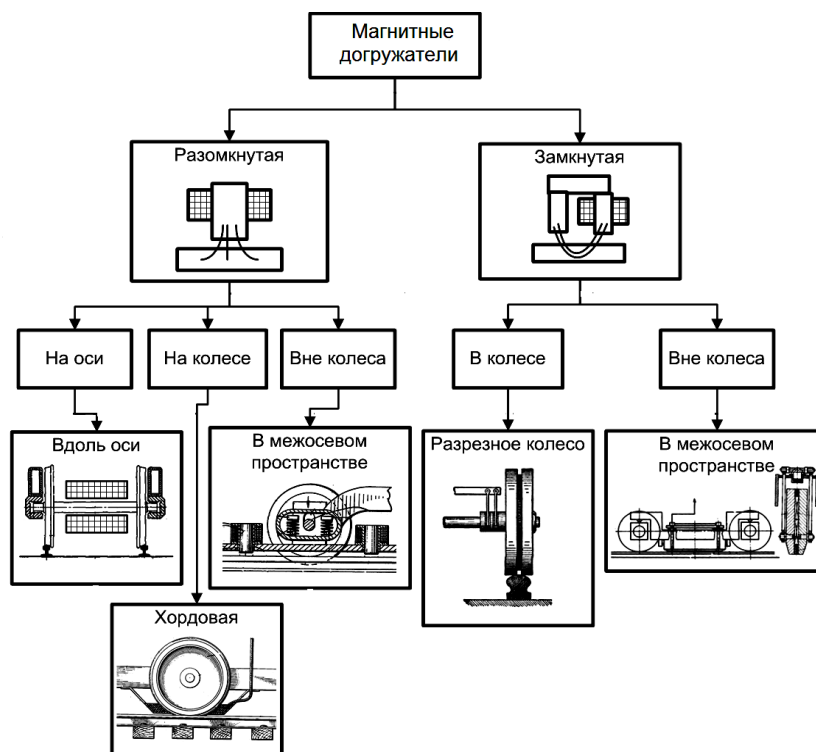


Рис.7. Классификация магнитных догрузателей и способы их установки

Лабораторный стенд (рис. 8) содержит: станину с железнодорожным полотном состоящую из двух частей – неподвижная часть длиной 800 мм и регулируемая длиной 3000 мм.

Регулируемая часть опирается на винтовую опору, которая позволяет изменять угол наклона регулируемой части железнодорожного полотна от 30 % до 120 %. Модель электровоза EL 2 сцепным весом 1,3 Н включает тяговый электродвигатель мощностью 0,16 Вт. В корпусе модели электровоза в межосевом пространстве размещено электромагнитное устройство догрузателя, представляющие собой катушку индуктивности диаметром 17 мм с 3100-ми витками медного провода сечением 0,01 мм<sup>2</sup>. Зазор между электромагнитным догрузателем и поверхностью рельса составляет 1 мм. В качестве измерительной и регистрирующей аппаратуры использовались: мультиметр цифровой DT-858L; весы электронные МК62-А21; и динамометр пружинный 5 Н.

Цель эксперимента заключалась в установлении зависимости силы догрузателя от величины тока подаваемого на электромагнитную катушку догрузателя и определения преодолеваемого при этом уклона железнодорожного пути.

Используя данную модель, были произведены эксперименты по определению изменения величины силы догружения и наибольшего преодолеваемого уклона за счет регулирования величины силы тока подаваемого на догрузатель.

Эксперимент проводился в четыре этапа:

- модель электровоза начинала движение с горизонтального участка и преодолевала уклон в 60 % без какого-либо внешнего догружающего воздействия на модель как показано на (рис. 9, а);
- модель электровоза начинала движение с горизонтального участка и при приближении к наклонному участку пути, включался электромагнит догрузателя непосредственно на наклонном участке. При таком условии модель электровоза преодолевала уклон равный 90 %, как показано на (рис. 9, б);

- модель электровоза начинала движение по горизонтальному участку с включенным электромагнитным догрузателем, и по мере приближения к наклонному участку сила притяжения возрастает и модель электровоза преодолевает уклон  $\approx 110\%$  как показано на (рис. 9, в);
- четвертым этапом было определение тяговых усилий модели электровоза, без каких либо внешних воздействий на электровоз с плавным увеличением догружающего усилия и было установлено, что тяговые усилия, возрастают пропорционально величине догружающего усилия (рис. 9, г).

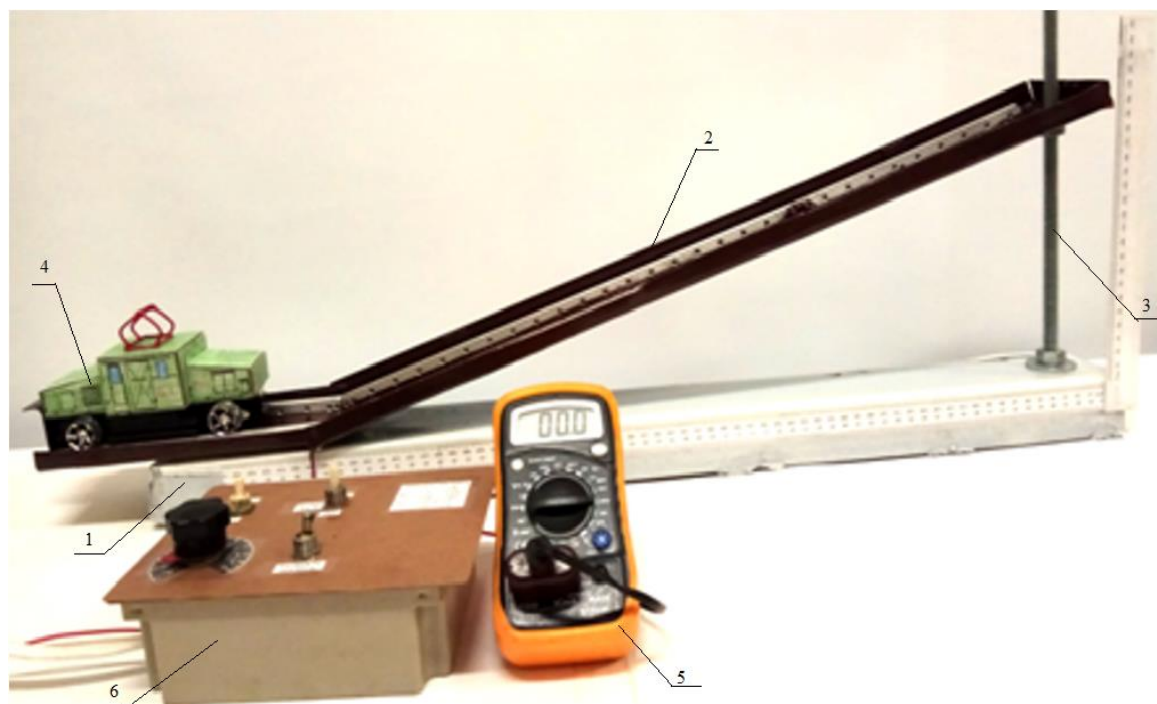


Рис. 8. Экспериментальная модель электровоза с электромагнитным догрузателем: 1 - неподвижный стол; 2 - регулируемая часть железнодорожного полотна; 3 - регулировочный винт; 4 - модель электровоза; 5 - мультиметр цифровой; 6 - весы электронные МК62-А21

При проведении экспериментов значение величины подаваемого тока и соответствующие при этом силы догружения регистрировались непосредственно из опыта по отсчетному устройству измерительных приборов. Минимальное количество опытов устанавливалось для каждого этапа измерений при заданных значениях доверительного интервала  $2\mu$  и доверительной вероятности  $P_d$  равной 0,95. Исходные данные и результаты обработки экспериментальных замеров приведены в таблице 3 ( $x$  – значение силы тока, А;  $y$  – значение силы догружения, Н).

Обработка результатов экспериментальных замеров проводилась с использованием режимов «Регрессия» в настройках Пакета анализа MS Excel. Результаты регрессионного анализа с использованием режима MS Excel приведены в таблице 4. Использовались различные варианты функциональных зависимостей, которые предлагаются в данном пакете.

В результате использования регрессионного анализа в пакете MS Excel была выбрана и построена зависимость  $F(I) = b_0 \cdot x^{b_1}$  (рис. 10), при которой дисперсия имеет наименьшее значение, а достоверность эксперимента составляет 98,83 %.

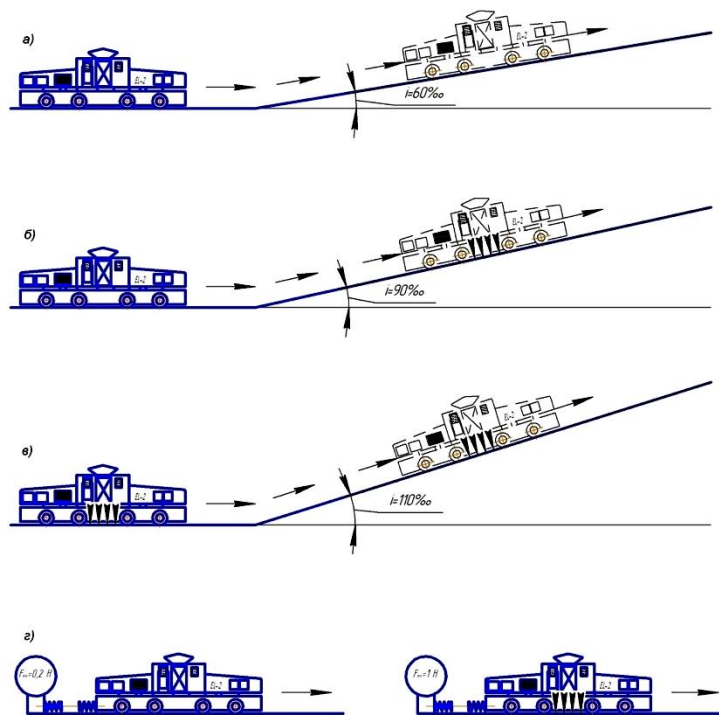


Рис. 9. Величина преодолеваемого уклона и силы тяги электровозов в зависимости от способа включения электромагнитного догрузителя

Таблица 3

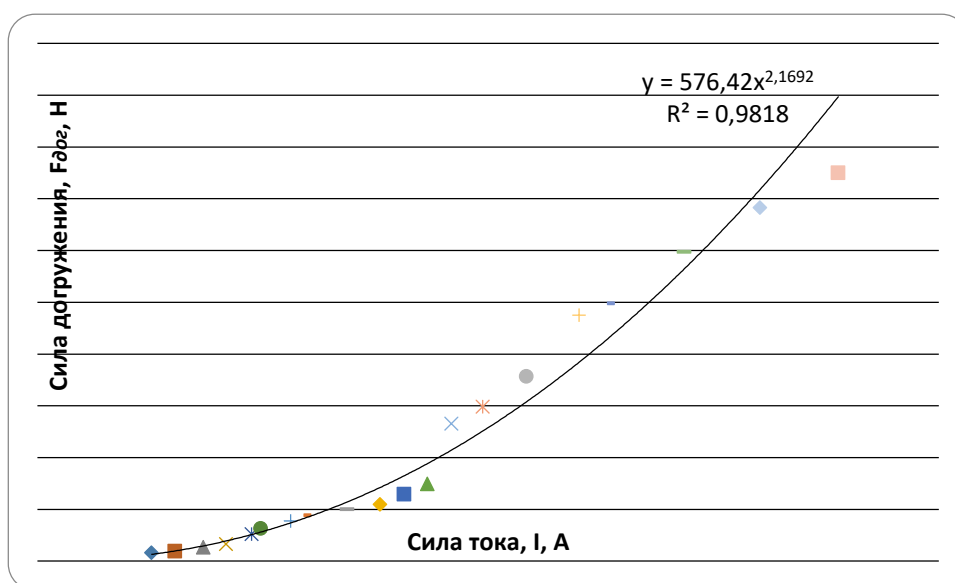
Исходные данные и результаты расчета по уравнениям

N	Исходные данные		Расчетные значения функции по уравнениям (таблица 4)			
	x	y	$y = b_0 + b_1 x^2$	$y = b_0 \cdot x^{b_1}$	$y = b_0 + b_1 x$	Принято
1	0,0152	0,0815	0,0786	0,0656	-0,3684	0,0656
2	0,0183	0,0965	0,1175	0,0981	-0,2314	0,0981
3	0,0221	0,1324	0,1749	0,1477	-0,0634	0,1477
4	0,0251	0,1631	0,2278	0,1947	0,0692	0,1947
5	0,0285	0,2580	0,2960	0,2565	0,2195	0,2565
6	0,0297	0,3160	0,3221	0,2805	0,2725	0,2805
7	0,0337	0,3865	0,4169	0,3689	0,4493	0,3689
8	0,0355	0,4418	0,4635	0,4130	0,5289	0,4130
9	0,0412	0,4995	0,6269	0,5704	0,7809	0,5704
10	0,0456	0,5468	0,7697	0,7109	0,9753	0,7109
11	0,0488	0,6470	0,8827	0,8236	1,1168	0,8236
12	0,0519	0,7441	0,9994	0,9413	1,2538	0,9413
13	0,0551	1,3252	1,1274	1,0717	1,3953	1,0717
14	0,0593	1,4898	1,3071	1,2568	1,5809	1,2568
15	0,0651	1,7839	1,5769	1,5388	1,8373	1,5388
16	0,0721	2,3751	1,9359	1,9204	2,1467	1,9204
17	0,0759	2,4894	2,1462	2,1468	2,3147	2,1468
18	0,0861	2,9867	2,7641	2,8221	2,7655	2,8221
19	0,0962	3,4125	3,4525	3,5897	3,2120	3,5897
20	0,1066	3,7513	4,2411	4,4851	3,6717	4,4851

Таблица 4

Результаты обработки экспериментальных данных

N	Вид зависимости	Коэффициенты		Дисперсия
		B0	B1	
1	$y = b_0 + b_1 x$	-1,040272474	44,2021	0,07275163
2	$y = b_0 + b_1 / x$	2,73824501	-0,0585	0,646392298
3	$y = 1/(b_0 + b_1 x)$	8,001543999	-100,2	3,276879813
4	$y = x/(b_0 + b_1 x)$	-0,007169403	0,00339	0,074184537
5	$y = b_0 \cdot b_1^x$	0,070338465	1,7E+19	1,162924623
6	$y = b_0 e^{b_1 x}$	0,070338457	44,2537	1,162924403
7	$y = 1/(b_0 + b_1 / e^x)$	-98,98060608	107,166	3,233166398
8	$y = b_0 + b_1 \lg(x)$	7,211864471	4,43674	0,294318362
9	$y = b_0 \cdot x^{b_1}$	576,4039185	2,16917	0,066975716
10	$y = b_0 / (b_1 + x)$	-0,00998038	-0,0799	3,276880108
11	$y = b_0 \cdot x / (b_1 + x)$	-0,345496833	-0,0764	141,4892935
12	$y = b_0 e^{b_1 / x}$	4,726298927	-0,0747	0,343959365
13	$y = b_0 + b_1 x^2$	-0,007746458	373,901	0,050724389
14	$y = b_0 + b_1 x^3$	0,368995309	3452,34	0,148185636

Рис. 10. Экспериментальная зависимость для электромагнитного догрузателя  $F(I)$ 

Выполненные теоретические и экспериментальные исследования позволяют сделать вывод, о том что использование электромагнитных догрузателей позволит значительно повысить силу тяги и преодолеваемые уклоны железнодорожного транспорта, что особенно важно в глубоких карьерах.

Глубокий ввод железнодорожного транспорта в карьер может быть обеспечен поэтапным повышением крутизны трасс. Горизонты последовательно вскрываются траншеями сначала с уклоном путей 30 %, затем 50 % и, наконец, 60 %. Причем каждая траншея формирует группы станций, с которых в свою очередь обрабатывается то или иное направление. Рабочая зона вскрывается преимущественно прямыми заездами. Станции максимально связаны между собой, что придает гибкость схеме путевого развития, возможность как оперативного, так и

долгосрочного перераспределения грузопотоков. Это позволит увеличить силу тяги локомотива на 25–30 %, на 30 % полезную массу состава и на 19% производительность локомотивосоставов, снизить энергетические затраты на подъем горной массы на 6 % при уклонах 60 ‰ и на 13 % при уклонах 150 ‰, уменьшить объемы горно-капитальных работ, а также улучшить экологическую обстановку в глубинной зоне карьера.

## Литература

1. Kolga, A.D. & Rakhmangulov, A.N. & Osintsev, N.A. & Sladkowski, A. & Stolpovskikh, I.N. Robotic transport complex of automotive vehicles for handling of rock mass at the process of open cast mining. *Transport Problems*. 2015. Vol.10. No. 2. P. 109-116.
2. Лебединский ГОК. <http://img11.nnm.me/4/e/3/6/0/ea251674f018047cбес68ce39ab.jpg>
3. Тяговые агрегаты ПЭ2М, ПЭ2У. <http://trainshistory.ru/article/lokomotivy/tyagovye-agregaty/tyagovye-agregaty-pe2m-pe2u>
4. Кудайбергенов, Р. *Горные, транспортные, стационарные машины открытых работ*. Том II: Учебное пособие. Алматы: «Бастау». 2016. 384 с.
5. Как устроена и работает электричка. Осевые формулы электровозов. <http://wh0.ru/mechanical1.html>
6. Бирюков, И.В. & Савоськин, А.Н. & Бурчак, Г.П. и др. *Механическая часть тягового подвижного состава: Учебник для вузов ж-д трансп.* Москва: Транспорт. 1992. 440 с.
7. Бондарев, Д.В. & Кольга, А.Д. Повышение эффективности движения колесно-рельсовых транспортно-технологических машин. В сб.: *Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования*. 2015. Т. 1. С. 86-90.
8. Воробьев, В.И. & Измеров, О.В. Методы поиска конструкции тягового привода локомотива с минимальными потерями энергии в эксплуатации. В сб.: *Энерго и ресурсосбережение – XXI век*. 2014. С. 162-166.
9. Wehner, D.E. *Electromagnetic traction increaser*. Patent US2198928 A. Prior. 02.12.1936. Publ. 30.04.1940.
10. Kucera, K. *Electromagnetic adhesion means for railroad locomotives*. Patent US3307058 A. Prior. 20.01.1964. Publ. 28.02.1967.
11. Heinze, J.O. Jr. *Magnetic wheel*. Patent US709484 A. Prior. 24.02.1902. Publ. 23.09.1902.
12. Мишин, В.В. & Зябрев, В.А. & Лебедев, А.И. & Салов, В.А. & Шляхов, Э.М. *Магнитный догрузатель рельсового транспортного средства*. Авторское свидетельство СССР № 653159. Prior. 16.10.1984. Publ. 30.01.87. Бюл. № 4.
13. Салов, В.Л. *Устройство для увеличения давления колес транспортного средства на рельсы*. Авторское свидетельство СССР № 1011422. Prior. 18.02.1981. Publ. 15.04.1983. Бюл. No 14.
14. Салов, В.А. & Балашов, А.В. & Дорожкин, В.Н. & Меликджанов, Г.С. & Шашкин, В.Б. *Устройство для увеличения нагрузки на оси рельсового транспортного средства*. Авторское свидетельство СССР № 653159. Prior. 16.07.1984. Publ. 07.05.1986. Бюл. No 17.
15. Сливинская, А.Г. *Электромагниты и постоянные магниты*. Учебное пособие для студентов вузов. Москва: «Энергия», 1972. 248 с.