© Е.К. Едыгенов, О.Н. Ткаченко, 2007

УДК 621.87

*Е.К. Едыгенов, О.Н. Ткаченко*

# *ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ КРУТОНАКЛОННЫХ ПОДЪЕМНИКОВ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПРИВОДОМ*

**Семинар № 19**

Дальнейшее повышение добычи полезных ископаемых открытым способом связано с разработкой более глубоких горизонтов, что ведет к росту затрат на транспортирование горной массы и ее себестоимость.

Одним из перспективных средств доставки горной массы из глубоких горизонтов могут стать крутонаклонные подъемники, подвижным транспортным средством которых являются конвейерные поезда (КП), состоящие из ряда ходовых тележек с грузонесущим полотном для перевозки крупнокусковой горной массы и перемещающиеся по направляющим рельсам под действием электромагнитных тяговых приводов, размещенных стационарно вдоль трассы, от пункта погрузки к пункту разгрузки [1].

При осуществлении крутонаклонных транспортных операций важной задачей является обеспечение своевременной остановки поезда при подъеме в случае аварийных ситуаций, например выхода из строя тягового привода. Существующие тормозные устройства для автомобильного транспорта не могут быть использованы на крутых уклонах, поскольку они устанавливаются непосредственно на транспортном средстве и фиксация ими колес вызовет на крутом уклоне скольжение последних по направляющим путям.

Тормозные силы в современных железнодорожных поездах создаются в основном тремя различными способами [2]: прижатием тормозных колодок к ободам колес (колодочный тормоз) или к специальным дискам, жестко насаженным на оси колесных пар (дисковый тормоз); прижатием специальных электромагнитных башмаков к рельсам (магнитно-рельсовый тормоз); путем превращения тяговых электродвигателей в электрогенераторы (рекуперативное и реостатное торможение).

Наиболее распространенным является первый способ создания тормозных сил. Для этой цели вагоны и локомотивы оборудуют пневматической системой с соответствующими устройствами, позволяющими в любой момент краном машиниста на локомотиве, стоп-краном на вагоне или автоматически при обрыве междувагонных соединений прижать колодки к колесам или дискам колесных пар.

Второй способ торможения применяется на высокоскоростных пассажирских вагонах и только при экстренных остановках поезда.

Третий способ (электрическое торможение) используется для регулирования скорости поезда. Особенно выгоден в эксплуатации рекуперативный вариант торможения на затяжных и крутых спусках, так как при этом значительная

доля кинетической энергии поезда обращается в электрическую и возвращается в контактную сеть. Однако для осуществления такого варианта требуется дополнительно устанавливать специальное оборудование на электровозы (необходимы генераторы-возбудители, питающие обмотки возбуждения тяговых электродвигателей).

Все указанные выше способы торможения транспортного средства не смогут обеспечить остановку поезда на больших уклонах, вследствие того, что и в этих случаях тормозные сис-темы расположены на транспортном средстве и предотвращение вращения колес не остановит спуск поезда под действием гравитационных сил.

Для осуществления остановки подъемника в заданном месте необходимо жесткое и стационарное размещение тормозных систем вдоль пути транспортирования. При этом торможение спускающегося под крутым уклоном поезда должно быть достаточно плав-ным, чтобы избежать больших дина-мических перегрузок, как в самой системе, так и в конструктивных эле-ментах поезда.

Для обеспечения безаварийной работы крутонаклонного подъемника разработано тормозное устройство (рис. 1) [3].

Крутонаклонный подъемник имеет в своем составе конвейерный поезд, состоящий из ходовых тележек, содержащих ходовые колеса с осью и раму, на которой установлено грузонесущее полотно, тяговый привод и направляющие рельсы. Вдоль направляющих рельс с двух их внешних сторон установлены стойки, на которых закреплены на уровне рам тормозные устройства, включающие один или несколько электромагнитов соленоидного типа. Между направляющих рельс установлены фиксаторы, выполненные в виде прямоугольного треугольника, имеющего ось вращения, один катет которого обращен в сторону движения ходовых тележек, а другой - опирается на жесткое основание, которое содержит сигнальный датчик. Электромагниты с обмоткой связаны с электросетью через коммутирующие устройства, которые взаимодействуют с сигнальным датчиком.

Таким образом, при подъеме в случае аварийной ситуации, например при выходе из строя тягового привода, обеспечивается торможение без скольжения колес по направляющим рельсам за счет фиксатора, приостанавливающего спуск конвейерного поезда, и полной остановки поезда за счет жесткого двухстороннего сжатия рамы ходовых тележек стационарно установленными тормозными устройствами, величина усилия прижатия которых может регулироваться изменением тока в электромагните с обмоткой. При этом увеличение числа электромагнитов с обмоткой, например до трех, также ведет к повышению усилия прижатия пластин с фрикционным материалом к раме и площади взаимодействия между ними.

Тормозное устройство работает следующим образом.

После загрузки на нижнем горизонте карьера конвейерный поезд под действием тягового, например электромагнитного, привода *5* движется по направляющим рельсам *6* по наклону к верхнему горизонту или на поверхность к обогатительной фабрике. В своем движении ось *2* ходовых колес *1* воздействуют на гипотенузу фиксатора *14* и, последний, вращаясь вокруг оси *15*, отклонится в сторону движения, не препятствуя перемещению поезда. После прохождения оси *2* фиксатор *14* возвращается в исходную позицию при помощи возвратного механизма.

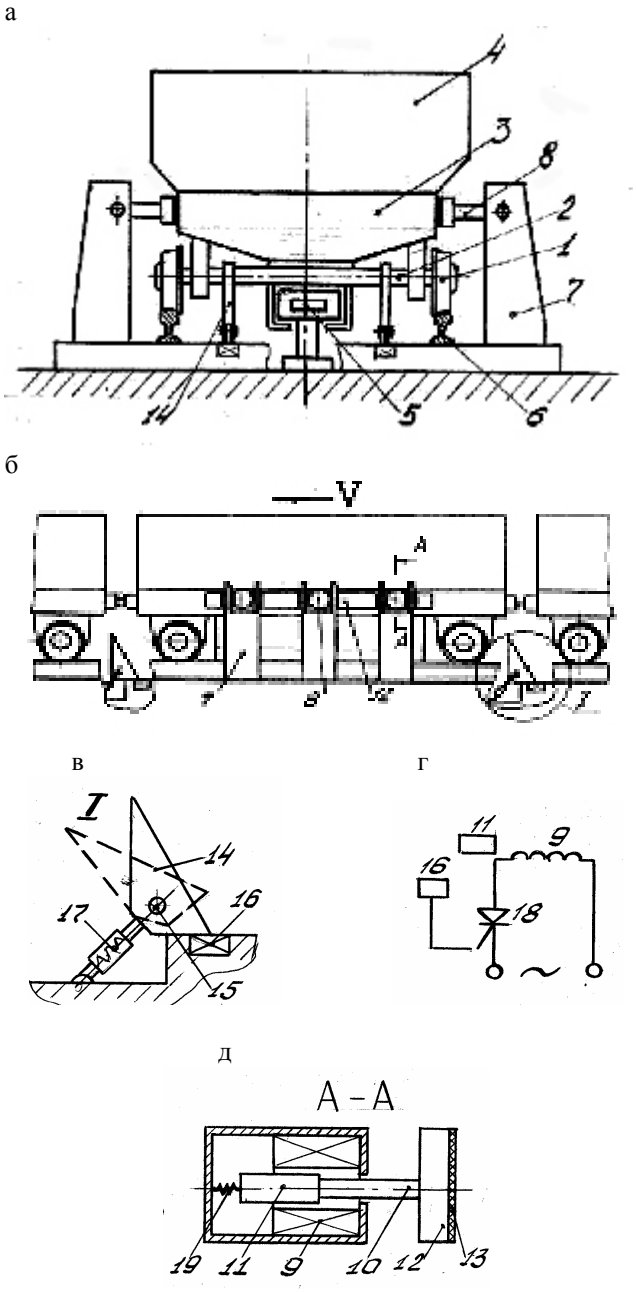


***Рис. 1. Схема конвейерного поезда с тормозным устрой-ством:*** а - вид с торца; б – вид с боку; в – фиксатор; г – схема управления электромагнитами; д – демпфирующее устройство. *1* - ходовые колеса; *2* - ось; *3* – рама; *4* - грузонесущее полотно; *5* - электромагнитный привод; *6* - направляющие рельсы; *7* – стойки; *8* - тормозное устройство; *9* - соленоидные электромагниты; *10* – шток; *11* – якорь; *12* – пластин; *13* - фрикционный материал; *14* – фиксатор; *15* - ось вращения; *16* – пьезодатчик; *17* - возвратная пружина; *18* – тиристор; *19* - возвратная пружина якоря

При подъеме в случае аварийной ситуации, например при выходе из строя тягового привода *5*, последний перестает передавать кинетическую энергию конвейерному поезду и поезд начнет скатываться вниз по направляющим рельсам *6*. В своем движении вниз оси *2* ходовых колес *1* взаимодействуют с большим катетом фиксатора *14*, который приостанавливает спуск конвейерного поезда. При этом, усилие, оказываемое осью *2* на большой катет фиксатора *14* и созданное гравитационными силами спускаемого конвей-ерного поезда, передается на малый катет фиксатора *14*, который воздействует на сигнальный датчик *16*. В сигнальном датчике *16* вырабатывается ток, достаточный для отпирания тиристоров *18*. Через открытые тиристоры *18* в электромагнит с обмоткой *9* поступает ток, магнитное поле которых, воздействуя на якорь*11*, перемещает последний вместе со штоком *10* и пластиной *12* в сторону рамы *3*. Пластины *12* фрикционными материалами *13* с двух

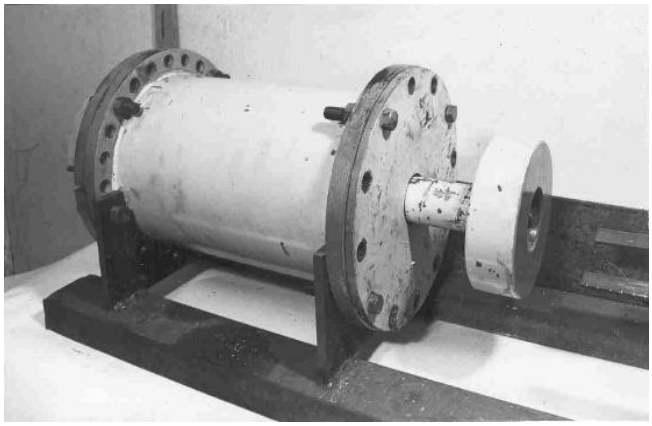

***Рис. 2. Общий вид демпфирующего устройства***

сторон прижимаются к раме *3*, останавливая тем самым конвейерный поезд. При этом усилие прижатия, а следовательно, и время остановки, может регулироваться изменением тока в электромагните с обмоткой *9*.

При включении в работу тягового привода *5*, сигнал от датчика *16* снимается, в результате чего тиристоры *18* запираются, в электромагните с обмоткой *9* исчезает магнитное поле и якорь *11* под действием возвратной пружины *19* перемещается вместе со штоком *10*, пластиной *12* и фрикционным материалом *13* в сторону обратную от рамы *3*, освобождая конвейерный поезд для дальнейшего движения.

Таким образом, обеспечение конвейерного поезда системой аварийного торможения повышает безопасность его работы при крутонаклонном транспортировании горной массы с глубоких горизонтов.

Одним из основных элементов этого устройства являются демпферы (рис. 1, *д*), которые состоят из одного или нескольких электромагнитов соленоидного типа и могут воздействовать на поезд как с двух его сторон, так и с торцевой стороны, например на оси колесной пары.

В Институте разработана конструкция и изготовлено демпфирующее устройство ТЭМ-1, общий вид которого изображен на рис. 2.

Устройство ТЭМ-1 имеет цилиндрическую форму с габаритами по максимально выступающим частям: длина 535 мм, диаметр – 285 мм.

Корпус выполнен из отливки 40Л-1 в виде трубы с наружным диаметром 220 мм, внутренним – 200 мм и длиной – 336 мм.

На торцах корпуса имеются выступы с отверстиями для крепления гидроцилиндра и фланца. На внутренней поверхности корпуса по всему сечению заднего торца сделан паз для крепления катушки электромагнита.

Индуктор выполнен из материала Ст.3 с наружным диаметром 106 мм, внутренним – 100 мм и длиной – 360 мм. Толщина торцевых стенок индуктора равна 10 мм. Индуктор с обмоткой возбуждения крепится внутри к корпусу при помощи выступов, выполненных в переднем фланце, и паза на внутренней поверхности корпуса.

Между индуктором и корпусом предусмотрен зазор для прохождения охлаждающей обмотку жидкости. Обмотка возбуждения выполнена из провода типа ПСДК диаметром 5 мм. Число витков равно 800.

Передний фланец, закрепленный на корпусе, имеет выступ длиной 50 мм, который ограничивает ход поршня таким образом, чтобы геометрические центры поршня и электромагнита не совпадали, и сила тяги электромагнита была всегда направлена против движения поезда при его торможении.

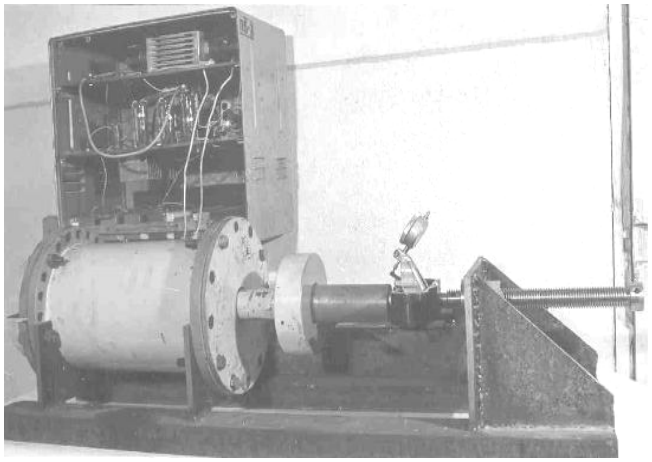

***Рис. 3. Стенд для испытаний ТЭМ – 1***

Гидроцилиндр, выполненный в виде стакана, в котором размещена жидкость, например трансформаторное масло, имеет следующие размеры: внутренний диаметр – 170 мм, наружный – 285 мм, длина– 110 мм, толщина стенок– 10 мм, материал – отливка 25 л.

Якорь и буфер соединены между собой штоком и представляют собой единый подвижный элемент, при этом якорь выполнен из Ст.3 и имеет длину – 270 мм и диаметр – 100 мм, буфер с диаметром 160 мм и длиной 50 мм выполнен из Ст.5, а шток имеет длину 500 мм и диаметр 50 мм.

Испытания проводились в лабораторных условиях и преследовали цель решения следующих задач: оценка работоспособности установки; демпфирующие и отталкивающие усилия при разных значениях подаваемого напряжения.

Испытания проходили на стенде, общий вид которого представлен на рис. 3.

Испытательный стенд состоял из платформы, выполненной из двух швел-леров.

С одного края платформы закреплены два ложемента, между которыми крепится демпфирующее (тормозное) устройство. На другом краю платформы на кронштейнах вертикально закреплена пластина с центральным отверстием, в которое вставлена и жестко закреплена профильная гайка с прямоугольной резьбой. В гайку для изменения хода якоря тормозного устройства вворачивается болт. На пластине со стороны, направленной к буферу тормозного устройства, наварены два уголка, образующие площадку, на которой устанавливается динамометр ДОСМ–1. Питание и управление электромагнитным приводом осуществлялось через выпрямительный блок, составленный из диодов В-200, а коммутация – по схеме «тиристорный ключ». Коммутационный и выпрямительный блоки размещались в отдельном ящике.

Ток и напряжение в обмотке измерялись при помощи амперметра типа М45М и вольтметра.

Усилие отталкивания и торможения, развиваемые электромагнитным приводом, определялись динамометром ДОСМ-1.

Ход якоря и время его движения устанавливались при помощи линейного измерителя, размещенного на платформе, и хронометра.

В результате испытаний была получена зависимость тягового усилия электромагнита от величины хода якоря при его работе на торможение

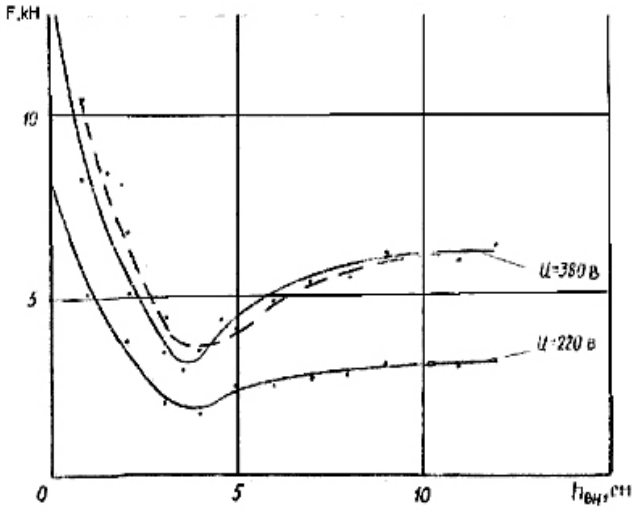


***Рис. 4. Тяговая характеристика ТЭМ – 1***

(сплошная линия) и отталкивание (пунктирная линия) (рис. 4).

Усилие торможения определялась с точки контакта якоря с выступом переднего фланца, то есть устанавливалось усилие отрыва двух намагниченных поверхностей. Отталкивающие усилия тягового привода замерялись до некоторого зазора Δ (при испытании Δ = 8 мм), так как при залипании якоря к выступу все тяговое усилие прикладывалось к последнему и динамометр не давал показаний.

Как видно из рис. 4 отталкивающее и тормозящее усилия имеют практически одинаковую за исключением зоны выступа зависимость от глубины внедрения якоря в электромагнит.

В начальном движении, поскольку якорь внедрен в электромагнит на глубину 190 мм, т.е. больше половины длины индуктора, тяговое усилие достигает величины свыше 3 кН при U = 220 В, I = 140 А и продолжает расти по мере дальнейшего внедрения якоря. В это время индуктор воздействует на якорь как соленоидный привод, для которого характерна трапецевидная характеристика силы тяги - ход. При прохождении еще 80 мм, т.е. при внедрении поршня на 270 мм, тяговое усилие начинает несколько спадать, здесь еще сказывается соленоидный характер привода. Однако при перемещении еще на 10 мм тяговое усилие резко возрастает, начинает сказываться действие стопа-выступа. При расстоянии 8 мм от выступа на поршень действует усилие в 13 кН при U = 380 В и I = =210 А.

Тормозящее усилие в месте контакта поршня с выступом наибольшее и достигает при U = 380 В величины равной 15 кН.

Анализ тяговой характеристики привода показывает, что опытный образец тормозного устройства способен осуществлять остановку груженного транспортного средства, движущегося со скоростью 0,5-1 м/с с массой 1-2 т, и оттолкнуть порожнюю вагонетку, придав ей скорость до 2 м/с.

При этом, учитывая характер зависимости тягового усилия от хода поршня, можно считать, что останов и отталкивание транспортного средства будет происходить относительно равномерно, без заметных динамических перегрузок.

В процессе испытаний тормозное устройство показало устойчивую работу. Следует отметить, что испытания проходили без охлаждающей обмотку жидкости, в результате чего наблюдался нагрев обмотки, который, однако, не достигал критических для

изоляции величин. Тем не менее, для более устойчивой работы устройства, а также увеличения тормозящей силы за счет дополнительных сил гидравлического сопротивления необходимо использовать охлаждающую жидкость.

Для расширения функциональных возможностей необходимо на базе ТЭМ-1 разработать тормозное устройство с большим активным ходом поршня за счет увеличения длины обмотки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ


1. *Едыгенов Е.К.* Основы теории конвейерных поездов с электромагнитным приводом для открытых горных работ. Алматы: Фонд «XX век», 2001.- 206 с.
2. *Вершинский С.В., Данилов В.Н., Хусидов В.Д.* Дигамика вагона. – М., Транспорт, 1991. - 380 с.
3. *Транспортный* комплекс – конвейерный поезд. Заявка №2004/1698.1 от 26.11.2004 г.//Едыгенов Е.К., Ткаченко О.Н., Неборокова Н.Н., Едыгенов Н.Е. ГИАБ


## Коротко об авторах


*Едыгенов Е.К.* – доктор технических наук, чл.-корр. Академии минеральных ресурсов Республики Казахстан, заместитель директора,
*Ткаченко О.Н.* –

Институт горного дела им. Д.А. Кунаева, г. Алматы, Казахстан.


## ДИССЕРТАЦИИ

### ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

| Автор | Название работы | Специальность | Ученая степень |
|---|---|---|---|
| **ЧИТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ** | | | |
| ПШЕННИКОВ Владлен Андреевич | Совершенствование геологического обеспечения горных работ при разработке урановых месторождений Стрельцовского рудного поля | 25.00.11 | д.г.-мин.н. |