

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОДВЕСНОЙ САМОХОДНОЙ ТЕЛЕЖКИ ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ШТУЧНЫХ ГРУЗОВ ПО МОНОРЕЛЬСАМ БЕЗ ПЕРЕГРУЗОК

А. К. Пильненко^а к.т.н.; В. М. Даценко^б к.т.н.; А. Г. Водолажченко^б ст. преподаватель

^а ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского», г. Донецк

^б ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

Аннотация. В работе рассматривается вопрос повышения производительности погрузочно-разгрузочных и транспортно-складских операций путем применения подвесной самоходной тележки для перемещения штучных грузов по монорельсам. Анализ литературных источников показал, что положения расчета основных параметров подвесных монорельсовых дорог не содержат полных сведений об условиях эксплуатации, возникающих во время движения по вертикальным монорельсам. Установленные зависимости сопротивления перемещению загруженной тележки при наклонном расположении монорельса показали, что на величину сопротивления движению наибольшее влияние оказывает угол наклона монорельса. Для уменьшения деформации приводного ролика следует увеличивать твердость материала, т.е. довести модуль упругости материала до величины, равной 0,08-0,09 МПа. Спроектированная самоходная подвесная тележка предназначена для перемещения различных грузов внутри зданий машиностроительных производств и предприятий строительной индустрии. Тележка может перемещать грузы и между отдельными зданиями. Подвесная тележка имеет возможность перемещать штучный груз по горизонтальным и вертикальным монорельсам без перегрузок.

Ключевые слова: подвесная тележка, грузоподъемность, приводной ролик, сопротивление перемещению, монорельс.



*Пильненко Антон
Константинович*



*Даценко
Виталий Михайлович*



*Водолажченко
Александр Григорьевич*

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

На предприятиях различных отраслей промышленности практически все основные технологические процессы механизированы и в значительной мере автоматизированы. Однако целый ряд операций, связанных с перемещением грузов, механизирован все еще недостаточно, и на этих работах в промышленности занято большое число рабочих. В связи с этим механизация погрузочно-разгрузочных и транспортных работ является существенным резервом для повышения производительности труда [7, 12, 13].

Механизация работ при перемещении грузов дает возможность не только освободить значительную часть рабочих от тяжелого физического труда и направить их на выполнение технологических операций с целью увеличения выпуска продукции, но также уменьшить потери, связанные с простоем грузов, сырья или товаров.

С целью механизации погрузочно-разгрузочных работ при перевозках грузов на предприятиях машиностроения применяются самопогрузчики различных типов и другие виды специализированного подвижного состава, авто- и электропогрузчики и штабелеры различных типов, внедряются новые средства механизации погрузочно-разгрузочных работ.

Большое внимание уделяется обеспечению быстрой, качественной и своевременной доставки груза, сырья или товаров между структурными подразделениями предприятия. Кроме этого, при доставке этих грузов между этажами, возникает ряд трудностей,

связанных с необходимостью быстрой и качественной доставки в поточном производстве [8,14-18].

В связи с этим объясним интерес к созданию новых, нетрадиционных средств перемещения грузов, например, подвесных самоходных тележек, которые, не используя площадь помещений, могут связать различные технологические процессы в единое целое.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

На предприятиях машиностроения основным видом транспорта для перемещения основных или вспомогательных грузов является конвейеры, а по вертикали – лифты, что неизбежно связано с перегрузкой груза и применением многоступенчатой технологии перемещения. Особенно усложняется работа при наличии разветвлений и искривлений траектории перемещения груза. В то же время опыт эксплуатации подвесных монорельсовых дорог подтверждает возможность создания безперегрузочной технологии транспортирования, что позволяет снизить затраты и улучшить работу предприятия [1,3,10,11].

Таким образом, важное хозяйственное значение для предприятия состоит в создании подвесных самоходных тележек с оптимальными параметрами.

Проблемы создания подвесных монорельсовых дорог нашли широкое отражение в работах ученых: А. М. Бабичкова, Л. А. Вуколова, А. Л. Голубенко, В. С. Звиадаури, В. Г. Иноземцева, И. П. Исаева, В. М. Казаринова, А. И. Костюкевича и др.

Несмотря на большой объем исследований в области создания и повышения эффективности работы подвесных дорог, их преимущества не реализованы в полной мере и широкое применение на предприятиях машиностроения и в строительной отрасли пока не представляется возможным. Положения расчета основных параметров подвесных монорельсовых дорог, приведенные в литературе, не содержат полных сведений об условиях эксплуатации, возникающих во время движения по вертикальным монорельсам. Необходима разработка новых подходов и технических решений, удовлетворяющих современным требованиям к монорельсовому транспорту для предприятий машиностроения и строительной отрасли [2,4-6,9].

ЦЕЛЬ СТАТЬИ

Развитие научных основ создания подвесных самоходных тележек с рациональными параметрами работы для перемещения штучных и затаренных грузов по горизонтальным и вертикальным монорельсам без перегрузок.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Во время движения подвесной самоходной тележки по монорельсовой дороге происходят динамические процессы, связанные с реализацией тягового усилия, появлением упругих сил, трения, инерции. От конструкции подвесной самоходной тележки зависит эффективность и безопасность работы.

За последнее время в теории рельсового транспорта сложилось несколько направлений, основанных на

использовании аналитических методов исследований и математического моделирования.

Конструкция подвесных монорельсовых дорог и условия эксплуатации имеют ряд особенностей: движение происходит по одному рельсу (монорельсу); монорельсовый путь состоит из соединенных отрезков (секций), которые подвешиваются в местах соединений; монорельс изготавливается из двутаврового профиля; тележка перемещается по наклонным поверхностям нижних полок двутавра; центр тяжести подвижной конструкции тележки состава всегда находится ниже его опорных точек; ходовые колеса тележек не имеют реборд; тяговое усилие тележки не зависит от сцепной силы тяжести, а определяется силой принудительного прижатия приводных колес; колесная колея определяется толщиной вертикальной стенки монорельса, а также шириной, углом наклона и радиусами закруглений его нижних полок.

Проектируемая самоходная подвесная тележка (рис. 1) состоит из каретки 1, собираемой из двух боковин. Боковины свариваются между собой при помощи накладок. Расстояние между боковинами определяется габаритами привода. Каретка опирается на четыре ходовых ролика 4, которые передвигаются по нижнему поясу монорельса 3. В качестве монорельса можно использовать двутавры необходимого профиля, которые подвешиваются к потолку или стойкам. Монорельс включает линейные секции, из которых собираются горизонтальные или наклонно-вертикальные участки и переходные криволинейные секции, радиус которых определяется жесткой базой тележки.

Между боковинами тележки установлен привод, состоящий из электродвигателя, колодочного тормоза, червячного редуктора, цепной передачи. Движение от привода передается на приводной ролик 2, который с целью улучшения сцепления с монорельсом, футеруется резиной и поджимается к монорельсу пружиной. Приводной ролик установлен в специальных пазах в боковинах каретки и может перемещаться в них в зависимости от направления давления пружины и реакции от усилий, возникающих на наклонных и криволинейных участках.

В нижней части каретки на шарнире 5 подвешивается грузозахватное приспособление 5, тип которого зависит от перемещаемого груза (платформа, люлька, крюк, вилы и т.д.).

Положение грузозахватного приспособления независимо от угла наклона монорельса всегда будет находиться в горизонтальном положении, что удобно и для погрузочно-разгрузочных работ.

Питание на электродвигатель передается или по кабелю, который подвешивается параллельно монорельсу, или по шинам. Возможны варианты укладки кабеля на специальный желоб или использование кабеленамоточного устройства.

При отсутствии напряжения в сети и нахождения тележки на наклонном или вертикальном участке самопроизвольного ее движения вниз наблюдаться не будет, так как за счет момента, создаваемого грузом, ходовые ролики на монорельсе будут заклиниваться. Кроме этого в приводе предусмотрен колодочный тормоз.

Для создания силы тяги монорельсовыми тележками обычно применяют один из трех способов

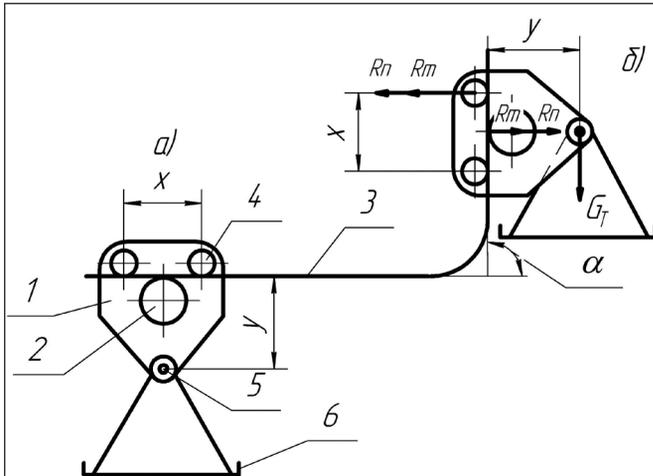


Рис. 1. Расчетная схема самоходной подвесной тележки: 1 – каретка тележки, 2 – приводное колесо, 3 – монорельс, 4 – опорные колеса, 5 – шарнир, соединяющий каретку с грузовой люлькой, 6 – грузовая люлька
(а – движение по горизонтальному участку, б – движение по наклонному участку под углом α)

прижатия их приводных роликов к монорельсу: силой тяжести тележки и груза; пружинами или другими упругими элементами; механизмами, автоматически регулирующими давление приводных колес на монорельс в зависимости от сопротивления тележки и необходимого усилия.

Разработанная конструкция тележки основана на двух последних способах прижатия подвесного приводного ролика к монорельсу. При движении по горизонтальным участкам пути использованы упругие свойства резинового обода приводного ролика, который при движении тележки в результате начального сжатия пружины деформируется до получения необходимого упругого давления R_n на монорельс. При движении тележки по наклонному участку пути силу прижатия приводного ролика к монорельсу увеличивает сам механизм.

Принцип действия механизма, обеспечивающего прижатие силой приводного колеса к рельсу, основан на том, что тележка смонтирована на каретке, на которой установлен приводной ролик, прижимаемый к монорельсовому пути снизу, а под ним на каретке установлены опорные колеса, нижняя часть каретки в ее плоскости симметрии соединена горизонтальным шарниром с грузовой люлькой. При движении тележки по наклонному участку монорельсового пути сила тяжести люльки с грузом и сила тяжести каретки создают опрокидывающий момент, действующий на опорные колеса и приводной ролик. Следовательно, на наклонном участке монорельсового пути сила прижатия R_n от упругой деформации резинового обода складывается с силой R_m , в результате чего создается давление на приводной ролик, что и обеспечивает движение тележки с грузом под любым углом вплоть до вертикального.

Управление тележкой возможно непосредственно оператором или в автоматическом режиме с дистанционным управлением и адресованием. Питающий кабель подвешивается на трос. Движение тележки реверсивное.

В зависимости от угла наклона монорельса сила прижатия приводного ролика к монорельсу изменяется. Деформация футеровки приводного ролика по мере увеличения угла наклона будет увеличиваться.

Сопротивление перемещения загруженной тележки при горизонтальном расположении монорельса с учетом уклона пути определяется по формуле:

$$W = \frac{Q + G_T}{D_{кр}} (2\mu + fd)k_1 + (Q + G_T) \operatorname{tg} \beta, \quad (1)$$

где $D_{кр}$ – диаметр ходовых роликов;
 Q – грузоподъемность тележки;
 G_T – собственная масса тележки;
 μ – коэффициент трения качения (плечо реактивной силы);
 f – коэффициент трения качения подшипников;
 k_1 – коэффициент, учитывающий потери от приводного ролика;
 β – допустимый угол наклона монорельса.
 Необходимое усилие прижатия приводного ролика.

$$R_n = \frac{W}{f_1}, \quad (2)$$

где f_1 – коэффициент, учитывающий сцепление обремененного ролика.

При движении тележки по наклонному монорельсу силу прижатия приводного ролика к монорельсу увеличивает сама тележка на величину R_m за счет конструкции тележки, т.е. шарнирной подвески грузонесущего органа.

$$R_m = \frac{\alpha \cdot \psi \cdot (Q + G_T) \cdot y \cdot \sin \alpha}{x}, \quad (3)$$

где ψ – коэффициент приведения силы тяжести тележки к подвеске груза;
 α – угол наклона монорельса;

Величины x и y принимаем конструктивно:
 $x = 550$ мм – расстояние между ходовыми роликами;
 $y = 710$ мм – расстояние между линией контакта приводного ролика и шарниром подвески грузонесущего органа.

График зависимости силы прижатия приводного ролика R_m от угла наклона монорельса ($\alpha = 5^\circ \dots 90^\circ$) представлен на рис. 2.

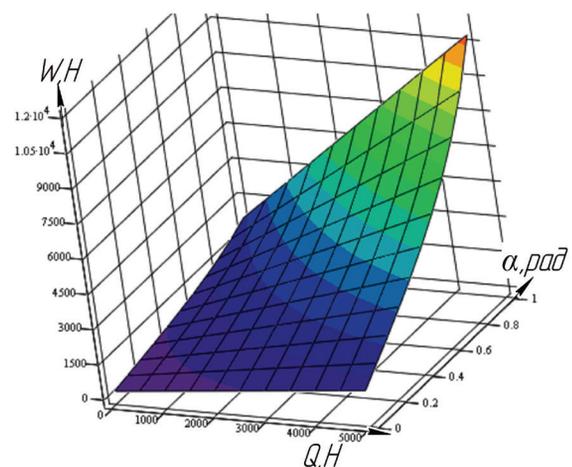


Рис. 2. Сопротивление перемещения загруженной тележки при наклонном расположении монорельса

Для обеспечения отсутствия пробуксовки приводного ролика в период движения тележки по наклонному монорельсу сила сцепления должна быть не меньше суммы сопротивления движения:

$$F\varphi = (Rn + Rm) \geq W_n, \quad (4)$$

Для создания надежного сцепления принимаем запас сцепления $K_{сц} = 1,2$. Тогда $F\varphi = 1,2W_n$, где $F\varphi = Rn + Rm$ – сцепной вес; φ – коэффициент сцепления резинового обода приводного ролика с монорельсом. Значения $F\varphi$ показаны на рис. 3. Условия надежного сцепления соблюдаются $F\varphi \geq W_n$.

Общее усилие сопротивления передвижению $W_{нобц}$ определяется по формуле:

$$W_n = \frac{Q + G_T}{D_{кр}} (2\mu + fd) + \frac{R_m + R_n}{D_{п.р.}} + (2\mu + fd) + (Q + G_T) \sin \alpha, \quad (5)$$

где $D_{п.р.}$ – диаметр приводного ролика;
 d – диаметр вала приводного ролика.

Условие для нормальной работы подвесной тележки при различных углах наклона монорельса выполнено, поэтому тележку можно рекомендовать к применению на различных углах наклона, вплоть до вертикального. Пробуксовки приводного ролика не наблюдается.

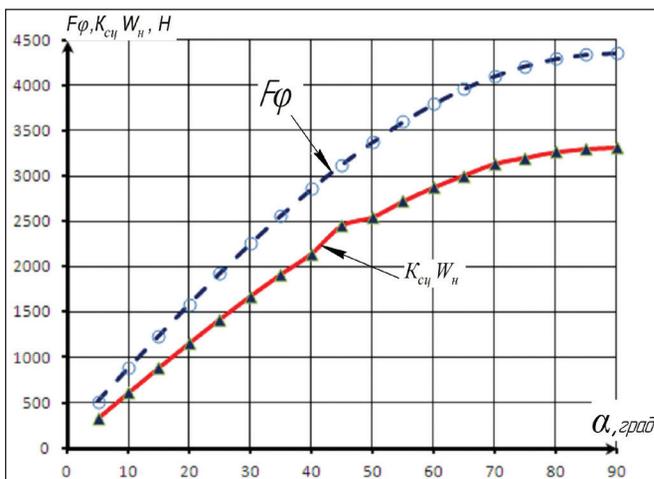


Рис. 3. График зависимости тягового усилия и сопротивления движению от угла наклона монорельса

Мощность электродвигателя определяется для наибольшего общего усилия сопротивления передвижению W_n , что характерно для монорельса, установленного под $\alpha < 90^\circ$, при грузоподъемности 200 кг.

$$N = K \frac{W_n v}{102 \cdot \eta_{пр}}, \quad (6)$$

где K – коэффициент запаса мощности;
 $\eta_{пр}$ – КПД всего привода;
 v – скорость движения тележки.

Была рассчитана и проанализирована зависимость мощности двигателя от грузоподъемности. По результатам расчета был построен график зависимости мощности электродвигателя от грузоподъемности (рис. 4).

Зависимость деформации $\Delta H(F)$ резинового обода приводного колеса в зависимости от усилия прижатия (F), при которой оно воздействует на монорельс с усилием $F = \varphi(R_m + R_n)$:

$$\Delta H(F) = H \sqrt[3]{\frac{32F^2}{9HrE^2B^2K_k}}, \quad (7)$$

где r – наружный радиус резинового обода, м;
 $H = 0,02$ м, $B = 0,065$ м – толщина и ширина резинового обода колеса;
 K_k – коэффициент, зависящий от размеров и конструкции колеса;
 E – модуль упругости резины обода, МПа.

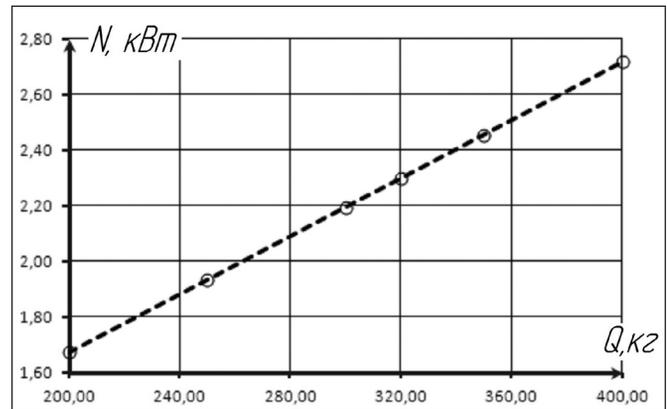


Рис. 4. График зависимости мощности от грузоподъемности

График деформации резинового обода приводного колеса в зависимости от усилия прижатия (рис. 5).

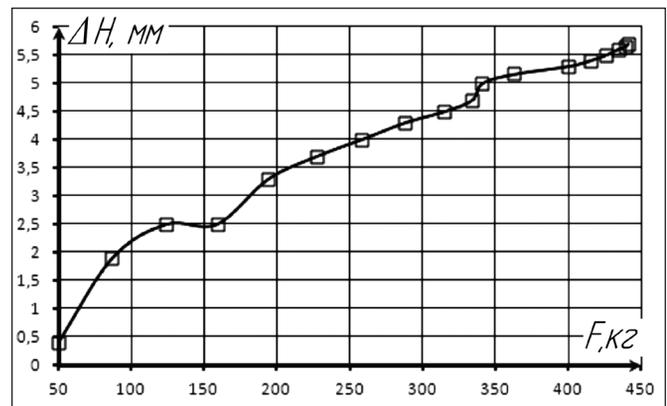


Рис. 5. График деформации резинового обода приводного колеса в зависимости от усилия прижатия

Анализируя величину деформации резинового обода приводного колеса, можно сделать вывод, что для уменьшения деформации следует принимать более твердую резину или резину, армированную стальными канатиками, т.е. следует довести модуль упругости до величины, равной 0,08-0,09 МПа.

Спроектированная подвесная самоходная тележка (рис. 6) для перемещения штучных грузов по монорельсам имеет следующую техническую характеристику: грузоподъемность 200...500 кг; скорость движения 0,3...0,4 м/с; угол наклона направляющих монорельсов

0...900; масса тележки (без грузозахватного приспособления) 120...150 кг; мощность электродвигателя 1,5 кВт; длина транспортирования зависит от способа подачи электропитания; тип грузозахватного приспособления зависит от груза. Подвесная тележка

(рис. 6) состоит из тележки 1, устройства грузонесущего 2, монорельса линейного 3 и переходного 4. Конструкция привода состоит из электродвигателя, редуктора, колодочного тормоза и цепной передачи на приводной ролик.

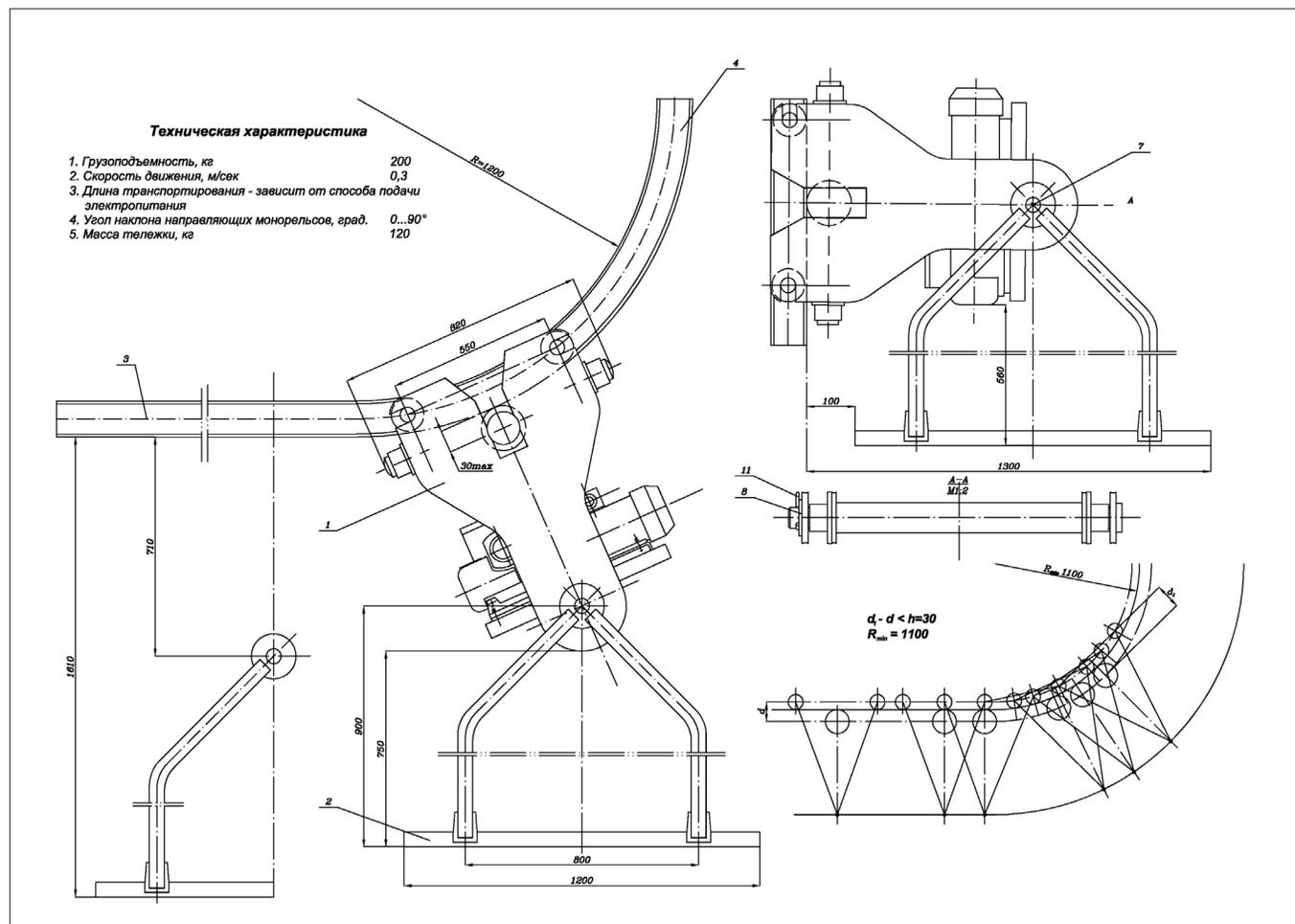


Рис. 6. Подвесная самоходная тележка для перемещения штучных грузов по монорельсам без перегрузок

ВЫВОДЫ

1. Анализ зависимости сопротивления перемещению загруженной тележки при наклонном расположении монорельса показал, что на величину сопротивления движению наибольшее влияние оказывает угол наклона монорельса.

2. Для уменьшения деформации приводного ролика следует увеличивать твердость материала, т.е. довести модуль упругости материала до величины, равной 0,08-0,09 МПа.

3. Спроектированная самоходная подвесная тележка предназначена для перемещения различных грузов внутри зданий машиностроительных производств и предприятий строительной индустрии. Тележка может перемещать грузы и между отдельными зданиями. Подвесная тележка имеет возможность перемещать штучный груз по горизонтальным и вертикальным монорельсам без перегрузок.

Список литературы

1. Бацанов, А. Ф. Самоходные погрузчики. [Текст] / А. Ф. Бацанов, Г. В. Забеганов – М.: Машиностроение, 1979 г. 146 с.
2. Вербицкий, В. Г. Моделирование динамического поведения монорельсовой тележки [Текст] / В. Г. Вербицкий, Л. Г. Лобас // Прикладное моделирование. – 2000. – Т. 18. – С. 119–130.
3. Вершинина, Н. В. Внедрение монорельса в транспортно-логистическую структуру региона [Текст] / Н. В. Вершинина, М. Б. Трапезников // Транспорт Урала. – 2014. – 1(40). – С. 3–7.
4. Гутаревич, В. О. Динамическая нагруженность монорельсовых тележек и подвесного пути [Текст] / В. О. Гутаревич // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2015. – № 4 – С. 85–88.

5. Денищенко, А. В. Определение коэффициентов сопротивления движению подвижного состава и каната напочвенной дороги [Текст] / А. В. Денищенко // *Научный вестник НГУ*. – 2007. – № 4. – С. 65–72.
6. Иванченко, И. И. Метод подконструкций в задачах динамики скоростной монорельсовой дороги [Текст] / И. И. Иванченко // *Известия Российской академии наук. Механика твердого тела*. – 2008. – № 6. – С. 101–117.
7. Иванченко, Ф. К. Подъемно-транспортные машины: Учебник для студ. Техн. Вузов. [Текст] / Ф. К. Иванченко – К.: Высшая школа, 1993. – 443 с.
8. Лысяков, А. Г. Вспомогательные оборудования для перемещения грузов. [Текст] / А. Г. Лысяков – М.: Машиностроение, 1989г. 255 с.
9. Никонов, И. Л. Монорельсовая тележка для перемещения грузов по пространственной трассе. [Текст] / И. Л. Никонов // *М.: Промышленный транспорт 1986 г.* – № 9. – С. 20 – 21.
10. Пат. RU 187 244 U1 Российская Федерация, МПК В61В 3/02 ; В61В 13/04. Ходовая тележка надземной монорельсовой транспортной системы [Текст] / Мелюк Е. Г., Ярицын В. В. ; патентообладатель ООО «Русское техническое общество». – № 2018141079 ; заявл. 22.11.2018 ; опубл. 26.02.2019, Бюл. № 6. – 8 с.
11. Besa, V. Numerical Modelling of Monorail Support Requirements in Decline Development [Text] / V. Besa, M. Kuruppu, E. K. Chanda // *Mine Planning & Equipment Selection (MPES 2010)*, The AusIMM, 1–3 December 2010, Fremantle, Western Australia, 2010. – Fremantle, 2010. – P. 209–224.
12. Chanda, E. K. A computer simulation model of a monorail based mining system for decline development [Text] / E. K. Chanda, V. Besa // *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, Taylor & Francis Publishers. – 2011. – Vol. 25, Iss. 1. – P. 52–68.
13. Gutarevych, V. A Mathematical Model Study of Suspended Monorail [Text] / V. A Gutarevych // *Transport Problems*. – 2012. – Vol. 7, Iss. 3. – P. 61–66.
14. Gutarevych, V. O. Mathematical Modeling of End Carriage Motion on the Overhead Monorail [Text] / V. O. Gutarevych // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2014. – No. 5. – P. 52–56.
15. Liu Xi. Study on the Application and Development of Monorail Transit System [Text] / Liu Xi, Sun Huan, Liu Fang-gang // *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. – 2014. Vol. 3 Iss. 5. P. 213-216. ISSN: 2278-0181.
16. Naeimi, M. Dynamic interaction of the monorail–bridge system using a combined finite element multibody-based model [Text] / M. Naeimi [et al.] // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part K : Journal of Multi-body Dynamics* – 2015. – Vol. 229. – P. 132–151.
17. Popp, K. Ground Vehicle Dynamics [Text] / K. Popp, W. Schiehlen. – Berlin : Springer-Verlag, 2010. – 366 p.
18. Pros and cons of electrified monorails, an effective and high-speed transport system for goods [Electronic resource] / Mecalux, S.A. – 2018. – URL: <https://www.mecalux.com/logistics-items/electrified-monorails-pros-cons> (date of treatment: 30.03.2021).