

Разработка конструкции пластинчатого конвейера с линейными двигателями

¹**МОЛДАБАЕВ Бауржан Гылымович**, магистр, старший преподаватель, baurmoldabaev62@mail.ru,

²***РОЖКОВ Александр Владимирович**, к.т.н., и.о. доцента, alexktpm@mail.ru,

²**БАЛАБАЕВ Оюм Темиргалиевич**, к.т.н., доцент, balabaev.ot@mail.ru,

³**ГОРШКОВА Нина Георгиевна**, к.т.н., доцент, nggor@yandex.ru,

¹НАО «Карагандинский университет имени Е.А. Букетова», Казахстан, Караганда, ул. Университетская, 28,

²НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Казахстан, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56,

³Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова, Россия, Белгород, ул. Костюкова, 46,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Представлены результаты научно-исследовательских работ, выполненных авторами в области совершенствования пластинчатого конвейера. Разработка относится к конвейерам с бесконечными тяговыми элементами, а точнее, к пластинчатым конвейерам, предназначенным для работы в условиях открытых горных разработок. Разработка позволяет значительно снизить динамические нагрузки и увеличить длину пластинчатого конвейера в одном ставе, за счет отсутствия звездочек и тяговой цепи. В работе описан принцип действия разработанного пластинчатого конвейера с линейными двигателями. Техническим результатом предлагаемой разработки является снижение динамических нагрузок и увеличение длины пластинчатого конвейера в одном ставе. Этот технический результат достигается тем, что к раме пластинчатого конвейера закреплены статоры линейных двигателей, а роторы линейных двигателей закреплены к оси ходовых роликов с ребордой.

Ключевые слова: открытые горные работы, глубина карьера, карьерный транспорт, конвейерный транспорт, пластинчатый конвейер, линейный двигатель, пластина конвейера, активный элемент, удельное тяговое усилие, полюсное деление, скорость конвейера, производительность, площадь активной части ротора.

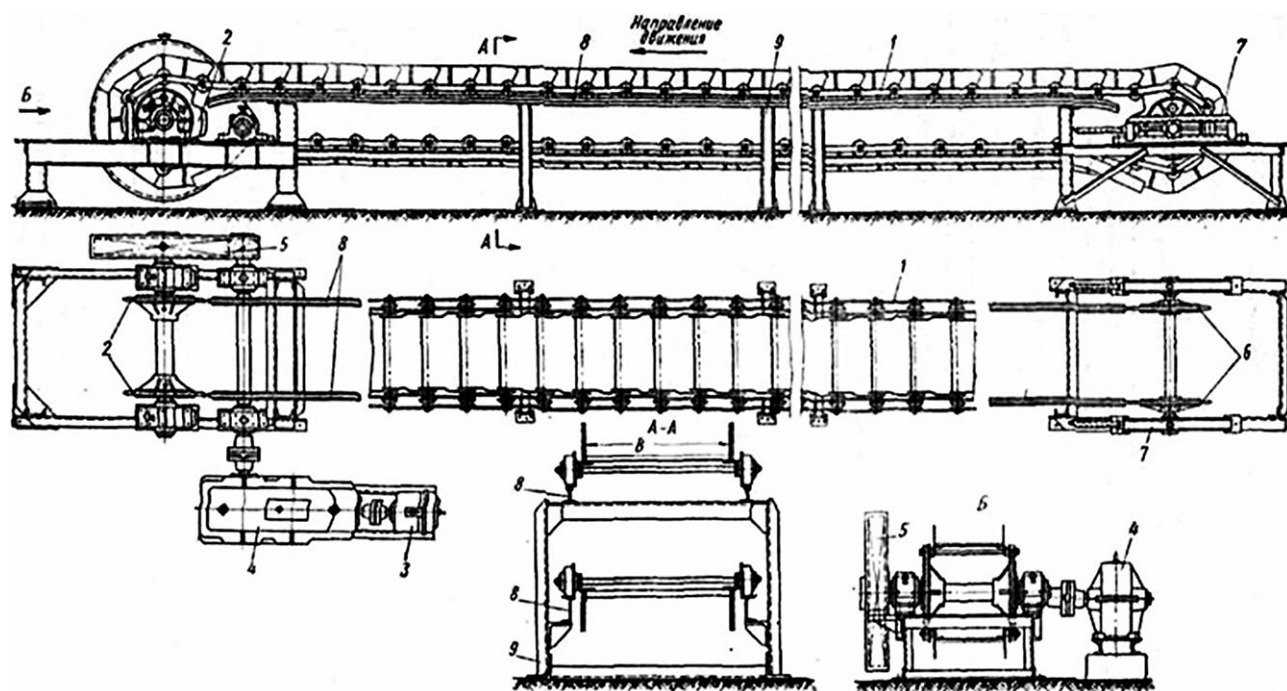
Введение

Опыт эксплуатации карьерного транспорта на открытых горных работах показывает, что условия работы транспорта непрерывно меняются, и эффективность различных видов транспорта в определенные периоды эксплуатации различна. Исследования показали, что при углублении карьера на каждые 100 м стоимость транспортирования для циклических видов транспорта увеличивается 1,5 раза, а при непрерывных видах транспорта увеличивается всего на 5-6%. Анализ работы карьерного транспорта показал, что треть простоев приходится на долю транспорта из-за циклического характера его работы. Применение циклических технологий на открытых горных работах наиболее экономически эффективно при глубине карьеров 150-250 м. При ведении открытых горных работ на глубине более 250 м экономически целесообразно применение циклично-поточной и поточной технологиями [1].

Актуальность

В настоящее время в Республике Казахстан наблюдается потребность в увеличении производительности открытых горных работ за счет отработки глубоких горизонтов. В связи с чем, циклический способ добычи полезных ископаемых начинает вытесняться наиболее эффективными технологиями добычи: циклично-поточной и поточной. Основным звеном этих технологий является конвейерный транспорт. Внедрение циклично-поточной и поточной технологий на открытых горных работах по данным исследований, проектным проработкам и фактическим показателям обеспечит: увеличение производительности; снижение затрат на разработку на 25-30%; эффективную отработку глубоких горизонтов; возможность частичной (при ЦПТ) и полной (при ПТ) автоматизации технологических процессов; экологичность и безопасность горных работ [1].

Для Республики Казахстан наиболее перспек-



1 – ходовая часть конвейера из настила и двух тяговых цепей; 2 – приводные звездочки; 3 – электродвигатель; 4 – редуктор; 5 – открытая зубчатая передача; 6 – хвостовые звездочки; 7 – натяжное устройство; 8 – направляющие шины; 9 – станина конвейера

Рисунок 1 – Пластинчатый конвейер

тивным направлением в добыче полезных ископаемых открытым способом является развитие и широкое внедрение конвейерного транспорта. Предварительный анализ в Республике Казахстан и за рубежом [2] показал практически полное отсутствие эффективных конструкций пластинчатых конвейеров. В связи с этим вопросы в области разработки инновационных конструкций пластинчатых конвейеров требуют всестороннего изучения и создания научных основ данного направления.

Классическая конструктивная схема пластинчатого конвейера представлена на рисунке 1. Данная конструктивная схема имеет определенные недостатки – использование приводной звездочки вызывает значительные динамические нагрузки в цепях, что ограничивает скорость движения конвейера < 1.2 м/с, и применение одного привода ограничивает максимальную высоту подъема груза одним конвейером.

Имеются различные технические решения ленточных конвейеров, позволяющие увеличить скорости движения конвейера, однако применение стационарных роlikоопор в таких конструкциях ограничивает крупность куска транспортируемого материала [12, 13, 14].

Применение в пластинчатом конвейере системы нескольких приводов с линейными асинхронными двигателями (ЛАД) позволит увеличить скорость конвейера и высоту подъема груза одним конвейером.

Цель и задачи исследования

Целью исследования является разработка конструкции пластинчатого конвейера с линейными асинхронными двигателями и определение основных параметров промежуточного привода от влияющих факторов.

Задачами исследования являются:

1. Разработка принципиальной конструктивной схемы пластинчатого конвейера с промежуточными приводами, оснащенными линейными асинхронными двигателями.

2. Определение зависимости удельного усилия линейного асинхронного двигателя от мощности привода и величины относительного полюсного деления.

3. Определение зависимости величины удельного тягового усилия привода от мощности двигателя и величины его относительного полюсного деления.

4. Определение зависимости площади активной части линейного асинхронного двигателя от его мощности и скорости конвейера.

Научная новизна исследования заключается в определении зависимостей тяговых усилий и площадей активной части линейного асинхронного двигателя промежуточного привода конвейера от скорости и мощности привода.

Практическая значимость исследования состоит в том, что конструкция конвейера с промежуточными приводами, включающая линейные асинхронные двигатели, позволяет увеличить скорость и производительность конвейера, а также

обеспечить транспортирование груза конвейером в одном ставе, т.е. без узлов перегрузки, на расстояние, требуемое условиями эксплуатации.

Конструкция пластинчатого конвейера с линейными приводами

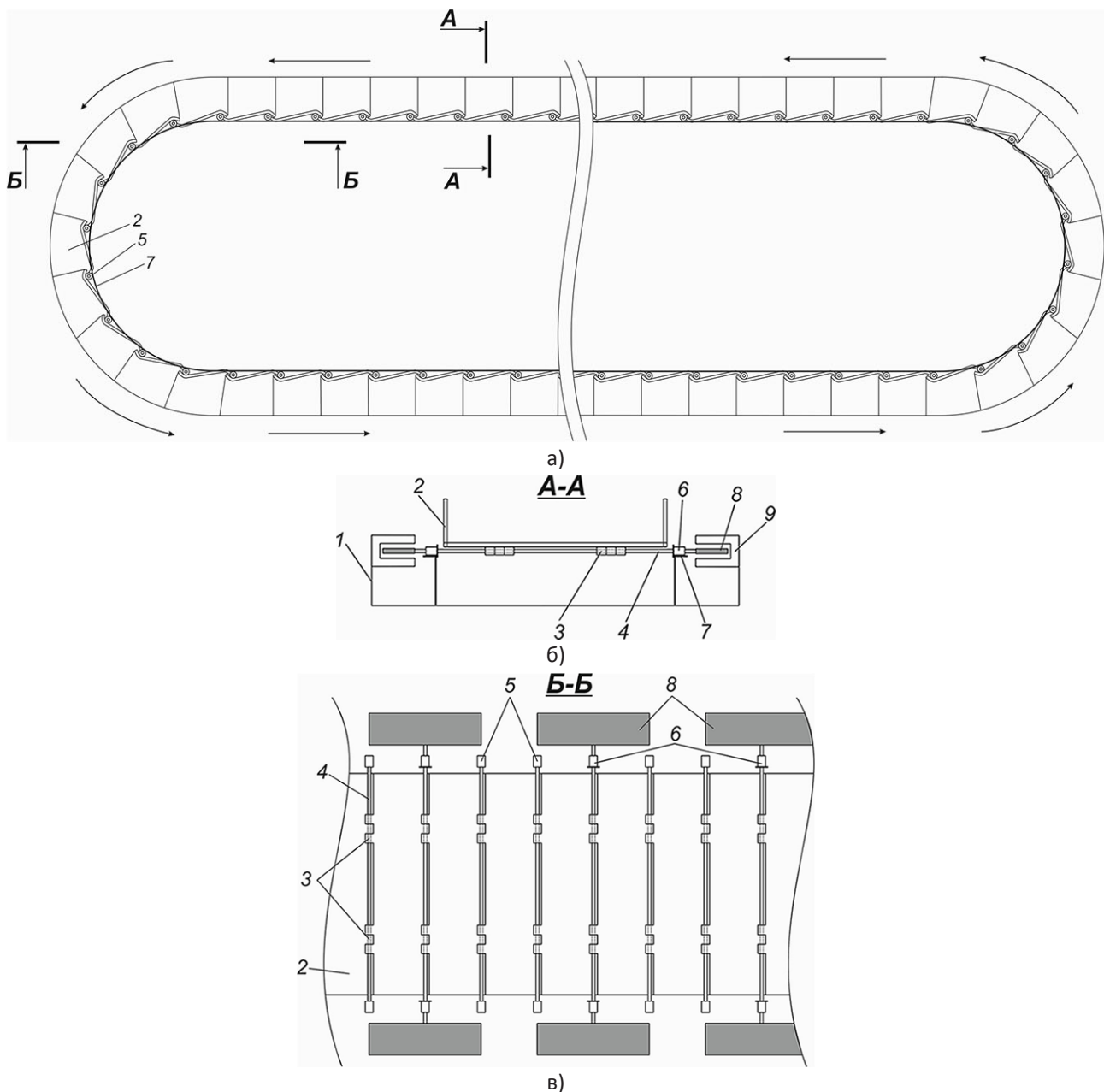
Для повышения скорости конвейера (до 3...5 м/с) и обеспечения требуемых условиями эксплуатации длины конвейера в одном ставе возможно совмещение тягового и несущего органа конвейера и использование промежуточных приводов с ЛАД, устанавливаемых в любом месте конвейера.

Конструктивная схема такого пластинчатого конвейера с системой нескольких приводов с ЛАД

представлена на рисунке 2 [15].

Работа пластинчатого конвейера с линейными двигателями осуществляется следующим образом:

- пластины 2 соединяются между собой через узел шарнирного соединения пластин 3;
- вышеуказанное соединение пластин позволяет выполнять пластинам функции тягово-несущего органа пластинчатого конвейера;
- тяговое усилие передается тягово-несущим пластинам через развернутые роторы 8 линейных двигателей, которые приводятся в движение от взаимодействия со статорами 9 линейных двигателей;



а) общий вид; б) поперечный разрез А-А; в) горизонтальный разрез Б-Б; 1 – рама; 2 – пластина, 3 – узел шарнирного соединения пластин; 4 – ось; 5 – ходовые ролики; 6 – ходовые ролики с ребордой; 7 – направляющие ходовых роликов; 8 – роторы линейных двигателей; 9 – статоры линейных двигателей

Рисунок 2 – Пластинчатый конвейер с линейными двигателями

- роторы линейных двигателей имеют развернутый (линейный) вид и закреплены к оси 4 ходовых роликов с ребордой 6;

- статоры линейных двигателей, также имеют развернутый (линейный) вид и закреплены к раме 1 конвейера;

- количество и шаг распределения линейных двигателей (роторов и статоров) определяется расчетным путем в зависимости от условий эксплуатации.

Определение удельных тяговых усилий промежуточного привода пластинчатого конвейера

Удельное тяговое усилие можно определить по следующей зависимости [16, 17]:

$$F_{уд} = \frac{4\mu_0 A^2 \varepsilon \tau_\delta}{\pi[(1 + \beta_x)^2 + \varepsilon^2]}, \text{ Н/м}^2, \quad (1)$$

где μ_0 – магнитная проницаемость в вакууме, Гн/м;

A – линейная токовая нагрузка, А;

β_x – безразмерный коэффициент, учитывающий насыщение стали магнитопровода;

ε – электромагнитное скольжение.

τ_δ – относительное полюсное деление линейного асинхронного двигателя (ЛАД)

Относительное полюсное деление ЛАД определяется выражением:

$$\tau_\delta = \frac{\tau}{\delta}, \quad (2)$$

где τ – полюсное деление ЛАД, вычисляемое по следующей зависимости:

$$\tau = \frac{v_1}{2(1-s)f}, \text{ м}, \quad (3)$$

где v_1 – скорость вторичного элемента (скорость

конвейера) м/с;

s – величина скольжения;

f – частота переменного тока, Гц.

Значения удельного тягового усилия, при различных мощностях двигателя и относительной величине полюсного деления, рассчитанного по формуле (1), приведены на рисунке 3.

Определение основных геометрических параметров промежуточного линейного привода пластинчатого конвейера

Используя зависимости удельного тягового усилия, определим геометрические размеры линейного асинхронного двигателя для крутонаклонного пластинчатого конвейера.

Сопротивление движению грузовой ветви пластинчатого конвейера определяется по формуле

$$W_{тр} = [(q_{тр} + q_n) \cdot w \cdot \cos \beta + (q_{тр} + q_n) \cdot \sin \beta] \cdot g \cdot L, \text{ Н}, \quad (4)$$

где $q_{тр}$, q_n – соответственно погонная нагрузка от груза и погонная масса тягово-несущего органа, кг/м;

w – удельное сопротивление движению тягово-несущего органа пластинчатого конвейера, $w = 0.0025$;

β – угол установки конвейера, град.;

L – длина участка конвейера, м

Принимая значение относительного полюсного деления, равное $\tau_\delta = 200$, при значениях мощности тяговых двигателей $N = 50, 100, 200$ кВт, получим согласно графикам (рисунок 3) значения удельных тяговых усилий, соответственно равные 1,4, 1,7 и 2,0 Н/см².

Тяговое усилие привода определяется по формуле

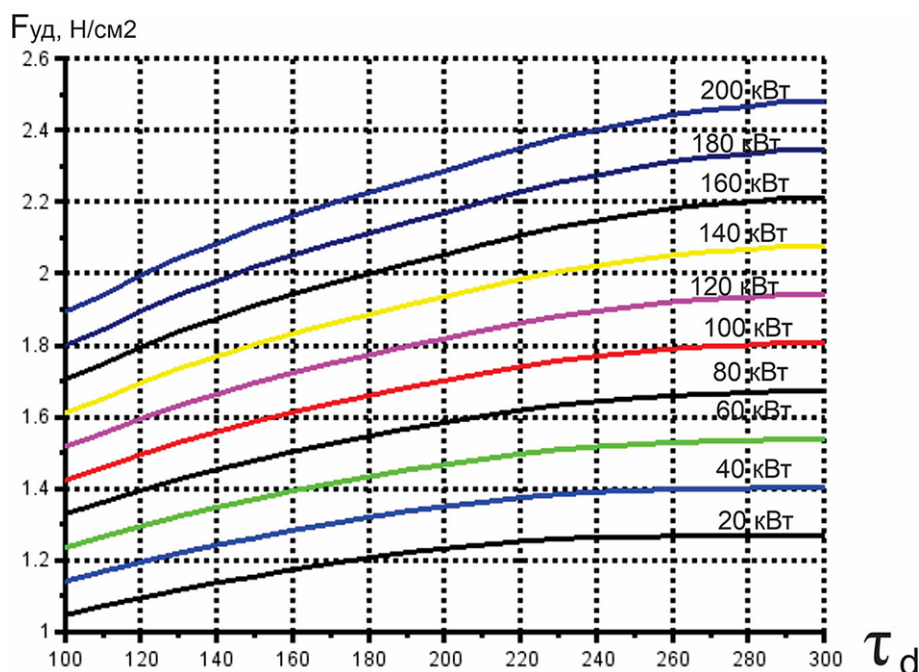


Рисунок 3 – Удельное тяговое усилие линейного промежуточного привода

$$F_{\text{пр}} = \frac{N}{v}, \text{ кН}, \quad (5)$$

где N – значение мощности привода ЛАД, кВт;
 v – значение скорости конвейера, м/с.

Потребная площадь активной части вторичного элемента определяется соотношением

$$S_{\text{прив}} = \frac{F_{\text{пр}}}{F_{\text{уд}}}, \text{ м}^2. \quad (6)$$

Графики зависимости тягового усилия привода от скорости конвейера, при мощностях привода 50, 100 и 200 кВт представлены на рисунке 4.

Графики зависимости площадей активной части вторичного элемента от скорости конвейера, при мощностях привода 50, 100 и 200 кВт представлены на рисунке 5.

Заключение

В данной работе приведено решение следующих задач:

- разработана конструкция пластинчатого конвейера с линейными асинхронными двигателями;
- получена зависимость удельного усилия линейного асинхронного двигателя от мощности привода и величины относительного полюсного деления (рисунок 3);
- получена зависимость тягового усилия промежуточного привода конвейера от скорости конвейера и мощности привода (рисунок 4);
- получена зависимость площади активной части линейного асинхронного двигателя от мощности привода и скорости конвейера (рисунок 5).

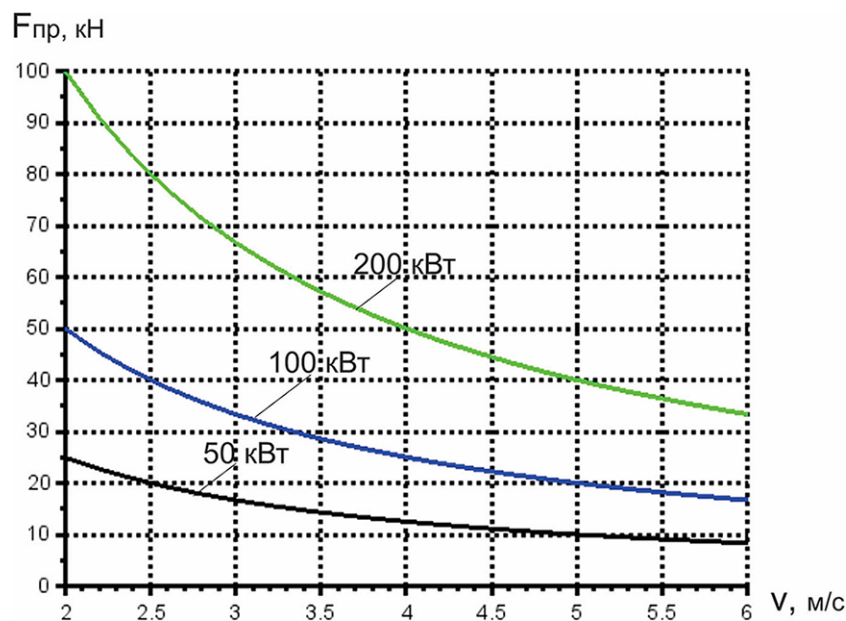


Рисунок 4 – Тяговые усилия промежуточных приводов конвейера

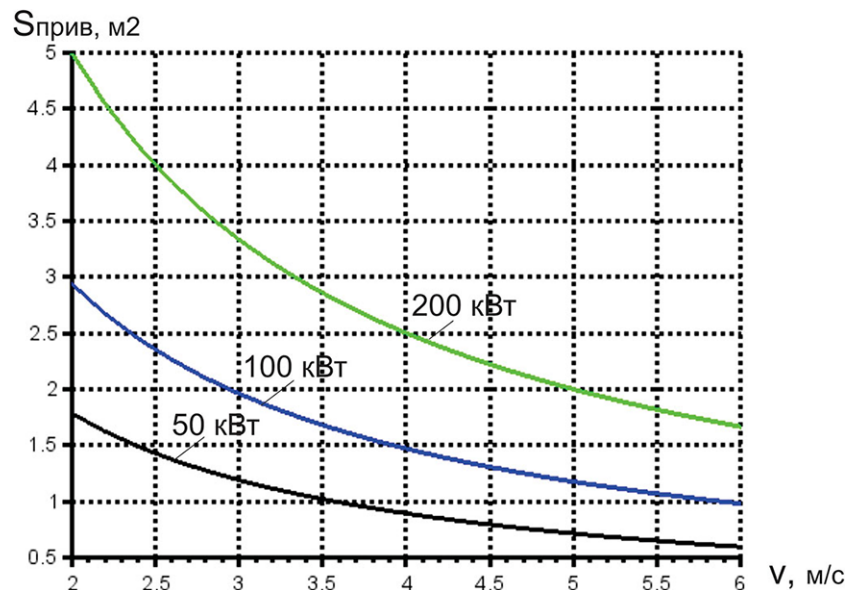


Рисунок 5 – Площади активной части промежуточных приводов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малыбаев С.К., Рожков А.В., Балабаев О.Т. Перспективы применения циклично-поточной и поточной технологий на открытых горных работах // Республиканский журнал «Труды университета». – Караганда: Изд-во КарГТУ, 2006. № 1. – С. 68.
2. Бурмистров К.В., Головей С.И., Крутикова А.В., Даутбаев З.Р. Исследование возможности применения конвейерного транспорта в сложных горно-геологических условиях глубоких высокопроизводительных карьеров // Современные проблемы транспортного комплекса России. Т. 6. 2016. № 2. – С. 32-38.
3. Гавришев С.Е., Бурмистров К.В., Томилина Н.Г. Классификация технологических схем вскрытия глубоких горизонтов с применением крутонаклонных подъемников при комбинированном способе разработки месторождений // Известия вузов. Горный журнал. 2013. № 7. С. 9-15.
4. Гавришев С.Е., Калмыков В.Н., Бурмистров К.В., Томилина Н.Г., Заляднов В.Ю. Оценка эффективности схем вскрытия контурных запасов с применением карьерных подъемников // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1. С. 8-12.
5. Кольга А.Д., Москвко Е.В. Повышение экологичности использования карьерных автосамосвалов в составе автопоездов на открытых горных работах // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2016. Т. 6. № 1. С. 55-57.
6. Kolga A.D., Rakhmangulov A.N., Osintsev N.A., Sladkowski A.V., Stolpovskikh I.N. Robotic transport complex of automotive vehicles for handling of rock mass at the process of open cast // Transport Problems. 2015, vol. 10, no. 2, pp. 109-116.
7. Бурмистров К.В., Гавришев С.Е. Повышение эффективности разработки рудных месторождений на основе интенсификации горных работ на участках карьера. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2005. 10 с.
8. Гавришев С.Е., Бурмистров К.В., Колонюк А.А. Интенсивность формирования рабочей зоны глубоких карьеров. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. 189 с.
9. Осинцев Н.А. Безопасность транспортно-технологических процессов открытых горных работ: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2010. 115 с.
10. Балабаев О.Т., Рожков А.В., Молдабаев Б.Г., Куанышбаев А.Б. К вопросу разработки конвейера с ЛАД // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Современные тенденции и инновации в науке и производстве». – Междуреченск: КузГТУ, 2019. – С. 103.
11. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины: Учебное пособие для машиностроительных вузов. 3-е изд. перераб. – М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.
12. Патент CN 103395614 Устройство доставки и способ доставки для открытых горных работ, МПК B65G37/00, № заявки 201310358028.8 Заявитель Qingdao Huaxia Rubber Industry Co., Ltd. Изобретатель Chen Lin, Опубликовано 20.11.2013.
13. Патент CN 109051538 Встроенный ленточный конвейер с волнообразной блокирующей кромкой и поперечной разделительной пластиной МПК B65G 21/06 № заявки 201810947963.0, Заявитель THE 4THENGINEERINGCO. LTD OF CHINA RAILWAY 12TH BUREAU GROUP Изобретатель LIU LIN, Опубликовано 21.12.2018.
14. Патент NL 0002533776 Ленточный конвейер, МПК B65G 23/23, № заявки 2011104086/11, Заявитель ВАН ДЕР БОРГ Лодевейк Стефан Магарета Йосеф, Опубликовано 20.11.2014.
15. Рожков А.В., Балабаев О.Т., Молдабаев Б.Г., Куанышбаев А.Б. Пластинчатый конвейер. Патент РК на изобретение. № 35971. – 13.10.2021.
16. Свечарник Д.В. Линейный электропривод. М.: Энергия, 1979. – 152 с.
17. Огарков М.Е., Скоробогатов А.В. Практические рекомендации к определению главных размеров линейных асинхронных двигателей // Вестник ПНИПУ. № 7. 2013. – С. 115-122.

Сызықты қозғалтқыштары бар пластиналық конвейер конструкциясын әзірлеу

¹**МОЛДАБАЕВ Бауржан Гылымович**, магистр, аға оқытушы, baurmoldabaev62@mail.ru,

²***РОЖКОВ Александр Владимирович**, т.ғ.к., доцент м.а., alexktpm@mail.ru,

²**БАЛАБАЕВ Оюм Темирғалиевич**, т.ғ.к., доцент, balabaev.ot@mail.ru,

³**ГОРШКОВА Нина Георгиевна**, т.ғ.к., доцент, nggor@yandex.ru,

¹«Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті» КеАҚ, Қазақстан, Қарағанды, Университет көшесі, 28,

²«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Қазақстан, Қарағанды, Н. Назарбаев даңғылы, 56,

³В.Г. Шухов атындағы Белгород мемлекеттік технологиялық университеті, Ресей, Белгород, Костюков көшесі, 46,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Автордың пластиналық конвейерді жетілдіру саласындағы зерттеу жұмыстарының нәтижелері келтірілген. Әзірлеу дегеніміз шексіз тартқыш элементтері бар конвейерлерге, нақтырақ айтсақ, ашық тау-кен карьерде жұмыс істеуге арналған конвейерлерге қатысты. Әзірлеу жұлдызша мен тарту тізбегінің болмауына байланысты динамикалық жүктемелерді едәуір азайтуға және пластиналық конвейердің ұзындығын бір тіреуде арттыруға мүмкіндік береді. Сызықтық қозғалтқыштары бар пластиналық конвейерінің жұмыс принципі сипатталған. Өнертабыстың техникалық нәтижесі динамикалық жүктемелерді азайту және бір тіреуде пластиналық конвейердің ұзындығын арттыру болып табылады. Бұл техникалық нәтижеге сызықтық қозғалтқыштардың статорлары пластиналық конвейердің рамасына, ал сызықтық қозғалтқыштардың роторлары ребордамен қамтылған роликтердің осіне бекітілуі арқылы қол жеткізіледі.

192 Кілт сөздер: ашық әдіспен өндіру, карьер тереңдігі, мансап тасымалдау, конвейерлік тасымалдау, пласти-

налы конвейер, сызықты қозғалтқыш, конвейер тақтасы, белсенді элемент, арнайы тарту күші, полярлық бөліну, конвейердің жылдамдығы, өнімділік, ротордың белсенді бөлігінің ауданы.

Development of a Plate Conveyor with Linear Engines

¹MOLDABAEV Baurzhan, Master, Senior Lecturer, baurmoldabaev62@mail.ru,

²*ROZHKOV Alexander, Cand. of Tech. Sci., Acting Associate Professor, alexktpm@mail.ru,

²BALABAEV Oyum, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, balabaev.ot@mail.ru,

³GORSHKOVA Nina, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, nggor@yandex.ru,

¹NPLC «Karaganda Buketov University», Kazakhstan, Karaganda, University Street, 28,

²NPISC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», Kazakhstan, Karaganda, N. Nazarbayev Avenue, 56,

³Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Russia, Belgorod, Kostyukov Street, 46,

*corresponding author.

Abstract. The results of research work carried out by the author in the field of improving the plate conveyor are presented. The development refers to conveyors with endless traction elements, or rather plate conveyors, designed to work in open mining conditions. The development allows to significantly reduce dynamic loads and increase the length of the plate conveyor in one line, due to the absence of sprockets and traction chain. The work describes the principle of the developed plate conveyor with linear engines. The technical result of the proposed invention is to reduce dynamic loads and increase the length of the plate conveyor in one line. This technical result is achieved by the fact that the frame of the plate conveyor is fixed to the stators of linear engines, and the rotors of linear engines are fixed to the axis of running rollers with a rebord.

Keywords: open pit mining, quarry depth, career transport, conveyor transport, lamellar conveyor, linear motor, conveyor or plate, active element, specific traction force, polar division, conveyor speed, performance, area of the active part of the rotor.

REFERENCES

1. Malybaev S.K., Rozhkov A.V., Balabaev O.T. Prospects for the use of cyclic-flow and flow technologies in open-pit mining // Republican journal «Proceedings of the University». – Karaganda: Publishing House of KSTU, 2006. No. 1. – P. 68.
2. Burmistrov K.V., Golovei S.I., Krutikova A.V., Dautbaev Z.R. Study of the possibility of using conveyor transport in complex mining and geological conditions of deep high-performance quarries // Modern problems of the transport complex of Russia. V. 6. 2016. No. 2. Pp. 32-38.
3. Gavrishev S.E., Burmistrov K.V., Tomilina N.G. Classification of technological schemes for opening deep horizons using steeply inclined lifts in a combined method of field development. Izvestiya vuzov. Mining Journal, 2013. No. 7. Pp. 9-15.
4. Gavrishev S.E., Kalmykov V.N., Burmistrov K.V., Tomilina N.G., Zalyadnov V.Yu. Evaluation of the effectiveness of schemes for opening aquifer reserves using open pit lifts. Bulletin of the Magnitogorsk State Technical University n.a. G.I. Nosov. 2014. No. 1. Pp. 8-12.
5. Kolga A.D., Moskovka E.V. Improving the environmental friendliness of the use of dump trucks as part of road trains in open-pit mining // Modern problems of the transport complex of Russia. 2016. V. 6. No. 1. Pp. 55-57.
6. Kolga A.D., Rakhmangulov A.N., Osintsev N.A., Sladkowski A.V., Stolpovskikh I.N. Robotic transport complex of automotive vehicles for handling of rock mass at the process of open cast // Transport Problems. 2015, vol. 10, no. 2, pp. 109-116.
7. Burmistrov K.V., Gavrishev S.E. Improving the efficiency of the development of ore deposits based on the intensification of mining operations in open pit areas. Magnitogorsk: Magnitogorsk State Tech. Un. n.a. G.I. Nosov, 2005. 10 p.
8. Gavrishev S.E., Burmistrov K.V., Kolonyuk A.A. The intensity of the formation of the working zone of deep quarries. Magnitogorsk: Magnitogorsk Publishing House. State Tech. Un. n.a. G.I. Nosov, 2012. 189 p.
9. Osintsev N.A. Safety of transport and technological processes of open pit mining: monograph. Magnitogorsk: Magnitogorsk Publishing House. State Tech. Un. n.a. G.I. Nosov, 2010. 115 p.
10. Balabaev O.T., Rozhkov A.V., Moldabaev B.G., Kuanyshbaev A.B. On the issue of developing a conveyor with LAD // Materials of the VIII International scientific-practical conference «Modern trends and innovations in science and production». – Mezhdurechensk: KuzGTU, 2019. – P. 103.
11. Spivakovsky A.O., Dyachkov V.K. Transporting machines: Textbook for engineering universities. 3rd edition, revised. – Moscow, Mashinostroenie, 1983. 487 p.
12. Patent CN 103395614 Delivery Device and Delivery Method for Open Mining, IPC B65G37/00, Application No. 201310358028.8 Applicant Qingdao Huaxia Rubber Industry Co., Ltd. Inventor Chen Lin, Published on 20.11.2013.
13. Patent CH 109051538 Integrated belt conveyor with a wavy blocking edge and a transverse dividing plate IPC B65G 21/06 Application No. 201810947963.0, Applicant THE 4THENGINEERINGCO. LTD OF CHINA PAILWAY 12TH BUREAU GROUP Inventor LIU LIN, Posted on 12/21/2018.
14. Patent NL 0002533776 Conveyor belt, IPC B65G 23/23, application No. 2011104086/11, Applicant VAN DER BORG Lodewijk Stefan Magareta Yosef, Published on 11/20/2014.
15. Rozhkov A.V., Balabaev O.T., Moldabaev B.G., Kuanyshbaev A.B. Plate conveyor. Patent of the Republic of Kazakhstan for invention. No. 35971. – 13.10.2021.
16. Svecharnik D.V. Linear electric drive. Moscow: Energy, 1979. 152 p.
17. Ogarkov M.E., Skorobogatov A.V. Practical recommendations for determining the main dimensions of linear induction motors // Bulletin of PNRPU. No. 7. 2013. Pp. 115-122.