УДК 621.867.212

Повышение эффективности транспортирования ленточным конвейером с промежуточным приводом

И.С.ТРУФАНОВА, С.Л.СЕРЖАН

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

Современная промышленность в XXI веке требует высокопроизводительной и полностью автоматизированной техники. Лучшим способом удовлетворить эти требования является внедрение новых прогрессивных технологий в процессы транспортирования.

Одним из возможных способов повышения производительности, а также автоматизации процесса транспортирования является переход от машин цикличного действия к транспорту непрерывного действия, а именно к ленточным конвейерам. Однако с увеличением длины конвейера возникает потребность в более прочных лентах. Избежать этого возможно, используя промежуточные приводы различных конструкций.

В статье описан принцип работы промежуточного линейного привода с поперечными перегородками, приведены формулы для расчета значений тягового усилия, даны сравнительные графики, показывающие эффективность применения промежуточного привода в различных условиях. Описаны возможности увеличения тяговой способности промежуточного линейного привода.

Ключевые слова: ленточный конвейер; линейный привод; промежуточный привод; перегородки; натяжение

Как цитировать эту статью: Труфанова И.С. Повышение эффективности транспортирования ленточным конвейером с промежуточным приводом / И.С.Труфанова, С.Л.Сержан // Записки Горного института. 2019. Т. 237. С. 331-335. DOI: 10.31897/PMI.2019.3.331

Введение. Современная тенденция в проектировании ленточных конвейеров – увеличение длины конвейерных линий, что влечет за собой увеличение длины конвейера в одном ставе, а это в свою очередь позволяет увеличить надежность всей конвейерной линии и сократить затраты [7, 18].

В настоящее время предложено значительное количество конструктивных решений и инновационных технологий, позволяющих решить вопросы полной автоматизации процесса транспортирования и внедрения высокоскоростных технологий [8, 14].

Использование более длинных конвейеров требует решения проблемы конвейерного привода.

Известно, что тяговое усилие передается ленте трением, которое не может превышать строго определенной величины, что описывается формулой Эйлера – Жуковского:

$$F_{\max} = S_{\text{сб}}(e^{\mu\alpha} - 1),$$

где $F_{\max}$ – максимальное тяговое усилие, Н; $S_{\text{сб}}$ – натяжение ленты в точке сбегания с приводного барабана, Н; $e^{\mu\alpha}$ – тяговый фактор; α – угол обхвата лентой приводных барабанов; μ – коэффициент трения.

Всего два параметра влияют на максимально возможную силу тяги: натяжение ленты и количество приводных барабанов, что неизбежно сказывается на необходимой прочности конвейерных лент [6, 10].

Постановка проблемы. В последние годы требования к системам транспортирования полезных ископаемых возросли из-за повышения производительности и увеличения длины конвейерных систем. Особенно это применимо к системам разработки длинными столбами. Были определены требования, связанные с этими усовершенствованиями, и, поскольку развитие технологии позволило производить более прочные конвейерные ленты, было разработано необходимое оборудование для ленточных конвейеров, отвечающее этим требованиям [5, 7].

При увеличении длины панели проявляются проблемы с транспортированием. Мощность привода и прочность лент, необходимых при длине конвейера 4-5 км, достигают значений значительно больших, чем когда-либо использовавшихся при подземной разработке месторождений полезных ископаемых. Проблемы включают также большой размер высокомошных приводных станций, что не позволяет использовать и перемещать их в условиях ограниченного пространства

подземных выработок. И, хотя производители конвейерных лент могут создать ленту большей прочности, способную выдержать значительные нагрузки, это приводит к необходимости усиления каркаса ленты стальными тросами, что утяжеляет ленту и, что более важно, требует вулканизированного соединения стыковых соединений [4, 13].

Так как панельные забойные конвейеры постоянно продвигаются и отступают (становятся длиннее или короче), горнорабочие вынуждены постоянно добавлять или удалять рулоны конвейерной ленты из системы. Более того, так как создание вулканизированного стыкового соединения занимает в несколько раз больше времени, потерянное производственное время из-за перемещений ленты вдоль панели во время разработки и добычи будет экстремальным [17].

Одним из возможных способов решения таких проблем является внедрение промежуточных приводов для ленточных конвейеров.

Промежуточный линейный привод представляет собой замкнутый контур, который располагается внутри контура основного конвейера. Грузонесущая ветвь ленты основного конвейера и верхняя ветвь ленты промежуточного линейного привода взаимодействуют друг с другом посредством сил трения. Возможна установка нескольких промежуточных линейных приводов. В таком случае каждый промежуточный привод преодолевает сопротивление только своего участка конвейера и обеспечивает максимальную тяговую способность на постоянном уровне. Сфера применения многоприводных ленточных конвейеров расширяется, а технико-экономические показатели значительно улучшаются в результате того, что угол наклона конвейера не влияет на эффективность применения промежуточных приводов этой конструкции, а длина промежуточного привода таким образом сокращается [3].

Тяговое усилие возникает на поверхностях фрикционного контакта ленты с приводным барабаном, либо с лентой линейного привода. Передаваемое тяговое усилие не должно вызывать пробуксовывания на приводном барабане, но в то же время обеспечивать преодоление сил сопротивления.

По сравнению с обычным способом передачи силы тяги конвейерной ленте посредством обхвата лентой одного или нескольких приводных барабанов, промежуточный привод передает тяговое усилие линейно посредством фрикционного контакта с основной лентой. Тяговым элементом является бесконечная замкнутая лента промежуточного привода, находящаяся в контакте с нижней стороной грузонесущей ветви основного конвейера и лежащая на роликоопорах основной грузонесущей ленты [12].

Давление для передачи силы является результатом сочетания веса ленты и транспортируемого материала. Хотя удельное давление намного меньше, чем достигается обычным способом, увеличенная длина зацепления между лентами обеспечивает требуемую силу тяги.

Математическая модель промежуточного линейного привода с прижимными роликами и эффективность применения линейного привода для конвейерной линии были рассмотрены в статьях [2, 14, 15]. Другой тип промежуточного привода был запатентован в Санкт-Петербургском горном институте [1].

Методология. Технический результат изобретения достигается за счет того, что на расстоянии, равном шагу расположения роликоопор грузонесущей ветви основного конвейера, размещаются поперечные перегородки, которые жестко закрепляются на внешней поверхности ленты промежуточного привода ленточного конвейера. Форма поперечного сечения перегородок может быть криволинейной или прямоугольной с закругленными верхними краями. Перегородки могут быть изготовлены из упругого или жесткого материала.

Промежуточный привод располагается внутри замкнутого контура основного конвейера так, что его нижняя ветвь опирается перегородками на холостую ветвь ленты основного конвейера. Для возможности обеспечения поперечного изгиба ленты при ее опирании на роликоопоры конвейера желобчатой формы поперечные перегородки формируют из трех расположенных на небольшом расстоянии друг от друга частей.

Функционирование промежуточного линейного привода описывается следующим образом: тяговое усилие от ленты привода передается грузонесущей ветви ленты конвейера при вращении приводного барабана как силой трения между ними, вызванной весом грузонесущей ветви ленты с размещенным на ней грузом, так и упорным взаимодействием ленты промежуточного привода

Рис.1. Расчет тяговой способности привода с поперечными перегородками:
а – общая схема; б – определение угла α ; в – определение дополнительного усилия

с грузонесущей ветвью конвейера за счет прогиба между перегородками, вызванного действием собственного веса и веса размещенного на ленте груза. Сила трения между лентой и перегородками на ленте промежуточного привода значительно возрастает, что приводит к увеличению тягового усилия, которое реализуется промежуточным линейным приводом и дополнительно увеличивается за счет упора поперечных перегородок в холостую ветвь конвейерной ленты. Физико-механические свойства транспортируемого груза влияют на выбор материала и форму поперечного сечения перегородок.

При уменьшении капитальных и эксплуатационных затрат данное изобретение позволит сократить число прижимных роликов на нижней ветви приводной ленты. Уменьшение числа и длины промежуточных линейных приводов на магистральном ленточном конвейере возможно благодаря характерным особенностям данной конструкции линейного привода, позволяющим обеспечить увеличение тягового усилия, сообщаемого обеим ветвям конвейерной ленты.

На рис.1 приведена расчетная схема взаимодействия промежуточных перегородок и ленты конвейера. Часть ленты с грузом опирается на ленту промежуточного привода (рис.1, а), часть ленты – на перегородки; длина опирания на ленту и перегородки определяется углом α , который создается из натяжения ленты и веса груза с лентой (рис.1, б). Коэффициент трения ленты о перегородку $f_n = 0,4$, ленты о ленту $f = 0,6$.

Прирост натяжения на участке между перегородками определяется как сила трения:

$$\Delta F = l_n q_{гр} \varphi + l_n q_{гр} \varphi_n + F_{доп}.$$

Дополнительное прижатие ленты создается за счет натяжения ленты из-за набегания ее на перегородку (рис.1, в):

$$F_1 = S_{нач} + l_n q_{гр} \varphi;$$

$$F_2 = F_1 + l_n q_{гр} \varphi_n;$$

$$F_{доп} = [F_1^2 + F_2^2 - (2F_1 F_2 \cos(180 - 2\alpha))]^{0,5}.$$

Обсуждение. На рис.2 представлены графики теоретической зависимости. В положении 1 проведена линия отношения натяжения в точке набегания на участок линейного привода к натяжению при сбегании с него. Понижение обусловливается тем, что при натяжении ленты грузонесущей ветви основного конвейера зона ее контакта с лентой промежуточного линейного привода

Рис.2. Зависимость тяговой способности промежуточного привода с перегородками от веса груза на ленте (а); натяжения ветви ленты (б); шага установки перегородок (в); высоты перегородок (г)

уменьшается, в то время как зона трения одной ленты о другую заменяется зоной трения грузонесущей ленты основного конвейера о перегородку на ленте промежуточного привода с меньшим коэффициентом трения.

Формула суммарной величины тягового усилия, реализуемого промежуточным линейным приводом с поперечными перегородками на внешней поверхности ленты привода

$$W = gLf(kq + q_{\text{л}}) + 2nT\varphi\sin\alpha,$$

где W – тяговое усилие, Н; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; L – длина линейного привода, м; k – коэффициент, учитывающий режим загрузки конвейерной ленты транспортируемым грузом; q и $q_{\text{л}}$ – линейная масса груза и конвейерной ленты, кг/м ; n – число поперечных перегородок, закрепленных на верхней ветви промежуточного привода; T – средняя величина натяжения грузонесущей ветви конвейерной ленты на участке ее опирания на верхнюю ветвь линейного привода, Н; φ – величина коэффициента трения грузонесущей ветви конвейерной ленты о ленту промежуточного линейного привода; α – средняя величина угла набегания конвейерной ленты на поперечные перегородки линейного привода.

Заключение. Использование промежуточных приводов при транспортировании на большие расстояния позволяет увеличить длину конвейера в одном ставе до нескольких километров, при этом конвейерная лента характеризуется гораздо меньшей прочностью и, следовательно, стоимостью.

Применение на горных предприятиях и предприятиях других отраслей промышленности подобной конструкции линейного промежуточного привода с перегородками значительно повысит тяговое усилие, сообщаемое линейным приводом конвейерной ленте, позволит центрировать

одновременно конвейерную ленту и ленту промежуточного привода, а также расширит возможности установки конвейеров при различных углах наклона с неравномерным распределением материала на конвейерной линии и упростит процесс улавливания ленты при ее обрыве.

Использование таких приводов не изменяет конструкцию основного конвейерного оборудования, поэтому целесообразно как при проектировании нового конвейера, так и при реконструкции уже существующего.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент № 2510361 РФ. Промежуточный линейный привод ленточного конвейера / Ю.Д.Тарасов, И.С.Труфанова, А.О.Кузьмин. Оpubл. 27.03.2014. Бюл. № 9.
2. Труфанова И.С. Промежуточный привод как средство совершенствования ленточного конвейера // Горное оборудование и электромеханика. 2014. № 6. С. 13-16.
3. Alsbaugh M.A. The evolution of intermediate driven belt conveyor technology // Bulk solids handling. 2003. Vol. 3. № 23. P. 1-5.
4. Bafiu N. Mathematical model for Conveyor belt 1600 mm // International Journal of Computer Science and Network Security. 2017. Vol. 17(4). P. 199-204.
5. Conveyor belt brings enhanced abilities // Biofuels Bioproducts & Biorefining-Biofr. 2017. Vol. 11(6). P. 942. DOI: 10.1016/j.measurement.2017.08.016
6. Dynamic performance of a multi-ribbed belt based on an overlay constitutive model of carbon-black-filled rubber and experimental validation / Hu Y.M., Zhu H., Zhu W.D., Li C.L., Pi Y.J. // Mechanical Systems and Signal Processing. 2017. Vol. 95. P. 252-272. DOI: 10.1016/j.ymssp.2017.03.013
7. Examination of the process of damaging the top covering layer of a conveyor belt applying the FEM / D.Marasova, L.Ambrisko, M.Andrejiova, A.Grincova // Measurement. 2017. Vol. 112. P. 47-52.
8. Goncharov K.A. Theoretical study of influence of belt tension of intermediate belt conveyor drive on value of zone of relative slip of traction and carrying belts / K.A.Goncharov, A.V.Grishin // IOP Conference Series-Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 87. DOI: 10.1088/1755-1315/87/2/022008
9. Grabner K. Improved cornering with the bico-TEC at Titan-Cement / K.Grabner, F.Kessler, W.Weber // World Cement. 1997. № 28. P. 64-66.
10. Lagerev A.V. Analyzing the discreet section suspension parameters in a conveyor with suspended belt and distributed drive / A.V.Lagerev, E.N.Tolkachev, I.A.Lagerev // Journal of Mechanical Science and Technology. 2017. Vol. 31(10). P. 4669-4678. DOI: 10.1007/s12206-017-0913-7
11. Mathaba T. Optimal and energy efficient operation of conveyor belt systems with downhill conveyors / T.Mathaba, X.Xia // Energy Efficiency. 2017. Vol. 10(2). P. 405-417. DOI: 10.1007/s12053-016-9461-8
12. Mikusova N. Modelling conveyor belt passage with a driving drum using finite element methods / N.Mikusova, S.Mill'o // Advances in Science and Technology-Research Journal. 2017. Vol. 11(4). P. 239-246. DOI: 10.12913/22998624/80311
13. Testing belt conveyor resistance to motion in underground mine conditions / R.Krol, W.Kisielewski, D.Kaszuba, L.Gladysiewicz // International Journal of Mining Reclamation and Environment. 2017. Vol. 31(1). P. 78-90. DOI: 10.1080/17480930.2016.1187967
14. Trufanova I.S. Elaboration of the mathematical model of the intermediate linear drive belt with pressure rollers / I.S.Trufanova, S.A.Lavrenko // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Vol. 11(19). P. 11581-1583.
15. Trufanova I.S. Innovations in conveying technologies // Scientific Reports on Resource Issues / TU Bergakademie Freiberg. 2013. Vol. 1(1). P. 106-110.
16. Trufanova I.S. The efficiency improvement of belt conveyor intermediate drive traction effort / I.S.Trufanova, S.A.Lavrenko // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Vol. 11(7). P. 4317-4321.
17. Van Pelt S. Microfluidic magnetic bead conveyor belt / S. van Pelt, A.Frijns, J. den Toonder // Lab on a Chip. 2017. Vol. 17(22). P. 3826-3840. DOI: 10.1039/c7lc00718c
18. Validation of movement over a belt conveyor drum / J.Rozbroj, J.Necas, D.Gelnar, J.Hlosta, J.Zegzulka // Advances in Science and Technology-Research Journal. 2017. Vol. 11(2). P. 118-124. DOI: 10.12913/22998624/71183

Авторы: И.С.Труфанова, канд. техн. наук, доцент, trufanova_is@pers.spmi.ru (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия), С.Л.Сержан, канд. техн. наук, доцент, serzhan_sl@pers.spmi.ru (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия).

Статья поступила в редакцию 12.01.2019.

Статья принята к публикации 30.04.2019.