

Д. т. н. С. Я. Давыдов¹ (✉), д. х. н. Р. А. Апакашев¹, д. т. н. Н. Г. Валиев¹,
д. т. н. Г. Г. Кожушко²

¹ ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, Россия

² ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

УДК 621.867.21

ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТ — СЫРЬЕ СТРОЙИНДУСТРИИ ИЗ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ

Предложен ковшовый ленточный конвейер с повышенной тяговой способностью по запросу АО «Костанайские минералы». Приведена геометрическая схема трассы конвейера для циклично-поточной технологии с транспортированием горной массы крутопадающими конвейерами в контурах карьера первой очереди Джетыгаринского месторождения хризотила. Выполнен расчет геометрических размеров отдельных участков конвейера. Определены параметры транспортируемого материала, трассы и самого ковшового ленточного конвейера.

Ключевые слова: хризотил-асбест, крутонаклонный ковшовый ленточный конвейер, схема трассы.

В течение последних 100 лет в строительстве активно используется асбест. Известно более трех тысяч наименований изделий, в состав которых входит этот минерал. В строительстве используются такие свойства хризотила-асбеста (белого асбеста), как прочность и огнеупорность. Среди различных видов асбеста хризотил-асбест обладает наилучшими текстильными свойствами, которые обусловлены особенностями кристаллов минерала. Хризотил — минерал группы серпентинита, представляющий собой силикат магния $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, способный расщепляться на тонкие волокна трубчатого строения. При тонком помоле хризотил-асбеста извлекают значительное количество волокна длиной 0,2–0,4 мм.

Сегодня хризотил используют для производства различных высокоплотных и твердых материалов (шифера, труб, прокладочных и фрикционных материалов). Более 90 % добываемого хризотила используется для получения волокнисто-цементных строительных материалов [1]. В этих материалах асбестовое волокно полностью замонотичено в матрицу из цемента, резины и смол и поэтому не может выделяться в окружающую среду, тем самым обеспечивая соответствие экологическим нормам.

Переработка асбестовых руд является сложным процессом, который начинается непосред-

ственно в карьере, где проводится частичное усреднение руд шихтовкой. Обоганительное оборудование имеет специальное назначение и применяется только в асбестовой промышленности. Обогащение состоит из многостадийного дробления в целях вскрытия асбестового волокна. На стадии грохочения осуществляется извлечение вскрытого волокна. На механических ситах происходит разделение волокна асбеста и дробленого материала по крупности, отсасывание волокна в деки грохота. В процессе грохочения пылеобразующего материала поверхностью колосников образуется большое количество пыли [2]. Наличие пыли в воздухе рабочей зоны не только вредно влияет на организм обслуживающего персонала, но и усложняет работу механизмов: пыль попадает в подшипники и трущиеся части машин, вызывая их быстрый износ. Создано устройство с отсосом пылевых частиц от рабочей зоны с небольшим расходом воздуха и меньшим перепадом разрежения для уменьшения энергозатрат при откачке излишне запыленного воздуха [2, 3].

Анализ различных видов карьерного транспорта позволил сделать вывод о перспективности использования ковшовых ленточных конвейеров (КЛК) на карьерах с большой глубиной. Геометрическая схема трассы конвейера для карьера Джетыгаринского месторождения показана на рис. 1.

Расчет конвейера приведен по следующим исходным параметрам: угол наклона $\beta = 43^\circ$, высота подъема материала $H = 60$ м. Радиусы переходных криволинейных участков трассы предварительно приняты следующими: $R_1 = 20$ м на участках 2–3 и 12–13 и $R_2 = 80$ м на участках 4–5 и 10–11 с последующей (после тягового расче-



С. Я. Давыдов
E-mail: davidovtrans@mail.ru

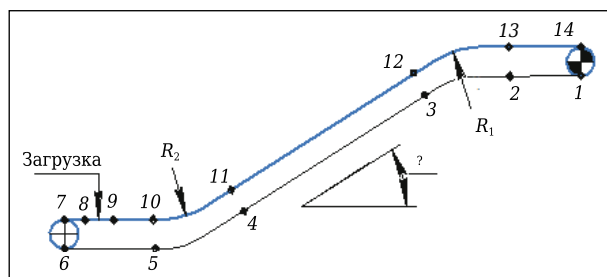


Рис. 1. Геометрическая схема трассы конвейера: 1–14 — участки трассы

та) проверкой на невозможность отрыва ходовой части верхней ветви конвейера от роликоопор. Геометрические размеры отдельных участков приведены в таблице.

В качестве грузонесущего органа применены ковши полукруглой формы с радиусом внутренней поверхности 0,63 и шириной 1,0 м, емкостью $i_0 = 0,16 \text{ м}^3$ (160 л). При шаге сомкнутых ковшей $t_k = 0,63 \text{ м}$, насыпной плотности транспортируемого груза $\rho = 1,6 \text{ т/м}^3$ и коэффициенте заполнения ковша $\phi = 0,7$ масса груза в ковше: $m_{гр} = i_0 \rho \phi = 160 \cdot 1,6 \cdot 0,7 = 179,2 \text{ кг}$. Линейная нагрузка от веса груза: $m_{гр} = i_0 \rho \phi = 160 \cdot 1,6 \cdot 0,7 = 179,2 \text{ кг}$.

Линейная нагрузка от веса груза составляет

$$q_{гр} = \frac{m_{гр}}{t_k} = \frac{179,2 \cdot 9,81}{0,63} = 2,79 \text{ кН/м}.$$

Производительность конвейера определяется по формуле

$$Q = 3,6 \frac{q_{гр}}{g} V = 3,6 \cdot \frac{2790}{9,81} \cdot 0,5 = 512 \text{ т/ч},$$

где V — скорость движения ковшей, м/с.

Линейная нагрузка от веса поступательно движущихся частей конвейера составляет

Геометрические размеры отдельных участков*

Участок трассы	l_r , м	h , м	$W_{i \rightarrow (i+1)}$, кН	S_i , кН
1–2	10	–	0,78	$S_1 = 143,05$
2–3	13,5	5,4	–6,17	$S_2 = 143,83$
3–4	35,5	33	–69,5	$S_3 = 137,66$
4–5	54	21,6	–43,09	$S_4 = 68,16$
5–6	26	–	2,03	$S_5 = 25,07$
6–7	–	–	0,84	$S_6 = 27,1$
7–8	10	–	0,78	$S_7 = 27,94$
8–9	6	–	1,17	$S_8 = 28,73$
9–10	10	–	1,77	$S_9 = 29,9$
10–11	54	21,6	117,13	$S_{10} = 31,68$
11–12	35,5	33	170,63	$S_{11} = 148,8$
12–13	13,5	5,4	38,0	$S_{12} = 319,4$
13–14	10	–	1,17	$S_{13} = 357,4$
–	–	–	–	$S_{14} = 358,6$

* l_r — горизонтальная проекция длины участка; h — разность (перепад) высот; $W_{i \rightarrow (i+1)}$ — сопротивления движению ходовой части конвейера на отдельных участках трассы, определенные в итоге тягового расчета и натяжения тяговых лент S_i .

$$q_0 = \frac{m_k g}{t_k} + 2q_{л} = \frac{115,3 \cdot 9,81}{0,63} + 2 \cdot 197,1 = 2,19 \text{ кН/м},$$

где m_k — масса ковша с деталями крепежа к тяговому резиновому лентам по обоим сторонам ковшей, $m_k = 115,3 \text{ кг}$; $q_{л}$ — линейная нагрузка от тяговой ленты с одной стороны ходовой части, $q_{л} = b m_{л} g = 0,35 \cdot 57,4 \cdot 9,81 = 197,1 \text{ Н/м}$ (где b — ширина ленты, $b = 0,35 \text{ м}$; $m_{л}$ — масса 1 м^2 резиновой ленты РТЛ-5000 ГОСТ Р 56904–2016, $m_{л} = 57,4 \text{ кг}$).

Линейную нагрузку от массы вращающихся частей опорных роликов рассчитывали по формуле

$$q'_{ро} = \frac{m_{вр} g}{l'} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 9,81}{1,2} = 0,08 \text{ кН/м},$$

где $m_{вр}$ — масса вращающихся частей опорного ролика, $m_{вр} = 5 \text{ кг}$; l' — шаг расстановки опорных роликов.

Натяжения тяговых лент в характерных точках трассы конвейера определяются на основании тягового расчета [4–6], суть которого заключается в определении сопротивлений движению ходовой части на отдельных участках $W_{i \rightarrow (i+1)}$ с последующим их суммированием при обходе контура конвейера для нахождения натяжений ленты $S_{i+1} = S_i + W_{i \rightarrow (i+1)}$. При этом в расчетах принимается суммарное натяжение двух тяговых лент, расположенных по обоим сторонам несущего полотна.

Для крутонаклонных конвейеров тяговой расчет принято проводить от точки минимального натяжения тягового элемента или где оно известно, например для конвейеров с грузовым натяжным устройством [4–6].

В данном случае тяговый расчет начат от точки 9, где натяжение тяговых лент определяется из условия допустимого провисания несущего полотна из сомкнутых ковшей между опорными роликами. В соответствии с общепринятыми рекомендациями $S_9 = 5(q_{гр} + q_0)l' = 5 \cdot (2,79 + 2,19) \cdot 1,0 = 29,9 \text{ кН}$, где l' — шаг расстановки опорных роликов, $l' = 1,0 \text{ м}$.

Сопротивление движению ходовой части конвейера определяется по зависимостям, приведенным в публикации [5]:

– на прямолинейных участках и криволинейных участках выпуклостью вниз:

$$W = w(q_{гр} + q_0 + q'_{ро})l_r \pm (q_{гр} + q_0)h \text{ (для загруженных участков верхней ветви)},$$

$$W = w(q_0 + q'_{ро})l_r \pm q_0 h \text{ (для участков порожняковой (нижней) ветви)};$$

– на криволинейных участках выпуклостью вверх:

$$W = [S_i + (q_{гр} + q_0 + q'_{ро})R_1]w\beta + (q_{гр} + q_0)h \text{ (для участков верхней ветви)},$$

$$W = [S_i + (q_0 + q'_{ро})R_1]w\beta + q_0 h \text{ (для участков нижней ветви)}.$$

В формулах знак + принимается для конвейеров, работающих на подъем, знак – на спуск.

При обходе контура в направлении движения ходовой части конвейера определено сопротивление движению ходовой части на участке 9–10: $W_{9-10} = w(q_{гр} + q_0 + q'_{р0})l_{9-10} = 0,035(2,79 + 2,19 + 0,08) \cdot 10 = 1,78$ кН, где w — коэффициент сопротивления движению ходовой части (по рекомендации ВНИИПТМАШ принято значение $w = 0,035$ для эксплуатации конвейера на открытом воздухе при наличии абразивной пыли); l_{9-10} — длина рассматриваемого участка.

Натяжение тяговых лент в точке 10: $S_{10} = S_9 + W_{9-10} = 31,68$ кН.

Тяговый расчет до точки набегания лент на шкивы двухкорпусного барабана $S_{14} = S_{10} + \Sigma W_{10-14} = 358,6$ кН.

Далее тяговый расчет выполнен против направления движения ходового полотна до точки сбегания с приводного барабана: $S_1 = S_9 - \Sigma W_{1-9} = 143,05$ кН.

Из соотношения натяжений следует, что пробуксовка тяговых лент на двухкорпусном барабане отсутствует:

$$\frac{S_{14}}{S_1} = \frac{358,6}{143,05} = 2,51 < e^{\mu\alpha},$$

где $e^{\mu\alpha}$ — тяговый фактор привода, $e^{\mu\alpha} = 3,0$; μ — коэффициент сцепления тяговых лент с обечайками приводного барабана, $\mu = 0,35$; α — угол обхвата барабана лентами, $\alpha = \pi$.

В случае возможного снижения коэффициента сцепления следует увеличить натяжение лент на натяжном барабане.

Окружное усилие на приводных шкивах $W_0 = S_{14} + S_1 = 215,5$ кН.

Мощность приводного двигателя составляет

$$P = \frac{W_0 V}{\eta} = 126,8 \text{ кВт},$$

где η — к.п.д. привода, $\eta = 0,85$.

Параметры транспортируемого материала, трассы и самого ковшового ленточного конвейера представлены ниже:

Производительность, т/ч.....	512
Крупность материала, мм.....	25
Насыпная плотность материала, кг/м ³	1600
Скорость движения ленты, м/с.....	0,5
Длина трассы, м.....	140
Высота подъема, м.....	60
Угол подъема наклонной части, град.....	43
Шаг ковша, мм.....	630
Ширина ковша, мм.....	1000
Масса ковша, кг.....	122,5
Емкость ковша, м ³ (л).....	0,16 (160)
Диаметр барабана, мм.....	1000
Ширина лент, мм.....	350
Диаметр роликов, мм.....	219
Толщина резиновых лент РТЛ-500, мм.....	30
Расстояние между роликотрами, мм.....	750
Мощность электродвигателя, кВт.....	126,8

Размер отдельных кусков руды достигает 800–1200 мм, поэтому при использова-

нии КЛК необходимо применять дробильно-сортировочный комплекс [7] с дроблением руды до кусков максимальной крупностью 25–30 мм. Процесс обогащения состоит в том, что руду, содержащую асбестовые волокна, подвергают многостадийному дроблению. После каждой из стадий освобожденные из породы волокна отсасывают из массы руды, чтобы сохранить их природную длину и текстуру от разрушения в последующих стадиях дробления. Отсасывание производят на наклонных грохотах, совершающих возвратно-поступательное движение. При этом волокна поднимаются в верхний слой, а зерна более тяжелой породы остаются внизу. Частицы горной породы, оставшиеся после обогащения, и асбестовое волокно, прошедшее через сито контрольного аппарата с размером ячейки 0,25 мм, называют пылью. Асбестовые волокна отсасывают воздушной струей и затем осаждают в циклонах.

При разработке проекта по применению циклично-поточной технологии с транспортированием горной массы крутопадающими конвейерами в карьере Джетыгаринского месторождения хризотила в контурах карьера первой очереди был предложен ковшовый ленточный конвейер с повышенной тяговой способностью [8–11]. Для повышения надежности работы конвейера и уменьшения энергозатрат при сохранении его производительности был разработан КЛК [12] новой конструкции.

Отличительной конструктивной особенностью ковшового ленточного конвейера является то, что боковые поверхности тяговых гибких тросовых лент снабжены зубчатыми гибкими ремнями (рис. 2, а, б).

Ковшовый ленточный конвейер с повышенной тяговой способностью содержит огибающие обечайки приводных и натяжных двухкорпусных барабанов 1 и 2 и тяговые тросовые гибкие ленты 3. Между тяговыми лентами 3 размещены ковши 5. Тяговые гибкие ленты 3 с размещенными между ними ковшами 5 опираются на роликотпоры 6 и 7. Роликотпоры 6 и 7 и приводной и натяжной барабаны 1 и 2 установлены на раме 4 конвейера. Приводной и натяжной барабаны 1 и 2 для пропуска ковшей 5 выполнены из двух обечайек 8, установленных на общем валу 9. Реборды 10 обечайек 8 приводного двухкорпусного барабана 1 со стороны ковшей 5 снабжены зубчатыми кольцевыми дисками 11. Для зацепления с зубчатыми кольцевыми дисками 11 (см. рис. 2, б) боковые поверхности тяговых лент 3 со стороны реборд 10 снабжены зацепами 12 (см. рис. 2, б), выполненными в виде гибких приводных зубчатых ремней. Такое взаимодействие зубчатых кольцевых дисков 11 (см. рис. 2, б) с гибкими зубчатыми ремнями 12 образуют гибкую реечную зубчатую передачу. На длинных наклонных трассах конвейера (при глубоких карьерах) для повышения тяговой способности

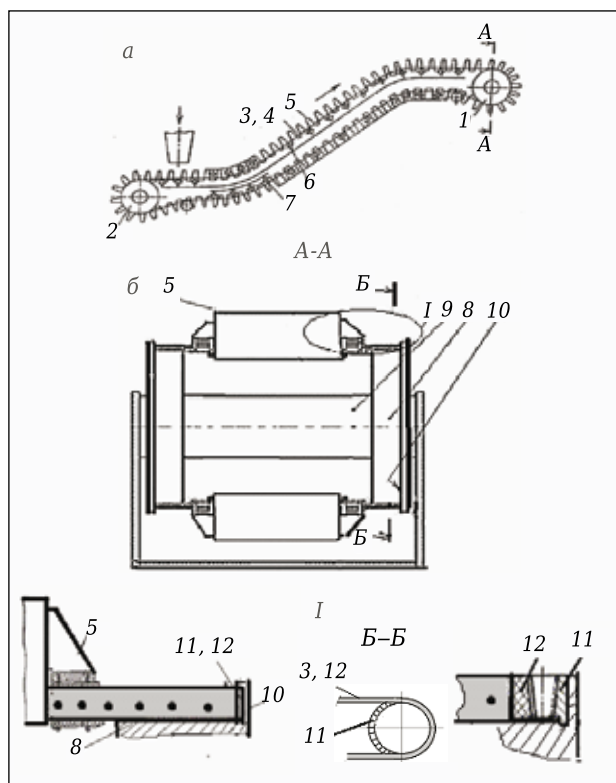


Рис. 2. Ковшовый ленточный конвейер: а — общий вид; б — взаимодействие зубчатых кольцевых дисков с гибкими зубчатыми ремнями

тросовых лент на раме 4 конвейера установлены вертикально зубчатые ролики (на рисунках не показаны), взаимодействующие с зубчатыми ремнями 12.

Библиографический список

1. Цементные изделия на основе хризотила <https://chrysotile.ru/page/cement-materials/>.
2. **Davydov, S. Ya.** Resolution of the problem of expanded clay rubble dust formation / S. Ya. Davydov, N. G. Valiev, V. S. Shestakov, D. V. Domozhnikov // *Refract. Ind. Ceram.* — 2019. — Vol. 60, № 2. — Р. 139–141.
3. **Давыдов, С. Я.** Решение проблемы пылеобразования керамзитового щебня / С. Я. Давыдов, Н. Г. Валиев, В. С. Шестаков, Д. В. Доможиров // *Новые огнеупоры.* — 2019. — № 4. — С. 17–19.
4. **Пат. № 189194 Российская Федерация.** Колосниковый грохот для пылеобразующих материалов / Давыдов С. Я., Абдулкаримов М. К., Шестаков В. С., Лагунова Ю. А. — № 2019108001 ; заявл. 20.03.19 ; опубл. 15.05.19, Бюл. № 14.
5. **Шахмейстер, Л. Г.** Теория и расчет ленточных конвейеров / Л. Г. Шахмейстер, В. Г. Дмитриев. — М. : Машиностроение, 1978. — 392 с.
6. **Пертен, Ю. А.** Крутонаклонные конвейеры / Ю. А. Пертен. — Л. : Машиностроение, 1977. — 215 с.
7. **Зеленский, О. В.** Справочник по проектированию ленточных конвейеров / О. В. Зеленский. — СПб. : Недра, 2009. — 376 с.
8. **Давыдов, С. Я.** Использование эффективного комплекса оборудования для перемещения насыпных гру-

В движущиеся горизонтально или наклонно ковши 5 загружается сыпучий материал. Нагрузка ковшей с загруженным материалом передается через гибкие ленты 3 на ролики 6, установленные стационарно по всей длине конвейера. На участках загрузки и разгрузки ленты 3 проходят по обечайкам 8 барабанов 1, 2, а ковши 5 — между ними. При вращении обечайки 8 приводного барабана 1 зубчатые кольцевые диски 11 с зубчатыми гибкими рейками 12 образуют реечную зубчатую передачу. Результатом использования гибкой реечной зубчатой передачи является отсутствие проскальзывания гладких поверхностей тяговых лент 3 относительно обечайки приводного барабана 1, приводящие к перекосу одной ленты относительно другой.

Применение приводных барабанов в приводных станциях ковшовых ленточных конвейеров приводит к возможности возникновения пробуксовки ленты на барабанах, создающей перекося лент на этих барабанах. Перекос может быть вызван упругим изменением длины ленты и отклонениями линейных скоростей рабочих поверхностей приводных барабанов из-за неточностей их изготовления, налипания частиц транспортируемого материала, загрязняющей примазки, замасливания ленты. Наличие реечной зубчатой передачи при вращении приводного барабана 1, особенно при запуске приводов, исключает проскальзывание лент 3 относительно обечайки 8 барабана 1 и перекося лент не только повышает надежность работы конвейера без аварийных ситуаций, но и уменьшает энергозатраты при сохранении производительности конвейера.

зов / С. Я. Давыдов // *Новые огнеупоры.* — 2012. — № 8. — С. 8–10.

8. **Давыдов, С. Я.** Энергосберегающее оборудование для транспортировки сыпучих материалов: исследование, разработка, производство / С. Я. Давыдов. — Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2007. — 317 с.
9. **Давыдов, С. Я.** Ковшовый ленточный конвейер для горячих материалов / С. Я. Давыдов, И. Д. Кашеев, А. А. Филистеев // *Новые огнеупоры.* — 2004. — № 10. — С. 79–82.
10. Разработка крутонаклонного конвейера для горячих грузов с ленточным тяговым элементом : отчет о НИР № ГР 01890067792 / ВНИИ Энергоцветмет ; рук. работы С. Я. Давыдов. — Свердловск, 1989. — 38 с.
11. **Пат. 1722993 SU.** Ковшовый конвейер / Давыдов С. Я., Демидов А. Е., Белкин Г. И., Федоров А. Ф., Краснов Г. И. // Б. И., 1992. № 12.
12. **Заявка № 2020108291** от 26.02.2020. Ковшовый ленточный конвейер. Авторы : Давыдов С. Я., Кожушко Г. Г. ; заявитель : ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет». ■

Получено 20.01.20

© С. Я. Давыдов, Р. А. Апакашев, Н. Г. Валиев, Г. Г. Кожушко, 2020 г.