

ПУТИ УНИФИКАЦИИ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

Я. Б. Кальницкий и В. Д. Зиневич

Одной из важнейших технических проблем развития горнодобывающей промышленности является проблема транспортирования больших объемов горной массы. Разрешение этой проблемы должно обеспечить значительное увеличение производительности транспортных установок.

Новейшая транспортная техника должна удовлетворять ряду других требований, важнейшими из которых являются: а) увеличение производительности труда на транспортных работах; б) повышение надежности работы транспорта и полная ликвидация задержек в работе выемочных машин из-за транспорта; в) снижение стоимости перевозки насыпных грузов; г) всемерное внедрение автоматического управления транспортными комплексами; д) повышение срока службы транспортных механизмов и замена наиболее дорогих и дефицитных материалов, применяемых для их изготовления; е) снижение веса и облегчение монтажа и переноски транспортных установок.

Исключительное значение имеет создание производительных и надежных установок для транспортирования громадных объемов насыпных грузов при крупном гидротехническом строительстве и на современных открытых разработках, оснащенных новейшими добывающими машинами высокой производительности и мощности.

Технически наиболее совершенным способом транспортирования насыпных грузов на сравнительно короткие расстояния является транспортирование с помощью ленточных конвейеров, обеспечивающих непрерывность, высокую производительность, минимальную трудоемкость, стабильность качества транспортируемого материала, малые энергетические затраты и возможность полной автоматизации работы транспортных магистралей. Однако при обычных конструкциях прорезиненных лент область рационального применения ленточных конвейеров резко ограничивается главным образом из-за недостаточной прочности и короткого срока службы конвейерной ленты. Прорезиненная лента является наиболее дорогой и быстро выходящей из строя частью ленточных конвейеров. Срок службы ленты практически не превышает одного года, а в тяжелых условиях эксплуатации, особенно характерных для открытых работ и строительства в зимний период, часто снижается до 3—6 месяцев. Стоимость 1 м² конвейерной ленты составляет в среднем 180—200 руб.¹

¹ При числе прокладок 7—8.

Поэтому применение ленточных конвейеров с обычной лентой оказывается экономически целесообразным лишь при сравнительно небольшой длине транспортирования (до 1000 м) и высокой производительности транспорта (выше 140—150 т/час).

Прочность тягового элемента ленты (материал прокладок) является, кроме того, основным фактором, лимитирующим длину установки ленточного конвейера на один привод. Даже в наиболее совершенных новейших отечественных конструкциях эта длина не превышает 400—500 м. Вместе с тем совершенно очевидно, что увеличение длины конвейера на один привод обеспечивает важные технические преимущества. Так, увеличение, например, вдвое длины ленточного конвейера позволяет соответственно вдвое сократить число приводных станций и двигателей с пусковой аппаратурой, число натяжных станций, перегрузок материала, значительно уменьшить объем монтажных работ и обеспечить ряд других преимуществ.

В связи с этим большое значение имеют работы по повышению прочности тягового органа ленточных конвейеров, проводящиеся в нескольких направлениях. Еще в 30-х годах в Советском Союзе предлагалась принципиально новая конструкция ленточных конвейеров, в которой за лентой сохранялись только функции несущего органа, тогда как функции тягового органа были переданы специальному элементу конвейера — тяговому канату, изготовляемому и монтируемому независимо от ленты. Первые конструкции ленточных конвейеров со стальным тяговым канатом [4], созданные в Ленинградском Гипрошахте, были по существу только эскизом таких конвейеров. Лишь в 1950 г. в Англии была разработана и испытана достаточно удачная модель канатно-ленточных конвейеров, работоспособность которых доказана на практике [7].

Цель данной работы — на базе установления необходимых параметров стационарных ленточных конвейеров для шахт и карьеров обосновать наиболее перспективные конструктивные схемы канатно-ленточных конвейеров, разработать основные положения для их проектирования и выявить эффективность их применения для транспортирования больших объемов горной массы.

1. Необходимые параметры ленточных конвейеров

Чтобы установить типовой ряд ленточных конвейеров для транспортирования насыпных грузов, необходимо учесть основные требования, предъявляемые современной практикой к производительности и длине главных транспортных магистралей шахт и разрезов.

Т а б л и ц а

Производственная мощность современных угольных шахт и карьеров

Предприятие	Добыча, т/сутки
Шахта	1 000, 1 500, 2 000, 3 000, 4 000 и 5 000
Карьер	2 000, 3 000, 4 000, 5 000, 8 000, 10 000, 15 000, 20 000

На основании установленных типов угольных шахт и карьеров и их производственных мощностей (табл. 1), а также на основании дейстующей

щих нормативов по проектированию [3] расчетная часовая производительность главных транспортных магистралей

$$Q_{\text{час}} = \frac{Q_{\text{сутки}} k}{n} \text{ т/час}, \quad (1)$$

где k — коэффициент неравномерности работы транспорта, принимаемый для шахт 1,25, для карьеров 1,4;

n — число часов работы конвейерных линий в сутки — для шахт 13 час., для карьеров 14 час.

Исходя из этого, расчетная часовая производительность конвейеров должна определяться по формулам:

а) для шахт

$$Q_{\text{час}} = 0,096 Q_{\text{сутки}}, \text{ т/час}; \quad (2)$$

б) для карьеров

$$Q_{\text{час}} = 0,1 Q_{\text{сутки}}, \text{ т/час}. \quad (3)$$

Учитывая диапазон производительности современных угольных шахт и карьеров (от 1000 до 20 000 т/сутки), можно считать его в значительной степени удовлетворяющим и требованиям современного строительства. Следовательно, на основании данных табл. 1 и по формулам (2) и (3) может быть установлен единый ряд производительности магистральных ленточных конвейеров для работы в шахтах, карьерах и на строительстве при диапазоне производственной мощности от 1000 до 20 000 т/сутки.

Т а б л и ц а 2
Необходимая производительность магистральных
ленточных конвейеров

Расчетная суточная производительность, т/сутки		Расчетная часовая производительность, т/час		Потребная производи- тельность ленточных конвейеров, т/час
Шахта	Карьер	Шахта	Карьер	
1000	—	96	—	100
1500	—	144	—	200
2000	2000	192	200	200
3000	3000	288	300	300
4000	4000	384	400	400
5000	5000	480	500	500
—	8000	—	800	800
—	10000	—	1000	1000
—	15000	—	1500	1500 или 2×800
—	20000	—	2000	2000 или 2×1000

Как следует из данных табл. 2, для всех 14 типов шахт и карьеров необходим ряд ленточных конвейеров с девятью ступенями производительности, а при установке на карьерах-гигантах двух параллельных транспортных магистралей — с семью ступенями потребной часовой производительности. Однако все эти 7—9 ступеней часовой производительности могут быть обеспечены при значительно меньшем числе конструктивных типов ленточных конвейеров путем соответственного подбора скорости движения лент, числа оборотов и мощности электродвигателя.

Применяя короткозамкнутые асинхронные двигатели трехфазного тока с различным числом полюсов, можно получить (при стандартных числах оборотов ведущих барабанов ленточных конвейеров согласно ГОСТ 1596-42) ряд линейных скоростей (табл. 3), диапазон изменения

Таблица 3

**Линейная скорость движения ленты при различных
числах оборотов двигателя конвейера**

Число полюсов короткозамкнутого асинхронного двигателя	Число оборотов (синхронное) двигателя, об/мин.	Линейная скорость движения ленты, м/сек
4	1500	3,0
6	1000	2,0
8	750	1,5
10	600	1,2
12	500	1,0

которых обеспечивается при неизменном передаточном числе редуктора. Редуктор для каждого типа конвейеров должен быть рассчитан на максимально передаваемую мощность. Величина скорости движения ленты в пределах 1—3 м/сек вполне допустима для транспорта любых грунтов и горных пород. Как известно, в некоторых конвейерных установках (транспортно-отвальных мостах) применяются и более высокие скорости ленты, достигающие 4—4,5 м/сек [1]. Ограничение скорости движения конвейерных лент величиной 1,2—1,5 м/сек, принимаемое в ряде типовых конструкций ленточных конвейеров, связано прежде всего с повышенным износом ленты обычной конструкции при высоких скоростях. С изменением конструкции ленты (канатно-ленточные конвейеры) это ограничение, естественно, отпадает.

В соответствии с данными табл. 2 и 3 найдем необходимые значения ширины лотковой ленты для всех ступеней потребной производительности ленточных конвейеров при различных скоростях движения ленты. Определение ширины ленты B произведено для одного из наиболее легких массовых грузов — бурого угля с насыпным весом $\gamma = 0,85 \text{ т/м}^3$ при минимальном значении коэффициента наполнения $\psi = 0,85$, имеющем место при работе конвейеров на предельных углах подъема материала. Ширина ленты рассчитана по формуле

$$B = 1000 \sqrt{\frac{Q_{\text{час}}}{324v\gamma\psi}}, \text{ мм}, \quad (4)$$

где v — скорость движения ленты, м/сек.

При принятых значениях γ и ψ формула (4) принимает вид

$$B = 65,3 \sqrt{\frac{Q_{\text{час}}}{v}}, \text{ мм}. \quad (5)$$

Очевидно, при любых грузах с большим насыпным весом и для установок с меньшим углом наклона ширина лент окажется меньше значений, рассчитанных по формуле (5), которая, таким образом, дает максимально необходимые значения ширины ленты B при заданной потребной производительности.

Анализируя данные табл. 4, можно исключить из рассмотрения чрезмерно узкие ленты (шириной менее 600 мм), как заведомо не соответствующие обычной крупности кусков транспортируемых насыпных грузов, а также и наиболее широкие ленты (более 1500 мм), как связанные с излишней громоздкостью установки. Таким образом, из табл. 4 следует, что при диапазоне ширины лент от 600 до 1500 мм и скорости лент от 1 до 3 м/сек можно обеспечить транспорт одной конвейерной линией всей горной массы (добычи предприятия) для всех случаев типового ряда

**Максимальная необходимая ширина лотковой ленты
при различных производительностях конвейера
и скоростях движения ленты**

Ряд потребной производитель- ности ленточ- ных конвейе- ров, <i>т/час</i>	Ширина <i>B</i> лотковой ленты при скорости (<i>м/сек</i>), <i>мм</i>				
		1,2		2,0	3,0
100	655	600	535	465	390
200	925	845	755	655	555
300	1130	1040	920	800	680
400	1300	1200	1070	925	785
500	1460	1340	1200	1035	880
800	1850	1700	1510	1300	1100
1000	2060	1890	1700	1460	1240
1500	2530	2320	2060	1780	1520
2000	2920	2680	2400	2060	1750

производительности, кроме последнего. При суточной производительности транспорта на карьере или крупном строительстве, составляющей 20 000 *т*, необходима установка двух параллельных конвейерных линий производительностью по 1000 *т/час* каждая.

Обобщение данных табл. 4 показывает, что если правильно варьировать скорость движения ленты, ориентируясь в каждом случае на максимальное ее значение при минимальной ширине ленты, то можно обеспечить весь ряд потребных производительностей, установленный в табл. 2, с помощью всего лишь трех типовых серий (моделей) ленточных конвейеров. Каждая из таких типовых серий должна представлять собой конвейер с определенной шириной ленты и неизменным редуктором.¹ Изменение производительности достигается установкой двигателей с различным числом оборотов (и, соответственно, различной мощности).

Таблица

Типовые серии ленточных конвейеров

Типовая серия ленточных конвейеров		Производи- тельность конвейера, <i>т/час</i>	Ширина ленты конвейера при числе оборотов электродвигателя в 1 мин. <i>мм</i>			
Серия	Группа		500	750	1000	1500
			Скорости движения ленты конвейера, <i>м/сек</i>			
			1,0	1,5	2,0	3,0
I (<i>B</i> =700)	A	100,0	700		—	—
	Б	200			700	—
	В	300			—	700
II (<i>B</i> =900)	A	400			900	—
	Б	500			—	900
III (<i>B</i> =1500)	A	800		1500	—	—
	Б	1000			1500	—
	В	1500			—	1500
III	Б	2000	Две параллельные линии (по 1000 <i>т/час</i>)			

Редуктор для каждой типовой серии, как отмечалось выше, должен обладать постоянным передаточным числом и быть рассчитанным на максимальную передаваемую мощность.

Как следует из табл. 5, производительность современных шахт карьеров может быть в полной мере обеспечена применением трех типовых серий (моделей) ленточных конвейеров с шириной лотковой ленты 700, 900 и 1500 мм.

Весьма существенным является вопрос о длине ленточных конвейеров на один привод. Однако решение его осложняется разнообразием тех условий, в которых применяются конвейеры (длиной выработок в шахте, глубиной карьера и профилем местности на поверхности).

Технические направления по проектированию современных шахт [3] рекомендуют осуществлять конвейеризацию при длине наклонных конвейерных линий до 1200 м. Очевидно, в этих условиях было бы чрезвычайно желательным устанавливать в наклонной выработке один привод ленточного конвейера с предельной часовой производительностью (табл. 2) 480 т/час.

Если принять такое соотношение производительности и длины для соответствующего типа конвейеров (табл. 5, серия II, группа Б), то возможная длина ленточных конвейеров может быть найдена из условия постоянства транспортной работы для конвейеров большей производительности. Иными словами, если конструктивно удастся обеспечить работу конвейера производительностью 500 т/час и длиной 1200 м с одной мощной приводной станцией, то по всем граничным условиям (сцепление между лентой и ведущим барабаном, прочность тягового органа на разрыв) длина конвейера любой другой производительности может быть найдена по уравнению

$$Q_{\text{час}} L = \text{const.} \quad (6)$$

При этом будет обеспечено постоянство мощности для различных серий конвейеров, полная их загрузка и предельное значение длины установки на один привод при данной мощности двигателя. Разумеется, если потребная длина транспортирования оказывается меньше расчетной, необходимо подбирать двигатель соответствующей меньшей мощности. При длине транспортирования, превышающей расчетную, окажется необходимым устанавливать последовательно два или несколько конвейеров.

Исходя из условия постоянства работы ленточных конвейеров, получим теоретический ряд предельных длин установки на один привод (табл. 6).

Т а б л и ц а 6
Необходимая теоретическая длина конвейеров

Серия	Группа	Часовая производительность, т/час	Длина конвейера, м
I	A	100	6000
	Б	200	3000
	В	300	2000
II	A	400	1500
	Б	500	1200
III	A	800	750
	Б	1000	600
	В	1500	400

Данные табл. 6 для мощных конвейеров, предназначенных для карьеров (III серия), хорошо согласуются с действительной необходимой длиной карьерных ленточных конвейеров. Так, специальное обследование уральских угольных разрезов, выполненное Уралгипрошахтом в 1952 г.,

и собранные им данные всех основных угольных комбинатов СССР о наиболее рациональной для их условий длине ленточного конвейера для открытых работ показывают, что для современных карьеров действительно необходимой является длина установки на один привод порядка 400—600 м.

Для конвейеров же серии I в табл. 6 указана весьма значительная длина установки на один привод (2—6 км). Однако, если окажется возможным обеспечить соответствующее конструктивное выполнение конвейеров, то такая длина станет вполне реальной. Это значительно расширит область рационального применения ленточных конвейеров за счет узкоколейного транспортирования насыпных грузов, подвесных канатных дорог и т. п.

Следовательно, задача создания новых ленточных конвейеров большой длины и производительности должна быть решена путем разработки таких конструктивных схем компоновки тягового и несущего органов ленты, которые позволили бы обеспечить установленные выше параметры конвейерных установок. Весьма перспективным в этом отношении является применение новых канатно-ленточных конвейеров, обладающих рядом важных преимуществ по сравнению с обычными ленточными конвейерами.

На данном этапе развития конвейеризации в горнодобывающей промышленности и на строительстве нет необходимости разрабатывать серии канатно-ленточных конвейеров для всех теоретически возможных ступеней длины, указанных в табл. 6. Поэтому в соответствии с действующими нормативами по проектированию шахт и материалами обследования карьеров угольной промышленности в табл. 7 устанавливается типовой ряд необходимых длин канатно-ленточного конвейера на один привод для трех основных серий ленточных конвейеров.

Таблица 7¹
Типовой ряд ленточных конвейеров

Серия	Часовая производительность, т	Необходимая длина установки на один привод, м
I	100	2100
	200	
	300	
II	400	800
	500	
III	800	400
	1000	
	1500	

2. Канатно-ленточные конвейеры

Главная особенность канатно-ленточных конвейеров состоит в использовании в качестве тягового органа двух стальных канатов, расположенных по обе стороны и несколько ниже несущей ленты (рис. 1). В связи с этим лента таких конвейеров выполняется однослойной с усиленным верхним покрытием. Поперек ленты на расстоянии около 1 м одна от другой крепятся гибкие стальные полосы II. Рациональнее заделывать эти полосы в тело ленты при ее изготовлении. На обоих концах полос II с некоторой подвижностью устанавливаются башмаки Б,

Ниже вопрос о выборе основных элементов канатно-ленточных конвейеров решается по данным табл. 5 и 7.

футерованные резиной. Башмаки рабочей и холостой ветвей поддерживаются снизу рабочей и холостой ветвями тяговых канатов, от которых вследствие сцепления между башмаками и канатами, движение передается полосам Π и ленте конвейера.

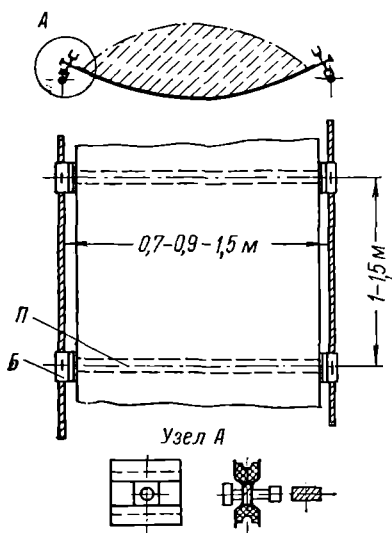


Рис. Тяговые канаты с несущей лентой:

Π — гибкие стальные полосы; Б — башмаки, футерованные резиной

вейер полностью освобождает ленту от действия больших тяговых усилий, которые воспринимаются стальными канатами. В связи с этим

В связи с необходимостью обеспечить движение канатов ниже рабочей и холостой ветвей ленты, приходится предусматривать особые методы обхода концевых барабанов лентой и концевых шкивов канатами. В известных до настоящего времени конструкциях каждый из двух тяговых канатов образует замкнутый контур, а передача им движения осуществляется шкивами трения, приводимыми во вращение от общего привода через довольно сложный дифференциальный редуктор.

Однако можно предложить и другую, принципиально более совершенную схему запасовки каната, представленную на рис. 2. Эта схема позволяет иметь один бесконечный тяговый канат и получить одинаковую скорость движения каната во всех его точках без применения дифференциальных редукторов.

В отличие от всех существующих конструкций канатно-ленточный кон-

вейер полностью освобождает ленту от действия больших тяговых усилий, которые воспринимаются стальными канатами. В связи с этим

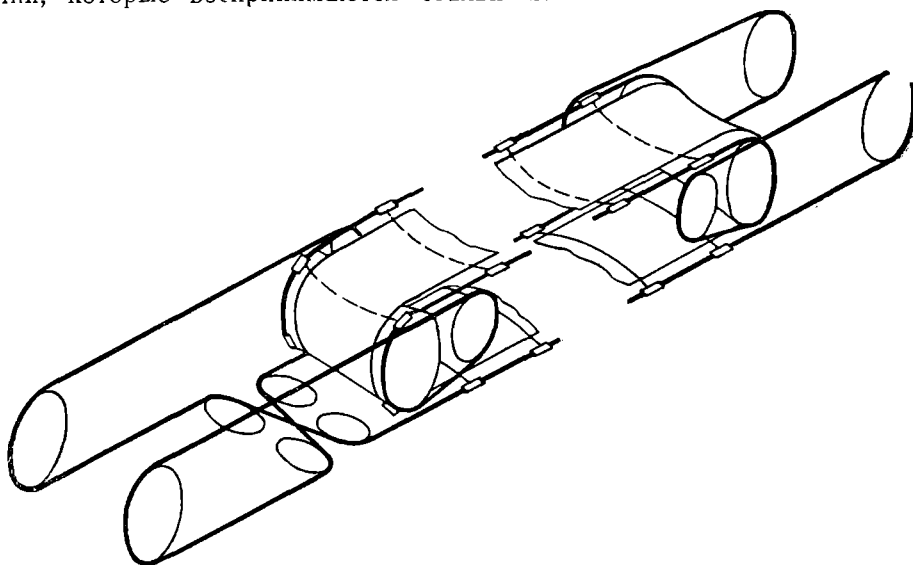


Рис. 2. Схема запасовки одного бесконечного тягового каната без применения дифференциального редуктора

лента такого конвейера может иметь только одну прокладку независимо от производительности и длины транспортирования, которые, таким образом, лимитируются не прочностью ленты, а значительно более высокой прочностью тягового каната, что позволяет резко увеличить длину

установки на один привод. Кроме того, следует указать на ряд следующих дополнительных преимуществ канатно-ленточных конвейеров.

1. Возможность значительного увеличения расстояния между поддерживающими (промежуточными) опорными шкивами. Это расстояние, определяемое из условий предельно допустимого провисания канатов, может достигать нескольких десятков метров, что позволяет выдвинуть идею о новой схеме подвесного канатно-ленточного конвейера непрерывного действия с опорами, монтированными на мачтах (рис. 3).

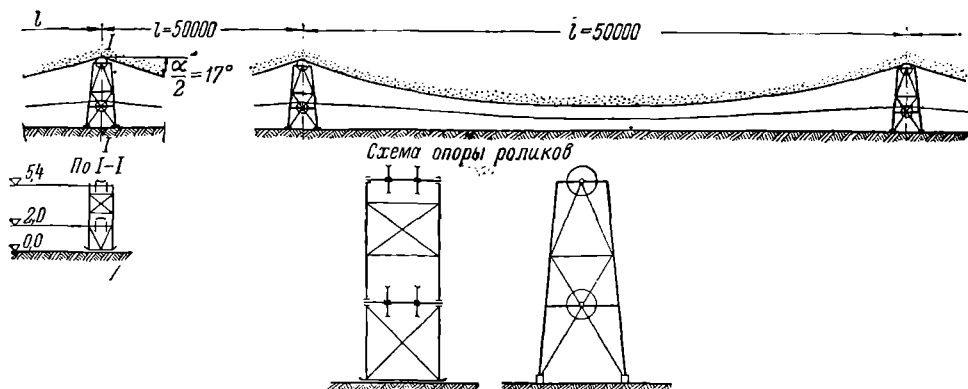


Рис. 3. Схема подвесного канатно-ленточного конвейера

2. Значительное уменьшение числа роликов и их подшипников (которое в обычных установках длиной 250—300 м составляет не менее 1700—2200 шт.), а следовательно, коренное упрощение обслуживания и эксплуатации конвейерных линий.

3. Увеличение срока службы ленты в связи с уменьшением испытываемого ею натяжения, незначительным износом краев и минимальной опасностью порывов.

Рассмотрим подробнее особенности тягового и несущего органов канатно-ленточных конвейеров.

Каждый из двух стальных канатов, воспринимающих тяговые усилия, может выполняться из проволоки с временным сопротивлением разрыву $\sigma_p = 130 \div 180 \text{ кг/мм}^2$ (табл. 8).

Таблица 8

Разрывные усилия канатов конструкции 6×37-222 по ГОСТ 3071—46

Диаметр каната $d_k, \text{мм}$	Диаметр проволоки $d, \text{мм}$	Вес 1 м каната $q_k, \text{кг}$	Разрывное усилие каната (т) с временным сопротивлением проволок разрыву $\sigma_p, \text{кг/мм}^2$					
			130	140	150	160	170	180
19,5	0,9	1,20	15,0	16,1	17,3	18,5	19,7	20,9
21,5	1,0	1,60	18,5	20,0	21,4	22,9	24,3	25,7
24,0	1,1	1,80	22,4	24,2	25,9	27,6	29,3	31,2
26,0	1,2	2,30	26,7	28,8	30,8	32,9	35,0	37,0
28,0	1,3	2,60	31,4	33,8	36,2	38,6	41,0	43,4

Разрывное усилие двух ветвей тяговых канатов рассматриваемой конструкции в зависимости от диаметра каната и прочности проволок может изменяться, как видно из табл. 8, от 30 до 86,8 т.

В табл. 9 приведены разрывные усилия прорезиненных лент обычной конструкции с прокладками, выполненными из белтинга с разрывным усилием 54, 64 и 74 кг на 1 см ширины прокладки [6].

Таблица 9

Разрывное усилие резиновых лент обычной конструкции

Ширина лент B , мм	Разрывное усилие материала прокладок, кг/см	Разрывное усилие ленты (m) при числе прокладок ленты i				
			2	3	5	8
700	54	3,78	7,56	10,34	17,90	30,24
	64	4,48	8,96	13,44	22,40	35,84
	74	5,18	10,36	15,44	25,80	41,24
900	54	4,86	9,72	14,58	24,30	38,88
	64	5,76	11,52	17,28	28,80	46,08
	74	6,66	13,32	19,98	33,30	53,28
1500	54	8,10	16,20	24,30	40,50	64,80
	64	9,60	19,20	28,80	48,00	76,80
	74	11,10	22,20	33,30	55,50	88,80

Сопоставляя данные табл. 8 и 9, необходимо иметь в виду, что лента и канат с одинаковым разрывным усилием обеспечивают резко отличные допустимые тяговые усилия. Как известно, коэффициент запаса прочности для лент принимается не менее 10 [5], а для канатов подвесных канатных дорог он может быть принят равным 5 [2]. Следовательно, равноценными с точки зрения существующих требований запаса прочности должны считаться такие установки, у которых удвоенное значение разрывного усилия по табл. 8 (канатно-ленточные конвейеры) равно половине разрывного усилия по табл. 9 (обычные конвейеры). Сравнительные данные о максимально-допустимых тяговых усилиях для канатно-ленточных и обычных конвейеров, полученные на основании табл. 8 и 9, сведены в табл. 10.

Таблица 10

Максимальные тяговые усилия

Величина тягового усилия, кг	Возможные наименьшие диаметры стальных канатов, мм		Резиновые ленты	
	при $\sigma_B = 150$, кг/мм ²	$\sigma_B = 180$, кг/мм ²	ширина не менее, мм	число прокладок
1 000	Менее 19,5	Менее 19,5 21,5 26,0 28,0	700	3
2 500	19,5		900	5
5 000	19,5		1500	6
7 500	19,5		1500	8
10 000	24,0		нет	—
15 000	28,0			
20 000	нет			

Таким образом, область использования канатно-ленточных конвейеров значительно шире, чем обычных ленточных, так как воспринимаемые ими тяговые усилия могут быть по крайней мере в 2,5—3 раза больше.

Вес 1 пог. м лент типовых серий конвейеров, подсчитанный по формуле $q_d = (1,4i + 5) B$ приведен в табл. 11.

Вес 1 пог. м ленты обычной конструкции

Ширина ленты B , м	Вес (кг) при числе прокладок i				
		2	3	5	8
0,7	4,5	5,5	6,5	8,5	11,5
0,9	5,75	7,0	8,25	10,75	14,5
1,5	9,6	11,7	13,8	18,0	24,3

На основании данных табл. 10 и 11 сравним вес 1 пог. м тягонесящих органов канатно-ленточного и обычного конвейера для одного и того же тягового усилия 7500 кг:

- | | |
|---|----------------|
| 1) для ленты обычной конструкции ($B = 1500$ мм, $i = 8$) | 24,3 кг/пог. м |
| 2) для канатно-ленточного конвейера: | |
| а) вес 1 пог. м ленты ($B = 1500$ мм, $i = 1$) | 9,6 кг/пог. м |
| б) вес 1 пог. м двух канатов ($d_k = 19,5$ мм) | 2,4 кг/пог. м |
| | 12,0 кг/пог. м |

Таким образом, вес тягонесящего органа канатно-ленточных конвейеров оказывается примерно в 2 раза меньше, чем для ленточных конвейеров с обычной лентой. Это значительно облегчает всю конструкцию, снижает мощность, которая расходуется на перемещение собственных частей конвейерной установки, и т. п.

Следует указать, что канатно-ленточные конвейеры дают возможность обеспечить значительно более высокие значения коэффициента заполнения (вследствие поперечного прогиба ленты между канатами, величина которого прямо пропорциональна нагрузке на ленту и при достаточной гибкости полос может быть значительно увеличена) в сравнении с конвейерами обычной конструкции.

Особый интерес могут представить канатно-ленточные конвейеры, опоры которых установлены не на секциях, а на мачтах более или менее значительной высоты (рис. 3). Такая подвесная конструкция канатно-ленточных конвейеров с малым количеством промежуточных опорных шкивов может быть с большим эффектом использована на открытых разработках и строительстве.

Величина пролета l между поддерживающими шкивами (т. е. расстояние между мачтами) может быть определена из условия предельно допустимого наклона кривой провеса каната у опоры. В целях предотвращения сдвига материала относительно ленты принимаем угол наклона $\frac{\alpha}{2} = 17^\circ$ (рис. 4) при уклоне трассы конвейера 5%. Если приближенно считать кривую провеса каната параболой, то (при обозначениях, принятых на рис. 4)

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{lq}{2H},$$

откуда

$$l = \frac{2H}{q} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad (7)$$

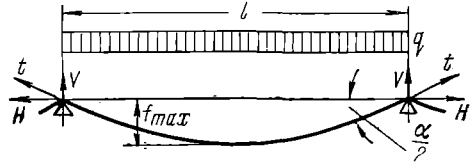


Рис. 4. Расчетная схема для определения пролета между опорами

При $\frac{\alpha}{2} = 17^\circ$ имеем $\frac{f_{\max}}{l} = 0,075$ и, следовательно, для канатно-ленточных конвейеров подвесной конструкции

$$l = 0,6 \frac{H}{q}. \quad (8)$$

Для канатно-ленточных конвейеров, устанавливаемых на секциях („наземная“ конструкция), полагая $\frac{\alpha}{2} \leq 6^\circ$ и при этом $\frac{f_{\max}}{l} \leq 0,03$,

$$l = 0,23 \frac{H}{q}. \quad (9)$$

Достаточная величина натяжения H даже на временных установках может быть обеспечена (до 7—8 т) с помощью деревоземляных якорей и полиспастов.

На основании формул (7), (8) и (9) и с учетом данных табл. 8 и 9 по весу тяговонесущего органа можно определить наибольшие величины допустимых пролетов между опорами канатно-ленточных конвейеров «подвесной» и «наземной» конструкции для всех типовых серий.

Таблица 12

Определение пролетов между опорными шкивами канатно-ленточных конвейеров

Расчетные параметры	Серия, группа							
	I			II		III		
	A	Б	В	A	Б	A	Б	В
Производительность Q , <i>т/час</i>	100	200	300	400	500	800	1000	1500
Скорость движения лент v , <i>м/сек</i>	1,0	2,0	3,0	2,0	3,0	1,5	2,0	3,0
Длина конвейера на один привод, <i>м</i>	1200	1200	1200	800	800	400	400	400
Ширина ленты, <i>мм</i>	700	700	700	900	900	1500	1500	1500
Диаметр каната, d_k , <i>мм</i>	19,5	19,5	19,5	24	24	24	24	24
Погонная нагрузка лент q , <i>кг/м</i>	28	28	28	56	46	148	138	138
Собственный вес i <i>м</i> лент, <i>кг</i>	9	9	9	10	10	14	14	14
Натяжение в нерабочем со- стоянии H , <i>кг</i>	1000	2000	3000	7000	7000	8000	8000	8000
	500	1000	1000	5000	5000	7000	7000	7000
				3000	3000	500	500	500
Наибольший пролет l при $\frac{\alpha}{2}=17^\circ$ (конвейеры подвесной конструкции), <i>м</i>	16,2	32,4	48,7	64 45	75 53	29,6 26,0	31,0 27,5	31,0 27,5
	8,1	16,2	16,2	27	32	18,5	19,5	19,5
Наибольший пролет l при $\frac{\alpha}{2}=6^\circ$ (конвейеры наземной конструкции)	6,2 —	— 6,2	— 6,2	—	—	—	—	—

Как видно из табл. 12, при соответствующем выборе достаточно большого натяжения H канатно-ленточные конвейеры наземной конструкции позволяют увеличить пролет между опорами до 6,2 м против 1,2—1,5 м у обычных конвейеров, т. е. более чем в 4 раза. С этим связано

значительное уменьшение веса движущихся частей, снижение трудоемкости монтажных работ и расходуемой конвейером мощности.

Для канатно-ленточных конвейеров подвесной конструкции пролет между опорными мачтами может изменяться в пределах 30—75 м (табл. 12). Таким образом, эти конвейеры с успехом можно применять взамен подвесных канатных дорог, обеспечивая при этом значительно большую производительность.

3. Выбор основных конструктивных параметров канатно-ленточного конвейера

Диаметр поддерживающих шкивов. При угле наклона кривой провисания каната у опорного шкива выше $\frac{\alpha}{2} = 17^\circ$ угол охвата будет $\alpha = 34^\circ$. Над шкивом материал на ленте проходит по дуге (рис. 5) окружности радиуса $R \frac{D}{2}$ соответствующей углу $\alpha = 34^\circ$, и испытывает действие центробежной силы, которая не должна превышать силу тяжести, т. е.

$$\frac{mv^2}{\frac{D}{2}} \leq mg. \quad (10)$$

Откуда наименьший диаметр поддерживающего шкива

$$D \geq \frac{2v^2}{g}. \quad (11)$$

Значения наименьших диаметров шкивов при различных скоростях движения ленты канатно-ленточного конвейера следующие:

скорость ленты v , м/сек	1,0	1,5	2,0	3,0
наименьший диаметр шкива D , м	0,204	0,46	0,82	1,84

Совершенно очевидно, что опорные конструкции канатно-ленточных конвейеров могут быть весьма компактными только при сравнительно малых скоростях движения ленты. При высоких скоростях наиболее рациональной конструкцией опор оказывается подвесная (установка шкивов большого диаметра на мачтах).

Сопротивление перемещению каната по шкивам. Эти сопротивления движению складываются из двух видов: а) сопротивления от жесткости каната; б) сопротивления от трения в подшипниках шкивов.

Коэффициент сопротивления перемещению каната (без учета собственного веса шкива — рис. 4) может быть определен по формуле [2]

$$C = \xi + 2\mu \frac{d}{D} \sin \frac{\alpha}{2}, \quad (12)$$

где ξ — коэффициент жесткости каната, равный $\frac{P_{ж}}{t}$ (t — натяжение каната, $t \approx H$);

μ — коэффициент трения в цапфах, равный обычно 0,03 для шарикоподшипников и 0,15—0,2 для подшипников скольжения;

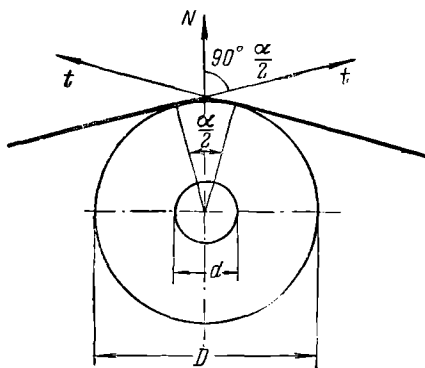


Рис. 5. Расчетная схема для определения диаметра поддерживающего шкива по условию устойчивости транспортируемого груза под действием силы инерции

$\frac{d}{D}$ — отношение диаметра цапфы к диаметру шкива, в среднем $\frac{d}{D} = \frac{1}{20}$ (для $D = 0,5 \div 2,0$ м).

Соппротивление $P_{\text{ж}}$ может быть вычислено по эмпирической формуле:

$$P_{\text{ж}} = (63 + t^{0,9}) \frac{d_{\text{к}}^{1,75}}{D^{1,5}}, \quad (13)$$

где $P_{\text{ж}}$ и t выражены в килограммах; $d_{\text{к}}$ и D — в миллиметрах.

Величина угла охвата шкива канатом связана с погонной нагрузкой q , длиной пролета l и натяжением t следующим уравнением:

$$\text{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{ql}{2t}. \quad (14)$$

Заменяя $\text{tg} \frac{\alpha}{2} \approx \sin \frac{\alpha}{2}$ получим на основании уравнения (12)

$$C = \frac{P_{\text{ж}}}{t} + 2\mu \frac{d}{D} \frac{ql}{2t} = \frac{P_{\text{ж}}}{t} + \mu \frac{d}{D} \frac{ql}{t} \quad (15)$$

Потеря тягового усилия на одном шкиве.

$$P_i = Ct = P_{\text{ж}} + \mu \frac{d}{D} ql. \quad (16)$$

В формуле (16) величину $P_{\text{ж}}$ можно считать практически не зависящей от t и определить $P_{\text{ж}}$ для некоторого среднего натяжения $t \approx H_{\text{ср}}$, так как скорость изменения $P_{\text{ж}}$ в зависимости от t невелика

$$\frac{dP_{\text{ж}}}{dt} = \frac{d \left[(63 + t^{0,9}) \frac{d_{\text{к}}^{1,75}}{D^{1,5}} \right]}{dt} = 0,9 \frac{1}{t^{0,1}} \frac{d_{\text{к}}^{1,75}}{D^{1,5}} = A \frac{1}{\sqrt[10]{t}} \quad (17)$$

Расчетные значения коэффициента жесткости каната в зависимости от диаметра шкива D и диаметра каната $d_{\text{к}}$ приведены в табл. 13 (при значении $\alpha \geq \alpha_{\text{кр}}$).

Таблица 13

Значения коэффициентов ξ

$v, \text{ м/сек}$	$G,$	$d_{\text{к}}, \text{ мм}$		$P_{\text{ж}}$	$\xi = \frac{P_{\text{ж}}}{t}$
1,5	500	24	8000	72,5	0,0091
2,0	850	24	8000	36,4	0,0046
3,0	1850	24	8000	11,5	0,0015

Если имеется n поддерживающих шкивов, то при $\frac{\alpha}{2} = \text{const}$ общая потеря тягового усилия

$$W_n = \sum_{i=1}^n P_i \approx P_i n = P_{\text{ж}} n + \mu \frac{d}{D} qln$$

или

$$W_n \approx P_{\text{ж}} n + \mu \frac{d}{D} qL, \quad (18)$$

где L — общая длина установки канатно-ленточного конвейера на один привод, м.

Методика расчета усилий и мощности двигателя. Расчетная схема для определения усилий в характерных точках канатно-ленточного конвейера, окружного усилия на ведущем шкиве и мощности, расходуемой при работе конвейера, может быть принята согласно рис. 6. По этой схеме методом последовательного определения усилий (по точкам) подсчитаны (табл. 14) некоторые параметры канатно-ленточных конвейеров подвесной конструкции (для типовых серий II и III согласно табл. 5 и 7).

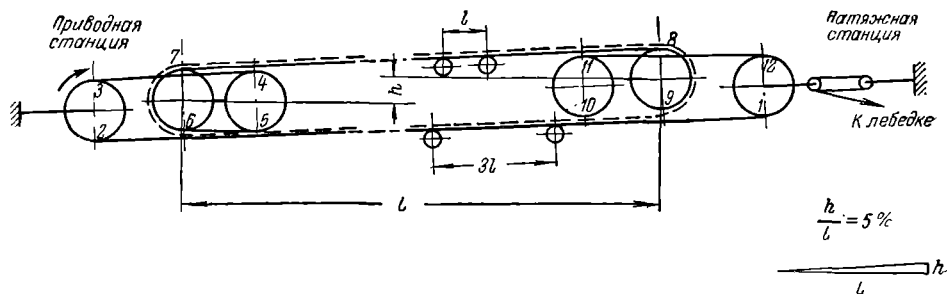


Рис. 6. Расчетная схема канатно-ленточного конвейера «подвесной» конструкции

Таблица 14

Усилия и мощность подвесных канатно-ленточных конвейеров

Расчетные параметры конвейера	Серия, группа				
	II		III		
	A	Б	A	Б	В
Часовая производительность Q , $m/час$	400	500	800	1000	1500
Натяжение ветви в нерабочем состоянии H , кг	5000	5000	8000	8000	8000
Наибольший пролет (среднее значение при $\frac{\alpha}{2} = 17^\circ$), м	50	50	30	30	30
Усилие S_1 , кг	2000	2550	4390	4460	4720
Усилие S_{12} , кг	4740	4670	8150	7960	7810
Окружное усилие P , кг	2760	2140	3880	3570	3120
Мощность на валу ведущих шкивов канатно-ленточного конвейера $N = \frac{Pv}{102}$, кВт	54	63	57	70	92
Ориентировочная мощность на валу ведущего барабана ленточного конвейера обычной конструкции при тех же параметрах, кВт	130	164	105	180	195

При произведенном для сопоставления приближенном вычислении мощности на валу ведущего барабана ленточного конвейера обычной конструкции (для лотковой ленты с установкой роликов на шарикоподшипниках, при легких условиях работы конвейера) определялось минимальное значение этой мощности. Все же, как ясно из табл. 15, она во всех случаях более чем вдвое превышает мощность, необходимую для работы канатно-ленточного конвейера подвесной конструкции. Следовательно, канатно-ленточные конвейеры «подвесной» конструкции обеспечивают снижение расхода энергии на единицу транспортируемого груза примерно в 2—2,6 раза.

Для выявления необходимой мощности двигателя канатно-ленточного конвейера «наземной» конструкции произведена расчетная проверка работающей в Англии установки такого конвейера [7, 8]. Результаты расчетов (табл. 15) по схеме конвейера, представленной на рис. 7, показывают, во-первых, что предложенная методика расчета дает результаты, очень близко совпадающие с фактическими данными и, во-вторых, что канатно-ленточный конвейер наземной конструкции обеспечивает расход мощности примерно в 1,35 раза меньше, чем обычный ленточный.

Таблица 15

Расчетные и фактические параметры канатно-ленточного конвейера «наземной» конструкции

Q , т/час	v , м/сек	Нагрузка q , кг/пог. м	Вес тяго- вого орга- на q_0 , кг/пог. м	S_1 , кг	S_{12} , кг	Мощность, кат		
						Расчет- ная	Фактическая	
							канатно- ленточного конвейера	обычного конвейера
150	1,27	42,5	10,0	2086	10690	105	111	142

Канатно-ленточные конвейеры применяются на английских угольных шахтах с 1951 г. [6]. На шахте «Эктон Холл», например, установлен канатно-ленточный конвейер длиной 1540 м с вертикальным подъемом на 78 м. Конвейерная лента шириной 0,9 м движется со скоростью 76 м/мин и имеет пропускную способность 300 т/час. Приводом служит высоковольтный электродвигатель мощностью 275 л. с., 740 об/мин.

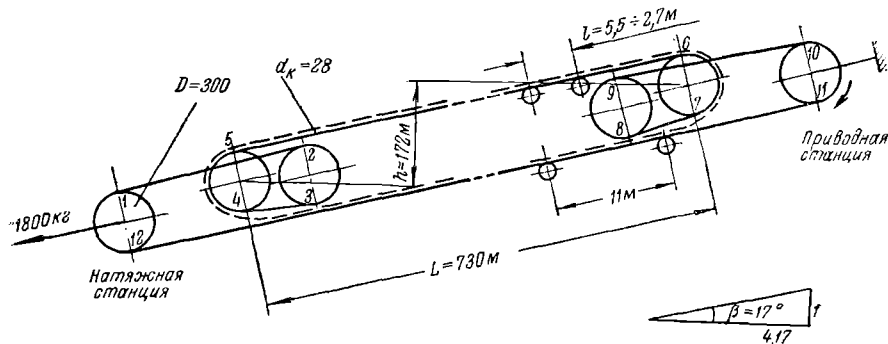


Рис. 7 Расчетная схема английского канатно-ленточного конвейера «наземной» конструкции

Конвейерная установка оборудована системой сигнализации и предохранительными устройствами, которые предотвращают остановку ленты при заклинивании крупной глыбы и выключают приводной двигатель при повреждении или разрыве ленты.

С установкой канатно-ленточного конвейера отпала необходимость в применении нескольких последовательно включенных конвейеров, что устраняет промежуточные перегрузочные пункты и даст возможность сократить обслуживающий персонал.

В дальнейшем предполагается довести длину конвейера до 3000 м при подъеме на 105 м.

Значительные перекашивающие усилия, повидимому, все же могут возникать в тяговом органе при наличии дифференциала в приводе в слу-

чае неравномерного распределения нагрузки между обоими канатами и особенно при заклинивании одного из них. Поэтому в предлагаемой нами схеме запасовки каната принят один бесконечный канат (рис. 2), в связи с чем отпала необходимость в дифференциале, что ведет к снижению стоимости установки наряду с устранением перекашивания канатов.

В 1955 г. в английской периодической литературе [9] появились сведения об эксплуатации девяти канатно-ленточных конвейерных установок. Длина транспортирования от 118 до 3100 м, высота подъема от 8 до 274 м, ширина ленты 762—914 мм, диаметр каната от 25,4 до 35 мм, производительность от 125 до 300 т/час, скорость ленты 1,27—1,52 м/сек, мощность двигателя от 44 до 258 квт.

Выводы

Канатно-ленточные конвейеры являются прогрессивным видом установок непрерывного транспортирования массовых грузов. Обладая значительно меньшей металлоемкостью в сравнении с обычными ленточными конвейерами, они позволяют резко увеличить длину транспортирования на один привод, значительно сократить расход энергии и другие эксплуатационные расходы, резко увеличить область рационального применения конвейерного транспорта, снизить в несколько раз расход дефицитных материалов (резина, белтинг), широко внедрить автоматизацию транспорта больших объемов горной массы.

Следует считать весьма желательными конструктивную разработку и опробование промышленных образцов канатно-ленточных конвейеров как «наземной», так и подвесной конструкций.

Необходимо провести и унификацию стационарных конвейеров всех существующих типов в соответствии с установленным типовым рядом потребной производительности и скорости движения ленты.

Л и т е р а т у р а

1. Аверин Н. Д. Организация транспорта больших масс грунта. ВНИТО Строителей. Стройиздат, 1952.
 2. Дукельский А. И. Подвесные канатные дороги и кабельные краны. Машгиз, 1951.
 3. Основные технические направления в проектировании и нормы технического проектирования шахт, карьеров, обогатительных фабрик, жилищного и культурно-бытового строительства угольной промышленности. Углетехиздат, 1952.
 4. Спиваковский А. О. Канатные конвейеры. Изд. АН СССР, 1951.
 5. Спиваковский А. О. и Руденко Н. Ф. Подъемно-транспортные машины. Машгиз, 1949.
 6. Freutice I. R. Iron and Coal Trades Review, 1954, № 4522.
 7. Thomson Ch. Iron and Coal Trades Review, 1951, № 4349.
 8. Wilson H. H. a. Pirie I. W. Iron and Coal Trades Review, 1952, № 4403.
 9. Walker I. R. The Mining Electrical and Mechanical Eng., 1955. № 146.
-