

**РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН**  
**НАВОЙСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ**  
**НАВОЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ**  
**ОТДЕЛЕНИЕ МАГИСТРАТУРЫ**

---

Допускается к защите  
**«УТВЕРЖДАЮ»**  
Начальник отдела магистратуры  
\_\_\_\_\_ доц. Б.Р.Тошов  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 год

**КАЮМОВ УМИДЖОН ЭРКИНОВИЧ**

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

на тему:

**«ОБОСНОВАНИЕ ТЕОРИИ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ЦЕНТРИРОВАНИЯ  
И БОКОВЫХ СХОД ПРИ ДВИЖЕНИИ КОНВЕЙЕРНЫХ ЛЕНТ»**

специальности **5А310705 «Горные машины и оборудования»**

Зав. кафедрой:

Научный руководитель:

\_\_\_\_\_ доц. Махмудов А.М.

\_\_\_\_\_ доц. Атакулов Л.Н.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019г.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019г.

Магистрант: Каюмов У.Э \_\_\_\_\_

**Каюмов У.Э.**

**Обоснование теории влияния факторов центрирования и боковых сход при движении конвейерных лент**/Магистерская диссертация выполнена по специальности 5А310705-«Горные машины и оборудования», Навои, 2019. 80 с.

**Ключевые слова:** карьер, конвейер, боковой сход, модуль упругости, коэффициент сопротивления движению

**Kalit so'zlari:** karyer, tasmali konveyer, elastik moduli, harakatdagi qarshilik koeffitsienti

**Keywords:** quarry, conveyor, lateral gathering, modulus of elasticity, coefficient of resistance to movement

#### Аннотация

Dissertatsiya konveyer tasmalarning harakatlanishi davomida markazlashtiruvchi va tasmaning chetlanishiga ta'sir ko'rsatuvchi omillar yordamida konveyerlarning samarali ishlashiga bag'ishlangan. Rezinators va rezinamatoli tasmalarni, shuningdek dunyo amaliyotida mavjud bo'lgan konveyerlarni o'rganish va tahlil qilish, tasmaning chetlanishiga tasir qiluvchi omillari aniqlandi va ANSYS dasturiy ta'minot to'plami yordamida masalalar hal qilindi.

#### Аннотация

Магистерская диссертация посвящена повышению эффективности работы конвейеров с помощью влияющих факторов центрирования и боковых сход при движении конвейерных лент. Произведен обзор и анализ существующих в мировой практике конвейеров, резиновых и резиноканевых конвейерных лент, определены влияющие факторы схода лент и решена задача с помощью программного комплекса Ansys.

#### Annotation

The master's thesis is devoted to improving the efficiency of the conveyors with the help of influencing factors of centering and lateral gathering during the movement of conveyor belts. A review and analysis of existing in world practice conveyors, rubber-and rubber-rubber and rubber-fabric conveyor belts was carried out, the influencing factors of the gathering of belts were determined and the problem was solved with the help of the Ansys software package.

Табл.6, рис.50, список лит.80 назв.

#### Рецензенты:

1. Начальник ЭРУ ГЦ ЦПТ
2. К.т.н., доцент кафедры «ТМ»

Жалолов Л.М.  
Эгамбердиев И.П.

## Содержание

<b>Введение</b>		
<b>ГЛАВА 1. ОБЗОР И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНВЕЙЕРОВ И КОНВЕЙЕРНЫХ СИСТЕМ</b>		
1.1	Общие сведения о конвейерах	
1.2	Общие сведения о лентах используемые конвейерами.	
1.3	Конвейерные компоненты	
1.4	Анализ устойчивости поперечного движения	
<b>Выводы по главе</b>		
<b>ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПОПЕРЕЧНОМУ СМЕЩЕНИЮ ЛЕНТ</b>		
2.1	Центрирующие устройства.	
2.2	Методы исследование поперечных движений ленты	
2.3	Способы влияние различных факторов на смешение конвейерных лент.	
2.4	Режим пуска и торможения конвейера	
<b>Выводы по главе</b>		
<b>ГЛАВА 3. ОБОСНОВАНИЕ ТЕОРИИ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ЦЕНТРИРОВАНИЯ И БОКОВЫХ СХОД ПРИ ДВИЖЕНИИ КОНВЕЙЕРНЫХ ЛЕНТ</b>		
3.1	Обоснование необходимости создания модели в программном комплексе Ansys	
3.2	Боковой сход ленты на <b>линейной части</b> конвейера с жестким ставом	
3.3	Разработка цифровой модели напряженного состояния при поперечного смещений конвейерных лент с использованием программного комплекса ANSYS	
<b>Выводы по главе</b>		
<b>Заключение</b>		
Список использованных источников информации		

## Введение

**Актуальность работы.** Проектирование ленточных конвейеров должно сопровождаться расчетом переходных процессов при их пуске и торможении. Расчет переходных процессов в качестве основного вопроса включает определение экстремальных динамических натяжений ленты. Перегрузка ленты при пуске или торможении конвейера может привести к опасному снижению запаса прочности ленты, если прочность ее выбрана без учета характеристик применяемого привода конвейера или его тормозного устройства.

Проектирования необходимую прочность ленты определяют только по расчетным максимальным натяжениям в установившемся режиме, но с избыточным расчетным запасом прочности. Применение современных и дорогостоящих систем привода, обеспечивающих плавность пуска, не снижает стоимости ленты, хотя очевидно, что существенное уменьшение динамических натяжений повышает в этом случае безопасность эксплуатации ленты и срок ее службы.

Задачей расчета переходных процессов является определение натяжения контура ленты, которое обеспечило бы пуск и торможение конвейера без пробуксовки ленты на приводных барабанах и потери устойчивости ленты. Расчетное усилие натяжного устройства, таким образом, связывается с экстремальными динамическими натяжениями ленты и, следовательно, с характеристикой привода конвейера. Если привод обеспечивает плавный пуск конвейера, то расчетное усилие натяжного устройства может быть соответственно уменьшено и на конвейере может быть применена лента меньшей продольной прочности. В случае использования податливых в режиме пуска и торможения натяжных устройств необходимо также правильно рассчитать ход натяжных кареток. В конвейере со сложным профилем определение допустимых радиусов переходных участков должно быть произведено с учетом дополнительных динамических натяжений ленты при пуске и торможении. Расчет переходных процессов включает также определение времени пуска и торможения конвейера. В связи с тем, что

непосредственное измерение динамических натяжений ленты вызывает значительные затруднения, контроль времени пуска и торможения часто является единственным фактором, позволяющим оценить соответствие фактических и расчетных характеристик привода. Расчет времени пуска и торможения имеет также значение при проектировании конвейерных линий.

Расчет переходных режимов основан на анализе волновых процессов (боковой сход), возникающих в ленте при пуске и торможении конвейера. Важнейшим параметром волнового процесса является скорость распространения продольной упругой волны.

При движении по роlikоопорам става конвейерная лента под действием различных сил отклоняется в сторону от своего центрального положения и возникает явление, которое в практике называют боковым сходом.

Нецентральное движение ленты является в настоящее время одной из причин простоев конвейеров, появления просыпей в подконвейерном пространстве и заштыбовки става, уменьшения сроков службы ленты из-за износа бортов и пр. Все эти недостатки, связанные с боковым сходом ленты, снижают технико –экономические показатели конвейерного транспорта.

***Целью работы*** является исследование поперечного движения ленты при взаимодействии роlikоопорой.

**Задачи исследования** является:

1. Анализ и теоретическое обобщение литературных и фондовых материалов, определяющий долговечность лент, влияющих на производительность крутонаклонных конвейеров;
2. Формулировка основных понятий критериев устойчивости, оценка влияния параметров конвейера и типа центрирующих устройств на общий характер поперечного движения.
3. Разработка способов уменьшения смещений конвейерных лент за счет различных установок конструкций на ставах конвейера;

**Идея работы** заключается в разработки новой методики моделирования поперечного движения конвейерных лент в программном комплексе «Ansys».

**Объектом исследования является** конвейерный транспорт.

**Предмет исследования:** резинотканевая и резинотросовая лента применяемая на конвейере.

**Методы исследований.**

При выполнении диссертационной работы использованы комплексные методы исследований, теоретические обобщения результатов анализа математических и цифровых моделей напряженного состояния конвейерной ленты с использованием программного комплекса Ansys;

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

- разработан метод определения смещения поперечных движений ленты конвейера для конкретных условий эксплуатации, учитывающий критерии отсутствия натяжений ленты меньше минимально допустимых и более максимально допустимых;

- определен графический характер зависимости возмущающей силы от угла наклона боковых роликов и погрешности бокового схода лент от шага роликоопор позволяющий обосновать величину поперечных смещений на стадии проектирования;

**Апробация результатов исследования.** Апробация результатов данного исследования произведена на 1 республиканских и 1 научно-практических конференциях.

**Структура и объем диссертации.** Структура диссертации состоит из введения, трех глав, заключения, список использованной литературы. Объем диссертации составляет 90 страниц.

# ГЛАВА 1. ОБЗОР И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНВЕЙЕРОВ И КОНВЕЙЕРНЫХ СИСТЕМ

## 1.1 Общие сведения о конвейерах

Ленточными конвейерами называют машины непрерывного действия, несущим и тяговым элементом которых является гибкая лента.

Ленточные конвейеры нашли широкое распространение в промышленности. Их применяют для перемещения сыпучих и штучных грузов на короткие, средние и дальние расстояния во всех областях современного промышленного и при добыче полезных ископаемых; в металлургии применяют в качестве элементов погрузочных и перегрузочных устройств, а также в качестве машин, выполняющих технологические функции.

Широкое применение ленточных конвейеров обусловлено рядом достоинств:

- малая масса;
- простота конструкции;
- возможность транспортирования груза с высокими скоростями (до 6 ч 8 м/с);
- большая производительность ленточных конвейеров (до 30000 т/ч);
- большая длина транспортирования (4 км одним конвейером и более 100 км в системе из нескольких конвейеров).
- благодаря гибкости ленты, ленточный конвейер может иметь сложные трассы с горизонтальными, наклонными участками и с изгибами в горизонтальной плоскости;
- удобство контроля за работой.

Длина 1 става конвейера может достигать до 3-5 км иногда до 14 км, дальность транспортирования более 100 км, но более 70 % конвейеров имеет ограниченную длину до 500 м.

К недостаткам ленточных конвейеров относятся:

- высокая стоимость ленты (до 50 %) и роlikоопор (до 30 % от стоимости конвейера);

- фрикционный способ передачи тягового усилия, требующий первоначального натяжения;
- повышенное натяжение ленты при больших рабочих нагрузках и длительном сроке эксплуатации;
- сложность очистки от липких грузов;
- затруднена транспортировка пылевидных, горячих, тяжелых штучных грузов;
- невозможность использования для транспортировки горячих грузов;
- резкое падение производительности при увеличении угла подъема.

**Величина предельного угла наклона конвейера** зависит от свойств перемещаемого материала - главным образом от формы кусков, их крупности и влажности и допускается:

- для рядового угля, руды и породы - до  $18^\circ$ ;
- для мелкокускового груза - до  $19$  ч  $20^\circ$ , а в отдельных случаях (так, для продуктов мокрого обогащения) - до  $21$  ч  $22^\circ$ ;
- для крупного сортированного груза угол наклона до  $16-17^\circ$ ;
- для брикетов и штучных грузов соответственно до  $10$  ч  $12^\circ$ .

При углах наклона больших, чем указанные, груз скатывается или скользит по ленте вниз.

При наклонной установке конвейера с подачей груза вниз предельный угол наклона снижается на  $3$  ч  $5^\circ$ .

#### Классификация ленточных конвейеров

##### *- по области применения:*

- \* Конвейеры общего назначения (для насыпных и штучных грузов)
- \* Специальные (для погрузочных машин, передвижные, переносные)
- \* Подземные

##### *- по форме трассы:*

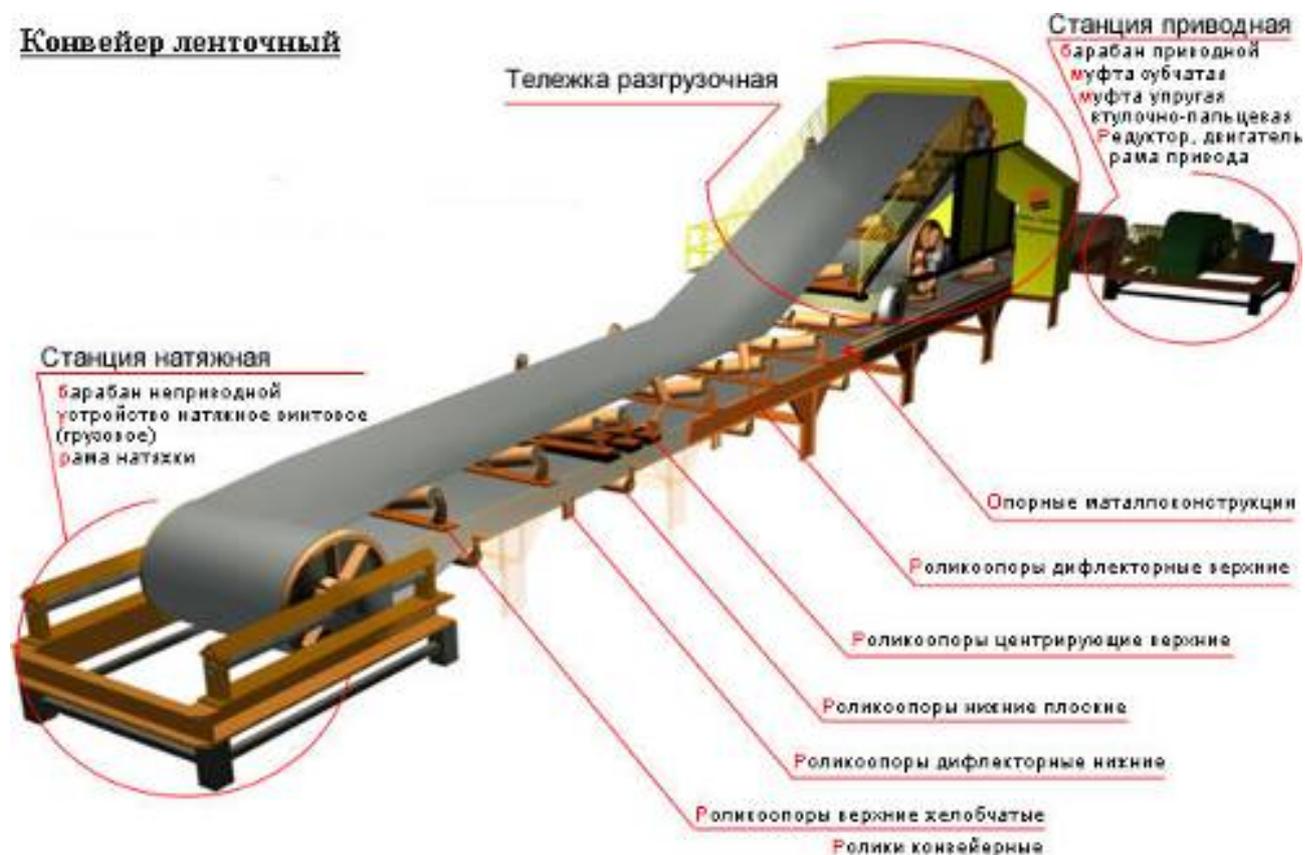
- \* Простые (с одним прямолинейным участком, горизонтальным или наклонным с движением вверх или вниз)
- \* Сложные (с ломанной трассой)

- \* Криволинейные (пространственные)
- *по углу наклона трассы*
  - \* Горизонтальные
  - \* Пологонаклонные
  - \* Крутонаклонные (более  $22^{\circ}$ )
  - \* Вертикальные
- *по направлению движения груза:*
  - \* Подъемные
  - \* Спускные
- *по форме ленты и размещению на ней груза*
  - \* с плоской лентой
  - \* с желобчатой лентой
  - \* с верхней рабочей стороной
  - \* с нижней рабочей стороной
  - \* с обеими рабочими сторонами.
- *по типу тягового элемента*
  - \* с резинотканевой лентой
  - \* с резинотросовой лентой
  - \* со стальной цельнокатаной лентой
  - \* с проволочной лентой.

Карьерные ленточные конвейеры (по конструкции) разделяют на забойные, отвальные, передаточные и стационарные магистральные. Кроме того, они являются составной частью некоторых карьерных агрегатов в составе роторных и цепных экскаваторов, отвалообразователей, транспортно - отвальных мостов, перегружателей. Секции забойных и отвальных ленточных конвейеров монтируют на рельсошпальной решётке (допускают изгиб става при поперечной передвижке по мере подвигания забоя).

На рудных карьерах при погрузке крепких пород одноковшовым экскаватором и вторичном дроблении (передвижной дробилкой) в забое ленточные конвейеры стационарного и передвижного типов используются для

внутрикарьерного транспортирования и подъема (поточная технология), а при дроблении в стационарной дробилке ленточные конвейеры стационарного типа для подъема (циклично-поточная технология).



**Рис.1.1 Схема ленточного конвейера**

Конвейер представляет собой бесконечную непрерывно движущуюся ленту, транспортирующую различные навалочные грузы. Лента приводится в движение силой трения между ней и приводным барабаном; опирается по всей длине на стационарные роликоопоры (рис. 1.1).

Ленточные конвейеры имеют высокую производительность, что особенно ценно для больших объемов производства.

## 1.2 Общие сведения о лентах используемые конвейерами.

Транспортерная лента – специализированное полотно для переноса груза, то есть несущий орган ленточного конвейера. Это основной, наиболее дорогой и наименее долговечный элемент конвейера, который является одновременно грузонесущим и тяговым органом. Кроме того, лента должна быть устойчива к абразивному износу, обладать хорошими изгибными свойствами, иметь наименьший возможный вес и минимальное удлинение, а также длительный срок службы при минимальных эксплуатационных затратах

Но на самом деле, конвейерные установки классифицируются не только исходя из области применения, а также по принципу характеристик полотна и условий эксплуатации.

1. резиновые транспортерные ленты;
2. резинотканевые рифленые, а так же с гофробортами и поперечными ребрами;
3. шевронные;
4. конвейерные ленты с металлическим тяговым каркасом;
5. с полимерным полотном.

Мировые производители резинотросовых конвейерных лент, такие, как: «ContiTech», «Phoenix», «Fenner Dunlop (Германия)»; «GoodYear» (Америка), «Metso Minerals» (Швеция); «SemperTrans» (Голландия, Польша), и многие другие, разрабатывают ленты различного конструктивного исполнения, которые способны транспортировать горную массу при различных условиях эксплуатации и климатических зонах, при этом ленты сочетают в себе все необходимые критерии, о которых говорилось выше.

В табл. 1.1. приведены прочностные характеристики современных резинотросовых лент.

Мы перечислили далеко не весь список типов конвейерного полотна, а лишь самые популярные в применении. Существует еще большое количество специализированного транспортерного полотна, которое используется в

жестких температурных условиях. Так же мы не брали во внимание классификацию по типу и размерам груза.

Таблица 1.1.

Прочностные характеристики современных резинотросовых лент

№	Фирма-изготовитель	Разрывная прочность, Н/мм
1	Phoenix	400÷8500
2	ContiTech	500÷10000
3	Fenner Dunlop	500÷5000
4	SemperTrans	630÷7000
5	GoodYear	800÷10000
6	Metso Minerals	500÷6700
7	Matador	1000÷5000

Некоторые виды, в частности последние нашли свое широкое применение в сфере промышленности, поскольку именно они соответствуют строгим стандартам данной области.

***Виды конвейерных лент***

Транспортерные ленты общего назначения производятся разного типа – для легких условий эксплуатации, средних, тяжелых и очень тяжелых. Что касается области применения, то ленты типа очень тяжелые и тяжелые применяют обычно для того, чтобы транспортировать руды черных и цветных металлов, крепкие горные породы, в которых встречаются куски размеров до 500 мм, а также бревна, диаметр которых составляет не более 500 мм, и другие материалы. Ленты, предназначенные для средних условий эксплуатации обычно применяются для того, чтобы транспортировать уголь рядовой, глину и цемент мягких пород, и другие малоабразивные материалы, крупность кусков которых составляет не более 150 мм. возможная температура окружающего воздуха в области применения лент общего назначения может колебаться в диапазоне – 45 градусов до + 60. ленты для легких условий эксплуатации

обычно используют для того, чтобы транспортировать малоабразивные материалы, к примеру, продукты сельского хозяйства, неабразивные, мелкие, пакетированные и сыпучие материалы.

Показатели физико-механических свойств конвейерных лент – прочность связей между каркасом и рабочей обкладкой составляет не менее 6 Н/мм, и 4 Н/мм для тех лент, которые изготовлены для легких условий эксплуатации. Прочность связей между прокладками, в свою очередь, должна составлять не менее 8 Н/мм, и 6 Н/мм для лент на легких условиях использования. По основе ленты относительное удлинение, учитывая, что нагрузка будет составлять 10% номинальной прочности образца.

### ***Конвейерные теплостойкие ленты***

Эти ленты предназначены для транспортирования грузов, которые имеют длительную высокую температуру. Разделяются на три вида – ленты для грузов температурой до 100 градусов, до 150 градусов и до 200 градусов. Для последних лент возможна кратковременная максимальная температура 300-350 градусов.

Физико-механические показатели лент обычные, удлинение такое же, как и в конвейерных лентах общего назначения, прочность связи немного больше, не менее 6 Н/мм между каркасом и прокладкой.

### ***Морозостойкие транспортерные ленты***

Область применения аналогична области, в которой применяются ленты общего назначения. Единственное отличие – температура, при которой может осуществляться эксплуатация таких лент – от – 60 градусов до +60.

Конвейерные ленты трудновоспламеняющиеся и морозостойкие. Эти ленты предназначаются для тяжелых, очень тяжелых и средних условий эксплуатации. Эти ленты предназначаются для транспортировки угля, крупность которого до 700 мм, и кусков породы крупностью до 500 мм. такие ленты предназначаются и применяются в угольных шахтах и рудниках, которые не опасны по пыли и газу, также применяются на горных открытых работах, в обогатительных фабриках рудной, нерудной, угольной.

Температура, при которой могут применяться эти ленты, составляет от – 25 градусов до +60, это касается трудновоспламеняющихся. А морозостойкие могут работать при температурах от -45 до +60. время горения опытных образцов не более 15 секунд, связи между прокладкой и каркасов прочные, удлинение стандартное.

Существует много видов конвейерных лент, но по назначению принято выделять два основных вида конвейерных лент:

- Ленты общего назначения - для транспортировки сыпучих грузов
- Ленты специальные - предназначенные для особых условий эксплуатации (высокие температуры, агрессивные среды, пожароопасные грузы, крутой угол наклона и т.д. )

В зависимости от методики производства конвейерная лента бывает двух видов.

1. Резинотканевая конвейерная лента - самый распространенный и часто применяемый вид конвейерных лент. Ленты состоят из резинотканевого тягового каркаса, рабочей и нерабочей наружной резиновой обкладки. В качестве основы резинотканевая лента имеет специальную ткань — синтетическую или натуральную, упрочненную специальными пропитками.

2. Резинотросовая конвейерная лента - основой которой являются скрытые в резине стальные тросы. Такие ленты обладают высокой прочностью и позволяют транспортировать материалы на значительные расстояния.

Основные преимущества резинотросовых лент с усиленным каркасом и защитными обкладками заключаются в следующем:

- высокая сопротивляемость ленты механическим повреждениям;
- возможность применения в тяжелых условиях эксплуатации;
- способность воспринимать энергию ударов в месте погрузки материала при сохранении целостности каркаса;
- повышенная устойчивость к многократным ударам остроугольных кусков материала;

- ограничение размеров продольных порывов и пробоев ленты;
- обеспечение оптимальной эксплуатационной надежности конвейера;
- возможность использования тех же диаметров барабанов, что и для стандартных лент без элементов усиления.

Помимо этого встречаются ещё конвейера с разными видами лент: брезентовыми, сетчатыми или специальными пищевыми и пластиковыми - но значительно реже.

В зависимости от угла наклона конвейера, скорости и способа его загрузки конвейерная резинотканевая лента может обладать различными свойствами.

-Для транспортировки штучных грузов используется плоская гладкая конвейерная лента.

-Ленты, на которых имеются треугольные, пирамидальные, ромбовидные и т.п. рифления, предназначены для перемещения сыпучих грузов.

-Ленты, имеющие на рабочей поверхности поперечные перегородки высотой до 200 мм, позволяют транспортировать грузы под наклоном 35 — 40 градусов.

От условий эксплуатации зависит и количество специальных прокладок. Более прочная и долговечная лента конвейерная резинотканевая может иметь до шести слоев и толщину до 17 мм.

В 95% случаев на производствах используется конвейерная резинотканевая лента. Такая популярность объясняется небольшим весом, гибкостью, эластичностью и прочностью. Ленты, имеющие под рабочей резиновой обкладкой дополнительную брекерную прокладку, предназначены для тяжёлых условий эксплуатации, - к примеру, для транспортировки руд чёрных и цветных металлов, известняка и т.д.

Ленты среднего уровня эксплуатации предназначены для перемещения глины, цемента и других мягких пород. Для транспортировки продуктов сельского хозяйства, не абразивных мелких, сыпучих и пакетированных

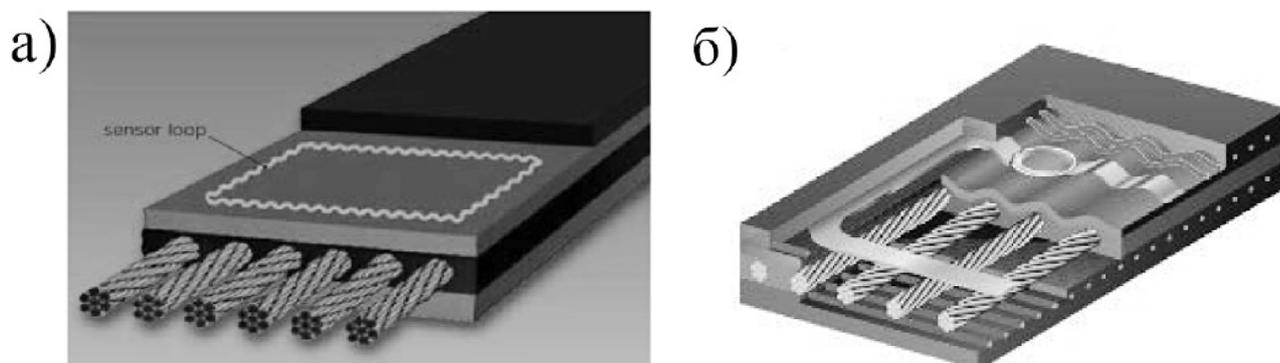
материалов применяется лента конвейерная резиноканевая, рассчитанная на легкие условия эксплуатации.

В зависимости от того, к какому типу относится применяемая конвейерная лента, она имеет соответственную маркировку (таблицу 1.2).

Таблица 1.2

Обозначение и классификация по DIN 22102	
F	Не горючая
R	Морозостойкая
I	Не горючая
G	Масло – жиростойкая
E	Антистатик
A	Для пищевой пр – ти
S	Не горючая, антистатик
C	Для химически агрессивных веществ
K	Не горючая, антистатик
V	Самозатухающая
T	Жаростойкая
X	Специальное исполнение

Особый класс представляют энергосберегающие резиноканевые ленты, которые практически не испытывают деформаций при прохождении через роликкоопоры. Ярким представителем такой ленты является лента фирмы «Phoenix» с запатентованным названием PHOENOCORD® EOB.



**Рис. 1.2. Конвейерные ленты с чипами:**

а) фирмы Phoenix; б) ContiTech

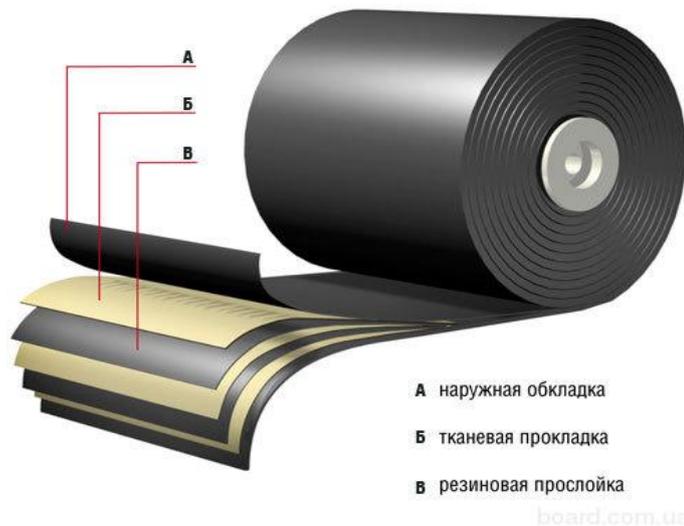
В настоящее время, многие зарубежные фирмы выпускают специальные типы резиновых ленты с завулканизированными чипами, с помощью которых осуществляется непрерывный контроль за натяжением в характерных точках ленты, а также за ее состоянием (рис. 1.2).

В компании Sandvik существует высококвалифицированный проектный отдел, сотрудники которого специализируются на проектировании, изготовлении, монтаже и пуске в эксплуатацию конвейерных систем для использования в торном деле, на электростанциях, в портах, для транспортировки и хранения зерна и практически во всех областях применения конвейеров. Помимо проектирования совершенно новых систем, мы берёмся за выполнение проектов по реконструкции с целью расширения, оптимизации или модернизации существующих конвейерных систем.



**Рис.1.3 Магистральный конвейер с применением ленты РС100**

Магистральные наземные конвейерные системы с зонами горизонтального и вертикального изгиба, включая рекуперативные конвейеры, являются экологически безопасной с точки зрения выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу альтернативой грузовому автотранспорту (рис.1.3). Производительность таких систем варьируется от 800 до 25 000 т/ч.



**Рис.1.4. конвейерная лента РС200**

Используется внутривозводские конвейерные системы производительностью от 100 до 7000 т/ч и выше, включая ленточные питатели, крутонаклонные, вертикальные и полностью закрытые конвейеры.



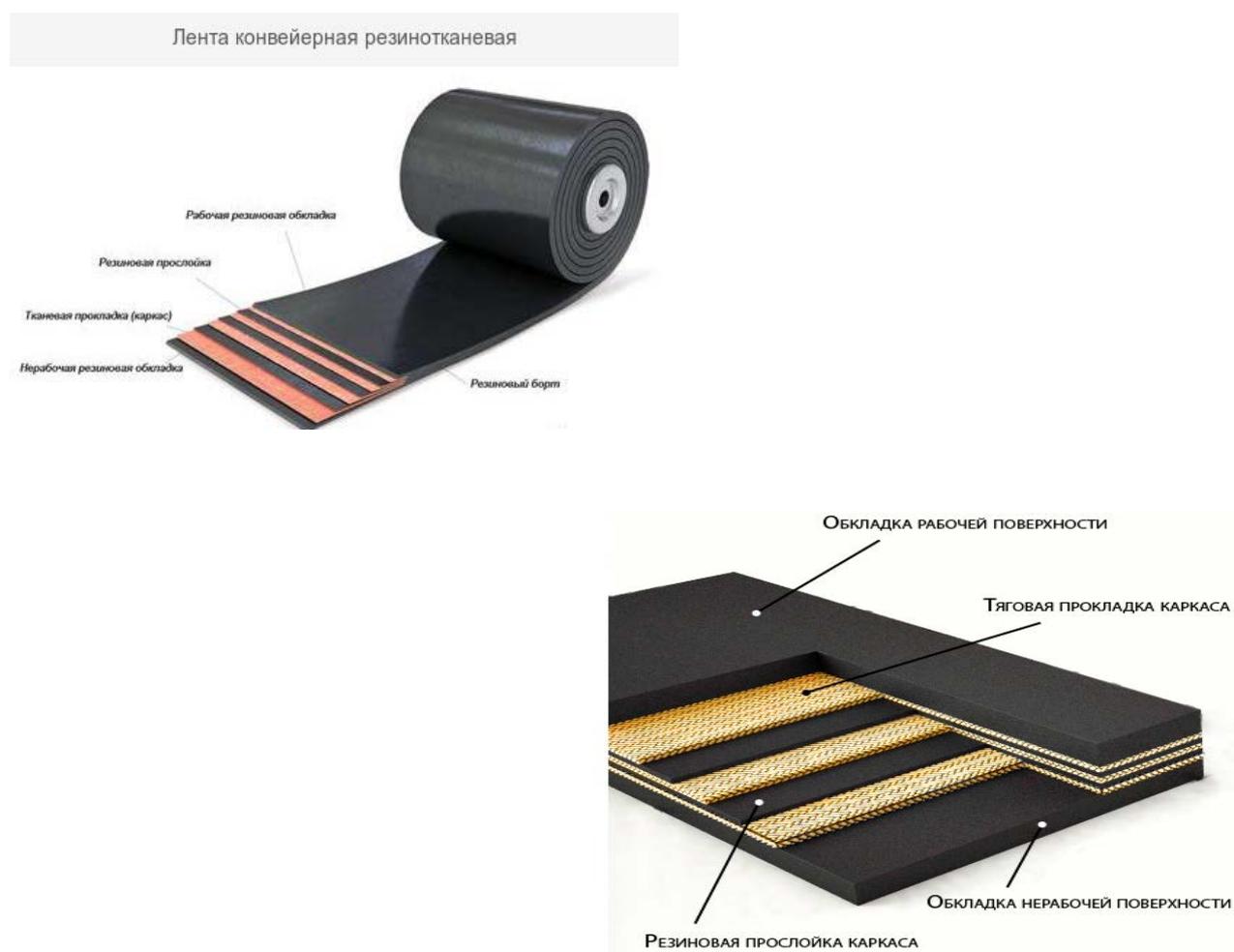
**Рис.1.5. Конвейерный транспорт с типом ленты РС300-РС400**

Системы для открытых горных выработок включают стационарные (РС400), передвижные, полустационарные и самоходные конвейеры на гусеничном ходу (РС300), изготавливаемые на заказ с учетом требований

заказчиков и проекта отработки месторождения (рис.1.5). Модульная конструкция облегчает перемещение или расширение конвейера.

Компания Sandvik разработала большое количество систем для работы в особых или экстремальных условиях подземной эксплуатации конвейеров.

Наклонные фартучные питатели производительностью от 500 до 10 000 т/ч применяются для выемки материала из приёмного бункера и загрузки его в дробилку.



**Рис. 1.6 Резинотканевая конвейерная лента**

Стандартные ленточные конвейеры серии НС собираются из типовых сборных модулей. Они имеют ленты шириной от 500 до 1600 мм и длиной от 5 до 150 м. Их производительность изменяется от 100 до 1900 т/ч.

Стандартные цепные конвейеры серии НЛ объединяются в систему с использованием типовых сборных модулей и компонентов, включающих 2

конвейерные ленты шириной 1000 и 1200 мм, каждая из которых изготавливается в двух типоразмерах по 30 и 40 м длиной. Стандартная производительность при перегрузке гравия составляет 800 и 1230 тонн в час. Техническими условиями для проектирования серии НЛ служат общеевропейские технические условия «Eurocode 1» и «Eurocode 3».



**Рис. 1.7. Конвейерная лента с роликоопорами**

Как отмечалось выше, при проектировании мощных ленточных конвейеров, необходимо использовались резинотросовые ленты, которые, по сравнению, с резинотканевыми лентами имеют меньшее удлинение и повышенную прочность. К сожалению, такие ленты имеют большой вес за счет сердечника состоящего из стальных тросов, а также большую толщину, что приводит к применению барабанов увеличенного диаметра и возрастанию потребляемой мощности при транспортировании груза.

### **1.3 Конвейерные компоненты**

Компания Sandvik разрабатывает и производит комплектующие для конвейеров, удовлетворяющие потребностям горнодобывающей, перерабатывающей и строительной отраслей в любой части мира. Задачей компании является производство высококачественной продукции, соответствующей ожиданиям заказчиков и идеально решающей возложенные на неё задачи. Комплексные предложения от Sandvik помогают добиться высокой производительности при легких, средних и высоких нагрузках на

оборудование. Инновационные технологии проектирования и производства позволяют нам создавать продукцию, соответствующую современным технологическим требованиям добывающей отрасли, как при производстве оборудования, так и при ремонте уже эксплуатирующихся систем.

Конструкция конвейерных роликов компании Sandvik обеспечивает их плавное вращение, низкий уровень шума, длительный срок эксплуатации и высокую экономичность в эксплуатации. Широкий ассортимент моделей, типоразмеров, конструкций и материалов позволяет подбирать ролики, в точности соответствующие требованиям по скорости, весу и ширине ленты, характеру груза и любым климатическим условиям. Применение высококачественных подшипников и эффективных сальниковых уплотнителей позволяет использовать оборудование в жёстких условиях эксплуатации и экстремальных климатических условиях. Стальные ролики компании Sandvik выпускаются с различными вариантами защитных покрытий и разных типов, включая несущие, ударопрочные и возвратные ролики и опоры. При производстве все ролики снабжаются смазкой на весь срок их службы и герметизируются. Наша компания предлагает опорные ролики двух видов: стандартные ролики серии HR100 и штампованные ролики серии HM150, специально разработанные для горнопромышленных конвейеров и сходных условий эксплуатации (рис.1.8).



**Рис.1.8 Конструкция роликостойки серии HR100**

Транспортировочные ролики серии HR110 используются в ленточных и роликовых конвейерах для транспортировки тяжелых грузов. Стальные торцевые крышки глубокой вытяжки запрессовываются в корпус ролика. Также выпускаются ролики со звёздочками цепной передачи.

Надежная конструкция роликов для транспортировки насыпных материалов серии HR120, изготавливаемых из стали и алюминия, рассчитана для использования в неблагоприятных условиях окружающей среды. Ролики снабжены усиленными торцевыми крышками, надежными сальниковыми уплотнениями и высококачественными подшипниками. Ролики стандартных размеров производятся на автоматизированном оборудовании и доступны в наличие на складе. Алюминиевые ролики обеспечивают защиту от коррозии при работе в неблагоприятных условиях. Использование алюминия позволяет значительно снизить общий вес роликов. Ролики с литыми торцевыми крышками снабжаются торцевыми крышками из композитных материалов и алюминиевыми тубами для получения легковесных коррозионноустойчивых роликов. Ролики серии HR120 могут выпускаться с кольцами, компенсирующими ударные нагрузки, для погрузочных зон, с резиновыми дисками для обратной верви конвейера и резиновой футеровкой для решения специальных задач.

Прошедшие механическую обработку и балансировку ролики серии HR130 отличаются низкой шумностью и высокой плавностью в работе благодаря идеальной цилиндричности, отличной динамической балансировке и пониженному уровню биения вала.

Новая серия роликов NM100 является более эффективным продуктом, демонстрирующим превосходные характеристики благодаря сочетанию рациональной конструкции и совершенных технологий производства (таблица 1.3). Литые ролики, разработанные для работы при высоких нагрузках и скоростях движения ленты, обеспечивают длительные сроки эксплуатации, легкий вес оборудования, энергоэффективность, пониженный уровень шума и вибрации. Литые ролики также могут комплектоваться полыми литыми валами

вместо цельных стальных валов. Полые валы оказывают меньшее деформирующее воздействие и обладают меньшим весом.

Таблица 1.3

Стандартные ролики SANDVIK серии HR100												
Подшипник и	630	620	620	630	620	630	630	630	630	631	631	
	3	4	5	5	6	6	7	8	9	0	2	
Диаметр ролика		Диапазон предложений										
мм	дюйм											
51	2	■										
63	2,5	■	■									
76	3		■									
80	3,1	■	■									
89	3,5	■	■		■	■						
102	4		■	■	■							
108	4,3		■		■	■			■			
114	4,5		■	■			■					
127	5		■	■	■			■				
133	5,2		■		■	■			■		■	
140	5,5				■							
152	6				■		■	■	■	■		
159	6,3		■		■	■					■	

То, что опоры подшипника являются интегральной частью корпуса ролика, позволяет добиться идеальной соосности противостоящих подшипников. Литые держатели подшипников повышают надежность ролика и снижают частоту отказов оборудования.

В дополнение к преимуществам серии НМ 140, ролики серии НМ150 комплектуются холоднокатаными корпусами (таблица 1.4). Процесс холодной катки позволяет добиться исключительной цилиндричности и высокой

прочности корпуса, что является ключевым фактором в работе горнозаводских конвейеров и аналогичного оборудования. Большая толщина стенок в центральной части корпуса обеспечивает лучшую грузоподъемность при его минимальных деформациях. Холоднокатаные ролики не требуют механической обработки и балансировки благодаря крайне низкой степени действительных нарушений и неизменной толщине стенок, что обеспечивает высокие эксплуатационные показатели и более длительный срок службы.

Таблица 1.4

Литые ролики SANDVIK HM100 для горной промышленности					
подшипник		6306	6308	6310	6312
Диаметр ролика		Серия HM140			
мм	дюйм				
152	6				
165	6.5				
178	7				
203	8				
Диаметр ролика		Серия HM150			
мм	дюйм				
159	6.3				
178	7				
194	7.6				
219	8.6				

Компания Sandvik выпускает рамы серии HR300 для несущих и обратных ветвей конвейеров, для конвейеров с ударными нагрузками и переходные рамы. Размеры рам охватывают широкий диапазон, подходящий для лент шириной от 350 до 3500 мм. Они имеют различные конструкции, подходящие для различных расположений, различных углов лоткообразования и

функциональных потребностей. Рамы производятся либо с гальванизированными, либо с окрашенными поверхностями. Рамы роликовых опор компании Sandvik дают возможность добиться большой гибкости в конструкциях конвейеров и позволяют применять множество вариантов замены роликов.

Роликовые опоры и рамы производства компании Sandvik предназначены для поддержания оптимального профиля конвейерной ленты, который, в свою очередь, способствует снижению сопротивления качению, направляет и поддерживает ленту в правильном положении, что приводит к значительному увеличению срока её службы. Все рамы компании Sandvik производятся из высококачественной стали и позволяют минимизировать зазоры между роликами, что значительно снижает налипание материала. Рамы свариваются по шаблону с высокой точностью и отличаются высокой прочностью конструкции и оптимальным соотношением веса к несущей способности.

Комплекты роликовых опор (ролики серии HR 100 с рамой серии PIR300) компании Sandvik комплектуются высококачественными роликами с жесткими допусками, специально подбираемыми валами усиленной конструкции и надежными сальниковыми уплотнителями. Известные своими высоким эксплуатационным характеристикам и высокой надёжностью, роликовые опоры имеют герметизацию на весь срок эксплуатации и практически не нуждаются в техническом обслуживании. Поверхность рам и кронштейнов может быть либо оцинкована, либо окрашена.



**Рис.1.9 Конвейерные ролики**

Компания Sandvik предлагает широкий ассортимент конвейерных барабанов, которые отвечают вашим потребностям и соответствуют установленным промышленным стандартам. Для каждого барабана существует обширный выбор футеровок для различных вариантов его использования. В целях облегчения монтажа, блоки барабанов могут поставляться с предустановленными подшипниками. Компания Sandvik также предлагает специализированные барабаны в сборе, например барабаны с неподвижным валом, боковые и отклоняющие барабаны для доставки грузов конвейером под большим углом.

Компания Sandvik предлагает барабаны серии HP100 в широком ассортименте диаметров и типоразмеров. Стандартные барабаны серии HP110 для небольших нагрузок и серии HP120 для работы в нормальных условиях выпускаются диаметром до 1000 мм (40 дюймов) и длиной до 2200 мм (88 дюймов) для использования с конвейерными лентами шириной от 500 мм (20 дюймов) до 2000 мм (80 дюймов). Специализированные барабаны серии HP130 проектируются и изготавливаются для тяжёлых условий работы. Стандартные барабаны могут иметь гладкую или профилированную поверхность, которая облегчает регулирование положения ленты. Специализированные барабаны серии HP130 проектируются и изготавливаются индивидуально для решения специфических задач. Они выпускаются в различных вариантах исполнения: от

цельных профилированных турбинных дисков до литых торцевых дисков таврового профиля для работы в особо сложных условиях. Каждый барабан серии ПР130 анализируется специальной программой, разработанной компанией Sandvik на основе лучших принципов, применяемых в мировой практике проектирования конвейерных барабанов. Специализированные барабаны, произведенные компанией Sandvik, достигали 2600 мм в диаметре и 40 тонн по массе.



**Рис.1.10 Барабаны серии ПР100**

Выбор материала для футеровки барабанов зависит от типа барабана, а также сферы его применения. Основным назначением футеровки является повышение трения между лентой конвейера и поверхностью барабана. Эластичные футеровочные материалы также помогают предотвратить накопление перегружаемых материалов на поверхности барабана, защищают его кожу от износа и образуют экономичную в замене изнашивающуюся поверхность.

### ***ПРИВОДНЫЕ БАРАБАНЫ***

***ПР 142*** - резиновый ромбический калибр горячей вулканизации

***ПР 143*** - гладкая резина горячей вулканизации

***ПР 144*** - резиновый ромбический калибр, приклеенный без вулканизации

***ПР 145*** - фрикционное покрытие

***ПР 146*** - керамическая футеровка

***ПР 147*** - уретановое покрытие

## ***ХВОСТОВЫЕ БАРАБАНЫ***

***НР 141*** - гладкая сталь

***НР 142*** - резиновый ромбический калибр горячей вулканизации

***НР 143*** - гладкая резина горячей вулканизации

***НР 144*** - резиновый ромбический калибр, приклеенный без вулканизации

***НР 146*** - керамическая футеровка

***НР 147*** - уретановое покрытие

### **1.4 Анализ устойчивости поперечного движения**

Система лента — ролик склонна к автоколебаниям. Для конвейеров с подвесными роlikоопорами коэффициенты и т.д., начиная с некоторого угла установки конвейера, становятся отрицательными, что детально проанализировано Ю.А. Яхонтовым, им же даны рекомендации по обеспечению устойчивого движения ленты, такого типа конвейеров.[9]

Центрирующие роlikоопоры, способствующие при некоторых условиях возникновению автоколебаний, при этом считаем, что роlikоопоры линейных секций установлены идеально (отсутствуют первоначальные перекосы), т.е. анализируем устойчивость ленты на линейной секции конвейера в ее естественном, не искаженном различными дополнительными воздействиями виде. Анализ устойчивости подобного вида поперечного движения крайне важен, так как установление границ областей, где нарушается устойчивость, позволяет выбрать такие параметры конвейера, при которых лента движется устойчиво. Исправлять же неустойчивое движение ленты различного рода центрирующими устройствами крайне трудно, неэффективно, а иногда и практически невозможно.

Для исследования поперечного движения примем следующие условия:

- на барабанах лента не может поворачиваться относительно продольной оси:
- на барабанах также отсутствует поперечное смещение:

Краевые условия на барабанах лента не может поворачиваться относительно продольной оси: и на барабанах также отсутствует поперечное смещение: позволяют достаточно просто решать задачи, связанные с боковым сходом ленты на линейной части става на некотором удалении от концевых барабанов, т.е. на конвейерах значительной длины. Для составления более точных уравнений поперечных смещений ленты на границах ветвей конвейера следует учитывать центрирующие воздействия барабана на ленту, силы взаимодействия поверхности барабана с движущейся лентой, инерционные силы и т.д.

Выражение

$$\delta_1(t) = \sqrt{\frac{a_{ст}^2}{1 + \left(\frac{a_{ст}^2}{a_0^2} - 1\right) \exp(-2Mt)}} \cos \left\{ \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{9b_3 a_{ст}^2}{64\omega_0 M} \ln \left| \frac{a_0^2}{a_{ст}^2} + \left(1 - \frac{a_0^2}{a_{ст}^2}\right) \exp(-2Mt) \right| \right\} \sin \frac{\pi}{L} x$$

для амплитуды поперечных колебаний первого приближения позволяет проанализировать характер ее изменения во времени. [51]

Рассмотрим случай, когда  $M > 0$ , т.е.

$$\frac{c_1}{2v} > \frac{\eta_{л} E J \pi^4}{2L^4} + \frac{g w'}{2v}$$

В этом случае независимо от значения начального возмущения  $a_0$  амплитуда монотонно приближается к стационарному значению  $a_{ст}$ , а частота — к значению  $\omega_{ст}$ , т.е. имеем устойчивые автоколебания (рис. 13, а). Действительно, если  $a_0 < a_{ст}$ , то  $(a_{ст}^2/a_0^2 - 1) > 0$  и  $\lim a = a_{ст}$  если  $a_0 > a_{ст}$ , то  $-1 < (a_{ст}^2/a_0^2 - 1) < 0$ , но выражение  $(a_{ст}^2/a_0^2 - 1)\exp(-2Mt)$  всегда остается больше -1, знаменатель подкоренного выражения всегда положителен и в пределе стремится к единице. Таким образом,  $\lim a = a_{ст}$  при  $t \rightarrow \infty$

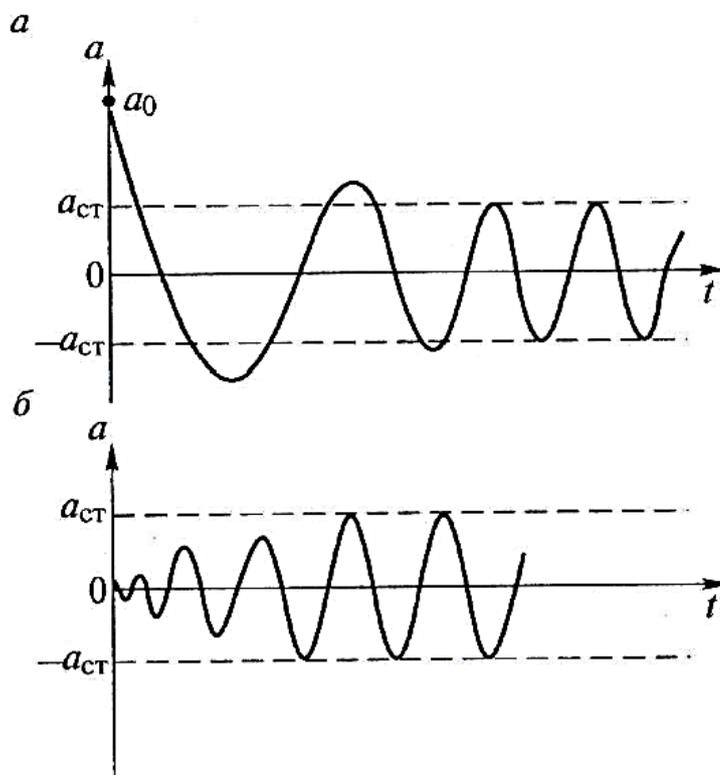
Нетрудно также показать, что для случая  $M > 0$  движение с амплитудой  $a_{ст} = 0$  неустойчиво. Как бы мало ни было начальное значение амплитуды, оно будет монотонно возрастать во времени до значения  $a_{ст}$ . Таким образом,

поскольку случайные малые возбуждения неизбежны, в рассматриваемой колебательной системе, находящейся в состоянии покоя, возбуждаются колебания с нарастающей до  $a_{ст}$  амплитудой (рис. 13, б). [9]

Выражение для частоты имеет вид

$$\omega = \omega_0 + \frac{1}{\omega_0} \left[ \frac{\pi^2 k_0}{4L\rho F} + \frac{9b_3}{32} a_{ст}^2 \frac{1}{1 + \left(\frac{a_{ст}^2}{a_0^2}\right) \exp(-2Mt)} \right]$$

Из этого выражения видно, что  $\lim \omega = \omega_{ст}$  при  $t \rightarrow \infty$



**Рис. 1.11** Виды автоколебательного движения ленты

Рассмотрим случай, когда  $M < 0$ , т.е.

$$\frac{c_1}{2v} < \frac{\eta_l E J \pi^4}{2L^4} + \frac{g w'}{2v}$$

Если начальное возмущение  $a_0 < a_{ст}$ , то амплитуда колебаний

$$a = \sqrt{\frac{a_{ст}^2}{1 + \left(\frac{a_{ст}^2}{a_0^2} - 1\right) \exp|-2Mt|}}$$

и знаменатель в пределе стремится к бесконечности, следовательно,  $\lim a = 0$  при  $t \rightarrow \infty$ , т.е. колебания носят затухающий характер (рис. 1.11, а), а частота стремится к величине

$$\omega = \omega_0 + \frac{\pi^2 k}{4L\rho F\omega_0}$$

Если начальное возмущение  $a_0 > a_{cm}$ , то  $a^2 < 0$  и колебания в системе поддерживаться не могут: лента совершает аperiодическое движение к стационарному положению, характеризуемому амплитудой  $a_{cm}$ , и когда текущее значение амплитуды достигает значения  $a_{cm}$ , начинаются затухающие колебания до  $a = 0$  с частотой, стремящейся к  $\omega$  (рис. 1.11, б). Константа  $c_1$  представляет собой коэффициент при первом члене разложения в ряд приведенного коэффициента трения  $f_{np}$ . [51]. Выше показано, что ее величина существенно зависит от угла обхвата лентой ролика и возрастает с увеличением этого угла. Угол обхвата возрастает с уменьшением натяжения ленты, диаметра ролика, жесткости при изгибе ленты (с уменьшением числа прокладок), т.е. возрастает от совокупности всех тех факторов, которые соответствуют конвейерам небольшой длины и производительности, например участковым шахтными конвейерам, забойным карьерным, а также нижним ветвям конвейеров.

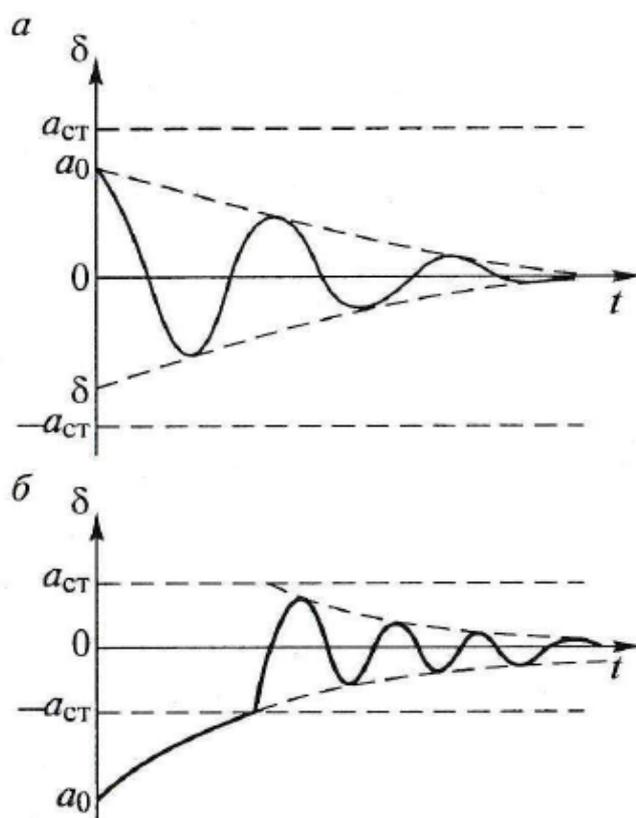


Рис. 1.12. Виды затухающего движения ленты

Для таких конвейеров выполняется легче, поэтому конвейеры с подобными параметрами имеют большую склонность к автоколебаниям. Небольшие скорости также расширяют область возможного возникновения автоколебаний.

#### **Выводы:**

- Так, как ленты, выпускаемые из тканей EP, имеют низкое удлинение при рабочей нагрузке до 1,25 - 1,5 %, а ленты на арамидной основе всего 0,5% (вместо 3,5 % для тканей ТК), что исключает остановки ленточных конвейеров для перестыковки ленты, а также уменьшает длину хода натяжных устройств.

- современные резинотросовые конвейерные ленты могут иметь разрывную плотность до 10000 Н/мм ширины ленты, что позволяет существенно увеличить производительность и длину ленточных конвейеров;

- различные конструктивные исполнения каркаса резинотросовой ленты, позволяет значительно увеличить срок службы ленты;

- некоторые зарубежные фирмы разработали специальные типы трудновоспламеняемых обкладок для конвейерных лент, способных транспортировать материал при температуре + 400 °С, что значительно расширяет область применения ленточных конвейеров;

- Краевые условия на барабанах лента не может поворачиваться относительно продольной оси: и на барабанах также отсутствует поперечное смещение: позволяют достаточно просто решать задачи, связанные с боковым сходом ленты на линейной части става на некотором удалении от концевых барабанов, т.е. на конвейерах значительной длины. Для составления более точных уравнений поперечных смещений ленты на границах ветвей конвейера следует учитывать центрирующие воздействия барабана на ленту, силы взаимодействия поверхности барабана с движущейся лентой, инерционные силы и т.д.

## ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПОПЕРЕЧНОМУ СМЕЩЕНИЮ ЛЕНТ

### 2.1 Центрирующие устройства.

Очень часто при эксплуатации конвейеров приходится встречаться с такими проблемами, как регулирование поперечного схода ленты по различным причинам. Особенно это актуально для желобчатых и трубчатых конвейеров. Как следствие – наличие просипи материала и преждевременный выход из строя ленты из-за постоянного соприкосновения с металлоконструкциями става.

Для предотвращения сбегания ленты с роликов на сторону по различным случайным причинам односторонняя загрузка ленты, плохая очистка, налипание груза на барабанах и роликах и для автоматического выравнивания ее хода применяются центрирующие роlikоопоры.

Центрирующая желобчатая роlikоопора (рис. 2.1, *а*) состоит из обычной трехроликовой опоры 1, установленной на поворотной раме 2, которая в определенных пределах может поворачиваться на вертикальной оси 3; к боковым роликам на кронштейнах прикреплены ролики 4. При смещении в сторону (рис. 2.1, *б*) лента своей кромкой нажимает на ролик 4, отчего поворотная рамка с роlikоопорой поворачивается на некоторый угол по отношению к продольной оси конвейера.

Повернутое (перекошенное) положение роlikоопоры создает на поверхности ленты восстанавливающее усилие, стремящееся вернуть ленту в исходное положение, т. е. сдвинуть в направлении, противоположном ее смещению. После того как лента возвратится в центральное положение, роlikоопора движением самой ленты автоматически устанавливается в прежнее положение. [59]

Центрирующая прямая роlikоопора для рабочей и обратной ветвей ленты имеет такую же конструкцию с той лишь разницей, что на поворотную рамку устанавливается не желобчатая, а прямая роlikоопора. Центрирующие

роlikоопоры целесообразно устанавливать на длинных (более 40 м) конвейерах. Порядок их расстановки на конвейере показан на рис. 2.2

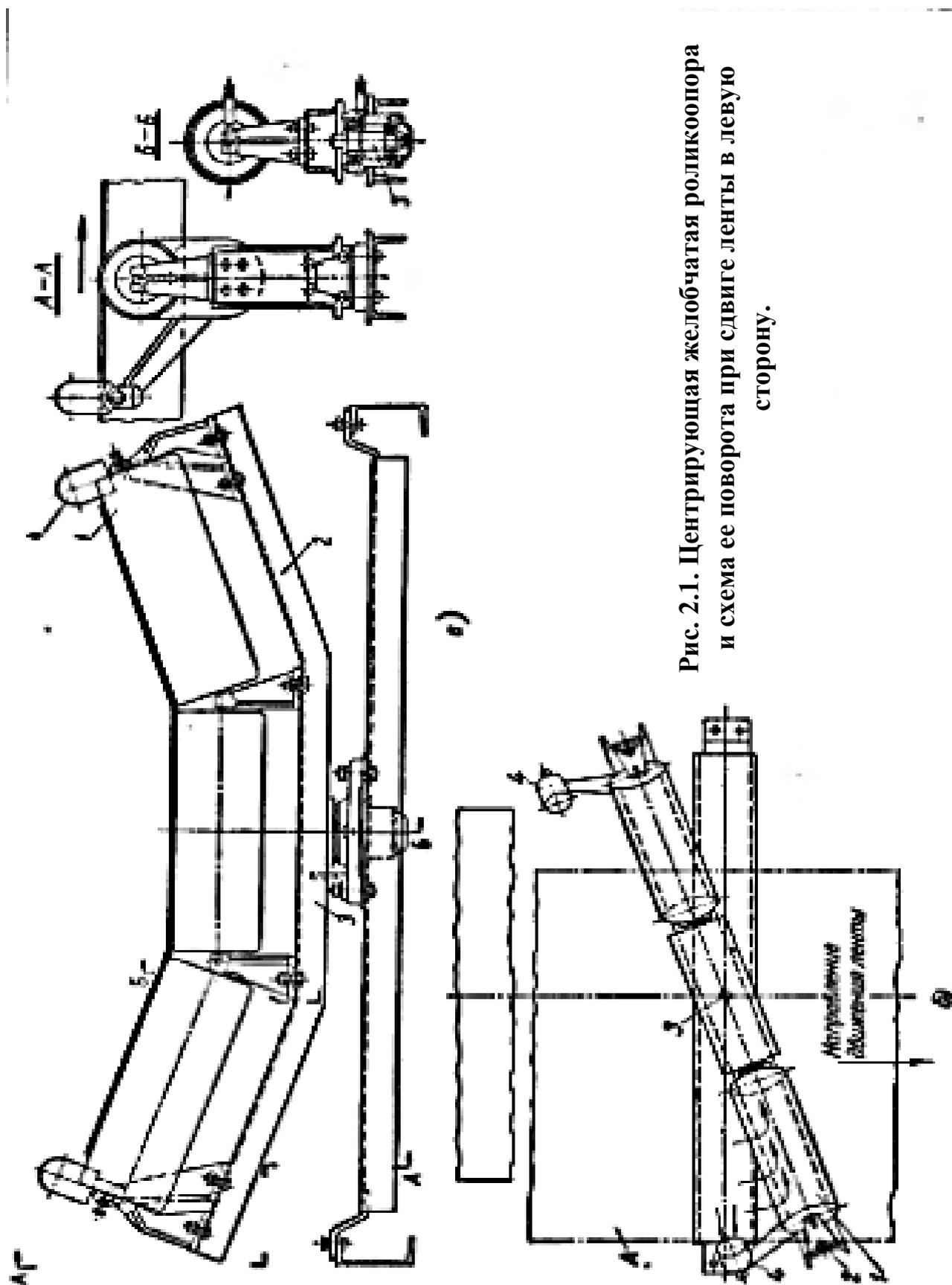
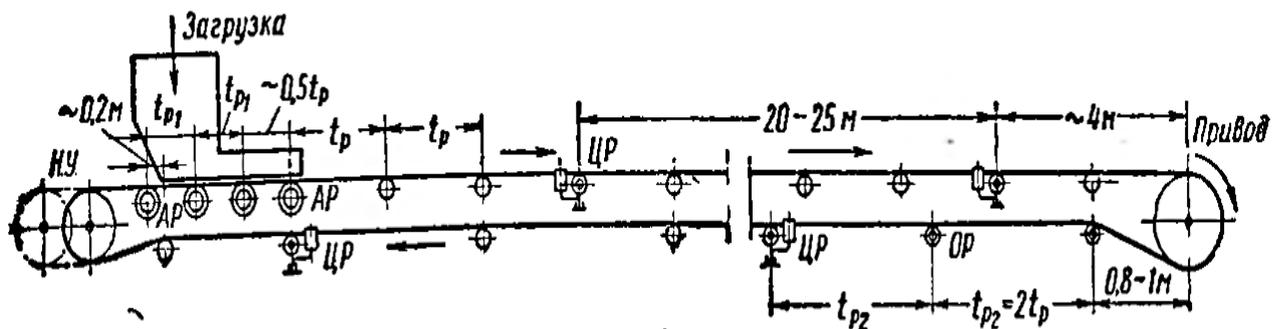


Рис. 2.1. Центрирующая желобчатая роlikоопора и схема ее поворота при сдвиге ленты в левую сторону.



**Рис. 2.2. Схема расстановки роlikоопор на конвейере:**

ЦР – центрирующие; ОР – очистные; АР – амортизирующие роlikоопоры

Для длинных конвейеров иногда применяют шарнирное сочленение нескольких (две-три) центрирующих роlikоопор, поставленных на расстоянии 0,5 -1,0 м одна от другой. Тогда при сбеge ленты на сторону поворачиваются сразу две-три роlikоопоры, что увеличивает их центрирующее воздействие на ленту.

#### Самоцентрирующие роliки HR410

Для продления срока службы конвейерных лент и обеспечения более эффективной транспортировки материалов компания Sandvik предлагает серию самоцентрирующих устройств, позволяющих обеспечить правильное положение ленты при работе. Легко монтируемые самоцентрирующие устройства Sandvik варьируются от традиционных направляющих валов с боковой направляющей до малоинерционных активных самоцентрирующих роliков HR410.

#### **Рациональное решение для односторонних и реверсивных ленточных конвейеров**

HR410 - это самоцентрирующий ролик для реверсивных ленточных конвейеров, который позволяет выравнивать ленту не нарушая её структуру и не вызывая её дополнительного износа. Эти чувствительные и быстро реагирующие на изменение условий роliки могут наклоняться и поворачиваться для корректирования траектории движения ленты при появлении первых признаков отклонения. При этом лента не будет

перемещаться из стороны в сторону, как это происходит при использовании традиционных самоцентрирующих устройств.



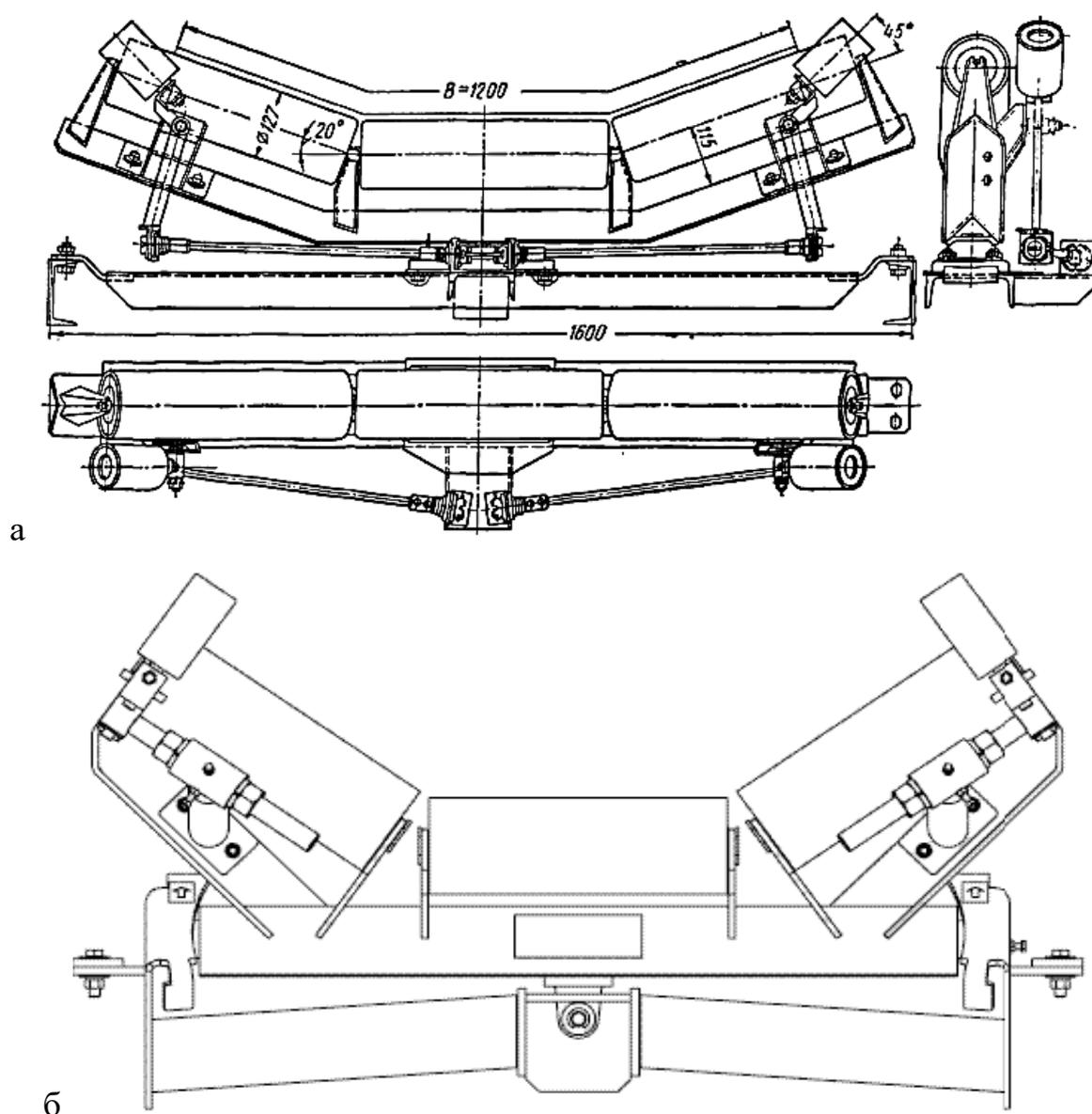
**Рис. 2.3 Самоцентрирующие ролики HR410**

Сложной проблемой является разработка эффективных устройств для центрирования ленты. Ранее применявшиеся конструкции центрирующих роликоопор признаны неработоспособными, а некоторые из применяемых в настоящее время, будучи достаточно эффективными, сильно изнашивают кромки ленты и по этой причине не могут применяться в массовом порядке.

Длина ролика L		Ширина ленты конвейера B		Общий вес					
				Диаметр 159		Диаметр 219/L		Диаметр 219/H	
мм	дюйм	мм	дюйм	кг	фунт	кг	фунт	кг	фунт
600	24	450/500	18/20	48	106				
750	30	600/650	24/26	53	117				
950	37	750/800	30/32	59	130				
1150	45	900/1000	36/39	66	146				
1400	55	1050/1200	42/47	75	165	132	291		
1600	63	1350/1400	54/55	81	179	143	315	183	403
1800	71	1500/1600	60/63			155	342	205	452
2000	79	1800	72			166	366	226	498
2200	87	2000	79			178	392	248	547

2400	95	2200	87					270	595
2600	102	2400	96					292	644

На рис. 2.4 представлена желобчатая центрирующая роlikоопора с дефлекторными роliками, соприкасающимися с нижней поверхностью ленты при сходе последней в сторону; поворот подвижной части роlikоопоры в нужном для центрирования ленты направлении осуществляется системой рычагов.



**Рис. 2.4 Желобчатая центрирующая роlikоопора с направляющими роliками (а,б - виды направляющих)**

Направляющие роliки являются значительно важным элементов конвейеров ленточных, которые регулируют направление хода транспортной

ленты, конструкция препятствует смещению рабочего полотна, обеспечивая движение по заданной траектории. Благодаря этому данные элементы конвейера часто называют направляющими роликами или центрирующими.

Внешне ролик как обычно представляет собой конструкцию цилиндрической формы, материалом для изготовления которой служит труба, на выходном валу ролика изготовлена резьба. Роль этих комплектующих очень велика, в случае того, если направляющий ролик выйдет из строя, могут возникнуть серьезные неполадки в работе конвейера в целом.

Нередко такая ситуация приводит к повреждению кромки и разрыву конвейерной ленты, что делает дальнейшую его работу невозможной и требует серьезного ремонта. Именно поэтому контроль за техническим состоянием и своевременная замена роликов являются важным этапом.

Направляющие ролики могут быть разного размера и диаметра, технические характеристики роликов зависят от рабочих параметров конвейерного оборудования. Направляющие ролики в основном предназначены для тяжелого режима работы конвейера для конвейеров со скоростью движения ленты 3 м/с и более.

Выше рассмотрены возможные способы повышения самоцентрирующей способности линейной части става конвейера. Однако в сложных условиях эксплуатации возмущающие боковые усилия превышают центрирующие силы става и происходит или просыпание груза с ленты, или контактирование ее борта со стойкой опорной металлоконструкции. Для ограничения бокового схода применяют центрирование ленты специальными роликоопорами или устанавливают направляющие ролики, ограничивающие сход ленты. Отметим, что несмотря на большое число предлагаемых конструктивных решений, эффективных конструкций центрирующих роликоопор для верхней ветви нет.

Для оценки эффективности применения центрирующих роликоопор и определения шага их установки необходимо знать боковые смещения ленты. Основное затруднение, с которым приходится сталкиваться при решении этой задачи, заключается в том, что эти смещения в большей степени определяются

внешними децентрирующими случайными силами и в меньшей степени центрирующими свойствами става. [51]

Рассматриваемый участок конвейера расположен на достаточном удалении от концевых барабанов и их влиянием при составлении граничных условий можно пренебречь. Усилия от отдельных центрирующих опор  $F_u$  считаем сосредоточенными и линейно зависящими от схода. Здесь необходимо отметить, что такой зависимостью обладают центрирующие роlikоопоры только определенной конструкции (рис. 2.5):

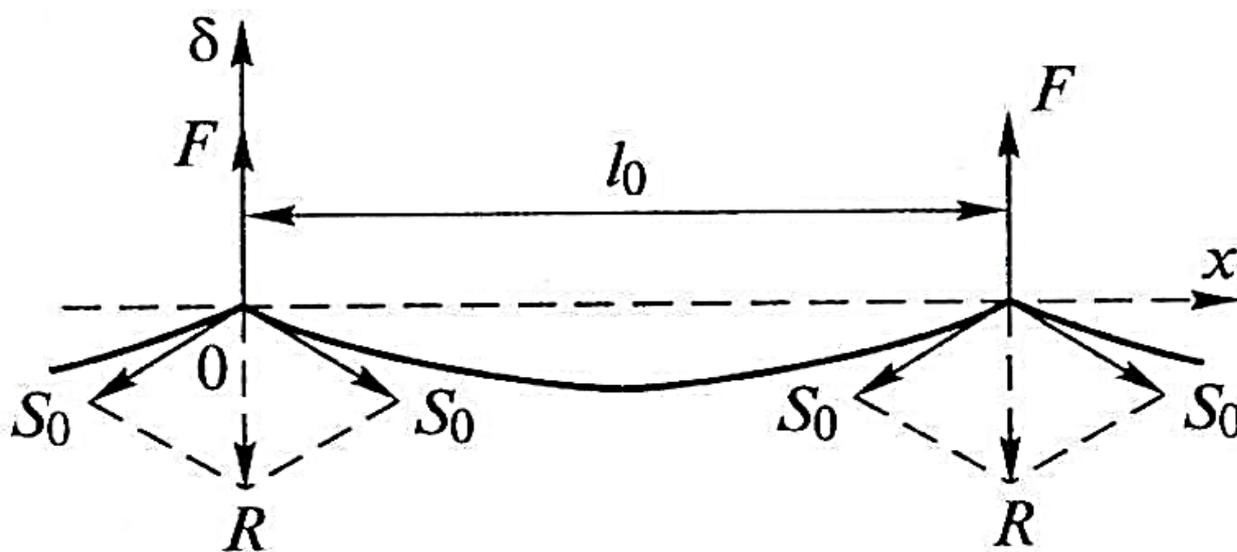
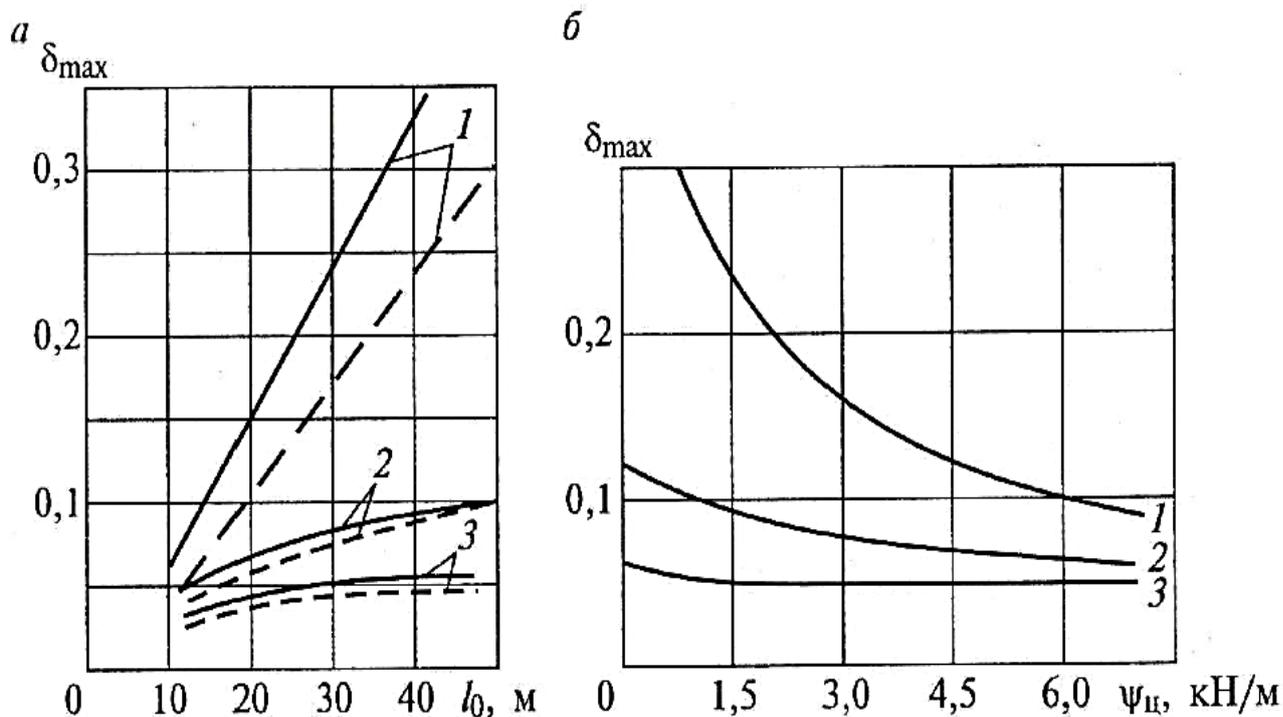


Рис. 2.5 Схема равновесия сил на центрирующей опоре

Решая бокового схода ленты на порожняковой ветви под действием силы с граничными условиями, можно определить расстояние между центрирующими опорами в зависимости от допустимой величины бокового схода, параметров конвейера и жесткости центрирующих опор.



**Рис. 2.6** Зависимость наибольших боковых смещений ленты от шага установки (а) и интенсивности усилий (б) центрирующих опор:

1, 2, 3 — одно-, двух-, трехроликовые поддерживающие опоры; сплошные линии —  $\psi_u = 3$  кН/м, пунктирные —  $\psi_u = 6$  кН/м

На рис. 2.6, а приведена зависимость наибольшего бокового схода нижней ветви ленты от шага установки и конструкции центрирующих опор. Рассмотрим эти зависимости, что расстояние между центрирующими опорами оказывает более существенное влияние на сход ленты, движущейся по однороликовым опорам, чем по желобчатым. Так, при действии децентрирующей распределенной силы  $p_1 = 15$  Н/м, возникающей, например, при перекосе всех роликов в плане на 0,014 рад (45') или перекосе става конвейера в вертикальной плоскости на 0,04 рад (2,5°), на конвейере с параметрами  $\rho_n F_n = 30$  кг/м,  $c'_1 = 50$  Н/м,  $S_0 = 10^4$  Н,  $v = 2,5$  м/с и допустимом сходе 0,1 м расстояние между центрирующими опорами должно быть не более 40 м при двухроликовых поддерживающих опорах и не более 20 м при однороликовых и жесткости центрирующих опор  $\psi_u = 3$  кН/м. [9]

При увеличении жесткости центрирующие опор боковой сход ленты на желобчатых роликоопорах уменьшается менее существенно, чем на

однороликовых. Натяжение ленты также не очень значительно влияет на боковой сход, поэтому на коротких конвейерах шаг установки центрирующих опор можно принимать постоянным по всей длине, рассчитанным по среднему натяжению на соответствующей ветви. На длинных конвейерах, когда натяжение ленты в начале и в конце ветви различается в несколько раз, целесообразно принимать переменное расстояние между центрирующими опорами, учитывая, что при увеличении силы натяжения в 2 раза расстояние  $l_0$  может быть увеличено примерно при желобчатых опорах в 1,2—1,4 раза и при однороликовых опорах в 1,3—1,8 раза.

## **2.2 Методы исследование поперечных движений ленты**

Исследование поперечного движения конвейерной ленты началось с опытов и анализа механизма взаимодействия ленты с перекошенным роликом (А.В. Андреев, Н.Я. Биличенко, М.П. Покушаков, И.В. Запеним, В.К. Смирнов и др.). В своих работах авторы по-разному раскрывают и объясняют механизм взаимодействия ленты с роликом. Получены выражения для силы, действующей на ленту при перекосе ролика, и в известной степени описан механизм передачи этой силы в зоне контакта между лентой и роликом. Как показывают последующие исследования, сила взаимодействия во многом определяет характер поперечного движения ленты. Однако эта сила не является единственной при поперечном движении ленты и объяснить многие виды движения ленты, основываясь только на этой силе, невозможно.

До настоящего момента в теоретических работах не рассмотрен вопрос обоснования величины свободных краев лент и несущей способности лент конвейера. Для устойчивой работы конвейера необходимо обеспечить равновесное состояние сыпучего материала при транспортировании, герметичное смыкание краев лент и устойчивое движение лент конвейера. Рассматривая совместные деформации лент конвейера, с учетом динамических свойств материала лент, можно ответить на несколько принципиальных вопросов:

1. влияние величины поперечного сечения груза на деформации лент конвейера,
2. влияние расстояния между роlikоопорами на деформации грузонесущей ленты,
3. минимальная величина прижимного усилия и необходимое натяжения лент.

При движении по роlikоопорам става конвейерная лента под действием различных сил отклоняется в сторону от своего центрального положения и возникает явление, которое в практике называют боковым сходом.

При выявлении причин повреждения конвейерных лент на шахтах установлено (М.А. Котов, Ю.И. Григорьев, Г.А. Загорский), что в среднем 13% всех повреждений лент составляет расслоение бортов, возникающее в результате трения ленты о стойки става или крепи выработок.

Расслоение бортов приводит к тому, что ленты снимают с эксплуатации через 10-12 месяцев, причём в основном с вполне работоспособным грузонесущим каркасом. При эксплуатации резинотросовых лент боковой сход приводит к тому, что после изнашивания резинового борта из ленты начинают вырываться тросы значительной длины.

В результате трения бортов ленты о стойки става наблюдается также и интенсивное изнашивание бортов, приводящее к уменьшению ширины ленты. (И.Г. Штокман и Л.Н. Эппель). Уменьшение ширины ленты при той же производительности конвейера увеличивает просыпи груза. Все отмеченные недостатки, связанные с боковым сходом ленты.

Экспериментальные исследования В.К. Смирновым и И.А. Шпакуновым (1965 г.) рассматривали непосредственно силы сопротивления движению на роlikоопоре.

Был исследован конвейер с лентой шириной 1800 мм, скоростью ее движения 5 м/с, насыпной плотностью груза 1,3 т/м<sup>3</sup> и углом наклона боковых роликoв 30°. Установлено, что при увеличении тягового усилия коэффициент  $\omega'_{def}$  уменьшается нелинейно

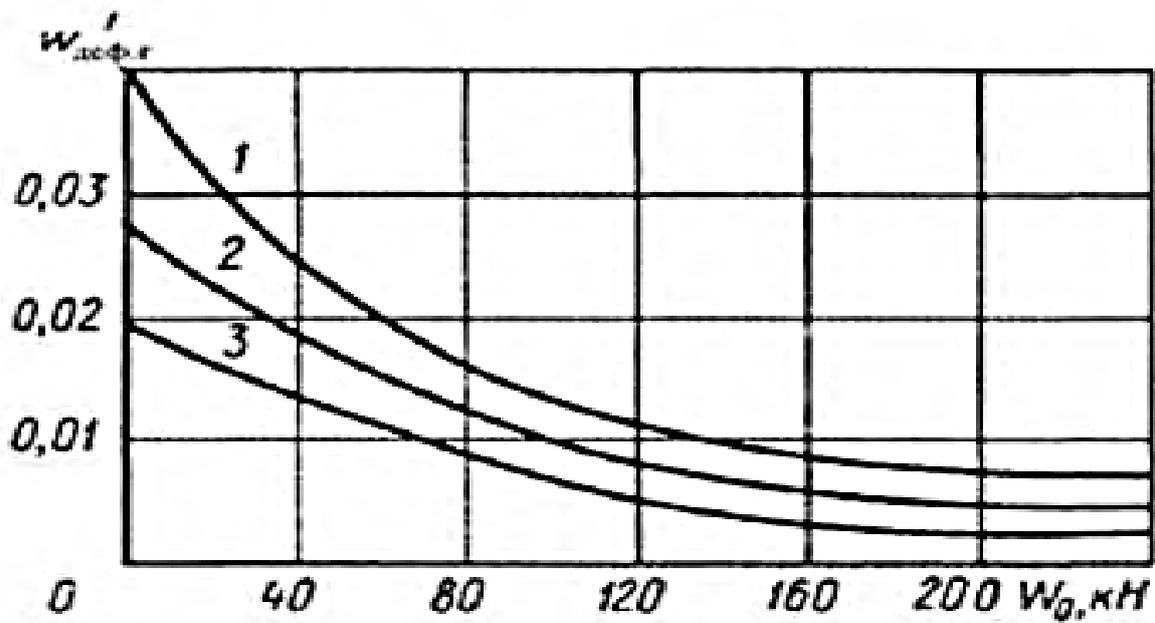


Рис. 2.7. Изменение коэффициента сопротивления от деформирования груза  $\omega'_{\text{деф.г}}$  зависимости от тягового усилия  $W_0$  (при  $S_r = 30$  кН):

Обширные исследования сопротивления вращению роликов выполнены Г. Кваасом (1970 г.). Нагрузки на ролик составляли до 6 кН, окружные скорости — до 12 м/с. [9]

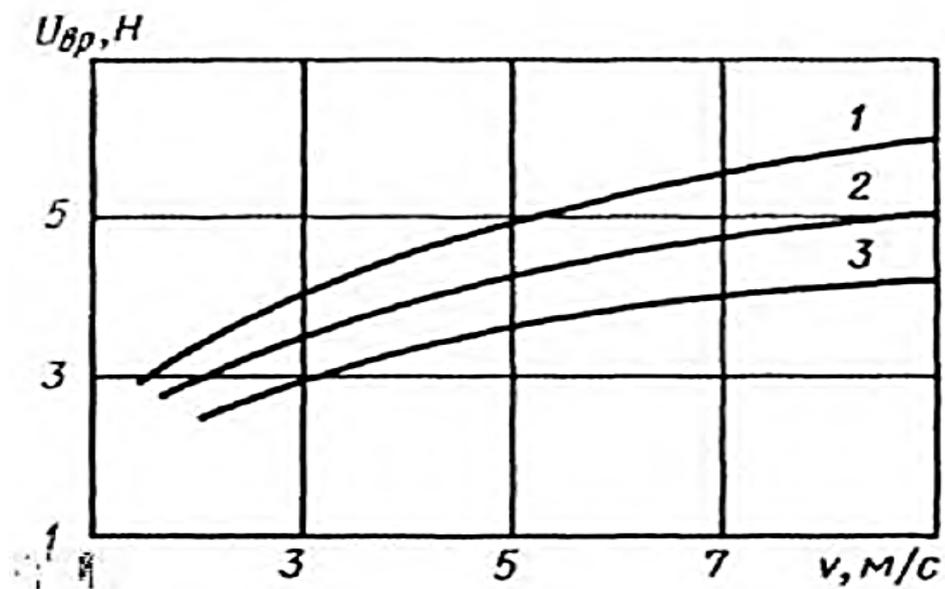


Рис. 2.8 Зависимость силы сопротивления вращению ролика от его окружной скорости при степени наполнения подшипника смазочным материалом:

1; 2; 3 — соответственно на 45, 30, 10 %

Влияние окружной скорости роликов на сопротивление вращению определяли при постоянной радиальной нагрузке 1400 Н и температуре окружающей среды 18 °С при изменении скорости от 1 до 8 м/с. Степень влияния скорости на сопротивление зависит преимущественно от качества и количества смазочного материала.

Деформированное состояние движущейся конвейерной ленты с нагрузками, не зависящими от скорости движения, получена С.Д. Мягковым. Данная задача была в дальнейшем развита и решена с учетом реологических свойств груза В.П. Дунаевым. С использованием реологических констант для соответствующих скоростей (поскольку экспериментально было установлено, что константы зависят от скорости) определялись динамические давления на ленту, а по ним — усилия в узловых точках.

Теоретического исследования процесса вдавливания ролика в ленту и определения силы сопротивления  $U_{\text{вд}}$ , выполненные К. Джонкерсом. Возникновение этой силы сопротивления объясняется упругим несовершенством материала нижней обкладки ленты, т.е. существованием петли гистерезиса. В работе делается допущение о том, что нагружение ленты носит периодический гармонический характер и при анализе используются понятия комплексного абсолютного модуля упругости  $E_k$  и угла сдвига  $\delta_c$ . [51]

Среди исследований, посвященных изучению контактного взаимодействия ленты с роликом, выделим исследования, выполненные И.В. Запениным, в которых при весьма детальном рассмотрении механизма взаимодействия ленты с роликом получены соотношения между нормальными и касательными напряжениями в контакте, величиной боковой возмущающей и центрирующей сил.

Оценим боковой сход ленты на грузовой ветви на ставах с жесткими и подвесными роликоопорами (Ю.А. Яхонтов). Расчетами установлено, что при одной и той же возмущающей силе 3000 Н лента сходит в боковом направлении на ставе с жесткими роликоопорами на 150 мм, а на ставе с шарнирными роликоопорами, ролики которых могут перемещаться в вертикальной и

горизонтальной плоскостях, всего на 90 мм. Причем если принять допустимый боковой сдвиг равным 100 мм, то на ставе с жесткими роликоопорами лента на длине 6 м будет находиться за границей допустимого сдвига, тогда как на ставе с шарнирными роликоопорами допустимый сдвиг ленты вообще не достигается.

Как указывалось выше, одной из основных сил, оказывающих сложное влияние на поперечное смещение ленты, является сила взаимодействия ленты с роликом. Для определения зависимости боковой силы от угла перекоса можно было бы воспользоваться экспериментальными данными, аппроксимируя полученные в них результаты некоторыми аналитическими зависимостями. Однако экспериментальные данные различных авторов, как правило, отличаются друг от друга, поэтому подобный подход представляется неэффективным, так как не позволяет, во-первых, объяснить некоторые противоречия в экспериментах, а во-вторых, распространить результаты этих экспериментальных исследований на конвейеры с другими параметрами.

### **2.3 Способы влияния различных факторов на смещение конвейерных лент.**

Коэффициент сопротивления движению показывает долю общего сопротивления движению, приходящуюся на единицу веса груза и движущихся частей конвейера. Коэффициент сопротивления движению зависит от конструктивных параметров конвейера и от его состояния. Коэффициент сопротивления движению состоит из составляющих:

- а) вращения
- б) вдавливания
- с) деформирования груза и ленты.

На коэффициент сопротивления движению влияют различные конструктивные параметры конвейера:

1. Влияние угла наклона конвейера
2. Влияние скорости движения ленты
3. Влияние температуры окружающей среды

#### 4. Влияние диаметра роликов

**Влияние угла наклона конвейера.** Следовательно, составляющая сила сопротивления движению с зависящая от натяжения для наклонного конвейера стремится к меньшему значению, чем для горизонтального, соответственно и коэффициент сопротивления движению тем меньше, чем больше угол установки конвейера. Более детально с увеличением угла наклона коэффициент сопротивления движению стремится к некоторому постоянному значению на меньшей длине.

**Влияние скорости движения ленты.** от скорости движения зависят обе составляющие не зависящая от натяжения и зависящая от натяжения общей силы сопротивления движению. Для короткого конвейера влияние скорости на тяговой усилие сказывается значительно существеннее по причинам увеличение коэффициенту сопротивления от деформирование сказывается непосредственно. Уменьшить влияние скорости можно путем увеличения начального натяжения на верхней ветви. На коротких высокоскоростных конвейерах для снижения энергоемкости транспортирования целесообразно перетягивать ленту.

**Влияние температуры окружающей среды.** От температуры зависит в основном температурные коэффициенты, учитывающие влияние температуры на сопротивления вращению и вдавливанию. Температурные коэффициенты различаются с понижением температуры уменьшение сопротивления вдавливания и возрастанием сопротивления вращения. Увеличение коэффициента сопротивления вращения связано с загустением смазочного материала, а уменьшение коэффициента сопротивления вдавливания – с повышением модуля упругости нижней обкладки при понижении температуры. Применение солидола в качестве смазочного материала при особо низких температурах может привести к увеличению силы вращения и тяговое усилие возрастает в 2 – 2,5 раза.

**Влияние диаметра роликов.** При изменение диаметра роликов конвейера сказывается на коэффициенте сопротивления коротких конвейеров менее

существенно, чем на длинных. На коротких конвейерах с невысоким натяжением ленты основной составляющей коэффициента является коэффициент сопротивления от деформирования груза, в то время как для длинных конвейеров его доля уменьшается.

После того как определены общие коэффициенты движения соответственно для верхней и нижней ветвей с учетом всех необходимых факторов, а также сосредоточенные силы сопротивления, не зависящие от натяжения и зависящие от натяжения, выполняется тяговый расчет.

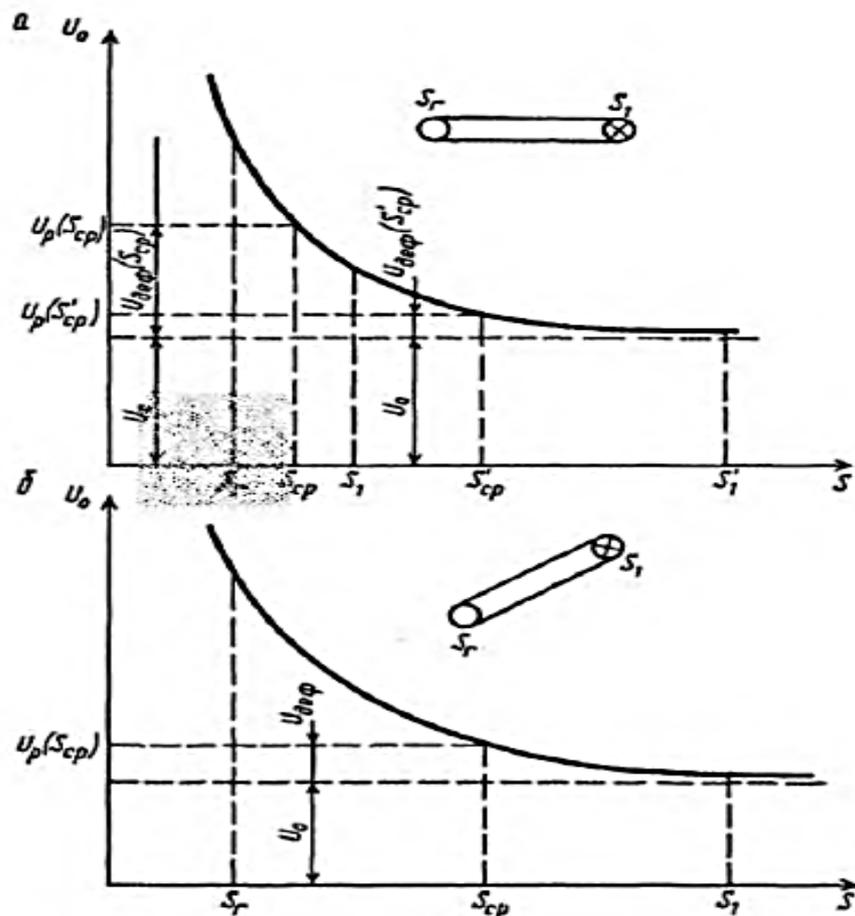
Из полученных соотношений следует, что на длинных горизонтальных конвейерах со значительным средним натяжением на верхней ветви для снижения сопротивления движению необходимо уменьшать силы сопротивления от вращения и сопротивления от вдавливания. Это даст существенный эффект.

Распределенными силами сопротивления, определяемыми при помощи коэффициента сопротивления движению, на конвейере возникают различные сосредоточенные силы сопротивлений. Основные из них:

- силы сопротивления на отклоняющих барабанах,
- силы сопротивления в местах загрузки,
- силы сопротивления на криволинейных участках.

*Сила сопротивления на поворотном или отклоняющем барабане складывается из:*

- силы сопротивления трению в подшипниках вала барабана
- силы сопротивления от изгиба ленты



**Рис. 2.9. Зависимость силы сопротивления движению на роlikоопоре от натяжения ленты конвейера:**

а – горизонтального; б – наклонного

Трения в подшипниках зависит от условий работы подшипника; при периодической консистентной смазке для подшипников качения.

Коэффициент трения в хороших условиях составляет 0,03, в средних — 0,04, в тяжелых — 0,06.

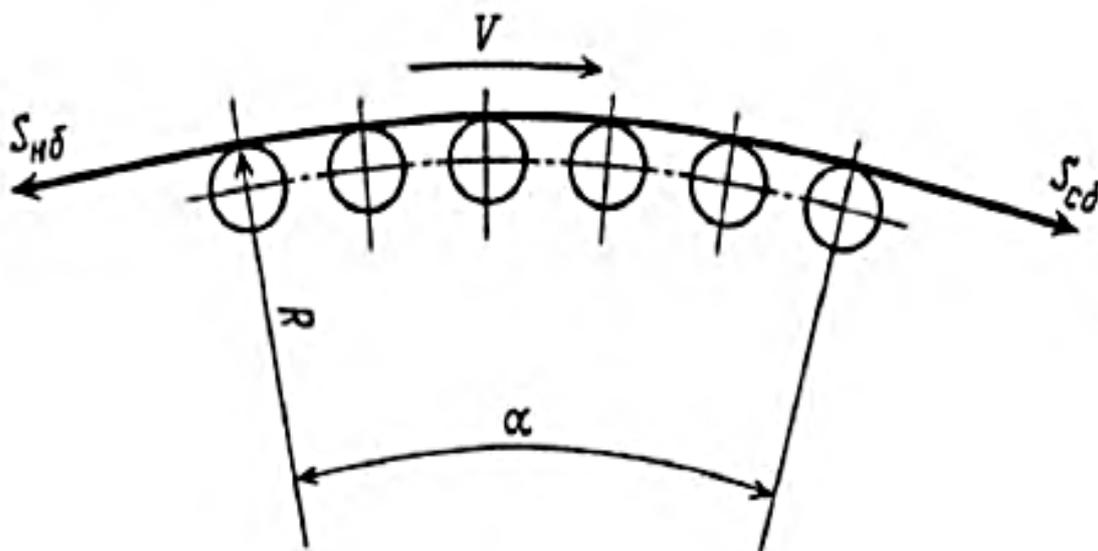
Сила сопротивления от изгиба ленты на барабане зависит от типа ленты, ее натяжения и диаметра барабана

*Сила сопротивления в месте загрузки.* Если груз подается на конвейер без предварительного сообщения ему скорости ленты, то он приобретает скорость ленты на самом конвейере. С достаточной точностью можно считать, что в месте загрузки сила сопротивления состоит из:

- сил инерции груза,
- сил сопротивления от трения груза о ленту

- груза о борта загрузочного устройства.

*Сила сопротивления на криволинейных участках.* Если лента огибает на криволинейном участке батарею роликоопор, расположенных по дуге радиусом  $R$  с центральным углом  $\alpha$ , то при небольшом угле изгиба ( $\alpha < 18^\circ$ ) и близком расположении роликоопор (рис. 2.10) с достаточным приближением сила сопротивления.



**Рис. 2.10. Схема к расчету силы сопротивления на криволинейном участке трассы**

После того как определены общие коэффициенты движения соответственно для верхней и нижней ветвей с учетом всех необходимых факторов, а также сосредоточенные силы сопротивления, не зависящие от натяжения, выполняется тяговый расчет методом обхода по контуру.

На основании описанных выше теоретических исследований авторами, разработана уточненная методика тягового расчета ленточных конвейеров, в том числе и обладающая спецификой методика расчета коротких ленточных конвейеров-питателей, но не составлена программа на ANSYS.

Программа ANSYS позволяет выполнять с конвейеров любой конфигурации, с любым расположением ленты и программа в соответствии с выполненным выше анализом позволяет учесть влияние на конвейерную ленту практически всех факторов.

## 2.4 Режим пуска и торможения конвейера

Проектирование ленточных конвейеров должно сопровождаться расчетом переходных процессов при их пуске и торможении. Расчет переходных процессов в качестве основного вопроса включает определение экстремальных динамических натяжений ленты. Перегрузка ленты при пуске или торможении конвейера может привести к опасному снижению запаса прочности ленты, если прочность ее выбрана без учета характеристик применяемого привода конвейера или его тормозного устройства.

В существующей практике проектирования необходимую прочность ленты определяют только по расчетным максимальным натяжениям в установившемся режиме, но с избыточным расчетным запасом прочности. Применение современных и дорогостоящих систем привода, обеспечивающих плавность пуска, не снижает стоимости ленты, хотя очевидно, что существенное уменьшение динамических натяжений повышает в этом случае безопасность эксплуатации ленты и срок ее службы.

Другой задачей расчета переходных процессов является определение такого натяжения контура ленты, которое обеспечило бы пуск и торможение конвейера без пробуксовки ленты на приводных барабанах и потери устойчивости ленты. Расчетное усилие натяжного устройства, таким образом, связывается с экстремальными динамическими натяжениями ленты и, следовательно, с характеристикой привода конвейера. Если привод обеспечивает плавный пуск конвейера, то расчетное усилие натяжного устройства может быть соответственно уменьшено и на конвейере может быть применена лента меньшей продольной прочности. В случае использования податливых в режиме пуска и торможения натяжных устройств необходимо также правильно рассчитать ход натяжных кареток. В конвейере со сложным профилем определение допустимых радиусов переходных участков должно быть произведено с учетом дополнительных динамических натяжений ленты при пуске и торможении. Расчет переходных процессов включает также определение времени пуска и торможения конвейера. В связи с тем что

непосредственное измерение динамических натяжений ленты вызывает значительные затруднения, контроль времени пуска и торможения часто является единственным фактором, позволяющим оценить соответствие фактических и расчетных характеристик привода.

Расчет переходных режимов основан на анализе волновых процессов, возникающих в ленте при пуске и торможении конвейера. Важнейшим параметром волнового процесса является скорость распространения продольной упругой волны. [9]

Основные затруднения при расчете скорости распространения волн в конвейерной ленте связаны со следующими основными факторами:

- 1) Продольная жесткость конвейерной ленты определяется не только продольными упругими деформациями, но также формой и величиной провеса между роlikоопорами и следовательно, нелинейно зависит от натяжения ленты;
- 2) Лента обладает значительным внутренним трением, являющийся упруговязким телом и ее механические свойства зависят от скорости нагружения, т. е. продольная жесткость ленты при прохождении упругих волн определяется также крутизной фронта волн. Скорость волны в общем случае определяется не только упругими, но и вязкими характеристиками ленты, а их значения, как правило, известны весьма приближенно;
- 3) При вовлечении в движение неподвижной ленты часть энергии прямой пусковой волны расходуется на преодоление сил трения в роlikоопорах, в результате чего скорость распространения прямой волны снижается и ее величина определяется предпусковой диаграммой натяжения контура ленты и постоянно изменяющимся ускорением на фронте волны.

В практических расчетах трудно полностью учесть перечисленные выше факторы. Скорость волны нелинейно зависит от натяжения ленты и параметров роlikового става, однако практически существует большое число случаев, когда допустимо пренебречь влиянием межопорного провисания ленты. На рис.

2.11, *a* представлены графики зависимости скорости распространения волны от натяжения ленты, имеющей семь прокладок типа ТК200.

Предварительное натяжение ленты выбирается таким, что во всех точках контура оно не должно падать ниже  $S = 10$  кН в любом режиме работы конвейера, то практически скорость волн распространяющихся по ветвям ленты, можно считать постоянной. Из рис. 2.11, *б* следует, что в случае применения резинокросовой ленты влияние натяжения ленты и параметров роликового става на скорость распространения волны практически существенно только на порожней ветви ленты. Таким образом, зависимость скорости волны от натяжения ленты следует учитывать только в особых случаях, например при проектировании мощных конвейеров с резинокросовой лентой, имеющих сложный профиль трассы, когда возможно резкое уменьшение натяжения на участках трассы. Предварительное натяжение контура ленты, создаваемое натяжным устройством, должно быть таким, чтобы натяжения в переходных режимах не падали ниже уровня, при котором происходит резкое снижение скорости распространения волн, что приводит к потере устойчивости движения ленты. [51]

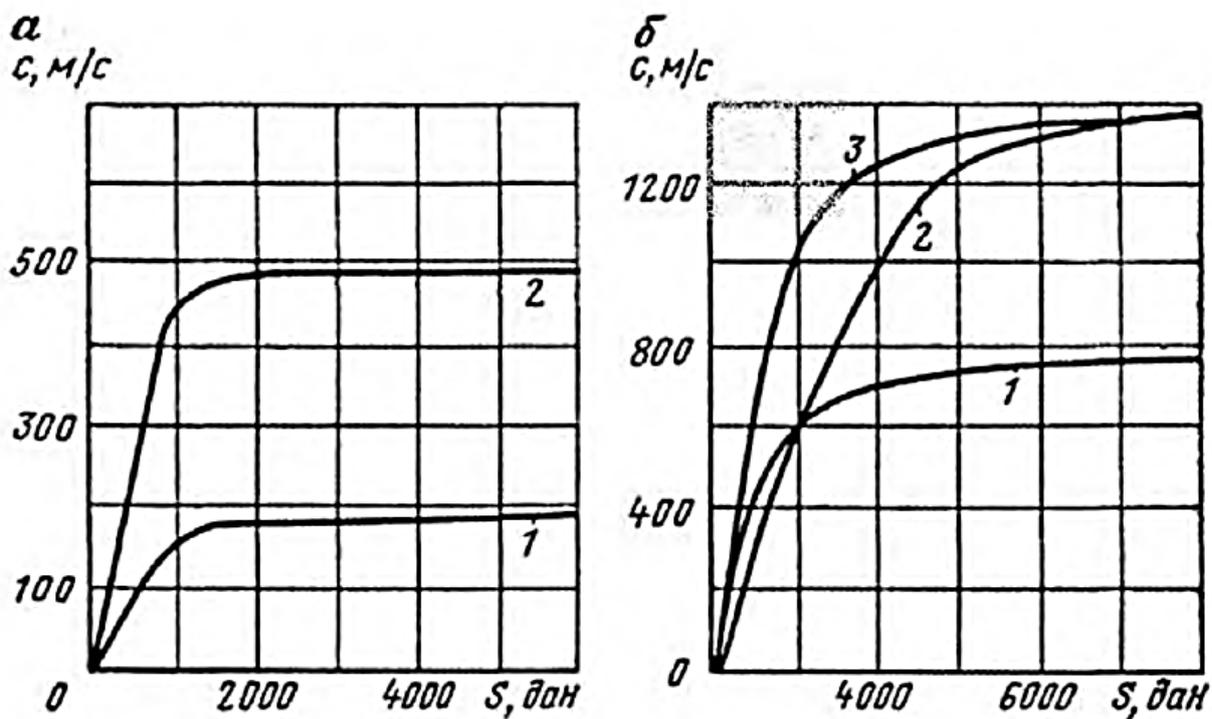
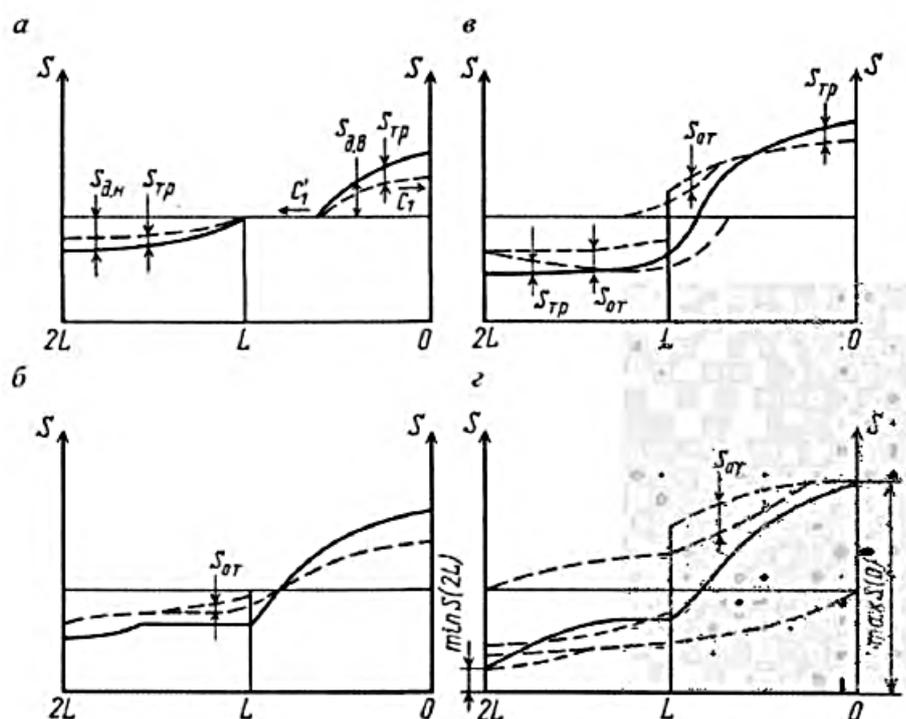


Рис. 2.11 Зависимость скорости распространения волны от натяжения:

*a* — тканевой ленты ТК200 (1 — на грузной ветви; 2 — на порожней ветви); *б* — резинотросовой ленты РТЛ4000 (1 — на грузной ветви; 2 — на порожней ветви с плоской роlikоопорой; 3 — на порожней ветви, имеющей форму желоба)

В результате скорость волны снижается и происходит постепенное уменьшение крутизны фронта; часть энергии прямой волны расходуется на преодоление сил трения. В дальнейшем на уже вовлеченном в движение участке ленты энергия прямой волны будет расходоваться также и на преодоление сил сопротивления движению, связанных с увеличением скорости ленты.

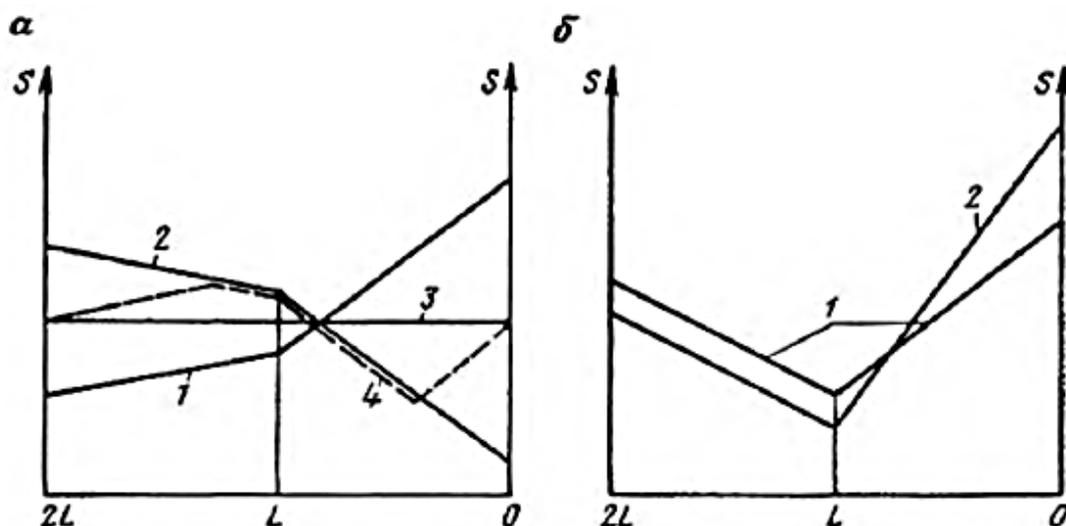
На рис. 2.12 представлены схемы распределения натяжений по контуру ленты в последовательные моменты времени после начала пуска конвейера.



**Рис. 2.12** Распределение динамических натяжений по контуру ленты при пуске конвейера с жестким натяжным устройством в моменты времени:

Начальные натяжения ленты зависят от заключительной фазы режима предшествующего торможения и угла наклона конвейера. На рис. 2.13

показаны варианты начального, предпускового распределения натяжения по контуру ленты горизонтального и наклонного конвейеров.



**Рис. 2.13. Варианты диаграмм предпусковой натяжения контура ленты:**  
*a* — горизонтального конвейера ( $1 - \xi_0 = \xi = 1$ ;  $2 - \xi_0 = -1$ ;  $3 - \xi_0 = 0$ ;  $4 - \xi_0 = \xi_0(x)$ ); *б* — уклонного конвейера ( $1 - \xi'_0 = -1$ ;  $\xi''_0 = 1$ ;  $2$  — диаграмма натяжений в установившемся режиме)

Для конвейера с натяжным устройством, обеспечивающим в период пуска постоянство натяжения сбегающей с привода ветви ленты, вовлечение в движение ленты осуществляется только прямой волной, распространяющейся по верхней ветви.

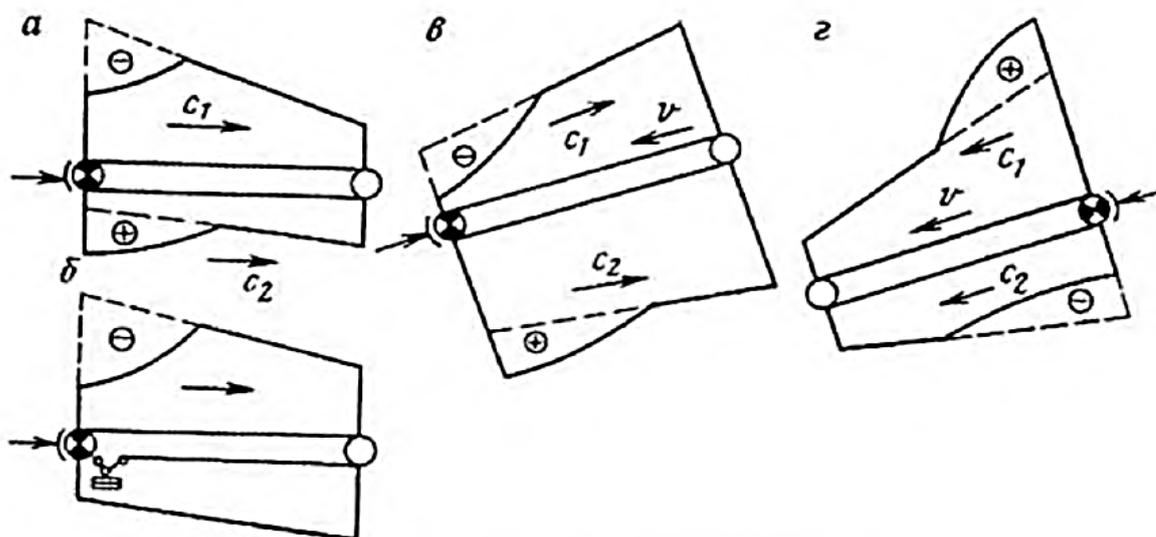
#### *Режим торможения*

Экстремальные натяжения ленты и наихудшие условия по сцеплению на приводных (тормозных) барабанах могут иметь место при торможении конвейера. Это относится прежде всего к наклонным конвейерам с отрицательным перепадом высот между концевыми барабанами. Если привод конвейера и тормозное устройство расположены в головной части конвейера, то при торможении конвейера от привода по верхней грузовой ветви конвейера начинает распространяться прямая волна, уменьшающая начальное натяжение установившегося режима (рис. 2.14). В конвейере с жестким натяжным устройством по нижней ветви распространяется прямая волна динамического

растяжения; если на конвейере установлено податливое натяжное устройство (см. рис. 2.14, б), то эта волна отсутствует и каретка натяжного устройства перемещается по направлению к приводу.

Так как в бремсберговых конвейерах с углом установки более  $-3 \dots -5^\circ$  двигатель работает в генераторном режиме и в точке набегания на привод лента имеет минимальное натяжение, то при дальнейшем снижении этого натяжения может быть исчерпан запас по сцеплению на приводе и начнется полное скольжение ленты, что может привести к аварийной ситуации. Кроме того, натяжение ленты может упасть ниже уровня, при котором обеспечивается устойчивое движение без образования недопустимых провесов между роlikоопорами. Так как при переходе от установившегося режима к режиму торможения направление сил сопротивления движению не изменяется.

Прямые волны частично отражаются от границы груженого и порожнего участков лент.



**Рис. 2.14.** Распространение волн при торможении конвейера:

а, б — горизонтального или уклонного; в, г — бремсбергового

Для анализа устойчивости движения ленты на роlikовом стае в режиме торможения необходимо определить динамические натяжения ленты в различных точках по длине стаа.

Решение задачи об устойчивости ленты на роликовом ставе в течение всего периода торможения требует весьма громоздкого анализа волновых процессов, поэтому эти расчеты целесообразно производить с помощью вычислительной техники, особенно при сложном профиле трассы конвейера.

При установке привода конвейера в зоне максимальных статических натяжений после приложения тормозного усилия по грузовой ветви распространяется волна динамического растяжения (рис. 2.14, г), поэтому такая схема предпочтительнее с точки зрения обеспечения устойчивости грузовой ленты при торможении. Кроме того, так как привод установлен в зоне максимальных натяжений, легко обеспечить требуемый запас по сцеплению на приводных барабанах в отсутствие скольжения ленты, когда динамические натяжения вблизи привода достигают экстремальных значений. По этим же причинам иногда в конвейерах применяют схему, когда привод устанавливают в головной части конвейера, а тормозное устройство — на хвостовом барабане.

Для снижения экстремальных динамических натяжений применяют системы с плавным нарастанием тормозного момента, или системы динамического торможения на первом этапе остановки конвейера.

### ***Выводы:***

1. Для продления срока службы конвейерных лент и обеспечения более эффективной транспортировки материалов компания Sandvik предлагает серию самоцентрирующих устройств, позволяющих обеспечить правильное положение ленты при работе. Легко монтируемые самоцентрирующие устройства Sandvik варьируются от традиционных направляющих валов с боковой направляющей до малоинерционных активных самоцентрирующих роликов HR410.
2. Расстояние между центрирующими опорами оказывает более существенное влияние на сход ленты, движущейся по однорولیковым опорам, чем по желобчатым.
3. На коэффициент сопротивления движению влияют различные конструктивные параметры конвейера как влияние угла наклона конвейера,

влияние скорости движения ленты, влияние температуры окружающей среды, влияние диаметра роликов

4. Решение задачи об устойчивости ленты на роликовом ставе в течение всего периода торможения требует весьма громоздкого анализа волновых процессов, поэтому эти расчеты целесообразно производить с помощью вычислительной техники, особенно при сложном профиле трассы конвейера.

## **ГЛАВА 3. ОБОСНОВАНИЕ ТЕОРИИ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ЦЕНТРИРОВАНИЯ И БОКОВЫХ СХОД ПРИ ДВИЖЕНИИ КОНВЕЙЕРНЫХ ЛЕНТ**

### **3.1 Обоснование необходимости создания модели в программном комплексе Ansys**

Теоретическое обоснование величины факторов центрирования и боковых сход требует, как было сказано, значительного времени и определенных допущений, искажающих общую картину сил, напряжений и деформаций, действующих на ленты.

Программы ABAQUS, ANSYS, COSMOS, I-DEAS, NASTRAN позволяют не только выполнить качественное моделирование систем различной физической природы, но и исследовать отклик этих систем на внешние воздействия в виде распределения напряжений, температур, скоростей, электромагнитных полей и т.д. Использование таких программ помогает проектным организациям сократить цикл разработки, снизить стоимость изделий и повысить качества продукции. [37]

Одним из самых распространенных таких комплексов сегодня является программа ANSYS, использующая метод конечных элементов. Метод конечных элементов – один из наиболее распространенных методов численного анализа инженерных задач, сущность которого заключается в представлении рассматриваемой сплошной среды в виде некоторого количества дискретных участков, в пределах которых основные параметры материала и поля сил распределены практически равномерно.

ANSYS сейчас является уникальной системой, объединяющей в одном интерфейсе большинство разделов физики. Кроме того, современная платформа ANSYS Workbench сопрягается с большинством CAD-пакетов и позволяет моделировать физические процессы с использованием построенных в конструкторских программах трехмерных моделей, снимая необходимость передачи модели из одной программы в другую.

Программа ANSYS - это гибкое, надежное средство проектирования и анализа. Она работает в среде операционных систем самых распространенных компьютеров - от PC до рабочих станций и суперкомпьютеров. Особенностью программы является файловая совместимость всех членов семейства ANSYS для всех используемых платформ. Многоцелевая направленность программы (т.е. реализация в ней средств для описания отклика системы на воздействия различной физической природы) позволяет использовать одну и ту же модель для решения таких связанных задач, как прочность при тепловом нагружении, влияние магнитных полей на прочность конструкции, тепломассоперенос в электромагнитном поле. [44]

Программное обеспечение практически не применяется в горной отрасли, несмотря на существующую потребность в точной оценке надежности вновь создаваемого оборудования и остаточного ресурса эксплуатируемого. Это связано в первую очередь с отсутствием методических разработок в данном направлении, регламентирующих границы и способы применения данного программного обеспечения.

Таким образом, моделирование с использованием метода конечных элементов представляет собой составление и решение большого ряда систем уравнений в частных производных. При этом не нужно делать существенных допущений, которые в значительной степени могут исказить характер напряжения системы.

Метод конечных элементов позволяет не только существенно сократить объемы работы, но и оценить различные варианты конструктивного исполнения узлов.

Основная идея «Метод конечных элементов» состоит в том, что любую непрерывную в некоторой области величину (например, внутреннее усилие в конструкции, перемещение и т.п.) можно аппроксимировать дискретной моделью, которая создается из множества кусочно-непрерывных функций, определенных в конечном числе подобластей (элементов). Обычно такими функциями являются полиномы - линейные, квадратичные, кубические и т.д.

Кусочно-непрерывные функции строятся с помощью значений непрерывной величины в узлах. Таким образом, чтобы определить неизвестную непрерывную величину, нужно определить ее значения в узлах. [66]

Основные этапы создания дискретной модели неизвестной величины следующие:

1. В исследуемой области задается конечное число точек (узлов).
2. Значения непрерывной величины в каждом узле считаются неизвестными, они должны быть определены.
3. Исследуемая область разбивается на конечное число подобластей (элементов), имеющих общие точки (узлы).

Непрерывная величина в каждом элементе аппроксимируется полиномом, который определяется с помощью узловых значений этой величины: для каждого элемента определяется свой полином, но его коэффициенты подбираются так, чтобы сохранялась непрерывность величины на каждой границе элемента.

Это программа предлагает непрерывно растущий перечень расчетных средств, которые могут учесть разнообразные конструктивные нелинейности; дают возможность решить самый общий случай контактной задачи для поверхностей; допускают наличие больших (конечных) деформаций и углов поворота; позволяют выполнить интерактивную оптимизацию и анализ влияния электромагнитных полей, получить решение задач гидроаэродинамики и многое другое - вместе с параметрическим моделированием, адаптивным перестроением сетки, использованием элементов и обширными возможностями создания макрокоманд с помощью языка параметрического проектирования программы ANSYS.

Программа ANSYS является средством, с помощью которого создается компьютерная модель или обрабатывается CAD-модель конструкции, изделия или его составной части; прикладываются действующие усилия или другие проектные воздействия; исследуется отклики системы различной физической природы в виде распределений напряжений и температур, электромагнитных

полей. Программа используется для оптимизации проектных разработок на ранних стадиях, что снижает стоимость продукции.

Возможности ANSYS в области прочности:

Прочностной анализ сложных трехмерных конструкций комплексов 3D-моделирования; расчет многодисциплинарных задач ANSYS Mechanical; самый широкий спектр средств в современном мире проектирования; ANSYS предоставляет широкий набор средств для моделирования композитных материалов.

В расчет традиционно могут быть включены оболочечные, твердотельные и балочные элементы с определением свойств геометрии сечения и определением критерия разрушения.

Введены особые возможности для моделирования процесса расслоения слоев композиционного материала. Существующий интерфейс к FiberSIM делает анализ в ANSYS ближе к процессу проектирования, предоставляя эффективные средства моделирования слоистых материалов. [37]

Программный продукт ANSYS предоставляет своим пользователям ряд существенных преимуществ:

современный решатель Algebraic Coupled Multigrid (AMG), использующий неявную связанную схему решения системы линейных алгебраических уравнений. Это обеспечивает точные, надежные и быстрые результаты; поддержка параллельных вычислений для кластеров с практически линейным приростом скорости счета; современные модели турбулентности, включая SST, LES и SAS; точные модели многофазных сред и свободной поверхности для моделирования волнообразования и поведения жидкости в сосудах и резервуарах; эффективные инструменты для создания расчетных сеток: ANSYS CFX-Mesh, ANSYS ICEM CFD; наличие интерфейса для передачи распределенной и температурной нагрузок в ANSYS Mechanical.

### 3.2 Боковой сход ленты на линейной части конвейера с жестким ставом

Изнашивание бортов ленты происходит в основном на линейной части конвейера. Оценим основные причины, приводящие к боковому сходу ленты на линейной части конвейера, и их влияние.

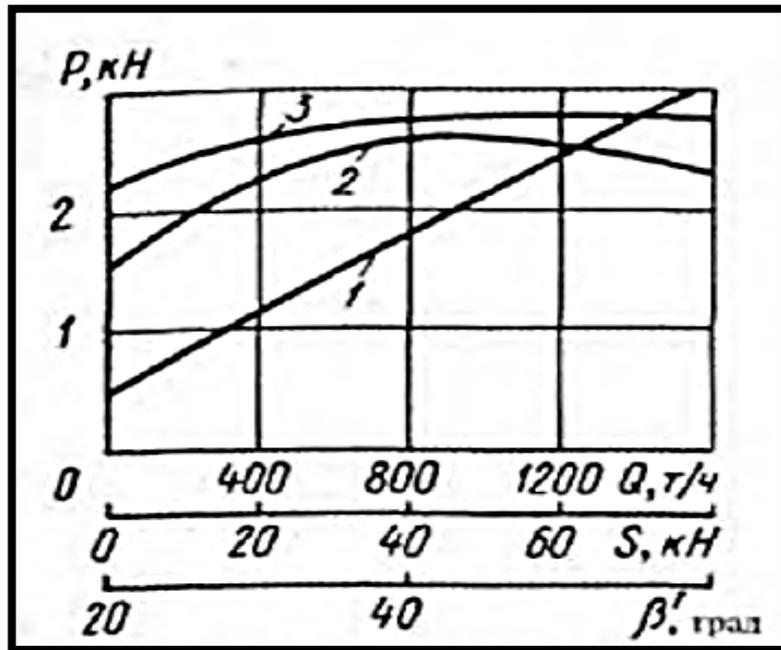
Оценим способность линейных секций става:

- *Нижняя ветвь.*
- *Верхняя ветвь.*

Когда известны условия эксплуатации конвейера и качество его монтажа, могут быть полезны полученные результаты при выборе конструкции линейной секции.

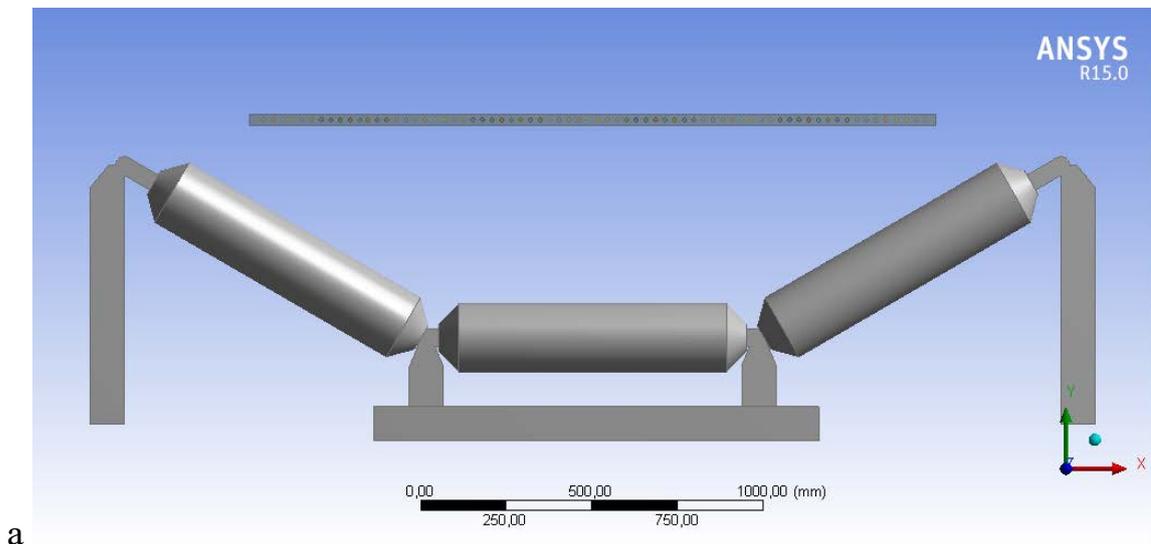
*Верхняя ветвь* для определения прогиба ленты, рассмотрим влияние параметров конвейера на сосредоточенную возмущающую силу  $P$ , вызывающую определенный боковой сход. Необходимое возмущающее усилие значительно увеличивается при увеличении степени загрузки конвейера, т.е. его производительности  $Q$  (рис. 3.1). Влияние натяжения не очень значительно: так, при увеличении натяжения в 8 раз сила  $P$  увеличивается всего в 1,3 раза. При увеличении угла наклона боковых роликов  $\beta'$  с  $20^\circ$  до  $40^\circ$  сила  $P$  увеличивается в 1.4 раза.

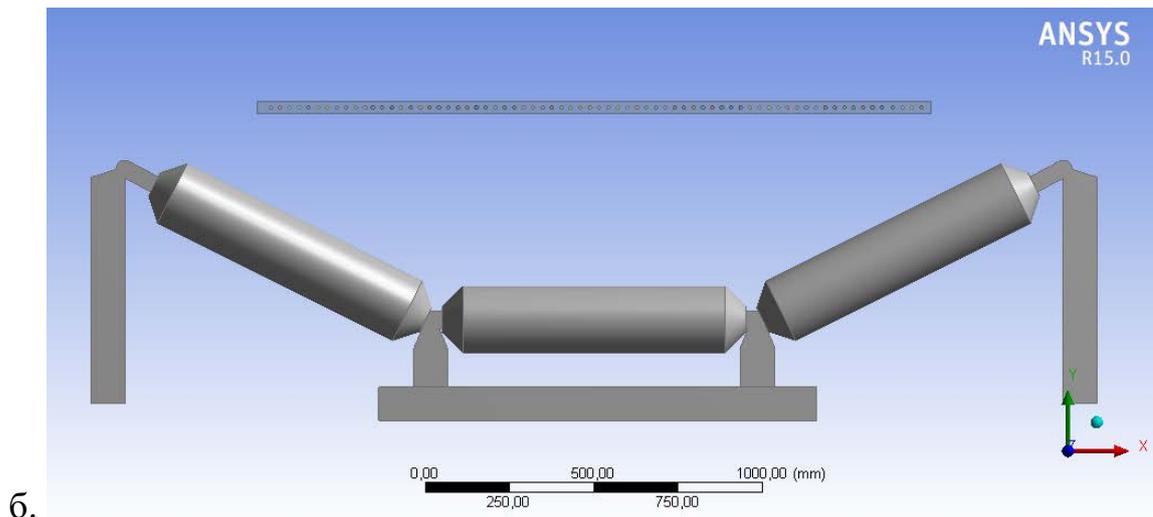
Уменьшать сход ленты при действии боковых возмущающих нагрузок наиболее целесообразно путем увеличения угла наклона боковых роликов. Например, на участковых и забойных конвейерах горных предприятий необходимо применять повышенные углы наклона боковых роликов, так как невысокое качество установки става и внецентренная загрузка ленты приводят к возникновению значительных боковых сил, частому боковому сходу ленты и просыпям.



**Рис. 3.1. Зависимость допустимой возмущающей силы на верхней ветви от степени загрузки ленты (1), ее натяжения (2) и угла наклона  $\beta'$  боковых роликов (3).**

Угол  $\beta'$  наклона боковых роликов, обеспечивающий максимальную восстанавливающую силу. Однако исходя из допустимых углов перегиба ленты, необходимо принимать углы наклона боковых роликов (рис 3.2).





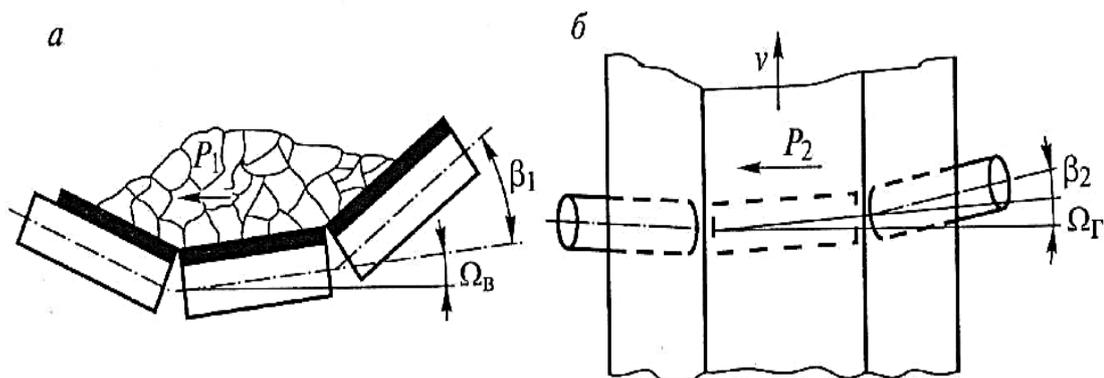
**Рис 3.2 Конструкция конвейерной ленты с углом наклона боковых роликов:**

$$(a - \beta' = 30^{\circ}, б - \beta' = 25^{\circ})$$

Значения коэффициента устойчивости свидетельствуют о том, что боковые смещения ленты на линейных секциях указанной конструкции возрастают во времени неограниченно.

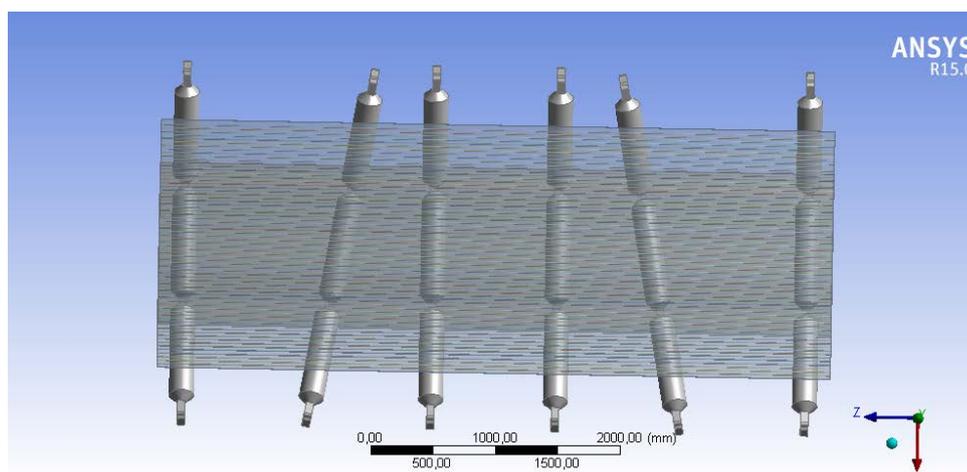
В процессе эксплуатации конвейера на ленту, движущуюся по линейной части, действуют боковые силы, вызываемые следующими децентрирующими факторами: перекосом роликоопор в горизонтальной и вертикальной плоскостях; отклонением става от оси конвейера; неравномерным сопротивлением вращению боковых роликов опоры; нецентральной загрузкой ленты; непрямолинейностью ленты в горизонтальной плоскости; несимметричным распределением натяжения по ширине ленты; неравномерным натяжением канатов става.

Результатом их проявления являются децентрирующие ленту усилия и моменты, для определения которых рассмотрим взаимодействие ленты и роликоопоры (рис. 3.3, а).



**Рис. 3.3** Схема взаимодействия ленты с перекошенной роlikоопорой в вертикальной (а) и горизонтальной (б) плоскостях.

При горизонтальном перекосе роlikоопоры на угол на ленту действует децентрирующее усилие разработанной в программном комплексе Ansys (Рис 3.4.)



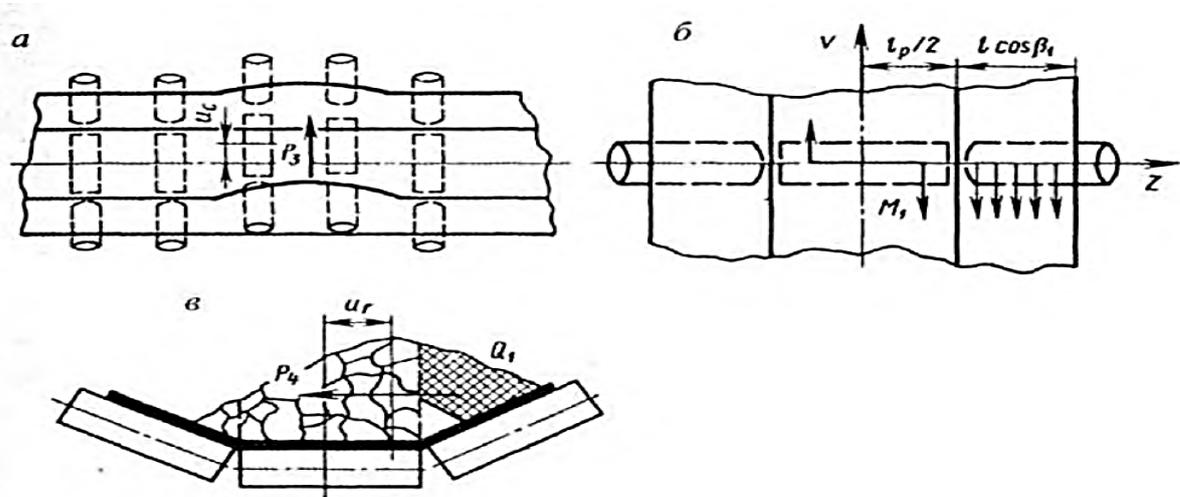
**Рис 3.4.** Схема взаимодействия ленты с перекошенной роlikоопорой

Следовательно, при монтаже и эксплуатации ленточных конвейеров особое внимание необходимо обращать на выставление роlikоопор в горизонтальной плоскости строго перпендикулярно продольной оси конвейера.

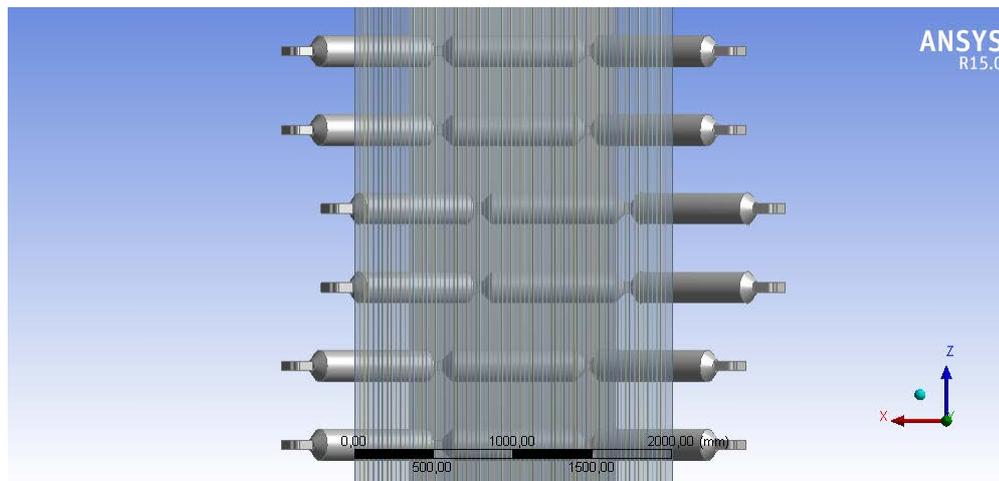
Различное сопротивление вращению боковых роlikов является следствием случайного разброса качества изготовления подшипников и уплотнений роlikов. Наиболее неблагоприятным является случай, когда один из боковых роlikов вращается с минимальным сопротивлением, а другой — заторможен.

К статическим децентрирующим факторам может быть отнесена также нецентральная загрузка ленты при условии, что стационарный во времени

грузопоток постоянно смещен на величину  $u_c$  относительно оси конвейера. В этом случае на ленту действует распределенная децентрирующая сила (рис. 3.5, в).



**Рис. 3.5** Схема взаимодействия ленты с роlikоопорами: *a* — при смещении секции става; *б* — при заклинивании бокового ролика; *в* — при нецентральной загрузке ленты



**Рис 3.6** Конвейер с роlikоопорами при смещении секции става.

Непрямолинейность ленты может быть также вызвана неправильной стыковкой двух отрезков ленты, при которой борта стыкуемых отрезков не составляют прямой линии, и образуется излом стыка. Характерной особенностью непрямолинейной ленты является то, что ее продольная ось симметрии имеет некоторую искривленность в плоскости самой ленты.

Непрямолинейность, или, как ее часто называют, «серповидность», конвейерной ленты является следствием несовершенной технологии

производства, согласно которой предельные отклонения борта ленты от прямой линии на длине 20 м должны быть не более 5 % ширины ленты.

При увеличении числа роликов в опоре и угла наклона боковых роликов к горизонту децентрирующее усилие уменьшается. Увеличение отношения числа роликов, повернутых в плане, к числу роликов опоры приводит к уменьшению усилия при углах перекося 0,024—0.053 рад (1,5—3°).

Угол наклона боковых роликов ограничен допускаемым углом перегиба ленты и условием вписывания ленты в роликуюпору (условием полного прилегания ленты к роликам).

При неточной установке става конвейера отклонения роликуюпор и секции от оси конвейера также происходит боковой сход ленты. На верхней и нижней ветвях конвейера, оборудованных желобчатыми роликуюпорами, под действием сосредоточенной силы, возникающей при перекося отдельной роликуюпоры, наибольшее смещение ленты зависит от параметров конвейера.

Таблица 3.1

Децентрирующий фактор	Наибольшие боковые смещения ленты (м) при ширине ленты конвейера	
	$B = 1.2 \text{ м}$	$B = 0.2 \text{ м}$
$\Omega_B = 0,036 \text{ рад} (2^0)$	0.002/0.004	0.003/0.005
$\Omega_z = 0,036 \text{ рад} (2^0)$	0.012/0.025	0.017/0.026
$u_c = 0,05$	0.048/0.049	0.048/0.049
<b>Примечание.</b> В числителе значение $\delta_{max}$ для верхней ветви конвейера, в знаменателе – для нижней		

Из табл. 3.1 следует, что неточности установки роликуюпор в горизонтальной плоскости (перекося  $\Omega_z$  и отклонение от оси) вызывают наибольшие смещения ленты. Причем на конвейерах с узкой лентой ( $B = 0,8 \text{ м}$ ) смещения ленты при одинаковых децентрирующих факторах больше, чем на конвейерах с широкой лентой  $B = 1.2 \text{ м}$ ), вследствие меньшей жесткости ленты и ее натяжения.

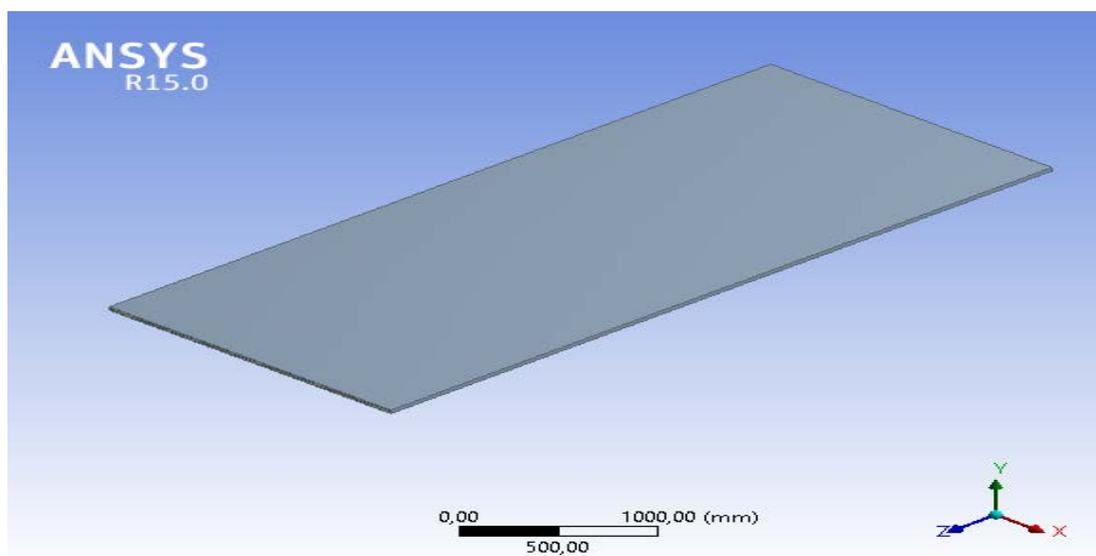
### 3.3 Разработка цифровой модели напряженного состояния при поперечного смещений конвейерных лент с использованием программного комплекса ANSYS

При построении модели поперечного смещений конвейерных лент использовались плоские изопараметрические конечные элементы, поддерживающие все виды деформирования.

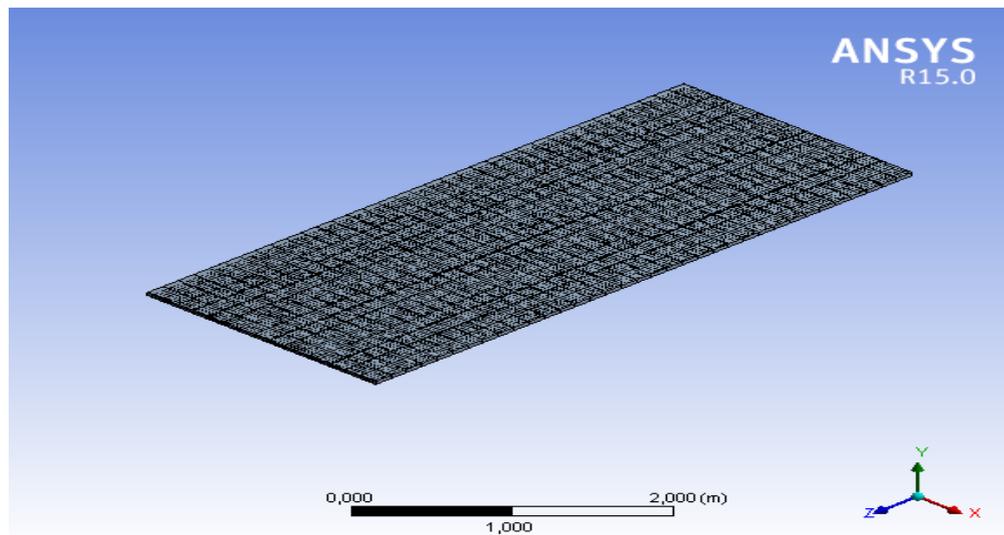
Базовым понятием при построении модели является набор геометрических компонентов. Геометрические компоненты состоят из точек, линий, поверхности и объемов .

Элементы категорий, используемые для моделирования конструкций в виде оболочек, имеют форму четырехугольных тонких пластинок с четырьмя узлами по углам. Для создания модели ленты выбираем 4 ключевые точки, по концам выбранного участка ленты. Эти точки называются характерными узловыми точками. Соединяя эти характерные точки линиями, получаем четырехугольную форму и с помощью командной строки создаём поверхность ленты (рис.3.7).

Следующим этапом моделирования является создание конечно – элементной сетки выбранного участка конвейерной ленты. Разбиение ленты на конечные элементы создает удобства для работы с участком конвейерной ленты, так как оно осуществлено оболочными элементами (рис.3.8).

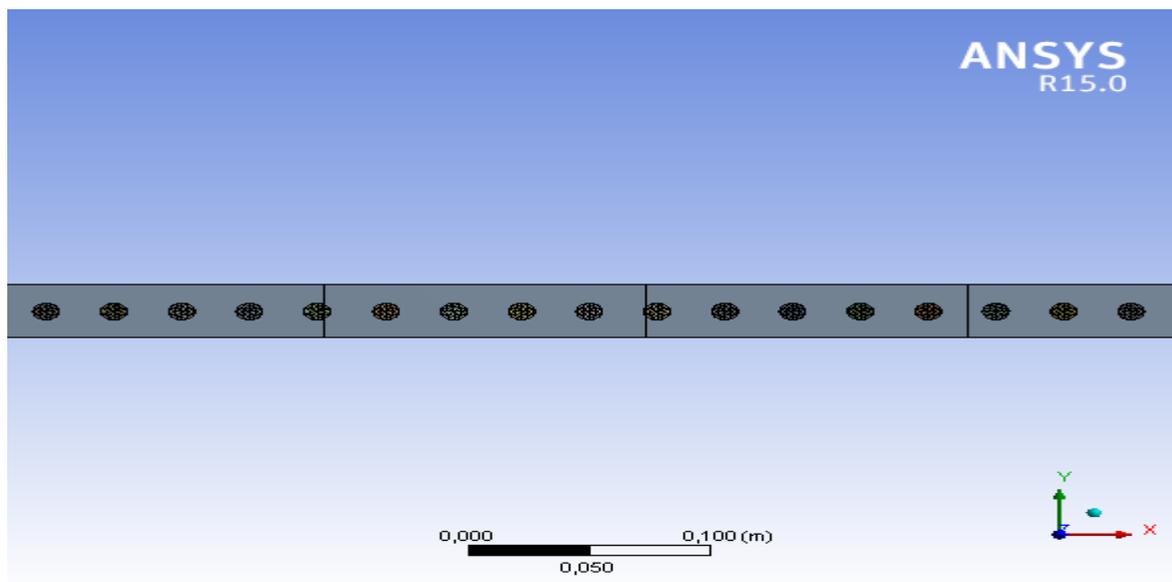


**Рис.3.7 Вид созданной поверхности конвейерной ленты**



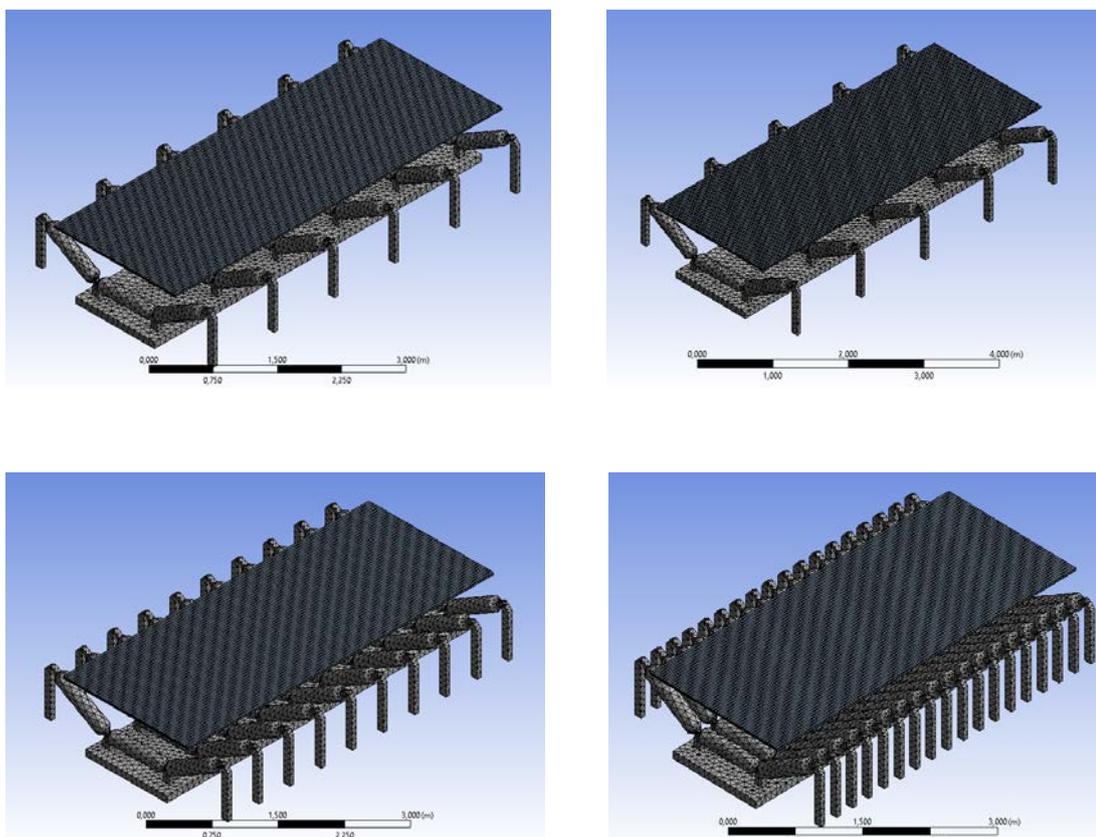
**Рис.3.8 Конвейерная лента, разбитая на конечные элементы**

Точность результатов расчета в значительной степени определяется не только достоверностью исходных данных, и количеством элементов, на которое разбита лента. Чем больше количество элементов в модели, тем выше точность вычислений, и меньше ошибка при анализе.



**Рис.3.9 Вид конвейерной ленты с тросами**

Внутри ленты расположено тросы диаметром 11,2 мм. В ленте 114 тросов, расстояние между тросами составляет 6 мм, шаг тросов 17,2 мм (рис.3.8).



**Рис.3.10. Лента с роlikоопорами**

Ленту спроектировали с конструктивными узлами (роlikоопорами), таким образом получим реальное напряженно-деформированное состояние конвейерной ленты. (рис.3.10). В рассматриваемом узле роlikоопоры располагаются с шагом 0,25 м, 0,5 м, 1 м и 1,2 м при диаметре ролика равном 0,159 м.

Следующим этапом при определении напряженного состояния конечно - элементной модели является задание физических постоянных, позволяющие активизировать систему. Из большого количества пакет -моделей, имеющихся в программном комплексе Ansys и представленных для облегчения работы в виде древовидной структуры, (перемещаясь по которым можно переходить от общих пунктов к частным) мы выбираем модель оболочки ортотропного вида, так как нормальные деформации ленты различны по всем направлениям.

В качестве исходных данных при обосновании напряженного состояния выбранного участка конвейерной ленты нам потребуется модуль ее упругости в продольном и поперечном направлении, коэффициент деформации Пуассона и модуль сдвига.

Исследование показывает, что модуль упругости конвейерной ленты в продольном и поперечном направлении изменяется в достаточно широких пределах и зависит от многих факторов, главными из которых являются: тип ленты, натяжение и т.д.

Анализ и экспериментальное исследование показал, что значение продольного модуля упругости резинокросовой конвейерной ленты составляет  $E_x = 2 \times 10^{10} \text{ Па}$ , а модуль упругости в поперечном направлении составляет  $E = 1,55 \times 10^8 \text{ Па}$ , а резиноканевой конвейерной ленты составляет  $E_x = 3 \times 10^8 \text{ Па}$ , а модуль упругости в поперечном направлении составляет  $E = 1 \times 10^8 \text{ Па}$ .

Тогда коэффициент Пуассона в продольном направлении равен:

Для резинокросовых лент

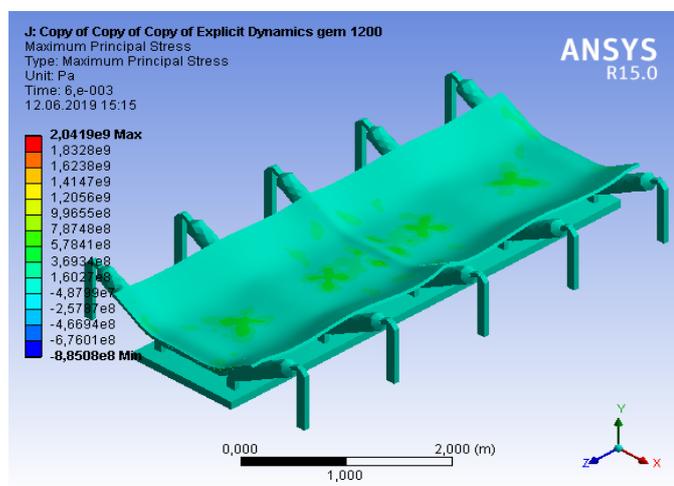
$$\eta_x = 0.45$$

Для резиноканевых лент

$$\eta_x = 0.4$$

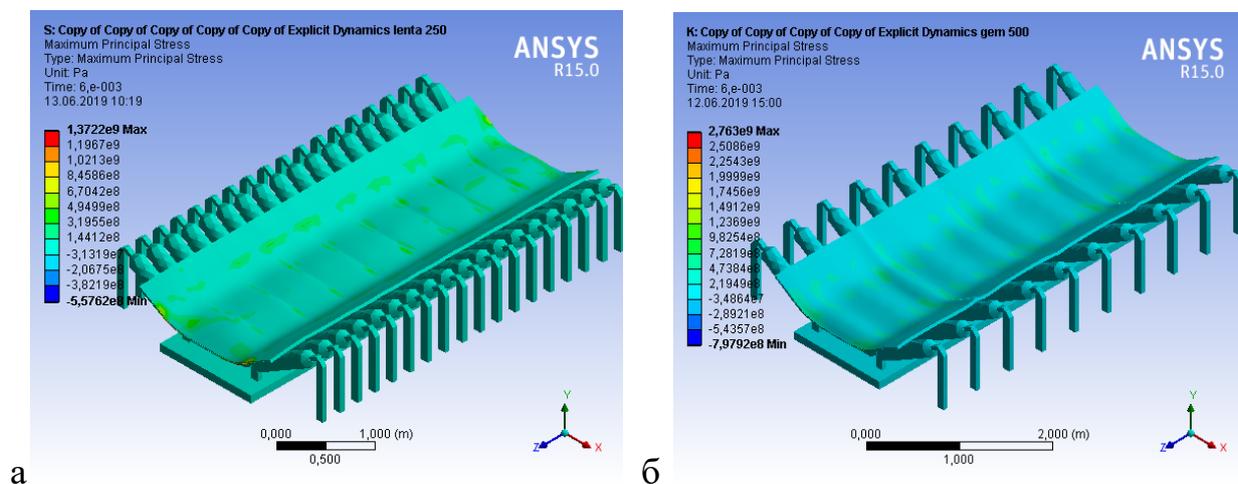
Выше отмечалось, что система лента — ролик склонна к автоколебаниям. Первоначально количественно оценим способность линейных секций роlikоопор става располагающей с шагом 0,25 м, 0,5 м, 1 м и 1,2 м.

При линейных секций роlikоопор става с шагом 1,2 м как показано на рис. 3.11 склонна к колебаниям чем роlikоопор става с шагом 0,5 и 0,25 м на рис. 3.12



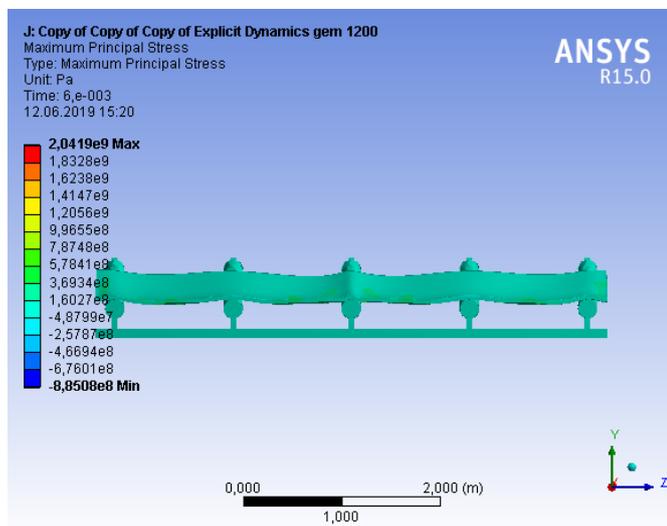
**Рис. 3.11** Напряженно деформированное состояние ленты (при натяжении 50 кН, нагрузкой 15 кН шагом роlikоопор 1.2 м).

На рис. 3.11 напряженное состояние ленты изображено разными цветами, по которым (в соответствии с приложенной шкалой) можно определить величину и направление напряжений на участках.

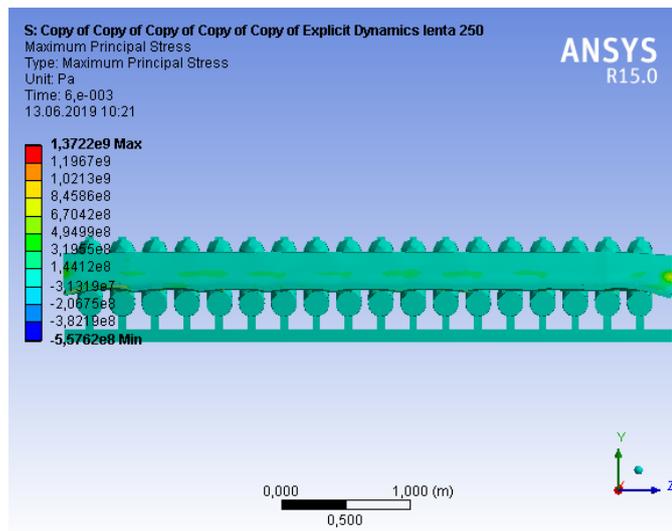


**Рис. 3.12 Напряженно деформированное состояние ленты (при натяжении 50 кН, нагрузкой 15 кН шагом роликоопор а-0,25 м и б-0,5 м).**

Там, где роликоопоры расставлены с шагом 1,2 м можно видеть (рис. 3.11), что в ленте появляется провесы между роликами в продольном направлении, чем расстояние между роликоопор 0,25 м и 0,5 м (рис. 3.12 а и б).



**Рис. 3.13 Напряженное состояние конвейерной ленты разрезанный вид с боку (при натяжении 50 кН, нагрузкой 15 кН, шагом роликоопор 1,2м)**

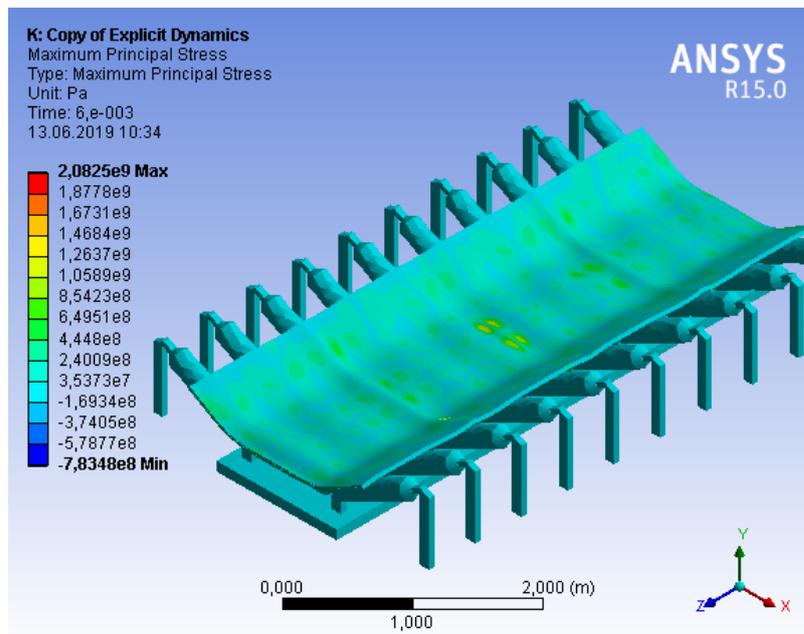


**Рис. 3.14 Напряженное состояние конвейерной ленты разрезанный вид с боку (при натяжении 50 кН, нагрузкой 15 кН, шагом роликоопор 0,25 м)**

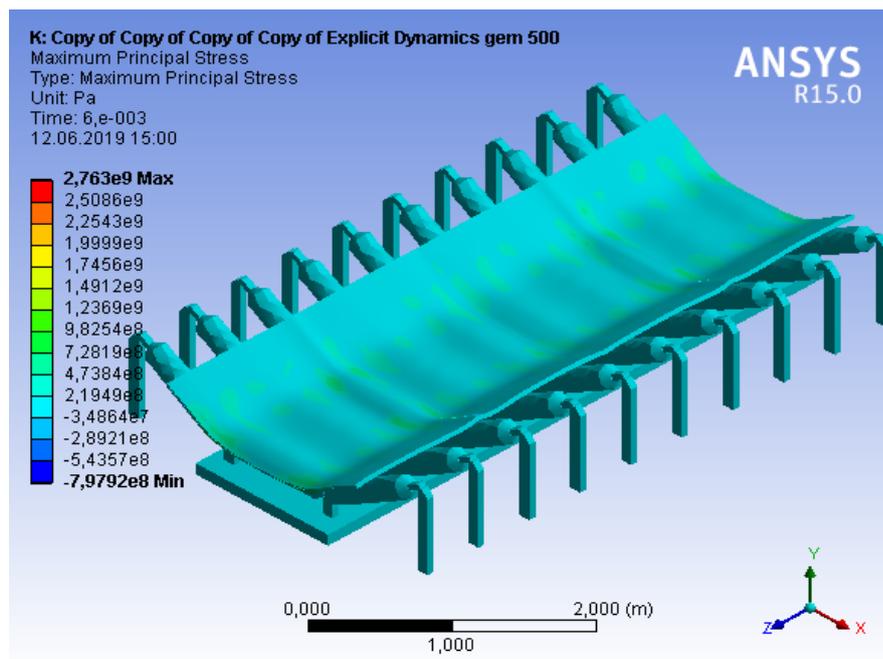
Из рассмотрение роликоопоры, способствующие при условиях роликоопоры расставлены с шагом 1,2 м возникает автоколебания, при этом считаем, что роликоопоры линейных секций установлены идеально. с боковым сходом ленты на линейной части става связано автоколебанием. Если исследовать поведение ленты поперечные смещения на условиях роликоопоры расставлены с шагом 1,2 м боковой сход более высоко чем условиях роликоопоры расставлены с шагом 0,25 м.

Исследование поперечные смещения с использованием первого метода практически невозможно, поэтому упростим его, перейдя на угол наклона боковых роликов. (Рис. 3.15)

Рациональный угол наклона боковых роликов, обеспечивающий максимальную восстанавливающую силу, равен  $30^\circ$  (Рис. 3.16). Если возмущающая сила такова, что жесткости системы с трехроликовыми опорами недостаточно для удержания ленты в допустимых пределах, то возможен, наклон внешних боковых концов роликов вперед по ходу движения на  $2\text{—}3^\circ$ .

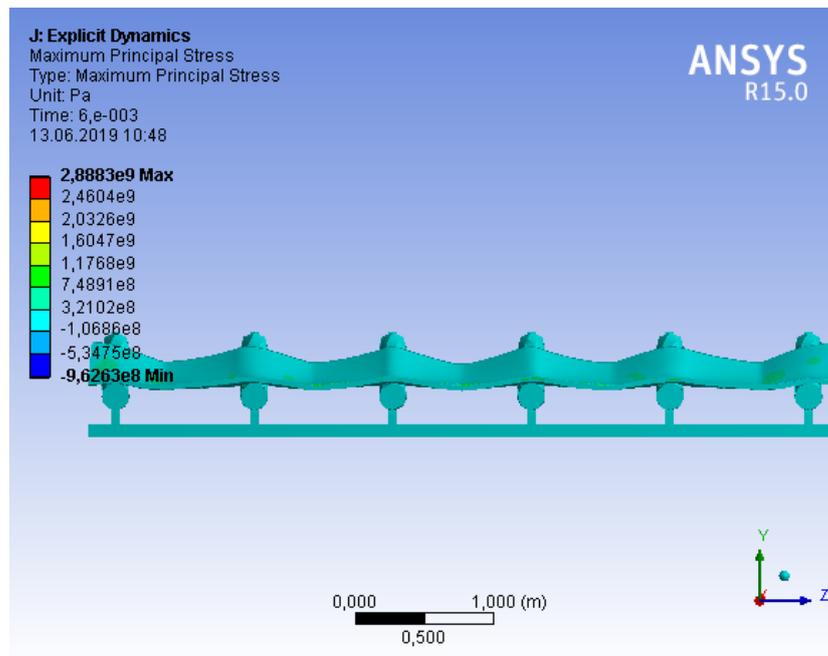


**Рис.3.15 Напряженное состояние конвейерной ленты (при натяжении 50 кН, нагрузкой 15 кН, угол наклона боковых роликов равен 25° )**



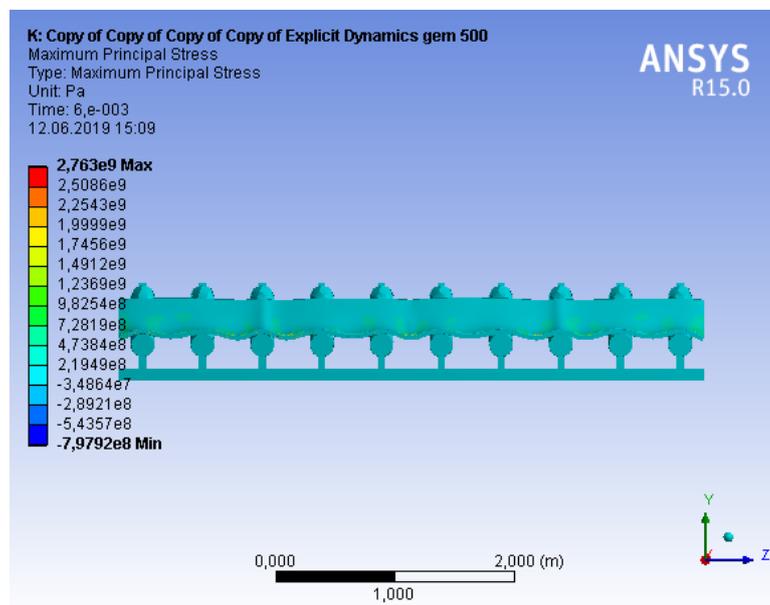
**Рис.3.16 Напряженное состояние конвейерной ленты (при натяжении 50 кН, нагрузкой 15 кН, угол наклона боковых роликов равен 30° )**

Следовательно, уменьшать сход ленты при действии боковых возмущающих нагрузок наиболее целесообразно путем увеличения угла наклона боковых роликов. Экстремальный угол наклона боковых роликов должен быть в пределах от 40 до 30°.



**Рис. 3.17 Напряженное состояние конвейерной ленты разрезанный вид с боку при натяжении 50 кН, нагрузкой 15 кН, (угол наклона боковых роликов равен 25°)**

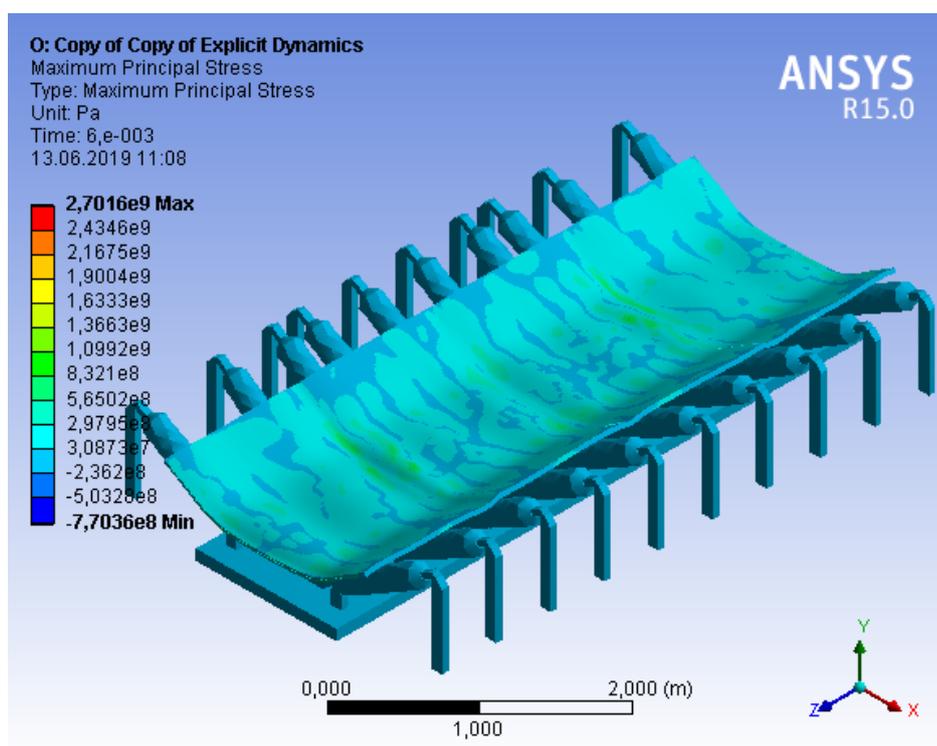
Для сравнения приняты: жестко установленная трехроlikовая опора с углом наклона боковых роликов 25° на верхней ветви (рис. 3.17) и с углом наклона боковых роликов 30° (рис. 3.18).



**Рис. 3.18 Напряженное состояние конвейерной ленты разрезанный вид с боку при натяжении 50 кН, нагрузкой 15 кН, (угол наклона боковых роликов равен 30°)**

Однако при увеличении угла наклона боковых роликов к горизонту просыпание груза с ленты вследствие его передеформации начинается при меньших боковых смещениях ленты. Видно что при увеличении угла наклона боковых роликов (с 25 до 30°) величина Зависимость допускаемого бокового схода уменьшается на 10 – 15 %.

Далее рассмотрим причины, приводящие к появлению боковых децентрирующих сил. Вызываемые следующими децентрирующими факторами: перекосом роликоопор в горизонтальных плоскостях (рис. 3.19).



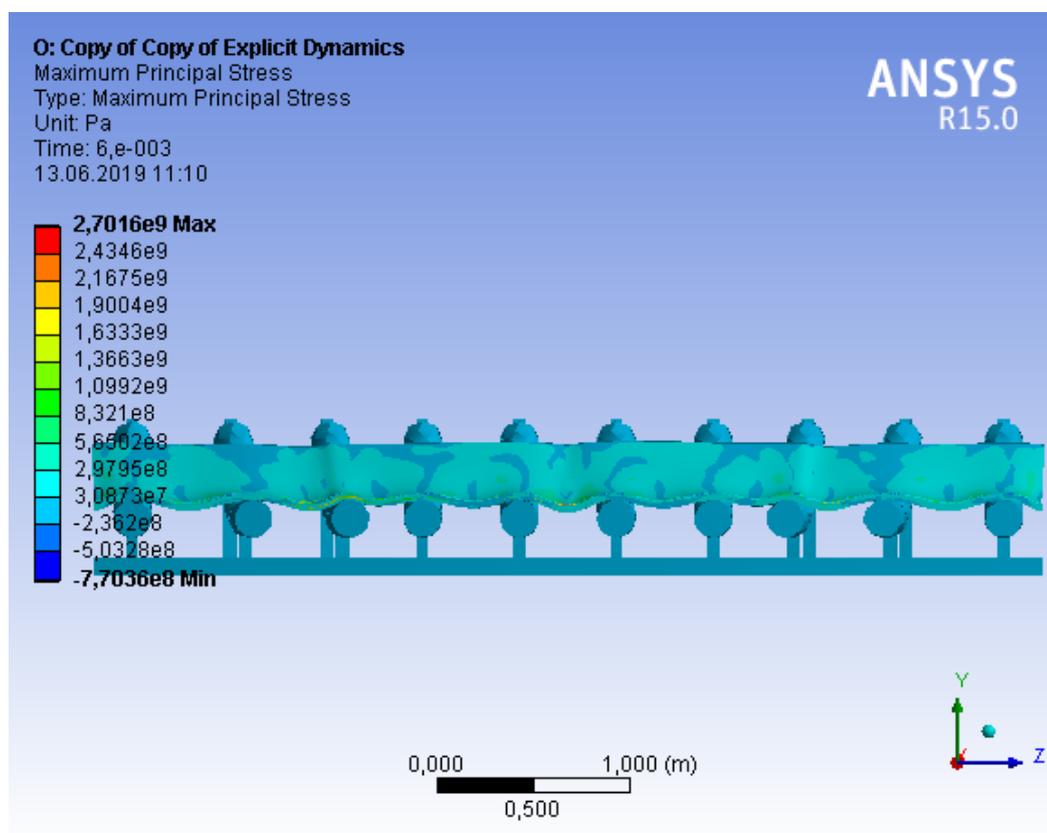
**Рис.3.19 Напряженное состояние конвейерной ленты при натяжении 50 кН, нагрузкой 15 кН, (перекосом роликоопор в горизонтальных плоскостях)**

При горизонтальном перекоме роликоопоры на угол  $\Omega_r$  на ленту действует децентрирующее усилие  $P_2$  (рис. 3, б):

$$P_2 = 0,5\rho F g l'_p \sum k_i \cos \beta_{1i} [f_1(\beta_{2i} + \Omega_r) - f_1(\beta_{2i} - \Omega_r)]$$

где  $\beta_{2i}$  — угол, образованный осью ролика  $i$ -й пары и перпендикуляром к продольной оси конвейера (рад);  $f_1$  — коэффициент, зависящий от угла между векторами скоростей движения ленты и вращения ролика.

Программа ANSYS показала, что перекося роликсопор в горизонтальной плоскости в зависимости от состояния контактирующих поверхностей вызывает децентрирующее усилие, в 6—8 раз большее. (рис. 3.20)

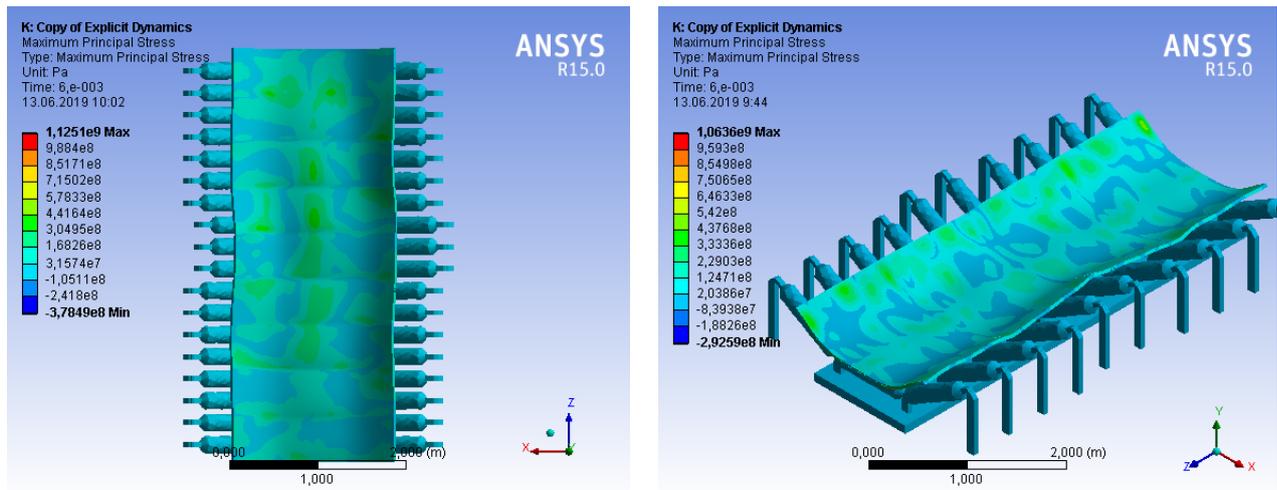


**Рис. 3.20 Напряженное состояние конвейерной ленты разрезанный вид с боку при натяжении 50 кН, нагрузкой 15 кН, (перекося роликсопор в горизонтальной плоскостях)**

Следовательно, при монтаже и эксплуатации ленточных конвейеров особое внимание необходимо обращать на выставление роликсопор в горизонтальной плоскости строго перпендикулярно продольной оси конвейера.

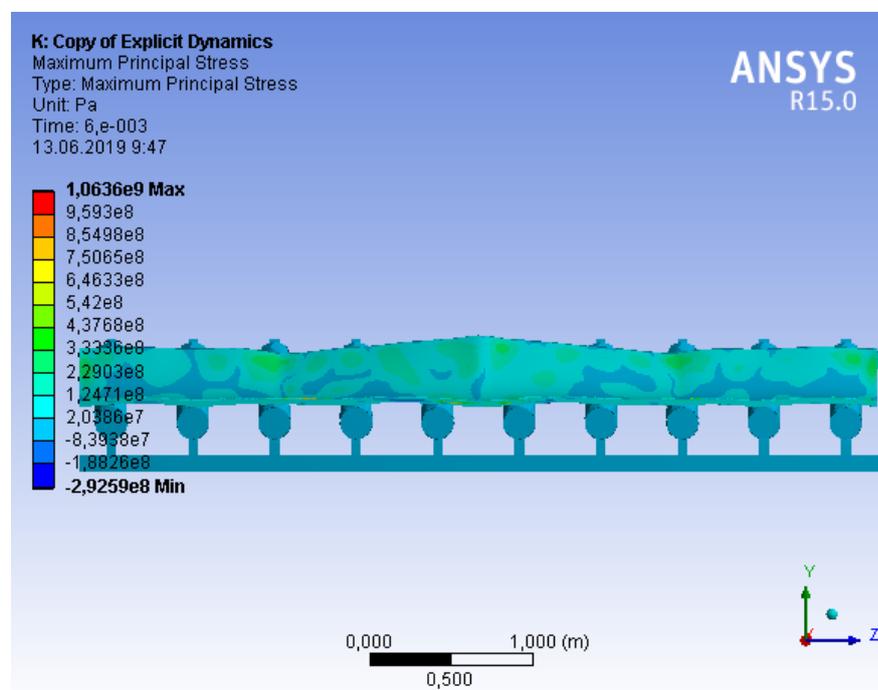
На верхней и нижней ветвях конвейера, оборудованных желобчатыми роликсопорами, под действием сосредоточенной силы, возникающей при перекося отдельной роликсопоры. На основании расчетов установлено, что смещения пренебрежимо малы по сравнению с отклонением. Таким образом, с достаточной для практических расчетов точностью можно считать, что относительные смещения ленты равны отклонениям роликсопоры (секции става) и не зависят от центрирующих свойств роликсопор.

Далее рассмотрим причины, вызываемые следующим децентрирующим факторам: отклонением става от оси конвейера (рис. 3.21)



**Рис. 3.21** Напряженное состояние конвейерной ленты при натяжении 50 кН, нагрузкой 15 кН, (отклонением става от оси конвейера)

Отклонение секции става от оси конвейера вызывает *децентрирующее* усилие. При движении по роlikоопорам става конвейерная лента под действием различных сил отклоняется в сторону от центрального положения оси конвейера – происходит боковой сход. (рис 3.22)



**Рис. 3.22** Напряженное состояние конвейерной ленты разрезанный вид с боку при натяжении 50 кН, нагрузкой 15 кН, (отклонением става от оси конвейера)

При этом образуются просипы груза, заштыбовка става и, как следствие, происходит интенсивный износ конвейерной ленты, уменьшая срок ее службы. Из-за трения ленты по стойкам става и ограждению возникает расслоение ее бортов, что приводит к уменьшению ширины ленты и необходимости снятия с эксплуатации. Уменьшение ширины ленты снижает производительность конвейера и увеличивает просыпь транспортируемого материала.

Как можно видеть (рис. 3.22) цветовая гамма (а значит и напряжения в ленте) меняются в разных местах по толщине, поперечному и продольному направлению ленты.

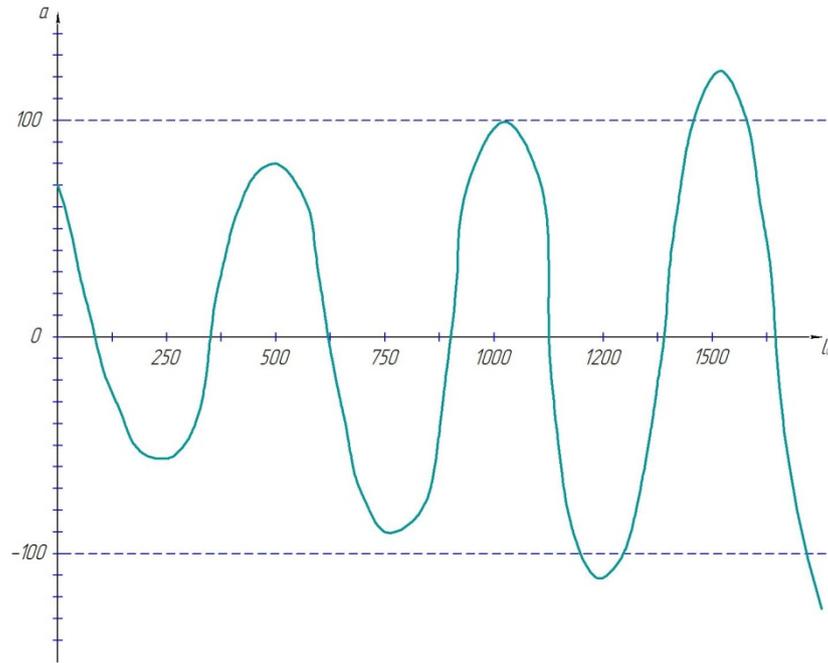
При монтаже става ленточного конвейера отклонение центра секции от оси конвейера не должно превышать 10 мм, а перекос секций става в плоскости, перпендикулярной оси конвейера, должен быть не более 10 мм на 1 м ширины става.

На рис.3.23 приведена зависимость возмущающей силы от угла наклона боковых роликов. С увеличением угла наклона боковых роликов до  $30^{\circ}$  возмущающая сила увеличивается до 2,8 кПа, после начинается уменьшение возмущающей силы.



**Рис. 3.23 Зависимость возмущающей силы от угла наклона боковых роликов**

На рис.3.24 приведена зависимость погрешности бокового схода ленты от шага роlikоопор, где увеличением шага роlikоопор погрешность бокового схода увеличивается. Установлено самое эффективное применение шага роlikоопор до 1,2 м. После этого погрешность бокового схода увеличивается.



**Рис.3.24 Зависимости погрешности бокового схода лент от шага роlikоопор**

**Таким образом с** увеличением угла наклона боковых роlikов до  $30^{\circ}$  возмущающая сила увеличивается до 2,8 кПа, после начинается уменьшение возмущающей силы. Установлено самое эффективное применение шага роlikоопор до 1,2 м. После этого погрешность бокового схода увеличивается.

## **Выводы:**

1. Одним из самых распространенных программных комплексов сегодня является программа ANSYS, использующая метод конечных элементов один из наиболее распространенных методов численного анализа инженерных задач, сущность которого заключается в представлении рассматриваемой сплошной среды в виде некоторого количества дискретных участков, в пределах которых основные параметры материала и поля сил распределены практически равномерно.
2. При построении модели поперечного смещений конвейерных лент использовались плоские изопараметрические конечные элементы, поддерживающие все виды деформирования.
3. Рациональный угол наклона боковых роликов, обеспечивающий максимальную восстанавливающую силу, равен  $30^\circ$ , жесткости системы с трехроликовыми опорами недостаточно для удержания ленты в допустимых пределах, то возможен, наклон внешних боковых концов роликов вперед по ходу движения на  $2\text{—}3^\circ$ .
4. С увеличением угла наклона боковых роликов до  $30^\circ$  возмущающая сила увеличивается до 2,8 кПа, после начинается уменьшение возмущающей силы. Установлено самое эффективное применение шага роликкоопор до 1,2 м. После этого погрешность бокового схода увеличивается.

## Заключение

1. Так, как ленты, выпускаемые из тканей EP, имеют низкое удлинение при рабочей нагрузке до 1,25 - 1,5 %, а ленты на арамидной основе всего 0,5% (вместо 3,5 % для тканей ТК), что исключает остановки ленточных конвейеров для перестыковки ленты, а также уменьшает длину хода натяжных устройств.

2. Современные резинотросовые конвейерные ленты могут иметь разрывную плотность до 10000 Н/мм ширины ленты, что позволяет существенно увеличить производительность и длину ленточных конвейеров;

3. Некоторые зарубежные фирмы разработали специальные типы трудновоспламеняемых обкладок для конвейерных лент, способных транспортировать материал при температуре + 400 °С, что значительно расширяет область применения ленточных конвейеров;

4. Краевые условия на барабанах лента не может поворачиваться относительно продольной оси: и на барабанах также отсутствует поперечное смещение: позволяют достаточно просто решать задачи, связанные с боковым сходом ленты на линейной части става на некотором удалении от конечных барабанов, т.е. на конвейерах значительной длины. Для составления более точных уравнений поперечных смещений ленты на границах ветвей конвейера следует учитывать центрирующие воздействия барабана на ленту, силы взаимодействия поверхности барабана с движущейся лентой, инерционные силы и т.д.

5. Для продления срока службы конвейерных лент и обеспечения более эффективной транспортировки материалов компания Sandvik предлагает серию самоцентрирующих устройств, позволяющих обеспечить правильное положение ленты при работе. Легко монтируемые самоцентрирующие устройства Sandvik варьируются от традиционных направляющих валов с боковой направляющей до малоинерционных активных самоцентрирующих роликов HR410.

6. Расстояние между центрирующими опорами оказывает более существенное влияние на сход ленты, движущейся по однороликовым опорам, чем по желобчатым.

7. На коэффициент сопротивления движению влияют различные конструктивные параметры конвейера как влияние угла наклона конвейера, влияние скорости движения ленты, влияние температуры окружающей среды, влияние диаметра роликов

8. Решение задачи об устойчивости ленты на роликовом ставе в течение всего периода торможения требует весьма громоздкого анализа волновых процессов, поэтому эти расчеты целесообразно производить с помощью вычислительной техники, особенно при сложном профиле трассы конвейера.

9. Одним из самых распространенных программных комплексов сегодня является программа ANSYS, использующая метод конечных элементов один из наиболее распространенных методов численного анализа инженерных задач, сущность которого заключается в представлении рассматриваемой сплошной среды в виде некоторого количества дискретных участков, в пределах которых основные параметры материала и поля сил распределены практически равномерно.

10. При построении модели поперечного смещений конвейерных лент использовались плоские изопараметрические конечные элементы, поддерживающие все виды деформирования.

11. Рациональный угол наклона боковых роликов, обеспечивающий максимальную восстанавливающую силу, равен  $30^\circ$ , жесткости системы с трехроликовыми опорами недостаточно для удержания ленты в допустимых пределах, то возможен, наклон внешних боковых концов роликов вперед по ходу движения на  $2\text{—}3^\circ$ .

12. С увеличением угла наклона боковых роликов до  $30^\circ$  возмущающая сила увеличивается до 2,8 кПа, после начинается уменьшение возмущающей

силы. Установлено самое эффективное применение шага роlikоопор до 1,2 м.  
После этого погрешность бокового схода увеличивается.

### Список использованных источников информации.

1. Атакулов Л.Н. Определение рациональных параметров переходного участка крутонаклонного конвейера с прижимной лентой//Ж. Горное оборудование и электромеханика №8 — М.: изд-во «Новые технологии», 2007. С.42-44.
2. Александров, М. П. Подъемно-транспортные машины : учеб. для машиностроит. спец. вузов. / М. П. Александров. - Москва : Высш. шк., 1985. - 520 с.
3. Анистратов Ю.И. Технологические процессы открытых горных работ: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению «Горное дело» специальности «Открытые горные работы». – 3-е изд., перераб. и доп. / Ю.И. Анистратов. – М.: Горное дело, 1995. – 350 с.
4. Биличенко, Н. Я. Экспериментальные исследования режимов запуска длинного ленточного конвейера с концевыми приводами / Н. Я. Биличенко, Н. Г. Куян // Развитие и совершенствование шахтного и карьерного трансп. - Москва : Недра, 1973. - С. 99-108.
5. Бритарев В.А. Горные машины и комплексы: учебное пособие для техникумов / В.А. Бритарев, В.Ф. Замышляев. – М.: Недра, 1984. – 288 с.
6. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. — М.: Физматгиз, 1958. — С. 408.
7. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах / Под общ. ред. Д.Г.Красковско-го. - М.: Компьютер пресс, 2002. - 224 с.
8. Взаимодействие движущейся конвейерной ленты с перекошенным роликом / В. К. Смирнов, Е. М. Высочин, В. Я. Пошивайло, Ф. Монастырский // Вопросы рудничного трансп. - Киев, 1972. - Вып. 12. - С. 32-45.
9. В.И. Галкин, В. Г. Дмитриев, В. П. Дьяченко, И. В. Запенин и Е. Е. Шешко Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий / Москва: изд.во «Горная книга» 2011 – 542 с.

10. Галкин В.И., Дмитриев В.Г., Дьяченко В.П., Запенин И.В., Шешко Е.Е. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий. — М.: Издательство МГГУ, 2005
11. Гончаревич И.Ф. Виброреология в горном деле. — М.: Наука, 1977.
12. Гринько, П. А. Барабан цилиндрико-криволинейный увшнутый / П. А. Гринько, О. М. Щеглов, Р. В. Суглобов // Настоящи изследвания и развитие 2012 : материали за VIII междунар. науч. практ. конф. (17.01-25.01.2012). - София, 2012. - Т. 20. - С. 24-26.
13. Дмитриев, В. Г. Анализ поперечного движения ленты на ставе конвейера / В. Г. Дмитриев // Шахтный и карьерный трансп. - 1974. - Вып. 102-109.
14. Дьяков В.А. Транспортные машины и комплексы открытых разработок: учебник для вузов / В.А. Дьяков. – М.: Недра, 1986. – 344 с.
15. Дмитриев В.Г., Реутов А.А. Исследование боковых смещений ленты порожняковой ветви конвейера, оборудованной центрирующими опорами // Изв. вузов. Горный журнал. — 1980. — № 11. — С. 43—47.
16. Д. Норри, Ж. де Фриз. Введение в метод конечных элементов. [перев.] А.Л. Урванцева Г.В. Демидова. Москва : МИР, 1981.
17. Зенкевич О., Чанг И. Метод конечных элементов в теории сооружений и в механике сплошных сред. М.: Мир, 1974. 239 с.
18. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. 541 с.
19. Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация. М.: Мир, 1986. 318 с.
20. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. 473 с.
21. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике. Москва : МИР, 1975.
22. Клебанов Я.М., Давыдов А.Н., Папировский В.Л. Использование программного комплекса ANSYS в учебном процессе (Самарский государственный технический университет) - Сайт cadfem.ru
23. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. - М.: Едиториал УРСС, 2003. - 272 с.
24. Качанов Л.М. Основы теории пластичности. М: Наука, 1969. 455 с.

25. Каплун, А. Б., Морозов, Е. М. и Олферьева, М. А. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. Москва : Едиториал УРСС, 2003.
26. К.А., Басов. ANSYS в примерах и задачах. Москва : КомпьютерПресс, 2002.
27. Л.Г. Шахмейстер, В.Г. Дмитриев и др. / Под. ред. А.О. Спиваковского. — М.: Недра, 1982.
28. Ленточные конвейеры в горной промышленности / В. А. Дьяков.
29. М. П. Покушалов // Горнорудные машины и автоматика. - Москва, 1967. - С. 58-63.
30. Митропольский Ю.А., Мосеенков Б.И. Асимптотические решения уравнений в частных производных. — Киев: Виша школа, 1976. — 592 с.
31. Морозов Е. М., Никишков Г. П. Метод конечных элементов в механике разрушения. М.: Наука, 1980. 254 с.
32. Математика и САПР: В 2-х кн. Пер. с франц. / П. Шенен, М. Коснар, И. Гардан и др. М.: Мир, 1988.
33. Метод конечных элементов и САПР: Пер. с франц. М.: Мир, 1989. 190с.
34. Наседкин А. В. Конечно-элементное моделирование на основе ANSYS / В сб.: ANSYS 5.5/ED (Московское представительство CAD-FEM GmbH), (Ansyseddingrussian/ Education/ Structural/ Beams&Shells, 1999).
35. Начертательная геометрия и инженерная графика. Задания и методические указания. / Сост. С. А. Сеницын. - М.: РГОТУПС, 1999. - 52 с.
36. Нагорний, Э. В. Дослідження розвитку транспортного обслуговування вантажовласників у транспортних вузлах / Э. В. Нагорний, А. М. Окороков, Г. І. Переста // Вюн. Дншро- петр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. - Дншропетровськ, 2011. - Вип. 38. 58-62.
37. ПРОГРАММА ANSYS (КРАТКИЙ КУРС) - ANSYS User's Manual for Revision 5.0.
38. Потапов М.Г. Карьерный транспорт. Учебник для вузов по специальности «Открытая разработка месторождений полезных ископаемых». – 4-е изд., перераб. и доп. / М.Г. Потапов. – М.: Недра, 1980. – 264 с.

39. Покушалов, М. П. Исследование и выбор способов центрирования конвейерных лент
40. Пат. 45062 Украина, МПК В 65 G 15/00. Барабан стрічкового конвеєра / Щеглов О. М., Суг- лобов В. В., Гринько П. А. (Украша) ; заявник та патентовласник Приазов. держ. техн. ун-т. - № и 200904862 ; заявл. 18.05.09 ; опубл. 26.10.09, Бюл. № 20. - 4с.
41. Расчеты и проектирование транспортных средств непрерывного действия / А. И. Барышев, В. А. Будишевский, Н. А. Склярков [и др.] Донецк : Норд-Пресс, 2005. - 736 с.
42. Старовойтов Э.И. Основы теории упругости, пластичности и вязкоупругости: Учебник для студентов строительных специальностей вузов. Гомель: БелГУТ, 2001. 244 с.
43. Сопротивление деформации и пластичность стали при высоких температурах / И.Я. Тарновский, А.А. Поздеев, В.С. Баакашвили и др. Тбилиси: Саб- чота Сакартвело, 1970. 222 с.
44. Сметанников О. Ю. Статический анализ уголкового кронштейна / В сб.: ANSYS 5.5/ED (Московское представительство CAD-FEM GmbH), (Ansys edding russian/ Education/ Structural/Bracket, 1999).
45. Сборник заданий для курсовых работ по теоретической механике / Под ред. А. А. Яблонского. М.: Высшая школа, 1985. 367 с.
46. Стренг К., Фикс Дж. Теория метода конечных элементов. М.: Мир, 1977. 349с.
47. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М.: Мир, 1979. 392 с.
48. Спиваковский А.О., Дмитриев В.Г. Теоретические основы расчета ленточных конвейеров. — М.: Наука, 1997.
49. Спиваковский, А. О. Транспортирующие машины / А. О. Спиваковский В. К. Дьячков. - Москва : Машиностроение, 1983. - 488 с.
50. Спиваковский, А. О. Теоретические основы расчета ленточных конвейеров / А. О. Спива- ковский, В. Г. Дмитриев. - Москва : Наука, 1977. - 152 с.

51. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий / В. И. Галкин, В. Г. Дмитриев, В. П. Дьяченко, И. В. Запенин. - Москва : Изд-во МГГУ, 2005. - 543 с.
52. Флетчер К. Численные методы на основе метода Галеркина. М.: Мир, 1988. 352 с.
53. Чигарев А.В., Кравчук А. С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров: Справ. пособие. - М.: Машиностроение-1, 2004. - 512с.
54. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows. М.: ДМК Пресс, 2001. 448с.
55. Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. Теория и расчет ленточных конвейеров. — М.: Машиностроение, 1987.
56. Шешко Е.Е. Горно-транспортные машины и оборудование для открытых работ: Учеб.пособие. М.: МГГУ, 2003. -260 с.
57. Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. Вероятностные методы расчета транспортирующих машин. — М.: Машиностроение, 1983. — С. 255.
58. Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. Теория и расчет ленточных конвейеров. — М.: Машиностроение, 1978. — С. 391.
59. Шахмейстер, Л. Г. Теория и расчет ленточных конвейеров / Л. Г. Шахмейстер, В. Г. Дмитриев. Москва : Машиностроение, 1987. - 336 с.
60. Шахмейстер Л.Г, Дмитриев В.Г. Теория и расчет ленточных конвейеров. — М.: Машиностроение, 1978.
61. Щеглов, О. М. Усовершенствованный привод ленточного конвейера / О. М. Щеглов, П. А. Гринько // Захист металургшних машин ввд поломок : м1жвуз. темат. зб. наук. пр. / При- азов. держ. техн. ун-т. - Мариуполь, 2009. - Вип. 11. - С. 172-175.
62. Электронная версия руководства к ANSYS.
63. Ю.А., Шиманский. Справочник по строительной механике корабля. Том 2. Ленинград : СУДПРОМ ГИЗ, 1958. — Справочник по строительной механике корабля. Ленинград : СУДПРОМ ГИЗ, 1958.
64. 015-94, Общероссийский классификатор единиц измерений ОК.

65. A Sample Static Analysis / В сб.: ANSYS 5.5/ED (Московское представительство CAD-FEM GmbH). HTML/GUIDE\_55/G-STR/2.6 A Sample Static Analysis, 1999.
66. ANSYS Basic Analysis Procedures Guide. ANSYS Release 5.6. ANSYS Inc., 1998.
67. Ibid. ANSYS Operation Guide.
68. Ibid. ANSYS Modeling and Meshing Guide.
69. Ibid. ANSYS Structural Analysis Guide.
70. Ibid. ANSYS Commands Reference.
71. Kokcharov I. 100 questions on finite element analysis for engineers. 2002. <http://www.kokch.kts.ru/me/m9/c1.htm>
72. Logan, Daryl L. A First Course in the Finite Element Method, SI Version, 5th Edition. М. : CL Engineering, 2011.
73. Moaveni, Saeed. Finite element analysis. Theory and application with ANSYS. New Jersey : PRENTICE HALL, 1999.
74. p-Method Structural Static Analysis. ANSYS 5.5/ED (Московское представительство CAD-FEM GmbH) // HTML, Guide\_55, G-str, Gstr13.htm. CAD-FEM, GmbH, 1996.
75. Release 11.0 Documentation for ANSYS. [В Интернете] <http://www.kxcad.net/ansys/ANSYS/ansyshelp/ansys.set.html>.
76. Seeler, K. A. System dynamics: an introduction for mechanical engineers / K. A. Seeler. - New York : Springer, 2014. - 667 p. doi: 10.1007/978-1-4614-9152-1.
77. Taylor, O.C. Zienkiewicz & R.L. The finite element method. Fifth edition. Volume 1: The basis. 2000 : М., Butterworth-Heinemann.
78. Vulfson, I. Dynamics of cyclic machines / I. Vulfson. - New York : Springer, 2015. - 390 p. doi: 10.1007/978-3-319-12634-0.
79. Walter D. Pilkey Formulas for stress, strain, and structural matrices. Second edition. М. : JOHN WILEY & SONS, INC., 2005.
80. Yijun Liu. Finite Element. 2001. <http://urbana.mie.uc.edu/yliu/FEM-525/FEM-525.htm>