Галкин, Владимир Иванович. Методы расчета и оценка показателей надежности ленточных конвейеров горных предприятий : диссертация ... доктора технических наук : 05.05.06.- Москва, 2000.- 421 с.: ил. РГБ ОД, 71 01-5/135-X

*На правах рукописи*

**ГАЛКИН Владимир Иванович**

**МЕТОДЫ РАСЧЁТА И ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЁЖНОСТИ  
ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Специальность 05.05.06. - "Горные машины"

Диссертация

на соискание учёной степени  
доктора технических наук

Научный консультант доктор технических наук профессор Дмитриев В.Г.

Москва 2000 г.

**Содержание**

**Стр.**

[**Введение 6**](#bookmark1)

[**Глава 1 Анализ современного состояния оценки показателей надёжности ленточных конвейеров горных предприятий 17**](#bookmark5)

1. Анализ условий эксплуатации ленточных конвейеров работающих

на горных предприятиях России 17

1. Критический анализ работ посвящённых проблеме оценки

показателей надёжности ленточных конвейеров горных предприятий 29

[**Выводы** и **постановка задачи исследования** 57](#bookmark35)

[**Г лава 2 Системная модель надёжности ленточного конвейера 60**](#bookmark34)

* 1. Постановка задачи исследования 60
  2. Описание изменения надёжности модели элемента ленточного

[конвейера 68](#bookmark37)

* 1. Влияние режимов эксплуатации и свойств элементов

ленточного конвейера на протекание в них надёжностных процессов 70

* 1. Описание надёжностных процессов в модели ленточного конвейера 72
  2. [Свойства ленточного конвейера, как технологического объекта 75](#bookmark46)
  3. [Системные показатели надёжности ленточного конвейера 78](#bookmark48)
  4. Вероятностная характеристика надёжностных процессов в

блоках элементов ленточного конвейера 94

* 1. Модель надёжности ленточного конвейера, как временной системы 111
  2. Приближённое определение показателей надёжности ленточного

конвейера на основе их предельных распределений 126

* 1. Модель надёжности ленточного конвейера, как системы с

[обратными связями 134](#bookmark78)

[**Выводы по главе** 139](#bookmark79)

**Глава 3 Оценка ресурса элементов конвейерной ленты и метод расчёта её показателей надёжности с учётом ремонтных работ 142**

1. Обоснование критерия работоспособности тканевых

[конвейерных лент 142](#bookmark596)

1. Структурная схема надёжности конвейерной ленты,

как иерархическая система с переменной структурой 152

1. Физический механизм ударно - усталостного разрушения

[каркаса тканевой конвейерной ленты 155](#bookmark99)

1. Экспериментальные исследования потока кускового груза

воздействующего на конвейерную ленту 155

1. Определение параметров отдельного очага ударного повреждения 165
2. Суммирование очагов повреждений в потенциально опасных

[сечениях конвейерной ленты 174](#bookmark148)

1. Физическая интерпретация механизма взаимодействия ударно -

усталостных повреждений конвейерной ленты 182

1. Определение статистических характеристик ударного

воздействия крупнокускового груза на конвейерную ленту 184

1. Физические механизмы разрушения стыковых соединений,

рабочей обкладки и бортов резинотканевой конвейерной ленты 195

1. Физический механизм разрушения вулканизированного стыкового

[соединения резинотканевой ленты 195](#bookmark254)

1. [Физический механизм изнашивания рабочей обкладки ленты 214](#bookmark286)
2. Физический механизм изнашивания бортов ленты. 218
   1. Структурно - параметрическая модель надёжности каркаса

конвейерной ленты при ударно - усталостном разрушении 220

* + 1. Вероятность безотказной работы каркаса ленты до первого отказа 220
    2. Показатели надёжности каркаса ленты в межремонтные

[периоды до первого капитального ремонта 228](#bookmark318)

* + 1. [Показатели надёжности каркаса ленты с учётом капитального ремонта 232](#bookmark317)
  1. Структурная модель надёжности стыковых соединений конвейерной

[ленты 241](#bookmark90)

* 1. Долговечность и коэффициент готовности конвейерной ленты с

[учётом ремонтных работ 243](#bookmark355)

[**Выводы по главе** 247](#bookmark360)

[**Глава 4 Надёжность става ленточного конвейера** 250](#bookmark361)

1. Структурная модель надёжности става ленточного конвейера

как распределённой системы 250

1. [Общая схема надёжности става ленточного конвейера 250](#bookmark363)
2. [Оценка запаса живучести конвейерного става 254](#bookmark366)
3. Оценка технических и оперативных коэффициентов готовности

распределённой системы роликоопор конвейерного става 263

1. [Определение надёжности роликов 271](#bookmark404)
2. Особенности условий работы уплотнительных узлов роликов

ленточных конвейеров в горной промышленности 271

1. Оценка факторов, определяющих пылепронецаемость

уплотнительного узла конвейерного ролика 273

1. [Определение надёжности уплотнений конвейерных роликов 287](#bookmark417)
2. Определение надёжности подшипников по критерию усталостного

разрушения 293

1. Абразивный и фрикционно - усталостный износ подшипников

конвейерных роликов 311

1. Надёжность обечаек роликов порожняковой ветви при абразивном

изнашивании 319

1. Надёжность шарнирных соединений роликоопор ленточного

[конвейера 337](#bookmark547)

[4.3 Оценка среднего ресурса роликоопор ленточного конвейера по параметрам распределений ресурсов их элементов 357](#bookmark571)

[**Выводы по главе** 370](#bookmark592)

[**Выводы по работе** 373](#bookmark593)

[**Список литературы** 376](#bookmark594)

**Приложение 1** 387

**Приложение 2** 401

**ВВЕДЕНИЕ**

Одним из наиболее эффективных и высокопроизводительных видов конвейерного транспорта являются ленточные конвейеры. За последнее десятилетие, в связи со всё возрастающими потребностями промышленности, параметры ленточных конвейеров существенно изменились. Так, производительность конвейеров достигла 32000 т/час, при ширине ленты - 3000 мм (рассматриваются проекты конвейеров с шириной ленты - 4000 мм) и скорости - 6-8 м/с, суммарная мощность двигателей привода составляет 12000 кВт, длина конвейера в одном ставе возросла до 13 км. Наряду с изменением параметров существенно изменилась и география применения ленточных конвейеров. В настоящее время они применяются как в условиях пустынь, где температура поднимается до +60 градусов С, та к и в условиях

Крайнего Севера, когда температура опускается ниже — 40°С.

Ленточные конвейеры все более широко используются в различных отраслях промышленности, в частности, в угольной. Среди основных факторов, определяющих эффективность проводимой, в настоящее время, на угольных шахтах, концентрации горных работ, необходимо указать на широкое применение на горизонтальных и наклонных выработках ленточных конвейеров, которое обеспечивает снижение трудоемкости, повышение надежности и пропускной способности подземного транспорта.

Создание высокопроизводительных добычных машин, комплексных агрегатов и комбайнов позволяет повысить нагрузки на очистной забой, увеличить скорость их продвигания, сконцентрировать горные работы за счет увеличения размеров шахтных и выемочных полей, что создает благоприятные условия для применения конвейерного транспорта.

Применение прогрессивных систем разработки пластов длинными столбами по простиранию, позволяет значительно уменьшить искривленность, в плане транспортных выработок.

По мере разработки месторождений, происходит углубление горных работ, поэтому на новых и реконструируемых шахтах с поточной технологией, все чаще применяются наклонные стволы, в которых устанавливают ленточные конвейеры.

В настоящее время в России выпускаются типажные ленточные конвейеры производительностью от 300 до 1500 т/ч, имеющие длину от 550 до 3000 м, что позволяет обеспечить конвейерным транспортом практически любые прямолинейные, в плане выработки, шахты.

На основании исследований установлено, что при подземной разработке угольных месторождений областью применения ленточных конвейеров являются горизонтальные и пологие пласты средней мощности падения до

18°, на рудных шахтах значительной производительности - наклонные стволы, на которые руда поступает после дробления.

На открытых разработках ленточные конвейеры применяются в составе роторных комплексов, или, в качестве магистральных наклонных подъемников из карьера. Частичная конвейеризация на рудных карьерах при циклично-поточной технологии повышает эффективность и снижает затраты на транспортирование горной массы.

При применении непрерывного транспорта на открытых разработках постоянно возрастает объем перевозок горной массы конвейерным транспортом (в основном, ленточными конвейерами), и на карьерах некоторых зарубежных стран (Германия, Польша), достигает 50% и более. В нашей стране доля перевозок, осуществляемых конвейерным транспортом, пока незначительна, однако, в проектах новых угольных и рудных карьеров - все чаще предусматривается применение конвейерного транспорта.

Для открытых горных работ, в настоящее время и в будущем, характерны крупные масштабы работ при преимущественной разработке месторождений с большими запасами полезных ископаемых, в отдельных случаях, достигающие 300 млн. т горной массы в год; значительная мощность вскрыши, особенно на вновь вводимых в эксплуатацию месторождениях, где она может достигать 180-200 м и более, а коэффициент вскрыши - до 4-6 т/ч, большая глубина разработки - до 700 м и более, увеличение расстояния транспортирования, вызываемое ростом глубины разработки, которые для некоторых видов транспорта (например, железнодорожного), может составлять 20-25 км; значительная стесненность, сложная конфигурация разрабатываемых горизонтов, сокращение размеров карьерного поля в плане, уменьшение ширины откаточных берм по мере достижения карьерами большой глубины; увеличение объемов разрабатываемых скальных пород и крепких руд, процент которых, в частности, по рудным месторождениям достигает - 80-85% [80, 94].

На горнорудных карьерах страны, глубина которых, как правило, более 500 м применение цикличных видов транспорта также ограничено глубиной карьера (автомобильный транспорт-до 100ч-150 м, железнодорожный до 2004-250 м); при большей глубине карьеров применение этих видов транспорта становится экономически нецелесообразна.

Характерными особенностями циклично-поточной технологии (ЦТП), широко применяемая в настоящее время, по сравнению с цикличной являются: высокая концентрация горных работ на небольшом фронте; интенсификация технологического процесса за счёт устранения перерывов между отдельными операциями и увеличение темпа работ, задаваемого конвейером; непрерывное перемещение больших объёмов горной массы из карьера; возможность автоматизации управления всеми работающими в цепи машинами и механизмами; повышение производительности труда в 24-3 раза и производительности экскаваторов на 2 5 4-50%; увеличение экономически целесообразной глубины открытых горных работ до 5204-700 м и более; сокращение числа автосамосвалов в карьере и улучшение показателей их использования за счет уменьшения расстояния транспортирования; упрощение организации работ в карьере; снижение капитальных вложений и эксплуатационных расходов на строительство карьеров и разработку месторождений [72].

Основным звеном ЦПТ является конвейерный транспорт, поэтому схема разработки нового месторождения или схема перевода действующего карьера на ЦПТ, должна отвечать требованиям, обеспечивающим максимально благоприятные условия для использования конвейерного транспорта.

Опыт применения конвейеров на открытых разработках широко освещен в отечественной литературе [72, 92 и др.].

Основное направление развития горных работ на карьерах нерудных строительных материалов, также связано с конвейеризацией доставки вскрыши, полезных ископаемых, отходов, концентрацией грузопотоков; поточная технология горных работ с использованием конвейерного транспорта позволяет поднять в отрасли производительность труда втрое. Опыт эксплуатации показал, что конвейерный транспорт (ленточные конвейеры), целесообразно применять в карьерах этой отрасли, при объеме перевозок горной массы 1.5-г2 мин.м /год и длине транспортирования - 3-ь4 км [98].

Выше отмечалось, что параметры ленточных конвейеров и их оснащения существенно изменились. Современный ленточный конвейер является сложной и дорогой установкой, поэтому необходимо, как можно глубже исследовать основные физические процессы, сопровождающие работу конвейера и его основных элементов, с тем, чтобы разработать на их основе научно обоснованные методы расчета, максимально реализующие технические возможности конвейера за счет эффективного использования мероприятий влияющих на надежность работы элементов ленточных конвейеров. Эти исследования требуют и более сложного теоретического описания процессов, поэтому усложнение и детализация расчетов параметров надежности элементов конвейера, является объективным процессом, который существует в настоящее время и будет происходить в дальнейшем.

В работе [70] отмечается, что среднее число простоев роторных комплексов на ряде карьеров КМА-2 показали, что нецентральное движение ленты вызвало около 35% простоев. В работе [74] приводятся данные о затратах времени на уборку просыпей: так на комплекс КГТО-2, тратится ежегодно 180-200 машино-смен м вручную 200-300 человеко-смен, на комплексе «Лаухаммер» - 1200-1300 человеко-смен.

Обширные статистические данные по особенностям эксплуатации ленточных конвейеров в подземных условиях приведены в работе [106]. Отмечается, что одним из основных факторов, влияющих на срок службы ленты, является расслоение бортов, возникающее вследствие контактов ленты со стойками става; приводится экспериментальная зависимость срока службы ленты от количества контактов бортов со стойками.

В работе [40] приведены результаты экспериментальных исследований скорости пучения почвы выработок шахт и трудозатрат, связанных с выставлением става. Установлено, что при наиболее интенсивном пучении почв, периодичность выставления става конвейеров напочвенной конструкции, равна 24ч-40 суток, у конвейеров с подвеской става к кровле - в 8-г 12 раз больше. Трудозатраты повторного выставления става составляют 60 человеко-часов на 1000 м става. Как видим, необходимость повторных выставлений става весьма частая, а трудоемкость этой работы достаточно высокая. Так, например, при эксплуатации конвейера длиной 1000 м, в течение 1 года, необходимо около 12 раз выставить став, на что непроизводительно затрачивается около 700 человеко-часов.

Современные ленточные конвейеры по производительности способны обеспечить самые крупные шахты и карьеры страны. Однако, конвейеры традиционной конструкции (с жестким ставом и жестко установленными роликоопорами), пригодны лишь для транспортирования мягких и полускальных мелкокусковых грузов и не способны эффективно транспортировать кусковую скальную горную массу с кусками, размером более 350 мм. Основной причиной невысокой эффективности является

малый срок службы ленты: так, например, при крупности руды до 350 мм, срок службы резинотканевой синтетической ленты составляет 8-9 месяцев, тогда как по ГОСТ 20-76, он должен составлять в среднем - 16-18 месяцев. Невысоким оказывается и срок службы, особенно в местах загрузки, роликов конвейеров традиционной конструкции.

Более эффективной и надёжной конструкцией ленточного конвейера, позволяющей транспортировать как мелкокусковые, так и рядовые кусковые грузы, с включениями от 300 до 500 мм являются ленточные конвейеры с подвесными роликоопорами.

На необходимость более широкого применения ленточных конвейеров подобной конструкции, при перемещении рядовых кусковых грузов, обращалось внимание в работах [88, 89, 90, 91]. В этих работах перечислены достоинства и недостатки ленточных конвейеров этой конструкции, указаны направления развития и совершенствования.

Значительные научные исследования и проектно-конструкторские проработки по применению ленточных конвейеров с подвесными роликоопорами выполнены в институтах УкрНИИПроект, ИГТМ АН Украины, ВНИИПТМаш, Донгипроуглемаш, Московский государственный горный университет, Мариупольский машзавод и других организациях. На основании этих исследований разработаны и реализованы проекты, в которых применены ленточные конвейеры с подвесными роликоопорами. Например, для транспортирования угля от Канско-Ачинского разреза до теплоэлектростанции, институтом ВНИИПТМАШ спроектирована конвейерная система, длиной около 15 км, состоящая из 2-х паралельных линий, оснащенных лентой шириной 2000 мм и подвесными роликоопорами на грузовой и порожняковой ветвях.

Накопленный опыт эксплуатации конвейеров подобной конструкции в СНГ и за рубежом, говорит о том, что этот конвейер является наиболее прогрессивной, отвечающей современным требованиям качества и высоких технико-экономических показателей конструкцией.







Надёжность же конвейеров является одним из важнейших его свойств, определяющих как технико-экономические показатели транспорта, так и экономические показатели горного предприятия.

Так невозможность точного расчёта показателей надёжности конвейеров приводит к необходимости увеличивать его пропускную способность за счёт увеличения ширины ленты (что удорожает стоимость установки), а в некоторых случаях для конвейерных линий и применять дублирование, что приводит практически к двухкратному удорожанию проекта.

Отсутствие научно обоснованных методов расчёта показателей надёжности не позволяет решать и технические проблемы, связанные с усовершенствованием узлов ленточных конвейеров. Весьма важны показателем надёжности узлов конвейера и при определении объёмов запасного оборудования, разработки системы технического обслуживания и ремонта.

Во многих нормативных документах рекомендуется только одна характеристика надёжности конвейера-стационарный коэффициент готовности *Кг* =0,96, причём не указаны ни условия эксплуатации, ни

климатические условия, ни виды технического обслуживания и ремонта. Опыт эксплуатации показывает, что данное значение является , как правило, весьма завышенным и его применение в расчётах может привести к существенным ошибкам.

Таким образом, проблема надёжности ленточных конвейеров является актуальной и важной для транспорта горных предприятий.

На основании выполненных обобщений сформулирована **цель работы** которая заключается в развитии теории расчёта основных показателей надёжности ленточного конвейера, необходимых при проектировании

отдельных конвейеров, транспортных комплексов и систем.

**Идея работы:** основой методов расчёта показателей надёжности ленточных конвейеров различного назначения являются модели функционирования основных узлов ленточного конвейера и конвейера в целом, учитывающие условия эксплуатации, систему технического обслуживания и режимы их работы на горных предприятиях.

**Основные научные положения, выносимые на защиту:**

* математическая модель надёжности ленточного конвейера, учитывающая процессы изменения загруженности и работоспособности конвейера во времени с помощью интегро-дифференциальных уравнений теории восстановления и описывающая взаимодействие этих процессов средствами математической логики;
* структурно-параметрическая модель надёжности резинотканевой конвейерной ленты, основанная на едином введённом критерии её предельного состояния при различных видах разрушения и представленная в виде иерархической многоуровневой системы с переменной структурой, уровни которой отражают структуру ремонтных циклов ленты; модель включает блоки отражающие ударно-усталостное разрушение и ремонт каркаса, учитывает абразивное изнашивание рабочей обкладки и её ремонт, усталостное разрушение стыковых соединений и их восстановление, разрушение и ремонт бортов ленты и учитывает влияние масштабного фактора, связанного с изменением конструктивных размеров элементов ленты;
* структурная модель надёжности става ленточного конвейера как системы с структурной избыточностью, которая определяет его запас живучести, основанная на принятой в теории надёжности модели пуассоновских потоков;
* метод расчёта надёжности роликоопоры ленточного конвейера, учитывающий параметрические отказы узлов уплотнения, подшипников, обечаек (футеровки) роликов и шарнирных соединений, основанный на обобщении экспериментальных данных о физико-механических процессах изнашивания деталей машин и описывающий надёжность основных её элементов единым законом распределения Бирнбаума-Саундерса.

**Обоснованность и достоверность научных положений, методология и методы исследования.**

Методологическую основу работы составляет единый подход к разработке моделей надёжности отдельных элементов ленточного конвейера и машины в целом и методов расчёта показателей их надёжности.

Теоретические исследования базируются на основных положениях теории надёжности и восстановления, математической логике, теории упругости, математическом анализе, теории импульсных случайных процессов.

Экспериментальные исследования основаны на статистической обработке экспериментальных данных и на фото- и киносъёмке объектов исследования в промышленных условиях.

**Научная новизна:**

1. получены аналитические зависимости в виде системы интегро- дифференциальных уравнений теории восстановления для расчёта показателей надёжности ленточного конвейера в зависимости от показателей надёжности его элементов;
2. на основе теории предельных вероятностных распределений получена зависимость коэффициента готовности ленточного конвейера от коэффициентов готовности его элементов, режима использования конвейера во времени, статистических характеристик поступающего грузопотока и принятой системы технического обслуживания и ремонта;
3. предложен критерий предельного состояния резинотканевой конвейерной ленты при оценке её ресурса и определены показатели надёжности ленты при различных физических механизмах разрушения её элементов с учётом всех видов ремонта;
4. экспериментальными исследованиями в производственных условиях доказано, что воздействующие на конвейерную ленту потоки кусков груза различных фракций являются стационарными, ординарными и не имеющими последействия потоками, а следовательно, пуассоновскими;
5. сформулирована и решена задача по оценке ресурса ролика конвейера как сложного механического элемента для чего: оценён ресурс подшипников конвейерных роликов при ударно-усталостном, абразивно-усталостном и фрикционно-усталостном разрушении под действием ударных нагрузок, в условиях абразивной и влажной среды; установлены зависимости износа обечаек роликов порожняковой ветви от физико-механических свойств ленты и конструктивных параметров конвейера;
6. получена эмпирико-теоретичесеская зависимость для показателей надёжности шарнирных узлов подвесных роликоопор, учитывающая случайные колебания грузопотока и боковые смещения ленты;
7. предложен метод расчёта и получены оценки для показателей надёжности става конвейера, определяемые конструкцией роликоопор и роликов, а также режимом эксплуатации и принятой системой технического обслуживания.

**Научное значение работы** состоит в разработке: математических моделей надёжности основных элементов конвейера и конвейера в целом, учитывающих условия эксплуатации, режимы их работы на горных предприятиях и систему технического обслуживания, а также методов расчёта основных показателей надёжности элементов конвейера: (роликов, роликоопор, става, резинотканевой ленты и конвейера в целом); **Практическое значение работы** заключается в разработке:

1. методики расчёта показателей надёжности ленточного конвейера и его элементов, учитывающей условия эксплуатации конвейера

на горных предприятиях и систему технического обслуживания;

1. методики расчёта показателей надёжности резинотканевой ленты, учитывающей основные виды её повреждений на горных предприятиях, систему технического обслуживания и ремонта;
2. методики расчёта надёжности става конвейера, учитывающей тип става, конструкцию роликоопор, роликов, уплотнительного узла и тип транспортируемого груза;

**Реализация результатов работы.**

Методика определения коэффициента готовности става ленточного конвейера использована институтом НИИТуглемаш Минтопэнерго России и энергетики в качестве рабочих методических материалов (г. Москва, 1999 г.).

Методика определения нестационарного коэффициента готовности резинотканевой конвейерной ленты использована ОАО "РТИ КАУЧУК" в качестве методических материалов для расчета (г. Москва, 2000 г.).

Методика определения нестационарного коэффициента готовности резинотканевой конвейерной ленты использована АО НИИРП в качестве рабочих программно-методических материалов (г. Сергиев-Посад, 2000 г.).

Методика определения коэффициента готовности става ленточного конвейера, и методика определения нестационарного коэффициента готовности резинотканевой конвейерной ленты использована институтом ВНИИПТМАШ в качестве рабочих программно-методических материалов (г. Москва, 2000 г.).

Методика определения коэффициента готовности става ленточного конвейера использованы ОАО "Союзпроммеханизация" в качестве рабочих программно-методических материалов (г. Москва, 2000 г.).

Методика определения коэффициентов готовности элементов ленточного конвейера (резинотканевой ленты, става) приняты институтом "КузбассГИПРОШАХТ" в качестве рабочих программно-методических материалов (г. Кемерово, 2000 г.).

Методика определения нестационарного коэффициента готовности конвейерной ленты принята ОАО "Боровичский завод "Полимермаш"" в качестве методических материалов по стыковке лент (г. Боровичи ,2000 г.)

**Выводы по работе**

Научное обобщение теоретических и экспериментальных исследований, выполненное в диссертационной работе, является решением научной проблемы разработки методов расчёта основных показателей надёжности ленточных конвейеров и имеет важное народно - хозяйственное значение для горного машиностроения.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие основные выводы и обобщения:

1. Разработанная математическая модель надёжности ленточного конвейера, позволяет учитывать надёжностные процессы изменения работоспособности конвейера и элементов во времени с помощью интегро- дифференциальных уравнений теории восстановления и описание их взаимодействия при помощи алгебры логики.

Модель надёжности конвейера, реализованная в виде набора разработанных для этой цели элементарных типовых блоков, позволила: получить аналитические зависимости для расчёта показателей надёжности основных элементов конвейера; проанализировать показатели надёжности при конкретном временном режиме его использования с учётом случайного характера транспортируемого грузопотока и принятой системы обслуживания и ремонта;

1. Разработана модель надёжности резинотканевой конвейерной ленты, основанная на сформулированном в работе отказа, в качестве которого принят критерий достижения лентой предельного состояния в виде снижения её агрегатной прочности в продольном направлении до установленного значения.
2. Модель надёжности резинотканевой конвейерной ленты, учитывает накопления повреждений в ленте при различных видах её разрушения: ударно-усталостном разрушении каркаса, абразивном изнашивании рабочей обкладки и разрушением бортов и стыковых соединений.
3. Воздействующие на конвейерную ленту потоки кусков различных фракций являются стационарными, ординарными и не имеющими последействия. Получена интегральная мера ударно-усталостного разрушения каркаса ленты. Разработан метод расчёта ресурса стыкового соединения резинотканевой конвейерной ленты на основе предложенной модели ползучести.
4. Модель надёжности конвейерной ленты в виде иерархической системы с переменной структурой позволяет учитывать при определении её основных показателей надёжности влияние гранулометрического состава транспортируемого груза, геометрических и физических характеристик кусков груза, конструктивных параметров ленты и её элементов, физико­механических свойств материала ленты, конструктивных параметров става конвейера и его элементов, загрузочного устройства, натяжения, скорости движения и длины ленты, принятого запаса прочности ленты при продольном растяжении, способе её стыковки, климатических и технологических условий эксплуатации, системы технического обслуживания ленты.
5. Разработана модель надёжности става ленточного конвейера, представляющая собой систему из трёх последовательно включённых в смысле надёжности блоков: роликоопор грузовой ветви, роликоопор порожняковой ветви и мест загрузки, и обладающая структурной избыточностью, которая определяет запас живучести става. Распределение наработки между отказами каждого блока става описано законом Эрланга, для определения которого достаточно найти среднее время безотказной работы одной роликоопоры. Определены показатели надёжности роликоопор соответствующих блоков.
6. Разработана модель надёжности ролика, определяемая надёжностью уплотнительных узлов, подшипников и обечайки (футеровки). Определена вероятность безотказной работы уплотнительного узла по критерию достижения частицами загрязнений подшипника ролика в зависимости от типа и конструктивных размеров элементов уплотнения, радиальной и осевой игры в подшипниках ролика, отклонений размеров и формы деталей уплотнения, скорости вращения роликов, уровня запылённости внешней среды и гранулометрического состава частиц пыли.
7. Распределение вероятности безотказной работы подшипника по критерию усталостного разрушения, определяется случайными колебаниями нагрузки на него, в том числе ударными и описано законом Бирнбаума- Саундерса. Этим же законом описано распределение вероятности безотказной работы по критериям абразивно-усталостного и фрикционно­усталостного изнашивания подшипника под воздействием абразивной и влажной среды в зависимости от условий эксплуатации.
8. Введено понятие отказа обечайки и установлены зависимости для расчёта её надёжности, а также футеровки роликов порожняковой ветви на основе теории упругого взаимодействия ленты с роликом и теории поперечного движения ленты по ставу; получено аналитическое выражение для расчёта величины износа обечаек роликов в зависимости от конструктивных параметров конвейера, скорости движения и физико-механических характеристик ленты и сопротивления вращению роликов.

Ю.Сформулировано понятие отказа шарнирного соединения подвесной роликоопоры. Для модели изнашивания пальца и втулки соединения получено выражение для вероятности безотказной работы шарнира роликоопоры в зависимости от конструктивных размеров его деталей и марки сталей, конструкции роликоопоры конвейера, жесткости подвески, колебаний грузопотока, поперечных смещений ленты, уровня запылённости окружающей среды.

1. Для применяемых в работе моделей надёжности ролика и роликоопоры, при полученном распределении вероятности безотказной работы элементов роликоопоры по закону Бирнбаума-Саундерса, получена величина среднего ресурса ролика и роликоопоры по известным параметрам распределений наработки их элементов. Получены оценки надёжности соответствующих блоков става и става конвейера в целом.
2. Разработана методика расчёта показателей надежности резинотканевой конвейерной ленты, конвейерного става и конвейера в целом.
3. Предложенные методики по расчёту надёжности става конвейера и резинотканевых конвейерных лент, используются институтами "НИИТуглемаш", АО "НИИРП", "ВНИИПТМАНГ, ОАО "Союзпроммеха- низация", "КузбассГИПРШАХТ", а также на заводах: ОАО "КАУЧУК" и

ОАО "Боровичский завод "Полимермаш"" позволяют осуществлять

объективную оценку надёжности работы как конвейера в целом, так и

основных его элементов и получить значительный экономический эффект.