

М402640

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э. Баумана

На правах рукописи

ЗУЕВ Вячеслав Александрович

УДК 621.867.2

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЗОК НА РОЛИКИ ОПОР
ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ
СЫПУЧИХ ГРУЗОВ

Специальность 05.05.05 - Подъемно-транспортные машины

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Московском высшем техническом училище
им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель - кандидат технических наук
доцент Колобов Л.Н.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Л.М.Алотин,
кандидат технических наук, доцент В.А.Евграфов.

Ведущее предприятие - ГИИИ "Союзпроммеханизация".

Защита состоится "21" февраля 1983г.
на заседании специализированного совета К053.15.10 по
транспортному машиностроению
адресу: 107005, г.Москва

Ваши отзывы в 2-х экз
просьба высылать по указ

С диссертацией можн
МВТУ им.Н.Э.Баумана.

Автореферат разосл

Ученый секретарь
специализированного
канд.техн.наук,
доцент

М 402640

Актуальность проблемы. В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981-1985 годы и на период до 1990 года особое внимание уделяется осуществлению комплексной механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных, транспортных и складских работ. В частности одним из направлений комплексной механизации и автоматизации добычи полезных ископаемых и вскрышных работ является создание и внедрение прогрессивных поточных видов-транспорта. В связи с этим большое значение приобретает совершенствование ленточных конвейеров. Несмотря на наличие значительного опыта в области конструирования и исследования работы ленточных конвейеров, а также изучения характеристик транспортируемого груза и грузопотоков, проблема создания уточненных методик расчета и выбора основных параметров и элементов конструкции конвейера решена недостаточно. Такие вопросы, как определение нагрузок на ролики ленточных конвейеров при транспортировании различных насыпных грузов, размещенных к тому же неравномерно, влияние технологических погрешностей изготовления роликов (эксцентриситета) на величины этих нагрузок требуют дополнительного исследования и представляют практический интерес. Это связано с тем, что величина действующей нагрузки является одним из главных факторов, положенных в основу существующих методик выбора типоразмеров роликов по ГОСТ 22645-77 или из унифицированного ряда, разработанного и внедренного ГПКИ "Совз-проммеханизация". Неверная оценка величин этих нагрузок приводит к неправильному выбору типоразмера ролика с долговечностью, не соответствующей фактическим условиям работы, что повлечет за собой преждевременный выход из строя и огромные материальные потери, так как ролики опор являются самым массовым элементом ленточного конвейера, выпуск которых в нашей стране составляет миллионы штук в год.

Цель исследования. Научно обоснованный выбор типоразмеров роликов применительно к конкретным условиям работы путем совершенствования методов расчета нагрузок, действующих на ролики опор линейных секций магистральных ленточных конвейеров, при транспортировании сыпучих грузов, в том числе и крупнокусковых, размещенных на ленте случайным образом. Установление областей применения типоразмеров роликов с учетом эксцентриситета.

I

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1402640

Зуев В.А. Исследование нагру



Методы исследования. В работе использованы аналитические методы теорий вероятностей, случайных процессов и колебаний: Галеркина и многих масштабов (МММ). Экспериментальные исследования выполнены с применением тензометрической и виброизмерительной аппаратуры. Обработка экспериментов по определению статистических характеристик погонной нагрузки, нагрузки на опору, математической модели размещения груза на ленте проведена на ЭВМ.

Научная новизна. В работе исследовано движение ленты конвейера в продольной вертикальной плоскости при случайном размещении груза. Установлены количественные зависимости между статистическими характеристиками погонной нагрузки и характеристики нагрузки на опору. Впервые получены выражения для коэффициента динамичности в зависимости от параметров конвейера и статистических характеристик транспортируемого груза в развернутой и упрощенной формах. Для случаев транспортирования сыпучих грузов, погонную нагрузку от которых можно считать постоянной, изучено движение ленты и получены формулы для расчета нагрузок на опору при наличии эксцентриситетов у роликов и барабанов. Получено выражение для нахождения ширины резонансной зоны параметрических колебаний из-за вращения барабана с эксцентриситетом, в зависимости от параметров конвейера и груза. Установлены области применения типоразмеров роликов.

Практическая ценность. Исследовано влияние динамических процессов на нагрузки, воспринимаемые роликовыми опорами, и получены выражения для их расчета, с учетом параметров конвейера, эксцентриситетов роликовых опор, случайного размещения груза на ленте. В инженерной методике расчета предложено использовать коэффициенты динамичности, позволяющие определить нагрузки на опоры для конкретных условий работы. Это дает возможность осуществить научно обоснованный выбор ролика с нужной долговечностью. Представлены конкретные рекомендации по использованию типоразмеров роликов. Разработаны конструкции роликовой опоры, устройств для исследования динамических нагрузок на роликовые опоры ленточных конвейеров. Разработана методика математического моделирования размещения груза на ленте и изучены статистические характеристики модели на ЭВМ.

Реализация результатов работы. Результаты диссертационной работы в виде рекомендаций по использованию типоразмеров роликов,

формул расчета коэффициента динамичности приняты для реализации при проектировании и расчетах ленточных конвейеров в ГПИ "Союзпроммеханизация". Методика математического моделирования размещения груза на ленте и изучения статистических характеристик модели используется в учебном процессе на кафедре ПТМ МВТУ им. Н.Э. Баумана.

Апробация работы. Материалы диссертации доложены и обсуждены на научно-техническом семинаре кафедры подъемно-транспортных машин и оборудования МВТУ им. Н.Э. Баумана, на конференциях молодых ученых и специалистов МВТУ им. Н.Э. Баумана (1978, 1980 гг.), на всесоюзной научно-технической конференции "Проблемы повышения надежности и долговечности и совершенствования методов эксплуатации подъемно-транспортной техники" (Москва, 1981 г.), на научно-техническом совете ГПИ "Союзпроммеханизация" (1982 г.).

Публикации. Основное содержание диссертации изложено в 9-ти печатных работах. По материалам диссертации получено 3 авторских свидетельства.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 4-х глав, выводов, приложения, списка литературы, включающего 136 наименований, 146 страниц машинописного текста, 65 рисунков, 5 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность рассматриваемых задач, формулируется цель исследования.

В первой главе изложено состояние вопроса по определению нагрузок на опорные элементы ленточных конвейеров. Обзор научных трудов проведен по трем направлениям: 1) по исследованию нагрузок, действующих на ролики опор, при транспортировании кускового материала; 2) по исследованию статистических характеристик грузопотоков и описанию гранулометрического состава грузов; 3) по исследованию законов движения ленты конвейера.

Рассмотрены результаты исследований советских и зарубежных ученых В.С. Бондарева, В.Г. Дмитриева, А.В. Коваля, В.И. Галкина, Г.В. Приседского, Г.И. Пурахина, Л.М. Алотина, Л.Г. Шахмеева, С.А. Пенкратова, В.А. Светлицкого, П.М. Кондрахина, В.К. Дьячкова, Б.Д. Семенова, И. Бара, С. Сашке, К. Вернера, Х. Оймана, Д. Файта и др.

Отмечено, что к настоящему времени хорошо изучены нагрузки от соударения единичного куска груза с опорой, гранулометрический состав транспортируемого груза, грузопотоки, реализуемые ленточными конвейерами, а также рассмотрен ряд задач о движении ленты с постоянной погонной нагрузкой. Однако, вопросы определения нагрузок на опору при движении ленты со случайной погонной нагрузкой, влияния на величины нагрузок эксцентриситетов роликов опор и барабанов требуют дополнительного исследования.

В заключении главы проведено обобщение результатов анализа и сформулированы основные задачи, решаемые в диссертации:

1. Исследование движения ленты конвейера с учетом случайного размещения кускового груза и возможного наличия эксцентриситета у барабанов и роликов при установившемся режиме работы конвейера.

2. Разработка аналитических методов расчета действующих нагрузок на ролики рядовых опор с учетом характера движения ленты при произвольном распределении груза.

3. Экспериментальное исследование действующих нагрузок в зависимости от эксцентриситетов роликов опор, гранулометрического состава и случайного размещения груза на ленте конвейера.

4. Разработка конструкций роликовых опор, обеспечивающих надежную работу конвейера и улучшению условий работы существующих опор.

5. Определение коэффициента динамичности в зависимости от параметров конвейера и груза при его произвольном распределении на ленте.

Во второй главе приведены теоретические исследования по установлению законов движения ленты и определению нагрузок на опоры.

В работе приняты следующие допущения: колебания ленты рассматриваются в одном пролете; лента не воспринимает изгибных напряжений, а ее упругие удлинения подчиняются закону Гука; боковое смещение не учитывается; натяжение ленты в пределах одного пролета не изменяется; груз не имеет движения относительно ленты.

Согласно расчетной схеме лента конвейера рассматривается как упругая гибкая нить с погонной массой m_0 , движущаяся в горизонтальном направлении X со скоростью U_0 , имеющая предва-

ригельное натяжение T_0 и нагруженной погонной нагрузкой

$q_{np} = q_{np}(x - u_0 t)$. На основе работ С.А. Панкратова, В.А. Светлицкого, Г. Каудерера получено нелинейное интегро-дифференциальное уравнение, описывающее колебания ленты с грузом в пролете между опорами:

$$\frac{\partial^2 \omega_n}{\partial t^2} + 2\nu_n \frac{\partial \omega_n}{\partial t} + \nu_n^2 \frac{\partial^2 \omega_n}{\partial x^2} = -g + \frac{1}{m} \left\{ T_0 + T(t) + \frac{E_n F_n}{2 \ell_p} \int_0^{\ell_p} \left(\frac{\partial \omega_n}{\partial x} \right)^2 dx + \right. \\ \left. + \mu \frac{\partial}{\partial t} \left[T(t) + \frac{E_n F_n}{2 \ell_p} \int_0^{\ell_p} \left(\frac{\partial \omega_n}{\partial x} \right)^2 dx \right] \right\} \frac{\partial^2 \omega_n}{\partial x^2} - 2\eta \frac{\partial \omega_n}{\partial t}, \quad (1)$$

где ω_n - полный провес ленты, g - ускорение свободного падения; $m = m_n + m_{np}(x - u_0 t)$ - погонная масса ленты и груза; T_0 - предварительное натяжение ленты; $T(t) = \frac{E_n F_n}{L_k} a_s \cos p_s t$ - периодическая составляющая натяжения от вращения с частотой p_s барабана с эксцентриситетом a_s ; L_k - длина конвейера; E_n и F_n - модуль упругости и площадь поперечного сечения ленты; μ - коэффициент внутреннего трения; η - коэффициент затухания. В уравнении (1) учтено действие внешних и внутренних диссипативных сил, наличие эксцентриситета у барабанов, удлинение ленты при провисании между опорами, приводящее к появлению нелинейных членов. Кроме того, путем введения соответствующих граничных условий учтено также наличие эксцентриситетов у роликов.

С целью выявления влияния каждого фактора решение (1) проводилось поэтапно, для чего из (1) получен ряд дифференциальных уравнений с одним рассматриваемым в уравнении фактором. Движение ленты было изучено для трех основных случаев ее нагружения: 1) мелкофракционными грузами, распределенными непрерывным равномерным слоем, $q_{np} = q_0 = \text{const}$; 2) единичными грузами, $q_{np} = M_0 g \delta(x - u_0 t)$, где M_0 - масса куска груза, $\delta(x - u_0 t)$ - дельта-функция Дирака; 3) насипными в том числе и крупнукусковыми грузами со случайным характером размещения на ленте, когда $q_{np} = q_{np}(x - u_0 t)$ - случайная функция.

Решение полученных уравнений осуществлялось двумя методами: Галеркина и многих масштабов.

В соответствии с методом Галеркина решение уравнения ищется в виде ряда $\omega_n = \sum_{i=1}^2 f_i(t) \psi_i(x)$, где $\psi_i(x)$ - координатные функции, удовлетворяющие граничным условиям. Кандрахиным П.М., использовавшим этот метод, было установлено, что при исследова-

нии динамических процессов в ленточных конвейерах достаточно первого члена ряда, то есть

$$\omega_n(x, t) = f_n(t) \varphi(x). \quad (2)$$

Так как в правой части уравнения (1) содержится постоянный член "g", то одно из решений уравнения описывает кривую провеса ленты, не зависящую от времени, которую можно назвать линией динамического провеса ленты $\omega_{gn}(x)$, представляющую собой траекторию движения ленты под действием погонной нагрузки и центробежных сил. Относительно этой линии происходят вертикальные колебания ленты. Полный провес ленты в этом случае состоит из суммы $\omega_{gn}(x)$ и колебательной составляющей $\omega(x, t)$. Тогда, выражение (2) можно записать, как

$$\omega_n(x, t) = [f_{gn} + f(t)] \varphi(x), \quad (3)$$

где f_{gn} - значение линии динамического провеса в центре пролета. Такой подход позволяет рассматривать отдельно только колебательную составляющую $\omega(x, t)$. Использование выражения (3) в исходном уравнении дает возможность перейти от уравнения в частных к уравнению в полных производных, которое будет описывать изменение провеса ленты в центре пролета $f(t)$ относительно f_{gn} .

Для решения нелинейных дифференциальных уравнений и уравнения со случайными коэффициентами был использован МММ, по которому решение уравнения $f(t)$ и время t представляется в виде рядов.

$$f(t) = f_0 + \varepsilon f_1 + \varepsilon^2 f_2 + \dots + \varepsilon^n f_n = \sum_{i=0}^n \varepsilon^i f_i, \quad (4)$$

$$t = t_0 + \varepsilon t_1 + \varepsilon^2 t_2 + \dots + \varepsilon^n t_n = t_0 + \varepsilon t_0 + \varepsilon^2 t_0 + \dots + \varepsilon^n t_0 = t_0 \sum_{i=0}^n \varepsilon^i,$$

где $f_0, f_1, \dots, f_n$ - соответствующие приближения решения;

ε - малый параметр; t_0 - время, имеющее реальный масштаб времени. Идея метода заключается в предположении того, что влияние нелинейных членов порядка малости ε и выше в реальном масштабе времени t_0 незначительно и при нахождении нулевого приближения решения f_0 ими можно пренебречь, благодаря чему f_0 может быть найдено из решения линейного уравнения. Приближения более высоких порядков находятся из решения уравнений в соответствующем масштабе времени и зависят от решения уравнений для приближений более низкого порядка, причем нелинейные члены входят в правую часть как возмущения. В примененном МММ операция дифференцирования по времени расписывается как

$$\frac{d}{dt} = D_0 + \varepsilon D_1 + \varepsilon^2 D_2 + \dots + \varepsilon^n D_n.$$

Тогда

$$\frac{df}{dt} = D_0 \left(\sum_{i=0}^n \varepsilon^i f_i \right) + \varepsilon D_1 \left(\sum_{i=0}^n \varepsilon^i f_i \right) + \varepsilon^2 D_2 \left(\sum_{i=0}^n \varepsilon^i f_i \right) + \dots + \varepsilon^n D_n \left(\sum_{i=0}^n \varepsilon^i f_i \right), \quad (5)$$

где $D_i = \frac{\partial}{\partial t_i}$ — оператор дифференцирования в соответствующем масштабе времени.

В данной работе при отыскании приближенных решений учитывались два первых члена ряда (4). Поэтому, в соответствии с выражениями (4) и (5)

$$f = f_0 + \varepsilon f_1, \quad (6)$$

$$\frac{df}{dt} = D_0 f_0 + \varepsilon D_0 f_1 + \varepsilon D_1 f_0, \quad (7)$$

$$\frac{d^2 f}{dt^2} = D_0^2 f_0 + 2\varepsilon D_1 D_0 f_0 + \varepsilon D_0^2 f_1. \quad (8)$$

После подстановки (6), (7), (8) в решаемое уравнение и приравнивания коэффициентов при различных степенях ε были получены два линейных дифференциальных уравнения типа

$$D_0^2 f_0 + p^2 f_0 = 0, \quad (9)$$

$$D_0^2 f_1 + p^2 f_1 = -2D_1 D_0 f_0 + Y_n, \quad (10)$$

где Y_n — функция, зависящая от вида нелинейности. Используя решение уравнения (9) — $f_0 = A(t) \sin[pt_0 + \varphi(t)]$, в (10), исходя из условия исключения вековых членов, можно найти нулевое приближение $f_0(t_0)$ решения исходного уравнения. Если этого недостаточно, то из (10) с точностью до остаточных членов можно найти $f_1(t_1)$. Затем по выражению (3) определить полный провес ленты в любой точке пролета.

При выполнении теоретических исследований изучено движение ленты с постоянной погонной нагрузкой в пролете между опорами для барабанов без эксцентриситов с нулевыми граничными условиями, которым удовлетворяет координатная функция $Y(x) = \sin \frac{\pi x}{L}$. Путем анализа решений дифференциальных уравнений, полученных из уравнения (1), установлено, что для пролетов конвейера, где натяжение ленты $T_0 > T_{\min} = 10mg\ell_p$, дополнительное удлинение от

провисания ленты между опорами незначительно влияет на величину провеса f_{3n} , частоту и затухание свободных колебаний. Поэтому влиянием дополнительного удлинения в дальнейшем можно пренебречь и движение ленты описать линейным дифференциальным уравнением

$$\frac{d^2 \omega_n}{dt^2} + 2\eta_n \frac{d\omega_n}{dt} + \left(\omega_n^2 - \frac{T_0}{m} \right) \frac{d\omega_n}{dx^2} + 2\eta_n \frac{d\omega_n}{dt} = -g, \quad (11)$$

имеющим решение (3) в виде

$$\omega_n(x, t) = \left[-\frac{4g\ell_p^2}{\pi^3 \left(\frac{T_0}{m} - \omega_n^2 \right)} + A_0 e^{-nt} \cos(pt + \varphi_0) \right] \sin \frac{\pi x}{\ell_p}, \quad (12)$$

где $p = \sqrt{\frac{\pi^2}{\ell_p^2} \left(\frac{T_0}{m} - \omega_n^2 \right) - n^2}$ — частота собственных колебаний; $\eta_n = \frac{\ell_p}{2m}$ — коэффициент затухания; ℓ_p — эквивалентный и общий коэффициент внешнего сопротивления, определяемый экспериментально; A_0 и φ_0 — начальные амплитуда и фаза колебаний. В выражение (12) не входят характеристики ленты, поэтому его можно использовать на предварительной стадии проектирования конвейера, когда тип ленты еще не установлен.

При исследовании движения ленты для ролика с эксцентриситетом q_p , установленного в начале пролета, использовано уравнение (11) с граничными условиями:

$$\begin{aligned} \omega_n(0, t) &= q_p \cos p_p t & \text{при } x = 0, \\ \omega(\ell_p, t) &= 0 & \text{при } x = \ell_p, \end{aligned}$$

где p_p — частота вращения ролика.

Решение уравнения отыскивалось в виде

$$\omega(x, t) = \frac{q_p}{\ell_p} (\ell_p - x) \cos p_p t + f(t) \sin \frac{\pi x}{\ell_p}. \quad (13)$$

Отсюда, уравнение вынужденных колебаний ленты центра пролета, где $f = f(t)$, можно записать, как

$$\ddot{f} + 2\eta \dot{f} + p_0^2 f = \frac{2q_p p_p^2}{\pi} \cos p_p t. \quad (14)$$

В работе выявлено, что при движении ленты конвейера со скоростью U_n^* наступает равенство частот собственных P и вынужденных колебаний p_p , которые совершаются с максимальной амплитудой $A = A_{g \max}$. При этом

$$U_n^* = \sqrt{\frac{T_0}{m \left(\frac{\ell_p^2}{\pi^2 T_p^2} + 1 \right)}}, \quad A_{g \max} = \frac{q_p U_n^*}{\pi \eta_p},$$

где r_p — радиус ролика. Для конвейеров с заданными ℓ_p , r_p и известными пределами изменения натяжения $T_{\min} \leq T_0 \leq T_{\max}$ можно выбрать такие скорости движения ленты, при которых практически не будет вынужденных колебаний ленты и дополнительных нагрузок на опоры.

Эксцентриситет барабана приводит к периодической составляющей натяжения $T(t) = \frac{E_A F_A}{L_k} a_3 \cos p_3 t$ и возможности возникновения параметрических колебаний ленты. Рассмотрение изменения провиса ленты в центре пролета $f(t)$ относительно линии динамического провиса f_{gn} может быть осуществлено из уравнения (15), полученного из (1).

$$\ddot{f} + 2n\dot{f} + p_n^2(1 + \varepsilon \cos p_3 t)f + 3\gamma f_{gn}f^2 + \gamma f^3 + \varepsilon p_n^2 f_{gn} \cos p_3 t = 0, \quad (15)$$

$$\text{где } \varepsilon = \frac{\pi^2 a_3 E_A F_A}{\ell_p^2 p_n^2 m L_k}, \quad p_n^2 = \frac{\pi^2}{\ell_p^2} \left(\frac{T_0}{m} - v_n^2 \right) + 3\gamma f_{gn}^2, \quad \gamma = \frac{E_A F_A \pi^4}{4m \ell_p^4}.$$

Решение (15) дает зависимость ширины резонансной зоны B_{p_3} от параметров конвейера

$$B_{p_3} = \sqrt{\frac{a_3^2 E_A^2 F_A^2 \pi^4}{m^2 L_k^2 \ell_p^2} - 16 \left[\frac{\pi^2}{\ell_p^2} \left(\frac{T_0}{m} - v_n^2 \right) + 3\gamma f_{gn}^2 \right] n^2}. \quad (16)$$

Анализ зависимости (16) показал для большинства случаев нечувствительность ленты к возбуждению параметрических колебаний и возможность пренебрежения влиянием эксцентриситета барабана.

Другим частным случаем нагружения ленты является перемещение в пролете единичного крупного куска груза, когда $q_{ip} = M_0 g \delta(x - u_n t)$. Уравнение движения куска может быть получено из уравнения (11) в виде $\ddot{w}_{ip} + 2n(t)\dot{w}_{ip} + p^2(t)w_{ip} = -g$, хорошо известного по ряду работ, выполненных ранее на кафедре ПТМ МВТУ им. Н.Э. Баумана.

Общий случай характеризуется движением ленты со случайной погонной нагрузкой $q_{ip}(x - u_n t)$.

После ряда преобразований, разложения $q(x - u_n t)$ в ряд Фурье и использования метода Галеркина из уравнения (11) получено дифференциальное уравнение случайных колебаний ленты $\ddot{f} = \ddot{f}(t)$ относительно его математического ожидания. Это уравне-

ние имеет случайные и периодические коэффициенты, указывающие на возможность параметрических колебаний ленты из-за неравномерного размещения груза при $u_n > 5$ м/с. При меньших скоростях движения периодическими коэффициентами можно пренебречь и для описания процесса использовать уравнение (17).

$$\ddot{\bar{f}} + 2n\dot{\bar{f}} + p_0^2\bar{f} = \left[\frac{T_0\pi^2}{m_n^2\ell_p^2} (\bar{f} + f_c) + \frac{2n}{m_n}\dot{\bar{f}} \right] \bar{m}(t), \quad (17)$$

где $\bar{m}$ - стационарная случайная функция, представляющая собой средний случайный уровень центрированной погонной массы

$\bar{m}(x - u_n t)$ и определяемая, как

$$\bar{m} = \frac{1}{\ell} \int_0^\ell \bar{m}(x - u_n t) dx.$$

Корреляционная функция стационарной случайной функции имеет вид

$$R(\tau) = D_m e^{-\alpha_n |u_n \tau|}, \quad (18)$$

где D_m - дисперсия среднего случайного уровня $\bar{m}(t)$;

α_n - характеристика, зависящая от горно-геологических и технологических условий.

Для получения стационарных решений уравнения (17) функция $\bar{m}(t)$ была аппроксимирована ограниченным белым шумом. После чего в результате решения (17) определены спектральная плотность $S(p)$ и дисперсия D_f провесов ленты в центре пролета.

В соответствии с принятыми допущениями динамическая нагрузка на опору равна $F_g = 2T_0 \sin \alpha$, где α - угол отклонения ленты от горизонтали в месте описания ее на опору. Так как при малых значениях α $\sin \alpha \approx \tan \alpha$ и

$$F_g = 2T_0 \left. \frac{\partial \omega_n}{\partial x} \right|_{x=0} \quad \text{или} \quad x = \ell_p \quad (19)$$

Из (19) и зависимостей для провесов ленты $\omega_n(x, t)$ определены выражения для расчета динамических нагрузок на опоры при транспортировании: 1) непрерывного равномерно распределенного мелкокускового груза, 2) непрерывного неравномерно распределенного сыпучего, в том числе, и крупнокускового груза. В первом случае получены выражения для расчета четырех составляющих нагрузки от: погонной нагрузки и центробежных сил при движении ленты с грузом по криволинейной траектории, вынужденных колеба-

ний ленты, нагрузки от подъема ленты с грузом и центробежной силы от вращающегося ролика, имеющего эксцентриситет. Эти зависимости пригодны также для расчета нагрузки на опоры холостой ветви конвейера. Во втором случае, по статистическим характеристикам провесов ленты найдены математическое ожидание, дисперсия и спектральная плотность динамической нагрузки на опоры. Принятие нормального закона распределения нагрузок позволило по правилу трех сигм определить выражение для расчета максимальной нагрузки на опору

$$F_{3\sigma} = \frac{8g}{1 - \frac{m_n u_n^2}{T_0}} \left[\frac{\rho_p m_n}{\pi^2} + \frac{36m T_0}{\rho_p m_n} \left[\frac{1}{\rho_0^2 (\rho_0^2 - \frac{\pi^2 u_n^2}{4})} + \frac{1}{2\rho_0^3 \pi d_1 u_n} \ln \left| \frac{\rho_0 + 0,5\pi d_1 u_n}{\rho_0 - 0,5\pi d_1 u_n} \right| \right]^{0,5} \right]. \quad (20)$$

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований на испытательном стенде, представлявшем собой ленточный конвейер длиной 25 м с лентой шириной 1 м. Включение двигателей по системе Г-Д позволило производить плавное регулирование скорости и обеспечить реверсивное движение ленты. В качестве транспортируемого груза использовалась скальная порода, содержащая мелкие, средние, крупные и особо крупные куски. С целью сокращения натуральных испытаний часть экспериментов проведена на ЭВМ с математической моделью размещения груза на ленте.

Расчеты на ЭВМ показали, что корреляционная функция среднего случайного уровня погонной нагрузки имеет вид $R_q = D_q e^{-\alpha |t|}$, причем величина α не зависит от длины пролета l_p , а произведение дисперсии погонной нагрузки D_q и l_p^2 есть постоянная величина для пролетов разной длины.

Исходя из этого, натурные эксперименты по определению статистических характеристик средних случайных уровней погонной нагрузки проводились только в пролете длиной $l_p = 1$ м для шести комбинаций грузов, отличающихся содержанием крупных и особо крупных кусков. В результате обработки экспериментов были получены математические ожидания m_q и корреляционные функции R_q всех комбинаций грузов. Кроме того, установлено, что наибольшая относительная неравномерность погонной нагрузки $\sqrt{D_q l_p^2} / m_n$ соответствовала содержанию 35-40% крупных кусков.

В исследованиях проведена серия экспериментов по изучению влияния на динамическую нагрузку F_g^2 среднего тензометрического ролика жесткой трехроликовой опоры, ряда факторов (скорости движения и натяжения ленты, длины пролета, процентного содержания крупных и особо крупных кусков). Из осциллограмм видно, что нагрузка F_g^2 представляет собой случайный процесс, для которого найдены математическое ожидание m_F^2 и дисперсия D_F^2 действующей нагрузки F_g^2 . Аппроксимация линии динамического провеса синусоидной приводит при определении m_F к погрешности в 23% в сторону уменьшения, поэтому при расчете математического ожидания следует вводить поправочный коэффициент $K_m = 1,23$. Отмечена зависимость дисперсий D_F^2 от скорости движения и натяжения ленты, от гранулометрического состава транспортируемого груза, а также показано отсутствие заметного влияния расстояния ℓ_p на величину D_F^2 . Экспериментальное подтверждение теоретических выводов дает несоответствие результатов, не превышающее 27%.

Экспериментальными исследованиями было изучено влияние эксцентриситета среднего ролика на величину динамической нагрузки на опору, измеряемой с помощью тензометрического ролика, имеющего эксцентриситет $a_p = 0,002$ м, при различных значениях скорости и натяжения порожней ленты. Сопоставление экспериментальных данных с теоретическими показало, что отличие реальных от расчетных значений амплитуд не превышает 15%.

В работе проведено экспериментальное определение статического модуля упругости конвейерной ленты, частот и логарифмических декрементов колебаний ленты с грузом в пролете между опорами. Установлены конкретные значения этих параметров, которые использовались в теоретических зависимостях.

В четвертой главе приведены результаты исследований, рекомендованные к внедрению. Для роликов унифицированного ряда дан анализ изменения коэффициента динамичности K_3^{2p} , показывающего увеличение нагрузки на опору для ролика с максимально возможным по ГОСТ 22647-77 эксцентриситетом, в зависимости от расстояния между опорами, погонной нагрузки, скорости движения и натяжения ленты. Установлены пределы изменения скоростей движения, обеспечивающие отсутствие вынужденных колебаний ленты, что позволяет значительно снизить динамические нагрузки. Реко-

рекомендовано использовать ролики унифицированного ряда при следующих скоростях движения ленты: ролик ϕ 89 мм при $v_n \leq 1,6$ м/с (4-5 м/с), ролик ϕ 108 мм при $v_n \leq 2$ м/с (5-6,3 м/с), ролик ϕ 133 мм при $v_n \leq 2,5$ м/с (4-6,3 м/с), ролик ϕ 159 мм при $v_n \leq 3,15$ м/с, ролик ϕ 194 мм при $v_n \leq 3,15$ м/с (4 м/с). В скобках указаны возможные величины скоростей, также не требующие повышения точности изготовления роликов. При других значениях скорости необходимо снижение эксцентриситета роликов.

Для обеспечения желаемой долговечности роликов при конкретных условиях работы необходим обоснованный выбор типоразмера ролика на основе полного значения нагрузки, действующей на опору. Учет этих нагрузок предлагается производить с помощью коэффициента динамичности. Используя сравнение максимальной нагрузки F_{gn} (20) со статической $F_{gt} = (q_{rp} + q_n) l_p$ и экспериментальный поправочный коэффициент $K_m = 1,23$, выражение для коэффициента динамичности будет иметь вид

$$K_g = \frac{8}{m_n l_p \left(1 - \frac{m_n v_n^2}{T_0}\right)} \left\{ \frac{1,23 l_p m_n}{\pi^2} + \frac{36_m T_0}{l_p m_n} \left[\frac{1}{\rho_0^2 (\rho_0^2 - 0,25 \pi^2 \alpha^2 v_n^2)} + \frac{1}{2 \rho_0^2 \pi \alpha v_n} l_n \left| \frac{\rho_0 + 0,5 \alpha v_n \pi}{\rho_0 - 0,5 \alpha v_n \pi} \right|^{0,5} \right] \right\}. \quad (21)$$

Для использования (21) необходимо иметь статистические характеристики размещения груза на ленте, которые могут быть получены по статистическим характеристикам грузопотоков. Информация о некоторых грузопотоках имеется в трудах научных коллективов, возглавляемых д.т.н., профессорами Алотиним Л.М. и Шахмейстером Л.Г. Для крупнокузовных грузов, используя экспериментально полученные зависимости дисперсии $D_m = 6m^2$ и характеристики α , в зависимости от процентного содержания по массе крупных и особо крупных кусков, обозначенного в виде символа (%), из (21) можно получить выражение для приближенных расчетов коэффициента динамичности.

$$K_g = 1 + \frac{3,65}{l_p \sqrt{T_0}} \left[1 + 0,194 (\%)^{0,5} - 0,67 \cdot 10^{-4} (\%)^2 \right] (1 + 0,12 v_n^2 + 0,15 v_n). \quad (22)$$

Так как при $(\%) > 35\%$ K_g практически не зависит от процентного содержания крупных и особо крупных кусков, выражение (22) преобразуется к более упрощенному виду

$$K_g = 1 + \frac{5,11}{l_p \sqrt{T_0}} (1 + 0,12 v_n^2 + 0,15 v_n). \quad (23)$$

В приложении приводятся блок-схемы алгоритмов, программы для проведения и обработки экспериментов, некоторые математические выкладки, а также методика расчета ожидаемого экономического эффекта, равного 202, 5 тыс.руб.

Выводы. 1. В результате теоретических исследований и анализа работы ленточного конвейера получены новые зависимости, описывающие закономерности движения ленты на роликовых опорах при случайных погонных нагрузках. Зависимости даны в общем виде, в качестве частных случаев рассмотрено движение ленты с постоянными распределенной и сосредоточенной нагрузками.

2. Впервые выявлено влияние неточности изготовления роликов на величину динамической нагрузки на опору. Наличие эксцентриситетов у средних роликов опор приводит к появлению вынужденных колебаний ленты, вызывающих дополнительные нагрузки на опоры. На основе анализа движения ленты определены условия, исключающие возможность возникновения резонансных колебаний, и даны рекомендации по областям применения роликов различного диаметра.

3. В проведенных исследованиях решена задача по существенному уточнению расчета динамических нагрузок на рядовые роликовые опоры ленточного конвейера с жестким креплением осей от воздействия ленты и расположенного на ней груза.

4. При транспортировании крупнокусковых грузов погонная и динамическая нагрузки на опору имеют случайный характер. Статистические параметры динамических нагрузок зависят от статистических характеристик среднего случайного уровня погонной нагрузки в пролете и параметров конвейера. С учетом этого получено выражение для расчета максимальной нагрузки, действующей на опору ленточного конвейера.

5. В спектре частот среднего случайного уровня погонной нагрузки преобладают низкие частоты. С увеличением скорости движения ленты спектр смещается в область высоких частот и при скорости больше 5 м/с появляется возможность возникновения параметрических колебаний от неравномерного размещения груза на ленте.

6. Экспериментальные исследования позволили определять связь между статистическими характеристиками среднего случайного уровня погонной нагрузки и трансометрическим составом транспортируемого груза. Максимальная равномерность размещения груза возникает при 35-40% -ном содержании крупных и особо

крупных кусков. Дальнейшее увеличение содержания таких кусков не сказывается на статистических характеристиках груза.

7. Разработанные методы математического моделирования размещения груза на ленте показали влияние расстояния между опорами на статистические характеристики среднего случайного уровня погонной нагрузки в пролете.

8. Экспериментальные исследования подтвердили с достаточной точностью приемлимость принятых в теоретических зависимостях допущений.

9. Полученные новые выражения дают обоснованное определение значений коэффициента динамичности, которые рекомендуется применять в инженерной методике расчета нагрузок на опоры. Использование коэффициента динамичности вносит значительное уточнение в методику расчета опор на долговечность, благодаря чему обеспечивается правильный выбор типоразмеров роликов и, как следствие, повышение срока их службы.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Зуев В.А. Влияние параметров ленточного конвейера на величину динамической ударной нагрузки на ролик опоры. - Подъемно-транспортное оборудование. 1978, № 19, с.19-21.

2. Зуев В.А. Влияние параметров ленточного конвейера и транспортируемого груза на динамические нагрузки в роликовых опорах. Проблемы повышения надежности и долговечности и совершенствования методов эксплуатации подъемно-транспортной техники. Тезисы докладов. М.: МВТУ, 1980, с.38-39.

3. Зуев В.А. Исследование динамических нагрузок на ролики опор ленточных конвейеров при транспортировании крупнокусовых грузов. - Труды/ МВТУ, 1982, № 371, с.91-109.

4. Колобов Л.Н., Семенов Б.Д., Зуев В.А. Определение ударных нагрузок на подшипники ролика при наезде крупного куска груза на опору ленточного конвейера. - Труды/ МВТУ, 1976, № 230, с.76-90.

5. Колобов Л.Н., Зуев В.А., Семенов Б.Д. Расчет динамических нагрузок на ролик ленточного конвейера при транспортировании единичного груза. - Вестник машиностроения, 1977, № 8, с.16-19.

6. А.с. № 581042 (СССР). Устройство для исследования нагрузок на роликоопору / Р.Ш.Ахмедзянов, Л.Н.Колобов, В.А. Зуев и др. Оpubл. в Б.И., 1977, № 43.

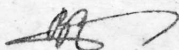
7. А.с. № 583047 (СССР). Роликоопора ленточного конвейера / Л.Н.Колобов, А.Н.Цоглин, В.А. Зуев и др. Оpubл. в Б.И., 1977, № 45.

8. А.с. № 595226 (СССР). Устройство для исследования нагрузок на роликоопору / Р.Ш. Ахмедзянов, А.Н. Цоглин, В.А. Зуев и др. Оpubл. в Б.И. 1978, № 8.

9. Колобов Л.Н., Зуев В.А. Расчет подшипников роликов ленточных конвейеров. Труды / МВТУ, 1979, № 315, с.68-94.

10. Kolobow L.N., Semjonow B.D., Zujew W.A. Ermitteln der Stoßbelastung von Tragrollanstationen - Hebezeuge und Fördermittel. 1976, Nr. 194-197.

11. Kolobow L.N., Semjonow B.D., Zujew W.A. Methode zum bestimmen dynamischer Stoßkennwerte von Gummifördergurten - Hebezeuge und Fördermittel. 1976, Nr. 354-356.



Д-99176 подписано к печати 19.01.83 г. Зал. 87

Объем 1 л.л. Тираж 100 экз. Ротапринт МВТУ