

1497912
Государственный комитет СССР по народному образованию

Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и
ордена Трудового Красного Знамени государственный
технический университет имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

АБЛЕЗОВ Карыбай Тлеуберганович

УДК 621.867.2

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА
ЗАГРУЗОЧНЫХ УЗЛОВ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ
С УЧЕТОМ ПОДАТЛИВОСТИ ОБЕЧАЕК РОЛИКОПОР

05.05.05 - Подъемно-транспортные машины

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Б/А
Москва - 1991

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени государственном техническом университете имени Н.Э.Баумана и Карагандинском ордена Трудового Красного Знамени политехническом институте.

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент Л.Н.КОЛОБОВ

Официальные оппоненты: - заслуженный деятель науки и техники
РСФСР, доктор технических наук, профессор ИВАШКОЕ И.И.;
- кандидат технических наук, доцент ГУСЬКОВ А.М.

Ведущее предприятие - Карагандинский научно-исследовательский, проектно-конструкторский и экспериментальный институт
"ГИПРОУГЛЕГОРМАШ"

Защита диссертации состоится " 1 " июля 1991 г. на
заседании специализированного Совета К 053.15.10 МГТУ им.Н.Э.
Баумана по транспортному машиностроению по адресу: 107005,

в библиотеке МГТУ

199 г.

ные печатью, просьба вы-

сш 497912

В.С.ЦЫБИН

МГТУ им.Н.Э.Баумана
к печати 16.05.91

Актуальность темы. Основными задачами подъемно-транспортного машиностроения являются обеспечение народного хозяйства высококлассными машинами и оборудованием, существенное увеличение производства средств механизации и автоматизации подмноготранспортных, погрузочно-разгрузочных и складских работ. Одним из путей решения поставленных задач является повышение надежности и долговечности элементов высокопроизводительных и экономичных ленточных конвейеров, предназначенных для транспортирования крупнодробленой и крупнокусовой горной массы.

Добыча полезных ископаемых на открытых и закрытых месторождениях ведется преимущественно буровзрывным методом, крупность кусков груза при котором в наибольшем измерении достигает 500 мм и выше. Применение ленточных конвейеров при поточной технологии переработки полезных ископаемых обуславливается степенью пригодности конвейеров для неподготовленной крупнокусовой горной массы к транспортированию. Погрузка этих материалов сопровождается значительными динамическими нагрузками на дорогостоящую конвейерную ленту, загрузочные узлы и опорные элементы, которые и определяют время наработки на отказ всего конвейера.

В настоящее время известно, что наиболее эффективным путем снижения динамических нагрузок является разработка специальных амортизирующих опорных элементов — роликов с повышенной податливостью обечаек, для которых, однако, отсутствует весовое научно-теоретическое обоснование. Поэтому повышение надежности работы загрузочных узлов ленточных конвейеров, предназначенных для транспортирования крупнокусовых грузов, на основе использования роликов с повышенной податливостью обечаек, разработка их конструкций и методов расчета являются актуальными задачами.

Цель работы — разработка методики расчета загрузочных узлов ленточных конвейеров с учетом повышенной податливости обечаек роликоопор.

Методы исследования. В основу теоретических исследований приняты основные положения теории удара, механических колебаний, операционного исчисления, численных методов решения дифференциальных уравнений в частных производных с применением мощных ЭВМ. Для экспериментальных исследований был создан натурный загрузоч-



ный узел ленточного конвейера и были использованы современные регистрирующие и измерительные приборы. При постановке экспериментальных исследований использована теория планирования многофакторного эксперимента. Обработка результатов эксперимента проведена методами математической статистики на ЭВМ.

Научная новизна. В результате комплексных теоретических и экспериментальных исследований загрузочного узла ленточного конвейера, оборудованного роликowymi опорами с податливыми обечайками впервые:

- теоретически получено и экспериментально доказано, что наибольшая амортизирующая способность может быть получена за счет применения системы, состоящей из ленты и опор, обладающих повышенной податливостью обечайек роликов и которые позволяют использовать демпфирующие свойства самой ленты;

- создана математическая модель динамического взаимодействия кускового груза с лентой и роликowymi опорами с податливыми обечайками, позволяющая в едином комплексе определить ударные нагрузки и местные деформации в ленте, её динамические прогибы и прогибы обечайек роликов;

- разработан программный комплекс, реализующий математическую модель динамического взаимодействия путем автоматизированного расчета на ЭВМ с постановкой вычислительных экспериментов по многофакторному плану и статистической обработкой результатов;

- выявлено, что использование роликов с податливыми обечайками позволяет перераспределить энергию удара в энергии местного смятия ленты, её продольно-поперечного растяжения и в энергию изгиба обечайки ролика.

Практическая ценность работы. В результате комплексных исследований предложены:

- теоретически и экспериментально обоснованная новая конструкция роликов с податливыми обечайками, обладающая большой амортизирующей способностью;

- инженерная методика расчета загрузочных узлов ленточных конвейеров с учетом податливости обечайек роликowych опор;

- конструктивные мероприятия, способствующие снижению износа конвейерной ленты под бортовыми направляющими загрузочного устройства;

- способ расстановки роликowych опор и выбор их шага, при которых достигаются наименьшие ударные нагрузки по ленте.

Достоверность полученных результатов обеспечена:

- принятием обоснованных допущений при теоретических и экспериментальных исследованиях;
- применением современных средств измерения и методов теории планирования многофакторного эксперимента;
- проверкой результатов теоретических исследований натурными испытаниями;
- применением методов математической статистики при обработке результатов экспериментов.

Реализация результатов работы. Результаты диссертационной работы использованы при модернизации загрузочных узлов ленточных конвейеров, предназначенных для транспортирования крупнодробленого известняка из-под щековых дробилок на дробильно-сортировочных фабриках ПО "Карагандацемент" и Южно-Тонарского рудоуправления Агасуйского ГОКа.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на ежегодных научных семинарах кафедр "Подъемно-транспортные машины" МГТУ им. Н.Э. Баумана (1986-90 гг.) и "Основ автоматизированного проектирования машин", КарПИ (1987-90 гг.), на региональных научно-практических конференциях молодых ученых и специалистов "Техническая реконструкция производства и ее социально-экономические последствия в свете требований XXУП съезда КПСС", Караганда, 1986 г. и "Молодые ученые - науке центрального Казахстана", Караганда, 1988 г., на IУ Всесоюзной конференции "Смешанные задачи механики деформируемого твердого тела", Одесса, 1989 г., на 2 Всесоюзной конференции "Подъемно-транспортная техника и технология", Москва, 1990 г.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 9 печатных работах.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов и рекомендаций, списка литературы, приложений и содержит 196 страниц машинописного текста, 10 таблиц, 46 рисунков, 13 страниц приложения, список литературы из 115 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении диссертации обоснована актуальность рассматриваемой проблемы, сформулирована цель работы.

В первой главе проведен анализ: состояния применения кон-

вейерного транспорта для крупнокусовых грузов; работы загрузочного узла ленточного конвейера; способов и путей снижения динамических нагрузок по ленте и опорным элементам с падением кусковых грузов.

Показано, что наиболее широкое применение за рубежом и в СССР при транспортировании насыпных грузов, включающих крупные куски, получили ленточные конвейеры, эффективное использование которых сдерживается низкой надежностью загрузочных узлов, сопровождающееся малым сроком службы конвейерной ленты и опорных элементов.

Исследованиям динамического взаимодействия крупных кусков груза с элементами ленточного конвейера в загрузочных узлах, и их износа, а также изыскания путей снижения нагрузок в соударяемой системе "груз - лента - опорные элементы" посвящены работы отечественных и зарубежных ученых: Андреева А.В., Барабанова В.Я., Бондарева В.С., Волотковского В.С., Гуленко Г.Н., Дмитриева В.Г., Колобова Л.Н., Новикова Е.Е., Полунина В.Г., Полякова Н.С., Спиваковского А.О., Чугреева Л.Г., Шахмеевского Л.Г., Федеева Б.В., Аллеса Р., Бальхауса Г., Крааса Г., Кетгена А., Фирлинга А. и других. Анализ работ показал, что в результате ударного взаимодействия в загрузочном узле крупного куска груза с лентой и опорными элементами, конвейерная лента подвержена многим видам повреждений: проколам, порезам, сквозным пробоям и абразивному износу от ударной вертикальной нагрузки и продольной нагрузки вследствие разности скоростей ленты и груза вдоль направления ее движения.

Изучение работы загрузочных узлов и результатов проведенных указанными авторами исследований позволило установить недостаточность разработанных рекомендаций и путей снижения интенсивности фрикционного износа ленты под бортовыми направляющими.

Многими исследованиями отмечен, что снижение ударных нагрузок в загрузочном узле возможно за счет использования амортизирующих опорных элементов с обечайками повышенной податливости. Однако, каких-либо конструктивных предложений и методик расчета ими не сделано.

Проведенный обзор показал, также, что исследователями не определено влияние способа расстановки роликоопор на ударную нагрузку и износ конвейерной ленты, а при выборе шага расстановки роликовых опор допускается некоторое противоречие.

В заключении главы на основе вышесказанного, сформулированы основные задачи диссертации:

- выявление особенностей и формализация условий функционирования загрузочных узлов при подаче на ленту крупнокузовых грузов;

- создание математической модели динамического взаимодействия соударяемой системы "груз-лента-податливая обечайка ролика" с учетом местной и общей податливости ленты, а также обечаек роликов, объединяющей в едином комплексе определение ударной нагрузки в ленте, местной деформации в ней и динамических прогибов обечаек;

- разработка программного комплекса, реализующего математическую модель путем автоматизированного расчета;

- определение амортизирующей способности роликов с податливыми обечайками, ударных нагрузок по ленте, возникающих при падении крупных кусков груза, оценка влияния различных факторов на использование упругости самой ленты в качестве демпфера;

- изучение механизма износа конвейерной ленты под бортовыми направляющими загрузочного устройства и изыскание путей его снижения;

- исследование и анализ влияния способов расстановки роликов на износ с учетом податливости обечаек;

- разработка на основе результатов исследований инженерной методики расчета загрузочных узлов ленточных конвейеров.

Во второй главе рассмотрены вопросы получения математической модели динамического взаимодействия кускового груза с лентой и роликами имеющими податливые обечайки как для случая падения куска груза на ленту между роlikоопорами, так и для случая удара непосредственно над роlikоопорой. Важное место занял анализ способов расстановки роlikовых опор в загрузочном узле.

Проведенный анализ способов расстановки роlikоопор в загрузочном узле показал целесообразность способа, показанного на рис. 1. Расположение податливых роlikов посередине между боковыми позволяет максимально использовать демпфирующие свойства самой ленты, ограничивать ее общий прогиб и сохранить лотковость, а следовательно, и зазор между бортовыми направляющими и лентой.

Основной причиной износа ленты под бортовыми направляющими является защемление мелкой фракции в результате непостоянства бокового зазора. Бортовые направляющие, расположенные перпендикулярно к конвейерной ленте, практически перекрывают на 80-85% по-

верхность ленты, опертая на боковые ролики, благодаря чему возможность взаимодействия этих роликов с падающим крупным куском практически исключена. Поэтому, учитывая последнее, боковые ролики могут иметь обычную конструкцию с металлическими обечайками, футерованными резиной, которые позволят исключить колебания ленты под бортовыми направляющими и, соответственно, ее износ. Наибольшая ударная нагрузка приходится на средний ролик, который по нашему предположению, должен иметь податливую обечайку.

В принятой физической модели лента конвейера и опорные средние ролики рассматриваются в виде податливых балоков с распределенными параметрами, что основывается на исследованиях проф. Панкратова С.А., Новикова Е.Е., Шахмейстера Л.Г. и др. ученых; лента представляется стационарной, так как скорость ее движения пренебрежимо мала по сравнению со скоростью распространения упругой волны деформации.

Разработка математической модели ударного взаимодействия куска груза с лентой и роликами с податливыми обечайками основана на универсальном методе в виде интегро-дифференциальных уравнений по С.П. Тимошенко.

Во время действия контакта между падающим куском и лентой перемещение груза (S_r) будет состоять из суммы трех перемещений: перемещения, зависящего от местного сжатия самой ленты L , прогиба податливых обечаек роликоопор β и перемещения определяемого динамическим прогибом ленты y

$$S_r = L + \beta + y. \quad (1)$$

Смещение S_r может быть описано уравнением

$$S_r = V_0 t - \frac{1}{K} \int_0^t \int_0^{t_1} u(t_2) dt_2 dt_1, \quad (2)$$

при начальных условиях

$$t=0; S_r=0; \frac{dS_r}{dt} = V_0. \quad (3)$$

Величина местного сжатия ленты определяется в соответствии с теорией контактных деформаций

$$L = K_1 P^{n_1}, \quad (4)$$

где K_1, n_1 — экспериментальные коэффициенты, характеризующие упругие свойства соударяемых тел.

Динамические прогибы ленты с учетом моментов инерционных сил поворота сечений, сдвига и внутреннего трения описываются дифференциально-волновым уравнением

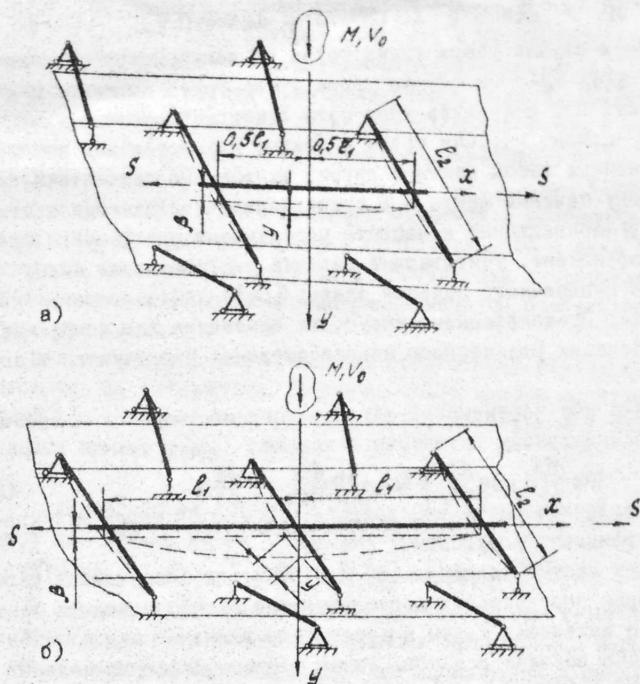


Рис.1. Расчетные схемы: а) для случая удара куска груза по ленте между опорами; б) для случая удара куска груза по ленте непосредственно над опорой.

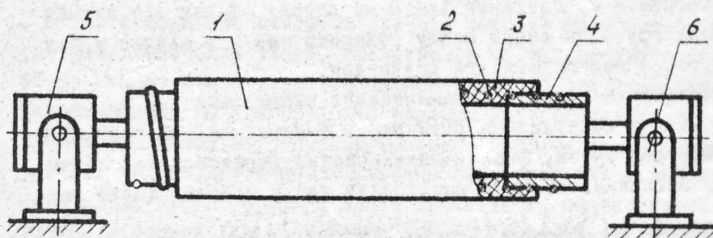


Рис.2. Роликовая опора с податливой обечайкой

$$\frac{EJ}{F} \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} - S \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + p \frac{d^2(y+\beta)}{dt^2} - \frac{J_1 \Omega}{F} \frac{d^2}{dt^2} \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right) + \mu \frac{EJ}{F} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right) + \eta \frac{dy}{dt} + D(y) = \frac{q(x,t)}{F}, \quad (5)$$

где $D(y)=0$ – в случае удара куска груза по ленте между опорами (рис. I а); $D(y) = \frac{cy}{F}$ – в случае удара куска груза по ленте над опорой (рис. I б); E – модуль упругости ленты; J – момент инерции ленты; J_1 – момент инерции груза и ленты; S – натяжение ленты; p, p_1 – линейные массы ленты и груза, отнесенные соответственно к поперечному сечению ленты и к сумме поперечных сечений ленты и груза; M – приведенный к частоте коэффициент внутреннего трения; η – коэффициент, учитывающий внешние диссипативные силы; F – площадь поперечного сечения ленты; $q(x,t)$ – интенсивность внешней нагрузки; c – коэффициент упругости основания или коэффициент постели (обечайки роlikоопоры, непосредственно участвующей в соударении).

Динамическое перемещение ленты в опорных точках удовлетворяет дифференциальному уравнению движения

$$m_p \frac{d^2 \beta}{dt^2} + d_g \frac{d \beta}{dt} + c_1 \beta = EJ \frac{d^4 y}{dx^4} + S \frac{dy}{dx}, \quad (6)$$

где m_p – приведенная масса роlikоопоры; d_g – коэффициент диссипации; c_1 – коэффициент упругости.

Правой части уравнения (6) представлена возмущающая нагрузка, которая определяется перерезывающей силой на концах ленты и составляющей натяжения ленты, а в уравнении движения самой ленты (5) – смещение обечайки роlikов. Таким образом, дифференциальные уравнения (5) и (6) взаимозависимы.

С помощью методов решения дифференциальных уравнений в частных производных, операционного исчисления, теоремы Бореля о свертке изображений оригиналов определены выражения для динамического прогиба – y , смещения ленты на опорах – β как для случая удара куска груза по ленте между роlikами, так и в случае удара непосредственно над податливой обечайкой.

Математическая модель динамического взаимодействия куска груза с лентой и податливыми роlikами в функциональной зависимости от параметров груза, физико-механических характеристик ленты и обечайки, натяжения ленты и расстояния между опорами имеет вид

$$V_0 t - \frac{1}{\mu} \int_0^t \int_0^t p(t_2) dt_2 dt_1 = k_p p^u(t) + y(x,t) + \beta(t). \quad (7)$$

Решение уравнения (7) позволяет получить выражения для выбора оптимальных параметров загрузочного узла ленточного конвейера.

Третья глава посвящена реализации математической модели ударного взаимодействия, которая состоит: в формировании метода решения математической модели; интегральных преобразованиях каждой составляющей, входящей в математическую модель; разработке алгоритма реализации на ЭВМ; в решении тестовых задач с целью обоснования достоверности полученных результатов.

Для решения уравнения (7) на ЭВМ использован метод численного интегрирования, суть которого сводится к разбиению кривой распределения функции силы удара, представленной в виде перевернутой параболы, на конечные отрезки с последующей линеаризацией каждого участка и вычислением силы удара методом приближений в каждой точке шаг за шагом.

Для интегрирования уравнения собственный период колебаний делится на n_q интервалов. Принято, что в каждом интервале времени $(q-1)\tau \leq t \leq q\tau$ сила удара $p(t)$ изменяется по линейному закону. В начальный момент удара $p(0)=0$.

$$p(t) = p_q (p_q - p_{q-1}) (q - \frac{t}{\tau}). \quad (8)$$

Линеаризация участков кривой функции распределения силы удара для каждой точки разбиения дает

$$p'(t) = \text{const}; \quad p'(\tau) = \frac{p_1}{\tau}; \quad p'(2\tau) = \frac{p_2 - p_1}{\tau}, \dots, \quad p'(q\tau) = \frac{p_q - p_{q-1}}{\tau}, \quad p'(t) = 0. \quad (9)$$

С целью реализации алгоритма расчета математической модели на ЭВМ и улучшения сходимости рядов, определяющих выражения $u(t)$,

произведены аналитические преобразования и найдены значения интегралов в интервале $(q-1)\tau \leq t_1 \leq q\tau$ в виде

$$J = \int_0^t F(t_1) \sin p(t-t_1) dt_1 = \int_0^t F(t_1) \sin p(t-t_1) dt_1 + \int_{q-1\tau}^{q\tau} F(t_1) \sin p(t-t_1) dt_1. \quad (10)$$

Разработанный алгоритм расчета основан на принятом законе распределения силы удара, представленной как перевернутая параболы. При этом используется зависимость (8) для разбиения кривой распределения на элементарные участки интегрирования в виде кусочно-линейных непрерывных функций. Прогобы ленты податливых обечаек определяются по полученным во второй главе выражениям. Сила удара куска груза по ленте вычисляется по выражению (7), причем и прогиб, и сила удара должны удовлетворять уравнению (7). Расчет ведется до такого значения $q\tau$, пока $p(t)$ не обратится в нуль, т.е. до отделения подброшенного после падения груза.

На основе разработанного алгоритма создана универсальная

программа расчета "УДАР" на языке ФОРТРАН-4 для ЭВМ серии ЕС.

Достоверность получения результатов и время счета сильно зависит от количества кусочно-линейных непрерывных отрезков разбиения кривой распределения силы удара, а также от точности определения силы удара в каждой точке разбиения.

Для определения количества шагов был проведен машинный эксперимент, при котором оптимальное их число определено варьированием числа разбиений.

Анализ результатов машинного эксперимента показывает, что при количестве шагов разбиения равному $n_q = 900$ достигается хорошая сходимость результатов. Точность счета в алгоритме принята равной 0,1 %. В этом случае при достижении пика нагрузки силы ее погрешность будет составлять 0,1 %.

Четвертая глава посвящена разработке и изготовлению опытных образцов роликов с податливыми обечайками и экспериментального стенда, планированию многофакторного эксперимента, проведению и анализу экспериментальных исследований. Целью этих исследований явилось изучение влияния роликов с податливыми обечайками, способа их расстановки и упругости самой ленты на ударную нагрузку и ее износ при подаче модели куска груза в загрузочном узле конвейера. Проведено сопоставление результатов численного моделирования и натурных экспериментов как для случая удара по ленте между опорами, так и для падения груза непосредственно над роликом.

Исследования проведены в лабораторных условиях на натурном загрузочном узле конвейера, состоящим из става, натянутой винтовым устройством ленты, двух динамометров типа ДИУ-20, копрового механизма для подачи на ленту куска груза, представляющего собой шток с насадкой, имитирующей острокромчатость.

Разработанная автором конструкция ролика с податливой обечайкой (рис.2) состоит из выносных подшипниковых узлов 5, имеющих возможность поворота в вертикальной плоскости; податливой обечайки 1, включающей в себя втулки 4, на которые надета и концами зафиксирована пружина 2, заключенная в упругую среду (резина) 3.

В работе приведена предложенная автором технология вулканизации резины на каркасе обечайки.

Для замера прогибов обечайки и ленты использованы специальные прогибомеры. Запись ударных нагрузок зафиксирована тензодатчиками, наклеенными на шток модели куска груза.

При исследовании варьировались: масса модели груза в протек-

лах 35 ± 65 кг; шаг расстановки роликов — $0,35 \pm 0,6$ м; натяжение ленты — 20 ± 40 кН; высота падения груза — $0,4 \pm 0,9$ м; жесткость обечайк роликов — $(50 \pm 200) 10^3$ Н/м. При выборе уровней варьирования и интервалов учтены реальные условия работы ленточных конвейеров, а также свойства крупнокусковых грузов на участке первичного дробления известняка на Южно-Гопарском рудоуправлении Атасуйского ГОКа и ПО "Карагандацемент".

Проведение экспериментальных исследований и статистическая обработка результатов на ЭВМ по разработанному алгоритму и программе "SORED", написанной на языке ФОРТРАН-4 и адаптированной к ЭВМ серии ЕС, позволили получить полиномиальные модели, характеризующие зависимости ударной нагрузки, прогиба ленты и обечайк, усилий в подшипниковых узлах от варьируемых факторов.

Анализ полученных полиномов показал, что наибольшее влияние на динамическую нагрузку в ленте оказывают масса и высота падения груза и соизмеримая с ними жесткость обечайк роликов. Фактор натяжения ленты также вошел в полиномиальные модели, но его влияние существенно меньше, чем вышеуказанные факторы. Вместе с тем, при применении роликоопор с податливыми обечайками влияние натяжения ленты намного существеннее по сравнению с жесткими, шарнирными и другими роликоопорами. Механизм подключения натяжения ленты основан на эффекте вязкой упругости, благодаря чему часть ударной нагрузки рассеивается в этой среде из-за значительной продольно-поперечной деформации, снижая тем самым ударную нагрузку. Другая же часть нагрузки идет на местное смятие ленты и динамический прогиб обечайки ролика. Таким образом, происходит разделение и распределение функции амортизации ударной нагрузки между самой лентой и податливыми обечайками.

В случае падения куска груза на ленту между податливыми роликоопорами наиболее существенным фактором, оказывающим наибольшее влияние на силу удара и смещение ленты, представляет расстояние между роликоопорами, которое в среднем в 1,5 раза эффективнее влияния масса и высота падения куска груза.

Анализ построенных графиков показал, что изменение жесткости обечайки от $(50 \dots 200) 10^3$ Н/м при фиксированно максимальных значениях других факторов, приводит к увеличению силы удара с 10 до 14 кН, однако при этом замечено значительное снижение смещения ленты от 70 мм до 16 мм. Увеличение энергии удара в 2 раза вызывает рост силы удара в 2,5 раза. Сила удара по ленте в слу-

чае установки шарнирных роlikоопор на канатном ставе широко используемых в отечественном конвейеростроении в 1,6-1,7 раза выше, чем для роlikоопор с податливыми обечайками.

Исследования показали, что наиболее оптимальным можно считать шаг расстановки роlikоопор с податливыми обечайками 0,35 + 0,5 м, где прогиб ленты достигает 75 мм и не превышает 15 % от шага. Смещение ленты под уплотняющими бортами относительно существенно при ударе куска груза по ленте над средней роlikоопорой (рис.1 б), а в случае удара между средними роlikоопорами (рис.1 а) смещения практически не было. Анализ результатов показывает, что при шаге расстановки роlikоопор 0,3-0,6 м и схеме расстановки боковых и средних роlikов по рис.1 изменение зазора между уплотняющими бортами и конвейерной лентой незначительно. При силе удара 12,8 кН и более зазор начинает значительно увеличиваться. С точки зрения постоянства бокового зазора между лентой и бортами шаг расстановки роlikоопор должен быть в пределах от 0,3 м до 0,6 м, а сила удара от 12 кН до 13 кН.

Результаты изучения осевых усилий в податливой обечайке и подшипниковых узлах показал, что при максимальных значениях факторов они не превышают 3-4 кН. Установлено, что увеличение жесткости обечайки до 200 10^3 Н/м снижает осевое усилие в 1,5 раза. Нагрузки на подшипниковые узлы в указанных выше пределах могут восприниматься обычными радиально-упорными или коническими подшипниками и не требует применения специальных подшипников.

Сопоставление результатов теоретических и экспериментальных исследований показало, что их расхождение в случае падения куска груза по ленте над роlikом не превышает 19 %, а в случае падения между роlikоопорами - 20 %.

В пятой главе приведена методика расчета загрузочного узла ленточного конвейера при транспортировании материалов, включающих крупные куски, показан пример расчета и использования методики, а также представлены результаты внедрения на производстве.

Методика содержит систематизированный алгоритм расчета с использованием программного комплекса "UDAR-SORED" и выбора параметров загрузочного узла при весьма значительных ударных нагрузках от крупнокускового груза.

Методика расчета позволяет решить следующие задачи при проектировании и модернизации загрузочно-перегрузочных узлов:

-определить динамические нагрузки в ленте и роliках с податливыми обечайками;

- определить деформированное состояние системы "груз-лента-податливая обечайка";
- выбрать оптимальные параметры податливых обечаек роlikоопор;
- установить оптимальный шаг расстановки роlikоопор для рекомендуемой схемы;
- проверить стойкость ленты на пробой по местному смятию при единичном ударе куском груза.

Р:работанная методика апробирована при модернизации загрузочных узлов ленточных конвейеров, предназначенных для транспортирования крупнодробленого известняка на ДСЗ ПО "Карагандацелимент". Промышленные испытания после 5 месяцев эксплуатации показали целесообразность принятой схемы расстановки роlikоопор и шага между ними, позволяющей существенно снизить износ ленты. Использование роlikов с податливыми обечайками привело к уменьшению степени повреждаемости ленты и повышению надежности срока службы роlikов опор в среднем в 10 раз по сравнению с ранее использовавшимися жесткими футерованными резиной роlikооперами.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Обобщение опыта эксплуатации загрузочных узлов ленточных конвейеров и анализа причин износа лент, а также преждевременного выхода из строя роlikов опор, позволило выявить основные пути снижения динамических нагрузок при подаче сыпучих грузов, содержащих крупные куски. Установлено, что наиболее эффективным путем демпфирования ударных нагрузок и снижения износа ленты под бортовыми направляющими являются мероприятия, основанные на использовании упругости самой ленты при обязательном сохранении постоянства зазора между направляющими бортами и лентой и выборе рационального шага расстановки роlikов.

2. В результате проведенной формализации условий подачи кускового груза на ленту конвейера выявлено, что наибольшая часть ударной нагрузки приходится на средний ролик желобчатой опоры. Разработанная новая конструкция среднего ролика с высокой податливостью обечайки позволила "включать" в работу в качестве дополнительного демпфера упругость самой ленты. Установлено, что боковые ролики мало влияют на степень демпфирования и должны служить главным образом средством сохранения постоянства зазора между направляющими бортами и лентой.

В качестве боковых роликов достаточно использовать ролики на жестких осях.

3. Разработанная и основанная на методе С.П.Тимошенко математическая модель динамического взаимодействия куска груза с лентой и роликами с податливыми обечайками позволила впервые учесть демпфирующую способность самой ленты от продольной упругости и ряда входящих под лентой податливых роликов. Выявлено, что энергия удара падающего куска распределяется на работу упругих деформаций от местного смятия ленты динамического продольного изгиба ленты и смещения податливых обечаек опор.

4. Созданная для ЭВМ универсальная программа численной реализации математической модели методом разбиения кривой распределения функции силы удара на конечные участки с последующей линеаризацией каждого участка и вычислением ударной нагрузки и деформаций путем последовательного приближения в каждой точке шаг за шагом. На основании проведенных интегральных преобразований получен метод с достаточно хорошо сходящимся процессом. Разработанный алгоритм расчета реализован на языке ФОРТРАН-4 применительно к ЭВМ серии ЕС.

Достоверность результатов счета подтверждена численными машинными экспериментами, определено, что при количестве шагов разбиения периода колебаний силы удара, равное $n_d = 900$ достигается высокая точность счета, и погрешность силы удара при достижении пика нагрузки составляет 0,1 % (менее 10 Ньютонов).

5. Доказано, что использование в качестве опорных элементов в загрузочном узле роликов с податливыми обечайками в 1,6-1,7 раза эффективнее широко применяемых в конвейеростроении шарнирных роlikоопор на канатном ставе.

6. Установлено, что исходя из условия сохранения постоянства бокового зазора между направляющими бортами и лентой конвейера, а также условия исключения превышения прогибов ленты, когда шаг расстановки роликов в загрузочном узле должен быть в пределах 0,35-0,55 м.

7. Установлено, что с целью наиболее эффективного использования упругости самой ленты и уменьшения ее прогеса под кромками бортовых направляющих относительная расстановка средних роликов с податливыми обечайками и боковых должна быть в различных плоскостях по ходу движения ленты, при котором средние горизонтальные ролики следует размещать по середине пролета между двумя боковыми роlikоопорами. Экспериментальными исследованиями доказано,

14

что такая расстановка роликов способствует сохранению зазора между бортовыми направляющими и лентой, а также снижение вертикальных прогибов.

8. Загрузочные узлы ленточных конвейеров при транспортировании крупнокусковых грузов следует рассчитывать по разработанной в данном исследовании методике, позволяющей определить динамические нагрузки и деформированное состояние системы "груз-лента-податливый обечайка", установить оптимальный шаг и жесткостные параметры роликов с податливыми обечайками, проверить стойкость ленты на пробой единичным ударом куска груза.

9. Результаты исследований, а также разработанная методика расчета апробированы при модернизации загрузочных узлов ленточных конвейеров транспортирующих крупнокусковый известняк (≈ 500 мм) на ДСФ ПО "Карагандацемент". Промышленными испытаниями установлено, что использование роликов с податливыми обечайками приводит к снижению повреждаемости ленты и повышению надежности роликоопор в среднем в 10 раз по сравнению с ранее использованными жесткими, футерованными резиной роликоопорами.

Основные положения диссертации отражены в следующих работах:

1. Аблезов К.Т. Усовершенствование демфирующих роликоопор в загрузочно-перегрузочных узлах ленточных конвейеров // Техническая реконструкция производства и ее социально-экономические последствия в свете требований XXV съезда КПС: Тез. докл. Регион. конф. - Караганда, 1986. - С.7.

2. Колобов Л.Н., Аблезов К.Т. Математические модели динамических нагрузок в загрузочных узлах ленточных конвейеров // Моделирование и расчет технологии комплексов оборудования на горных предприятиях: Тр. КарПТИ. - Караганда, 1987. - С.84-89.

3. Колобов Л.Н., Степанов П.Б., Аблезов К.Т. Снижение ударных динамических нагрузок в ленточных конвейерах // Теория машин металлургического и горного оборудования. - Свердловск, 1988. - С.49-52.

4. Аблезов К.Т., Колобов Л.Н. Теоретическое моделирование взаимодействия крупнокускового груза с лентой между роликоопорами конвейера // Моделирование и оптимизация выемочно-транспортных комплексов горных предприятий: Тр. КарПТИ - Караганда, 1988. - С.84-89.

5. Аблезов К.Т. Стендовые испытания роликоопор с податливыми обечайками в загрузочных узлах ленточных конвейеров // Молодые

ученные - науке Центрального Казахстана: Тез.докл. Регион.конф. - Караганда, 1988. - С.46.

6. Степанов П.Б., Аблезов К.Т. Метод расчета ударного взаимодействия груза с лентой конвейера с учетом податливости обечаек роликоопор // Молодые ученые - науке Центрального Казахстана: Тез.докл. Регион.конф. - Караганда, 1988. - С.44.

7. Степанов П.Б., Колобов Л.Н., Аблезов К.Т. Построение модели процесса удара куска груза по ленте конвейера, опертой на роликоопоры с большой податливостью обечаек // Функционально-структурное моделирование и разработка машин: Упр. КарПИ - Караганда, 1989. - С.

8. Степанов П.Б., Колобов Л.Н., Аблезов К.Т. Математическое моделирование динамического взаимодействия кускового груза с конвейерной лентой и податливыми роликоопорами в загрузочном узле // Смешанные задачи механики деформируемого тела: Тез.докл. IV Всесоюз.конф. - Одесса, 1989. - Ч.П. - С.97.

9. Колобов Л.Н., Аблезов К.Т. Исследование влияния податливости обечаек роликов на ударную нагрузку при подаче крупнокусовых грузов на ленту конвейера // Подъемно-транспортная техника и технология: Тез.докл. Всесоюз.конф. - М., 1990. - С.119.

Б.И. В.