

Министерство образования Украины
КРИВОРОЖСКИЙ ГОРНОРУДНЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ЕФИМЕНКО Людмила Ивановна

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛОЕМКОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ СТАВА ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРИНЦИПОВ УПРАВЛЕНИЯ ПО ИХ ЭКСТРЕМАЛЬНЫМ ЗНАЧЕНИЯМ

05.05.06 - Горные машины

05.13.07 - Автоматизация технологических
процессов и производств
/ отрасль - промышленность/

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Кривой Рог - 1994



00801594 (R)

Работа выполнена в Криворожском горнорудном институте

Научный руководитель
академик Международной Академии
компьютерных наук и систем,
д.т.н., профессор

В.М.Назаренко

Официальные оппоненты:
доктор технических наук,
профессор
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник

А.Г.Бакал

И.Т.Гераймович


Ведущая организация: Научно-исследовательский и проектно-
конструкторский институт горнорудного
машиностроения

Защита состоится "14" апреля 1994 г. в 10⁰⁰ час.
на заседании специализированного ученого совета К.16.01.01
Криворожского горнорудного института по адресу: 324027,
г.Кривой Рог, ул. XXI Партсъезда, II.

С диссертацией можна ознакомитися в бібліотеці Криворожського горнорудного інституту

Автореферат разслан 14 марта 1994 г.

Ученый секретарь специализированного
ученого совета кандидат технических
наук, доцент


Ю.Г.Горбачев

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

АВ - 29, 475

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Ленточные конвейеры получили широкое распространение на предприятиях горнодобывающей, угольной, строительной и химической промышленности. Все возрастающая роль конвейерного транспорта обуславливает повышение требований к его узлам и агрегатам, в числе которых одно из главных мест занимает требование снижения металлоемкости. Известно, что снижение металлоемкости продукции, выпускаемой в стране только на 1% равнозначно дополнительному росту национального дохода на 3-4 млрд. рублей / по состоянию на 1989 г./.

Конвейерные станы характеризуются значительной металлоемкостью, от 15 до 70% от общей массы конвейера, что составляет, к примеру, в горнодобывающей промышленности в среднем от 40 до 400 т металла на один конвейер. Анализ методов расчета отдельных элементов опорных конструкций показывает, что имеется значительный разброс металлоемкости конвейеров одного вида и назначения в зависимости от методов, применяемых проектными организациями, т.к. в большинстве случаев, для упрощения, ряд нагружающих факторов учитывают коэффициентами запаса прочности. Такой подход кроет в себе резервы снижения металлоемкости. Применение автоматизированных методов расчета опорных конструкций на ЭВМ с заданием уточненных нагрузок для наиболее тяжелых режимов работы конвейерной установки, позволяет учитывать динамические процессы, происходящие в элементах стана, изменение грансостава груза и другие условия эксплуатации, обеспечивает унифицированный подход к расчету и, как следствие, снижение металлоемкости стана на стадии проектирования на 10-14%, что дает экономический эффект

15-20 тыс. руб. на одном конвейере типа ЛК 5250 производства Ю Ново-Краматорского машиностроительного завода.

Увеличение объемов производства и единичной производительности конвейера, использование его в гибком автоматизированном производстве /ГАП/, приводит к увеличению как нагрузки на опорные конструкции, так и существенно изменяет его динамику. Применение комплекса мероприятий по построению рационального режима работы установки позволит на стадии эксплуатации снизить динамику, за счет этого дополнительно снизить металлоемкость на 15-18%, что дает суммарный экономический эффект 35-40 тыс. руб. или 6-7 т на одном конвейере типа ЛК-5250.

Указанное подтверждает актуальность поставленной задачи.

Работа выполнялась в соответствии с комплексной научно-технической программой Минвуза УССР "Автэлектривод" /задание 2.2. "Разработать и создать автоматизированную систему управления электроприводом стационарных ленточных конвейеров на основе асинхронных двигателей, тиристорных преобразователей и средств микроэлектронной техники с целью повышения технико-экономических показателей и показателей надежности" /утвержденной приказом Минвуза УССР № 189 от 28.04. 1981 г.

Цель работы - обоснование алгоритмов формирования тягового усилия и скорости конвейера по критерию металлоемкости и создание методики расчета металлоемкости тяжелых ленточных конвейеров с регулируемым приводом.

Идея работы - заключается в разработке методов для увеличения долговечности и снижения металлоемкости става ленточ-

ного конвейера при использовании автоматической системы управления в условиях неравномерного грузопотока.

Основные научные положения и их новизна:

1. Зависимости формирования основных нагрузок на роликоопору, математическая модель нагружения опорных конструкций при транспортировании горной массы с крупными кусками груза, алгоритм формирования нагрузок в ставе, отличающиеся тем, что одновременно учитываются как нагрузки от потока мелких фракций, так и от отдельных крупных кусков и тягового усилия, а также колебаний, вызванных вращающимися роликами, поперечными перемещениями грузовой ленты при переменной скорости транспортирования.

2. Сформулирован обобщенный функционал металлоемкости, получено уравнение повреждения конвейерного става, алгоритмы прогнозирования остаточного ресурса, отличающиеся тем, что учитывают одновременно грансостав транспортируемого груза и режимы автоматизированного конвейера.

3. Алгоритмы формирования законов управления приводом ленточного конвейера при транспортировании крупных кусков груза и запуске грузонного конвейера, отличающиеся тем, что в качестве целевой функции принят минимум металлоемкости конструкций конвейера.

4. Структура системы управления приводом конвейерной установки с различными уровнями скорости транспортирования, на основе динамической модели объекта управления, отличающаяся тем, что учитываются реологические свойства тягового органа, особенности транспортирования крупнокускового груза, обеспечиваются минимальные усилия в ставе конвейера.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обусловлена анализом материалов технической литературы и общепринятых положений и законов механики, теории колебаний, случайных процессов, математического аппарата дифференциального и операторного исчисления; применением апробированных методов теории электропривода и автоматического регулирования; соответствием принятых допущений характеру решаемых задач; достаточной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, выполненных на ЭВМ методом математического моделирования и подтвержденных промышленными испытаниями при расхождении результатов на 7-13%, в зависимости от точки, в которой производилась оценка.

Научное значение работы заключается в разработке математических моделей нагружения опорных конструкций става конвейера и функционала металлоемкости, позволяющих установить закономерности изменения нагрузок на став от режимов транспортирования и грансостава груза, исследовать зависимость металлоемкости от динамических режимов работы конвейера, синтезировать САУ, обеспечивающую снижение динамических нагрузок на опорные конструкции установки.

Практическое значение работы состоит в том, что разработаны и внедрены новые способы и технические решения по снижению металлоемкости без потери долговечности ленточного конвейера из-за уменьшения нагрузок на опорные конструкции путем формирования требуемого закона изменения тягового усилия конвейера при различных уровнях скорости транспортирования. Предлагаемые алгоритмы управления тяговым усилием и скоростью конвейера, руководство по расчету и выбору основных

параметров металлоконструкций ленточного конвейера с регулируемым приводом нашли применение в инженерной практике проектирования при внедрении новых конвейерных установок, модернизации действующих, наладке систем автоматического управления конвейером, АСУ поточно-транспортных систем.

Реализация работы в промышленности

На основании полученных закономерностей изменения металлоемкости и долговечности конвейерного става разработаны алгоритмы формирования тягового усилия и скорости на базе регулируемого привода и внедрены в условиях конвейера К-2 дробильной фабрики Михайловского ГОКа, конвейерах линий Канско-Ачинского /разрез "Березовский"/, Экибастузского /разрез Восточный/ энергетических комплексов /проект института "Электротяжпроект", г.Днепропетровск/. Полученные закономерности нагружения конвейерного става вошли в методическое руководство "Методика расчета характеристик режимов работы автоматизированного ленточного конвейера с регулируемым приводом" /в главе 6 по обоснованию параметров и созданию методов расчета металлоемкости тяжелых конвейеров/

Апробация работы

Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на научных семинарах, конференциях, совещаниях, секциях ученого и технического советов, в том числе:

- на республиканской конференции молодых ученых и специалистов "Молодые ученые - прогрессу в области разработки высокоэффективных технологий, средств механизации и автоматизации добычи и переработки полезных ископаемых" /г.Днепропетровск,

1984 г./, на областной научно-технической конференции "Механизация и автоматизация ручных и трудоемких операций в промышленности Кузбасса" /г.Кемерово, 1984 г./, Всесоюзной научно-технической конференции "Проблемы управления объектами с распределенными параметрами /г.Одесса, 1987г./, Всесоюзной научно-технической конференции "Актуальные проблемы моделирования и управления системами с распределенными параметрами" /г.Киев, 1987 г./, на Ш-ей Всесоюзной научно-технической конференции "Вибрация и вибродиагностика. Проблемы стандартизации" /г.Нижний Новгород, 1991 г./.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 17 работ, в том числе получено 6 авторских свидетельств и 3 положительных решения по заявкам на предполагаемые изобретения.

Структура и объем работы. Диссертация представлена на 200 страницах машинописного текста и состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованных источников из 113 наименований, 43 рисунков, 10 таблиц и 9 приложений на 17 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Вопросам повышения эффективности использования ленточных конвейеров, совершенствования систем автоматического управления посвящены работы Спиваковского А.О., Потураева В.Н., Шахмейстера Л.Г., Дьякова В.А., Дмитриева В.Г., Виличенко Н.Я., Новикова Е.Е., Котова М.А., Смирнова В.К., Волотковского В.С., Кавармы И.И., Червоненко А.Г., Монастырского В.Ф., Назаренко В.М. и др. Одним из основных показателей эффективности является снижение металлемкости конвейера без потери его долго-

вечности. Применение автоматизированных конвейеров расширило возможности по разработке методов снижения металлоемкости конвейерных конструкций, а также способов для их реализации. Это сделало возможным при случайном входном грузопотоке и внешних воздействиях на базе существующих математических методов дать, в отличие от ранее разработанных, математическое описание нагрузок на опорные конструкции, получить модель нагружения элементов става, алгоритмы формирования нагрузок, обобщенный функционал металлоемкости, разработать структуру элементов модели автоматизированного конвейера, адаптивную систему управления, с учетом особенностей применения ГАП. Реализация адаптивной САУ ленточным конвейером, позволяющей осуществить минимизацию металлоемкости, требует решения ряда теоретических и прикладных задач, включающих: установление закономерностей формирования коэффициента динамичности фракций грузопотока, определение основных нагружающих факторов и степени их влияния на формирование суммарной нагрузки на став автоматизированного конвейера, разработку модели нагружения и экспериментальное исследование ее на ЭЕМ, установление закономерностей формирования металлоемкости опорных конструкций конвейера и разработку алгоритмов, формирующих предлагаемые законы управления адаптивной САУ, предложение технических решений по реализации САУ.

Вопросы оценки влияния применения регулируемых режимов работы автоматизированного привода конвейера в условиях случайного грузопотока на величину нагрузок на опорные конструкции и возможности их снижения обусловили определение основных нагружающих факторов и, как следствие, первое научное положение. Известно, что оценка нагрузок на отдельные элементы

конвейерного става при транспортировании крупнокускового груза выполнялась с помощью коэффициента динамичности для насыпного груза и крупных кусков, следующих друг за другом при постоянной скорости транспортирования. Применение регулируемого привода с переменной скоростью транспортирования вызвало необходимость дополнительных исследований, как в части насыпного груза, так и при прохождении отдельных кусков. Учет влияния тягового усилия на нагружение опорных конструкций, как в установившемся режиме, так и в момент пуска конвейера, до настоящих исследований практически не производился. Нагрузки от колебаний, вызванных воздействием ленты с грузом, роликами и крупными кусками в установившемся режиме и в момент пуска не учитывались.

Для установления закономерностей изменения основных нагрузок, влияющих на параметры опорных конструкций автоматизированного конвейера, проведен анализ их формирования и описана зависимость от автоматизированных режимов при изменении интенсивности и грансостава грузопотока, поступающего на конвейерное полотно. Нагрузка от потока материала, в частности от насыпного груза, является одной из основных составляющих общей нагрузки. Величина динамического воздействия потока груза зависит прежде всего от крупности составляющих его фракций и скорости транспортирования и может быть определена из выражения $P_n = m_n \cdot l_p \cdot V \cdot K_p \cdot g [(1 + 0,486 m_{p0} \cdot g (m_n g l_p)^{-1} \cdot t)^{-1}]$, где m_n - погонная масса груза, $m_n = \sum_i^n m_i \cdot K_{A_i}$; m_i - погонная масса i -ой составляющей фракции грузопотока; K_{A_i} - соответствующий коэффициент динамичности; l_p - шаг расстановки роликоопор; V - скорость транспортирования; K_p - коэффи-

циент, зависящий от точки приложения силы и состояния роликкоопор, $K_p = \sin \alpha \cdot W_{тр}$; α - угол между касательной в точке входа ленты на ролик и направлением действия силы;

$W_{тр}$ - коэффициент трения ленты о ролик; $m_{ро} \cdot g$ - вес роликкоопоры.

Нагрузка на конструкции от отдельных кусков груза при различной компоновке их в горной массе обусловлена характером их взаимодействия с роликкооперами и определена как ударный импульс $P_{и}$. Нагрузка от тягового усилия: $P_T = K_y \cdot W_{Ti} \cdot W_{изг}$,

где K_y - коэффициент, учитывающий условия и режимы транспортирования; W_{Ti} - тяговое усилие в i -ой точке конвейера; $W_{изг}$ - часть коэффициента сопротивления, обусловленная изгибом роликкоопор. Для установления влияния тягового усилия на элементы става проведен анализ коэффициента сопротивления движению, получено выражение, определяющее зависимость коэффициента сопротивления движению от изгиба роликкоопор под

действием потока груза и движущейся ленты $W_{изг} = u_{изг} / (q_r + q_{\lambda} + q_p) \ell_p$, где $u_{изг}$ - сила сопротивления изгибу, определяется из условия прочности стоек роликкоопор: $u_{изг} = K_k \cdot W_c \cdot [\sigma] / h$,

где K_k - конструктивный коэффициент; W_c - момент сопротивления сечения стойки роликкоопоры; $[\sigma]$ - допускаемое напряжение материала стойки; h - высота стойки; q_r, q_{λ}, q_p - вес, соответственно, груза, ленты, верхних роликкоопор. Сила сопротивления изгибу определена в зависимости от силы изгибающей роликкоопору $P_{изг}$: $u_{изг} \geq K_c \cdot P_{изг}$, $P_{изг} = (q_r + q_{\lambda}) \cdot \ell_p \cdot V \sin \alpha (1 + 0.486 q_p (q_r \ell_p)^{-1})$,

где K_c - коэффициент, учитывающий сопротивление трения ленты о ролик и трение в подшипниках; α - угол между направлением скорости куска после удара о ролик и касательной к кривой прогиба ленты в точке входа ее на ролик (рис. I).

Зависимость силы, изгибающей стойку роликоспоры: а/ от линейной загрузки; б/ от натяжения; в/ от скорости ленты и г/ зависимость составляющей коэффициента сопротивления движению от натяжения и скорости транспортирования

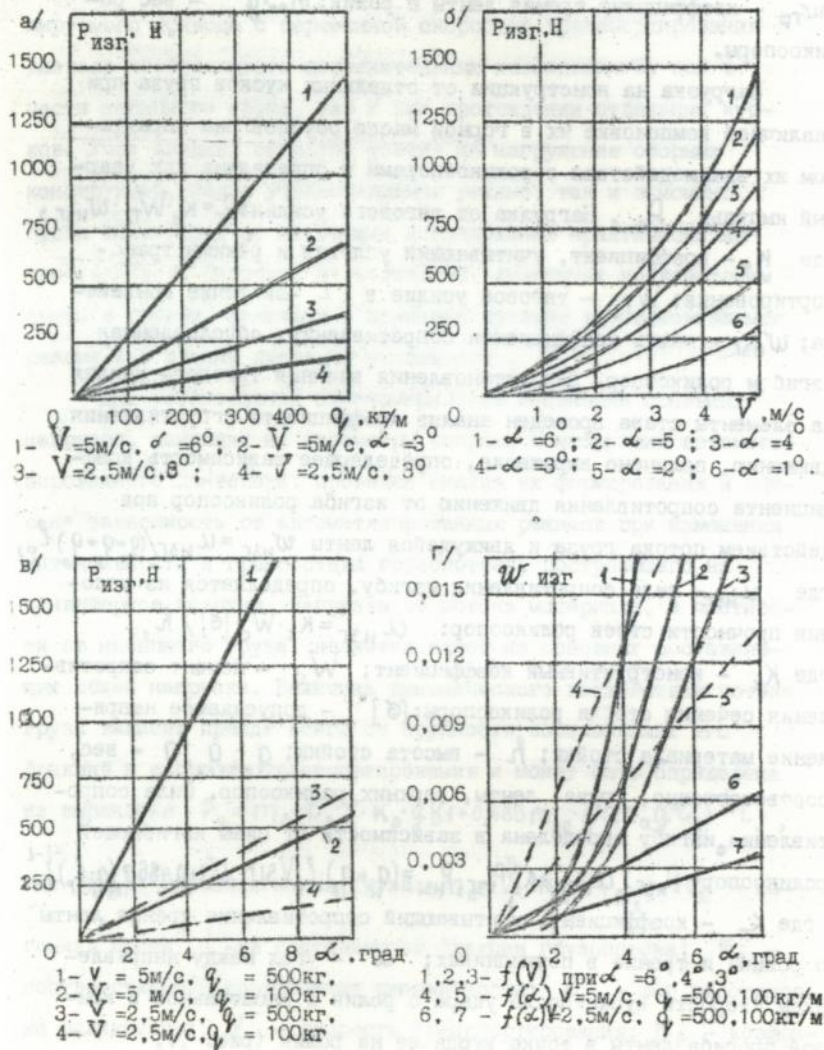


Рис. 1

При исследовании основных факторов, вызывающих колебания конвейерного става, получены выражения для определения: 1) суммарной нагрузки от поперечных колебаний ленты с грузом, вращающихся роликов при изменении режимных параметров; 2) части эквивалентного усилия, действующего на став от колебаний, вызванных пусковым тяговым усилием.

Зависимость нагрузки на опорные конструкции конвейера от режимных параметров при любом фракционном составе имеет вид: $P_p = P_g + P_n + P_r + P_t$, $P_p = gm_p + l_p \sum_{j=1}^c K_{A_j} \cdot q_j + bmV^2 \sin \alpha (1+k) \bar{a}^{-1} + k_y W_r \omega_r H$. Приняв за критерий оптимальности металлоемкость конструкций, можно определить режимы транспортирования, при которых снижается динамическая нагрузка от указанных факторов. Полученные закономерности нагружения конвейерного става при изменении режимных параметров позволили уточнить существующие модели нагружения конструкций.

Известные математические модели, описывающие воздействие крупнокускового груза на конвейер, получены в результате обработки экспериментальных данных, либо исходными являются данные, описывающие структуру грузопотока, геометрические и физические характеристики конвейера. В итоге, статическая составляющая нагрузки определяется линейной массой материала, а динамическая - воздействием отдельных крупных кусков. Ряд факторов учитывался повышенными коэффициентами запаса прочности. Нагрузка на опорные конструкции оценивалась при существующих способах и режимах управления конвейером. Оценка влияния режимов автоматизированного конвейера на нагружение конструкций не выполнялась. Расширение объема специфических требований, обусловленных особенностями гибкого автоматизированного производства, вызвало необходимость разработки уточненной модели нагружения опорных конструкций, учитывающей

влияние режимов работы автоматизированного конвейера. В отличие от ранее разработанных моделей, в предлагаемой учитывается зависимость нагрузок от изменения режимных параметров автоматизированного конвейера. Полученную модель нагружения используют для оценки факторов, определяющих закономерности формирования металлоемкости и долговечности конвейерных конструкций. При этом исследуют основные режимы транспортирования. В пусковом режиме общая нагрузка на продольные балки става складывается из следующих составляющих:

$$M_{\text{я}} = M_{\text{в}} + M_{\text{т}} + M_{\text{кТ}} = K_{\text{в}} \sum_{i=1}^3 q_i K_{\text{д}i} + W_{\text{т}} \sin \theta (K_{\text{т}} \cos \theta + K_{\text{т1}} \sin \theta + 2K_{\text{в}} \sin \theta);$$

$$K_{\text{в}} = (2n^2 + 1/24) \rho_p; K_{\text{т}} = K_{\text{в}} w; K_{\text{т1}} = n w h; \beta = \pi l_p (n-1) \cdot (T_c \cdot V_p)^{-4}.$$

В установившемся режиме: $M_{\text{уст}} = M_{\text{в}} + M_{\text{куч}} + M_{\text{кол}}$. Однако, так как момент, вызванный колебаниями $M_{\text{кол}}$ в основном влияет на усталостные накопления, в расчет суммарного момента его принимать не будем: $M_{\text{уст}} = K_{\text{в}} \sum_{i=1}^3 q_i K_{\text{д}i} + P_{\text{куч}} (K_{\text{к}} \cos \theta + K_{\text{к1}} \sin \theta)$, $K_{\text{к}} = K_{\text{в}} \cdot K_{\text{к1}} = n h$; $M_{\text{в}}$, $M_{\text{т}}$, $M_{\text{куч}}$, $M_{\text{кТ}}$ — соответственно, изгибающие моменты, действующие на продольные балки става от вертикальных нагрузок, обусловленных весом ленты с грузом и роликоспор, от тягового усилия, крупных кусков, от колебаний. Получены алгоритмы формирования нагрузок на опорные конструкции ленточного конвейера для режимов транспортирования, вызывающих максимальные воздействия на став стационарных и передвижных конвейеров. На рис. 2 приведен алгоритм для конвейеров стационарного типа.

Анализ напряжений в балках става и других элементах опорных конструкций, проведенный на ЭВМ с помощью типовых программ при работе конвейера в различных режимах и неблагоприятных факторах показал, что снижение нагруженности конструкций за счет регулирования скорости, является наиболее благоприятным

режимом работы, а самым тяжелым является наличие значительной части невращающихся роликов. Экспериментальные исследования нагруженности балок става проведены тензометрическим и вибрационным методами. В результате экспериментальных исследований получена зависимость между амплитудой сигнала виброскорости и динамической составляющей напряженности балки конвейерного става на частотах вибрации близких к резонансным для конструкции /рис. За/. Это позволит контролировать динамическую составляющую нагрузки с помощью измерения вибрации, что является более простым методом.

Анализ отказов отдельных механизмов ленточных конвейеров показывает, что долговечность опорных конструкций зависит как от прочности элементов, так и от режимов их эксплуатации. Создание более легких конструкций требует установления влияния этих факторов на надежность и долговечность последних, что обуславливает новое научное положение.

Известные уравнения повреждений и методики их оценки разработаны применительно к видам оборудования отличным от ленточных конвейеров и не учитывают динамические характеристики грузопотока и особенности его транспортирования автоматизированным конвейером. Учет указанных особенностей позволил сформулировать уравнение повреждения конвейерного става, расширить область применения и уточнить ранее разработанные способы определения ресурса конвейерных конструкций.

Эксплуатационные параметры конвейера оказывают разрушающее действие на опорные элементы, которое оценивается мерой повреждения U , при этом меры повреждения от различных разрушающих факторов /крупные куски груза, пусковые режимы и т.п./ различны по величине. Получено выражение для определения суммарной меры повреждения опорных конструкций

Алгоритм формирования нагрузок на опорные конструкции ленточного конвейера

Кривая регрессии вибросигнала по тензосигналу

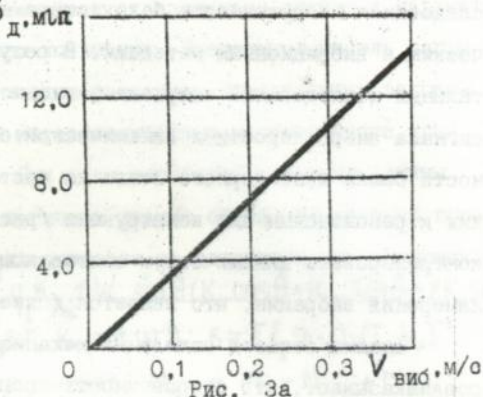
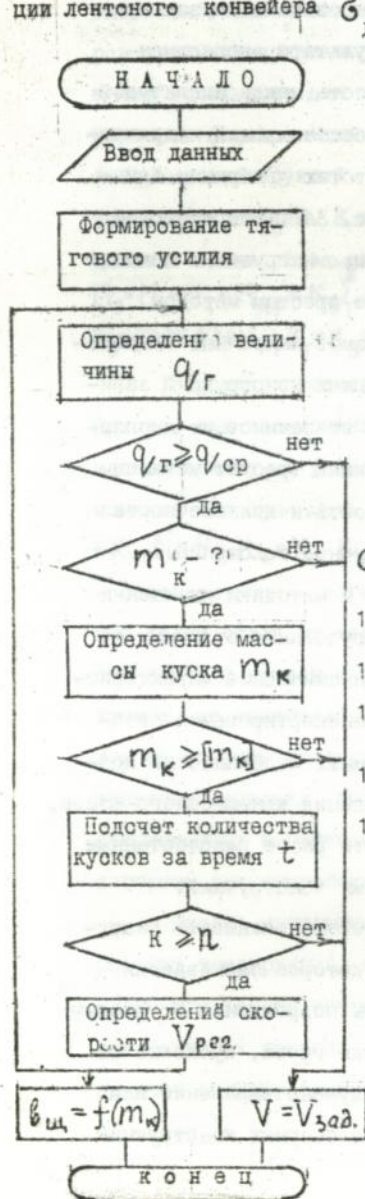
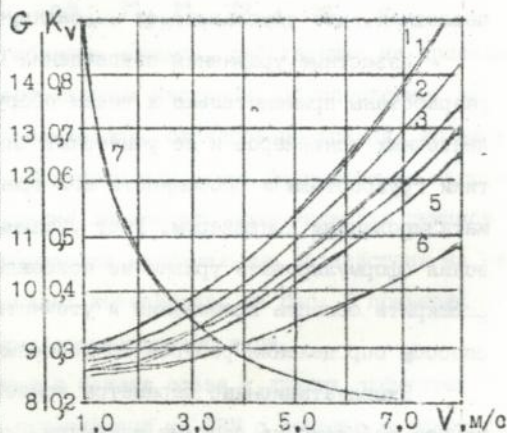


Рис. 3а

Зависимость металлоемкости конвейерного става от режимных параметров и грансостава груза



G — металлоемкость конвейерного става, кг/м; K — коэффициент, учитывающий изменение тягового усилия от скорости; 1, 2, 3, 4, 5 — зависимости коэффициента от скорости при массе кусков 100, 80, 60, 40, 20 кг; 6 — транспортирование потока груза без крупных кусков; 7 — зависимость K_V от скорости ленты.

Рис. 3б

конвейера: $V_{\Sigma} = f(V, P_T, m_k, t)$, $V_{\Sigma} = \sum_{t=0}^T (V_{kt} + V_{nt} + V_{pt})$; $V_{\Sigma} = \sum_{i=1}^R N_i \cdot \Delta a_i$,
 где V, P_T, m_k - эксплуатационные параметры конвейера /ско-
 рость транспортирования, тяговое усилие привода, масса круп-
 ных кусков груза/; V_{kt}, V_{nt}, V_{pt} - меры повреждения конструк-
 ции от различных повреждающих факторов /кусков, запусков,
 неучтенных факторов/ за время T : t - промежутки време-
 ни измерения; N_i, N_{ki}, N_n, N_{pt} - количество разрушающих циклов,
 соответственно, от обобщенного i -го фактора, от крупных
 кусков, от пусковых нагрузок, от неучтенных факторов; R -
 P, L - количество факторов, принимаемых в расчет; j -
 ℓ - порядковый номер накапливаемых циклов.

Эффективность использования ленточных конвейеров свя-
 зана со снижением металлоемкости конвейерного става, являю-
 щегося основным элементом, определяющим общую металлоемкость
 конвейера, без потери его долговечности. Вопросы формирова-
 ния критерия оптимизации конвейера по металлоемкости в усло-
 виях режимных параметров вызвали необходимость получения
 функционала, позволяющего оценить влияние автоматизированных
 режимов работы установки на металлоемкость и сформулировать
 законы управления этими режимами.

Ранее выполненные исследования дали оценку металлоем-
 кости конструкций без учета особенностей автоматизированного
 конвейера с регулируемым приводом, что не позволило отразить
 динамическое воздействие привода и транспортируемого потока
 груза с крупными кусками на металлоемкость опорных конструк-
 ций. Предложенный функционал металлоемкости става

$$G = \sum_1^8 \ell_p [0.12(M_B + M_{II} + M_K + M_T) \cdot m \cdot [G]^{-1} + n] =$$

$$= \sum_1^8 \ell_p [0.12(M_B + K_1 V + K_2 K_3 V^2 + K_6 K_V W_T) \cdot m \cdot [G]^{-1} + n],$$

где K_1, K_2, K_3, K_6, K_v — коэффициенты, зависящие от величины и грансостава грузопотока, изменения тягового усилия и натяжения ленты, учитывает основные нагружающие факторы и динамическое воздействие привода конвейера.

В соответствии выбранному экономическому критерию — уменьшению металлоемкости опорных конструкций конвейера, разработаны алгоритмы формирования законов управления регулируемым приводом, уточняющие режимы работы автоматизированного конвейера при транспортировании крупных кусков груза и запуске груженого конвейера, т.е. условиях появления повышенных динамических нагрузок. Для реализации разработанных алгоритмов необходима система управления, режимы которой создают минимальные нагрузки в ставе конвейера. Ранее разрабатываемые системы управления конвейером не предусматривали возможностей снижения нагрузок на конструкции посредством изменения режимов работы. Вопросы влияния тягового усилия, развиваемого приводом, на нагружение конструкций ранее не рассматривались. Разработка системы управления, адаптивной к изменению динамических нагрузок на опорные конструкции, вызывает необходимость создания модели динамического нагружения, которая позволила бы оценить влияние основных режимных, конструктивных и технологических факторов на металлоемкость и долговечность, что и обусловило четвертое научное положение.

Разработанная соискателем модель с использованием структурного метода, отличается от существующих тем, что динамические процессы, возникающий в опорных конструкциях, оцнчивают с конвейерной лентой, с величиной и характером тягового усилия, развиваемого приводом. В результате чего получена модель динамического нагружения системы, включающей привод-

ленту - став, которая учитывает характерные особенности всех составляющих ее элементов, а также специфику транспортирования крупнокузовного груза. Синтезированы отдельные блоки / управления скоростью, тяговым усилием/ и структура адаптивной САУ конвейером. Модель позволяет исследовать существующие установки с целью оптимизации их режимов работы при изменении параметров грузопотока, а также, на стадии проектирования, исследовать нагрузки на конструкции, изменяя параметры самой конструкции. В результате моделирования на ЭВМ получены характеристики, подтверждающие достоверность разработанной модели. Изменение нагрузки на конвейере влияет на момент инерции привода, величина которого изменяется в больших пределах. Это, в свою очередь, влияет на динамические характеристики привода и вызывает трудности в настройке регуляторов. Для компенсации этого явления введено адаптивное наблюдающее устройство, которое идентифицирует имеющиеся значения момента инерции. Передаточную функцию регулятора скорости представим в виде $W_{pc}(p) = K_{pc}^I \cdot K_{pc}^{II}$, где $K_{pc}^I = K_T / 4T_n K_c$ - постоянная величина; $K_{pc}^{II} = j / c$ - переменная величина. Тогда П-регулятор скорости будет выполнен в виде последовательно соединенных пропорционального звена с коэффициентом K_{pc}^I и множительного, на второй вход которого введен сигнал с наблюдающего устройства.

Передаточная функция, связывающая момент двигателя с усилием на конструкции имеет вид: $W(p) = W_3(p) \cdot W_4(p) \cdot W_5(p)$, где $W_3(p) = (i\eta / R_g) / (T_p + 1)$; $W_4(p) = e^{-\tau p}$; $W_5(p) = K_g \cdot W_V$, здесь i, η, R_g, W_V - соответственно, передаточное число редуктора, КПД передачи, радиус приводного барабана, коэффициент сопротивления движению, зависящий от скорости; T, τ -

постоянная времени, время запаздывания, характеризующие механическую передачу и ленту; $K_g = 0,5 \ell_p \sin \theta \cdot \cos \theta + k \sin^2 \theta$ - коэффициент, связывающий нагрузку на конструкции, обусловленную тяговым усилием, с металлоемкостью конвейера, зависит от режимных параметров и коэффициента сопротивления движению.

Увеличение нагрузок на конструкции при изменении градулометрического состава транспортируемой горной массы, т.е. появлением крупных кусков груза, учитывается в модели дополнительными элементами структуры и передаточной функцией стойки роlikоопоры $W_g(p)$, полученной методом математического моделирования и представляющей собой $W_g(p) = 1/(T_c p + 1)$, где T_c - постоянная времени, обусловлена жесткостью стойки роlikоопоры, определяется следующим образом:

$$T_c = (m_{po} c_c^{-1})^{1/2}; m_{po} = m_A \cdot K_A + m_p \cdot 0,5; c_c = 3EJ/k^3,$$

тогда $T_c = (k^3 (m_A K_A + m_p \cdot 0,5) / (3EJ))^{1/2}$,

здесь c_c - жесткость стойки роlikоопоры; m_{po} - суммарная масса в сечении роlikоопоры, влияющая на постоянную времени, кг; K_A - коэффициент, учитывающий какая часть массы ленты влияет на постоянную времени T_c ; m - масса роlikоопоры, кг; 0,5 - коэффициент, учитывающий часть массы роlikоопоры, приходящуюся на одну стойку; EJ - модуль упругости материала стоек и балок; k - высота стойки роlikоопоры, м.

Таким образом, в предлагаемой модели системы "привод - конвейерная лента - став" уточнены динамические и статические звенья, связывающие параметры привода, тягового органа и транспортируемого груза с усилиями, возникающими в ставе конвейера. Алгоритмическая схема передаточной функции, связывающей усилия в ставе в зависимости от скорости транспортирования и параметров насыпного груза, представлена на рис. 4а, где

Участок структурной схемы, учитывающей зависимость усилий в ставе конвейера от скорости и параметров транспортируемого груза

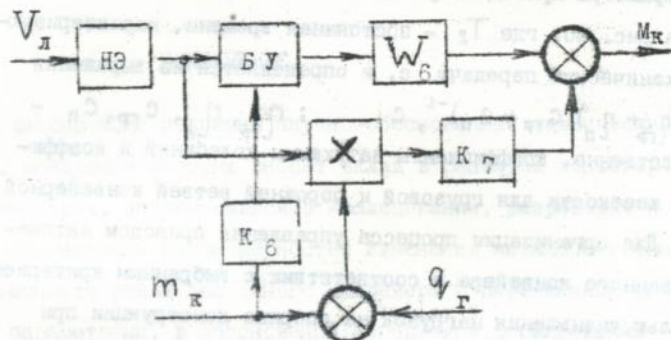


Рис. 4а.

Участок структурной схемы, связывающий усилия в ставе ленточного конвейера с параметрами привода

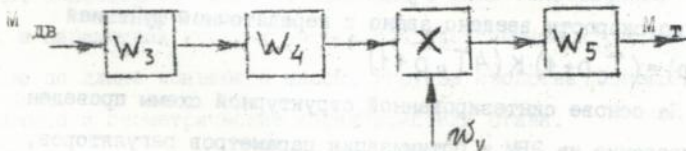


Рис. 4б

НЭ, БУ – соответственно, нелинейный элемент и блок умножения;
 K_6, K_7 – коэффициенты которые определяются из функционала металлоемкости; передаточная функция стойки роликоспоры описана выше. Структурная схема участка модели, связывающего параметры привода с усилием на конструкции, представлена на рис. 46, где T_2 – постоянная времени, характеризующая механическую передачу, с, и определяется из выражения $T_2 = 2(\eta_{гр} + \eta_{п})(c_{гр} + c_{п})^{-1}$, с; $\eta_{гр}, \eta_{п}, c_{гр}, c_{п}$ – соответственно, коэффициенты затухания колебаний и коэффициенты жесткости для грузовой и порожней ветвей конвейерной ленты. Для организации процесса управления приводом автоматизированного конвейера в соответствии с выбранным критерием и с целью уменьшения нагрузок на опорные конструкции при появлении неблагоприятных факторов, в структурную схему модели введены обратные связи по усилию, возникающему в конструкциях от скорости транспортирования груза и по усилию в конструкциях от тягового момента привода. Эти обратные связи, соответственно, заведены на регулятор скорости и регулятор тока. Для оптимизации процесса регулирования в цепи обратных связей введены корректирующие звенья. В цепь обратной связи по тяговому моменту введено звено с передаточной функцией $W_1(p) = (T_1 p + 1)(4 T_{дp} + 1)^{-1}$, а в цепь обратной связи по скорости введено звено с передаточной функцией $W_2(p) = (T_c p + 1) \cdot K(4 T_{дp} + 1)^{-1}$.

На основе синтезированной структурной схемы проведено моделирование на ЭВМ и оптимизация параметров регуляторов, позволяющая регулировать скорость и тяговый момент в зависимости от нагрузок на конвейерный став, выполнена практическая реализация технических и программных средств САУ конвейерной

установкой, позволяющая уменьшить нагрузки на опорные конструкции и, следовательно, снизить металлоемкость без потери долговечности. Разработана методика расчета и выбора основных параметров металлоконструкций ленточного конвейера при регулировании скорости транспортирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации изложены научно-обоснованные технические решения, внедрение которых вносит вклад в развитие конвейерного транспорта, заключающийся в исследовании, разработке и научном обосновании закономерностей изменения металлоемкости и долговечности става ленточного конвейера с переменными режимными параметрами, в обосновании алгоритмов формирования тягового усилия и создания методов расчета металлоемкости тяжелых ленточных конвейеров с регулируемым приводом, позволяющим обеспечить снижение металлоемкости конвейера как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации без снижения долговечности работающего оборудования.

Основные выводы по работе сводятся к следующему:

1. Ленточный конвейер как объект регулирования при изменяющемся грузопотоке необходимо рассматривать состоящим из привода, конвейерной ленты и, связанного ними конвейерного става, а параметрах которых учтены сосредоточенные и распределенные по длине конвейера массы, упругие свойства ленты, прочностные и геометрические характеристики става.

2. Анализ нагрузок на опорные конструкции конвейера от основных возмущающих факторов / поток насыпного груза, крупные куски, тяговое усилие / показал, что величина их существенно зависит от режимных параметров / скорость транспортирования,

тяговое усилие, натяжение/, так, например, изменение скорости транспортирования в 2 раза при неизменной линейной нагрузке и натяжении, вызывает уменьшение силы, изгибающей роликсопору в 3,5-4 раза.

3. Разработана математическая модель нагружения опорных конструкций на основании закономерностей формирования нагрузок от основных нагружающих (возмущающих) факторов, позволяющая получить аналитические выражения суммарной нагрузки на став для различных режимов работы установки при изменении грузопотока, производить оценку нагруженности элементов става в заданных режимах и условиях транспортирования на стадии проектирования.

4. Предложен критерий оптимизации конвейера по металлоемкости в условиях изменения режимных параметров на основе функционала, позволяющего оценить влияние автоматизированных режимов работы установки на металлоемкость и сформулировать законы управления тяговым усилием и скоростью транспортирования, при которых нагрузки на опорные конструкции будут уменьшены, что позволяет при проектировании выбрать металлические профили меньшего номера / а значит и веса/ или увеличить срок службы эксплуатируемых установок.

5. Предложена зависимость для определения повреждения конвейерного става от основных воздействующих факторов /кусков груза в зависимости от крупности, тягового усилия во время запуска/ с учетом влияния на величину деформации /повреждения/ режимов эксплуатации и грансостава груза; выполнена оценка ресурса металлоконструкций конвейера при изменении скорости транспортирования, тягового усилия при пуске нагруженного конвейера и массы крупных кусков груза.

6. Предложен принцип построения режима работы конвейера, который объединяет управление скоростью транспортирования при попадании крупных кусков груза и управление тяговым усилием, особенно при запуске груженого конвейера. Это позволяет реализовать режим работы установки с минимальными нагрузками на став, что важно при эксплуатации конвейеров меньшей металлоемкости; приведены технические решения, реализующие предложенные режимы.

7. Разработана структура САУ ленточного конвейера, обеспечивающая снижение нагрузок на став от воздействия основных возмущающих факторов /крупные куски, поток насыпного груза, тяговое усилие/ за счет управления тяговым усилием привода и скоростью ленты; САУ адаптивна к изменению нагрузки на став.

8. Разработана "Методика расчета металлоемкости автоматизированного ленточного конвейера", позволяющая при рациональном законе формирования тягового усилия конвейера с помощью регулирования снизить металлоемкость опорных конструкций без потери долговечности; экономический эффект от внедрения результатов работы в производстве составил для условий конвейеров дробильной фабрики Михайловского ГСКа - 10,6 тыс. руб., 1986г., Березовского разреза Ю Красноярскуголь - 17,2 тыс. руб., 1989г.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Назаренко В.М., Иончиков А.И., Ефименко Л.И. Экономическая эффективность применения регулируемых поточно-транспортных систем в условиях железорудной промышленности: Информ. сборник "Приборы, средства автоматизации и системы управления." Вып. 3-М. - 1981.

2. Назаренко В.М., Иончиков А.И., Савицкий А.И., Ефименко Л.И.

Преимущества регулируемых приводов для конвейеров //Пром. транспорт - 1981. № 9-с.

3. Назаренко В.М., Ефименко Л.И. Оценка усилий на став ленточного конвейера при регулировании скорости транспортирования //Изв.вузов. Горн.журнал - 1984 - № 4-с.
4. Назаренко В.М., Ефименко Л.И. Влияние автоматизированного привода на металлоемкость ленточного конвейера. - К.1984. 8с. Деп.в УкрНИИТИ 13.12.84. № 2104 УК-84.
5. Назаренко В.М., Ефименко Л.И. Вопросы автоматизированного проектирования става ленточного конвейера //Механизация и автоматизация ручных и трудоемких операций в промышленности Кузбасса, Тез.докл. обл. науч.-практич. конф. - Кемерово, 1984 - с.
6. Назаренко В.М., Ефименко Л.И. Оценка воздействия пусковых режимов на став ленточного конвейера. - К.1985, - 15с. Деп. в УкрНИИТИ 23.07.85 № 1506 УК-85.
7. Назаренко В.М., Ефименко Л.И. Контроль и управление усилиями воздействующими на став конвейера, как систему с распределенными параметрами //Актуальные проблемы моделирования и управления системами с распределенными параметрами: Тез. докл. Всесоюзн. конф. - Киев, 1987, С.137.
8. Назаренко В.М., Ефименко Л.И. Ленточный конвейер как объект с распределенными параметрами //Проблемы управления объектами с распределенными параметрами: Тез. докл. всесоюзн. конф. Одесса, 1987 - 2с.2.
9. Назаренко В.М., Ефименко Л.И. Оценка долговечности металлоконструкций ленточного конвейера. - К. 1983. 10с. Деп. в УкрНИИТИ 10.02.88. № 401 - Ук.88.
10. Назаренко В.М., Ефименко Л.И., Савицкий А.И. Алгоритм диагностирования ресурса работы конвейерного става //Горн. электромеханика и автоматика. - 1989. № 4-С.

11. А.с. I069014 СССР, МКИ В65 С 43/00. Способ управления многоприводной подъемно-транспортной установкой с гибким тяговым органом /В.М.Назаренко, Л.И.Ефименко, Е.Т.Калашников, В.П.Шолтыш (СССР) - 8с.:ил.
12. А.с. I205472 СССР, МКИ В65 С 43/00. Способ управления многоприводной подъемно-транспортной установкой ЭВ.М.Назаренко, Л.И.Ефименко (СССР).- С:Ил.
13. А.с. I419962 СССР, МКИ В45 С 43/00 Устройство для предохранения опорных металлоконструкций конвейеров от перегрузок /В.М.Назаренко, Л.И.Ефименко, П.Гембом (СССР).-С.:Ил.
14. А.с. I442480 СССР, МКИ В65 С 43/00. Способ управления ленточными конвейерами /В.М.Назаренко, Л.И.Ефименко, А.И.Савицкий, Ю.Т.Калашников, В.П.Шолтыш, П.Юрченко (СССР).- С.:Ил.
15. А.с. I49244I СССР, МКИ Н02р 5/45. Многодвигательный привод переменного тока /В.М.Назаренко, Л.И.Ефименко (СССР). - С.:Ил.
16. А.с. I635028 СССР, МКИ С01 М7/00. Устройство для измерения остаточного ресурса металлоконструкций /Л.И.Ефименко, В.М.Назаренко, А.И.Гончаренко, А.И.Савицкий, В.П.Шолтыш, Р.Г.Солохненко (СССР). - 3с.:Ил.
17. Назаренко В.М., Ефименко Л.И., Тиханский М.П. Методы вибродиагностики механизмов ленточного конвейера //Вибрация и вибродиагностика. Проблемы стандартизации: Тез.докл.на III Всесоюз.конф.Нижегород, 1991.-С. 78-79.

Ефименко

РТП КТРИ. Зак. № 28, тираж 100 экз.

Подписано к печати 25 февраля 1994 г.

161075

AB 29.475

AB 29.475