

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

СССР

М463421

Московского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени Высшее техническое
училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

САРИУШИН Мурат Хусаянович

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ДИНАМИЧЕСКИХ УСИЛИЙ
В ЛЕНТЕ ПРИ ПУСКЕ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ С
ПЕРЕМЕННЫМ ШАГОМ ОПОР

(Специальность 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

Москва, 1987

Работа выполнена в Казахском ордена Трудового Красного
Знамени политехническом институте им. В. И. Ленина.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
ДЖИЕНКУЛОВ С. А.

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

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
ЗЕНКОВ Р. Л.

кандидат технических наук, доцент
НАРАЙКИН О. С.

Будущее предприятие: Всесоюзный научно-исследовательский
и проектно-конструкторский угольный
институт (КНИУИ)

Защита диссертации состоится " 5 " октября 1987 г.
в 14 час. 30 мин. на заседании специализированного Совета
К 053.15.10 при МВТУ им. Н. Э. Баумана по адресу: 107000, г. Москва
2-я Бауманская, дом. 5.

С диссертацией можно
им. Н. Э. Баумана.

Автореферат разослан

Ваши отзывы в 2-х экз.
выслать по указанному а.

Ученый секретарь
специализированного Со
доктор технических н
доцент

М463421

Актуальность темы. В "Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986-1990 гг. и на период до 2000 года", утвержденных XXVI съездом КПСС, особое внимание уделяется расширению использования конвейерного транспорта, повышению эффективности их работы. Важнейшее место в осуществлении этих задач занимают ленточные конвейеры. Ленточные конвейеры наиболее широко используются на предприятиях горно-металлургической и химической промышленности.

На эффективность использования ленточных конвейеров оказывает влияние целый ряд факторов. Среди них одним из важных является наличие продольных колебаний ленты, особенно в период пуска конвейера, вызывающих значительные динамические усилия, которые уменьшают срок службы ленты и других узлов конвейера. Для конвейерных установок отдельных предприятий количество пусков и торможений составляет несколько тысяч в год.

Известные исследования динамики пуска конвейера не позволяют оценить истинного влияния динамических процессов на величину натяжения и долговечность ленты - наиболее дорогостоящего элемента для ленточных конвейеров с переменным шагом роликоопор (ЛК с ПШР), которые в последнее время находят распространение на предприятиях и позволяют повысить технико-экономические показатели.

В связи с этим, повышение эффективности ленточных конвейеров путем уменьшения продольных колебаний ленты и создание методики расчета динамических усилий в ленте конвейера является весьма актуальной задачей.

Цель работы. Изучение продольных колебаний ленты конвейера и разработка методики расчета динамических усилий в ленте в период пуска.

Методы исследований. В теоретической части работы использованы аналитические и численные методы расчета с применением ЭВМ. Экспериментальные исследования проводились в производственных условиях на действующих конвейерах с использованием методов математической статистики и теории вероятности, тензометрирования и методики рационального планирования экспериментов.

Научная новизна. Проведено комплексное (теоретическое и экспериментальное) исследование динамики пуска ленточных конвейеров с переменным шагом опор, в результате которого:

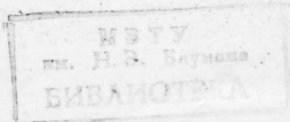
- разработана расчетная модель конвейера для анализа динами-

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1463421

Саргужин М.Х. Разработка ме



ки пуска;

- впервые разработана методика расчета динамических усилий в ленте при пуске конвейера, составлена программа численного расчета;

- установлено, что с увеличением максимального шага роликоопор динамические усилия в ленте уменьшаются;

- получены экспериментальные зависимости коэффициента динамичности ленты при пуске от максимального шага роликоопор, распределенной линейной нагрузки от транспортируемого груза и тягового усилия.

Практическая ценность. Разработанная методика расчета динамических усилий в ленте позволяет на стадии проектирования определить нагрузки, конструктивные и пусковые параметры конвейеров с переменным шагом роликоопор, усовершенствовать действующие конвейерные установки, повысить эффективность их использования, снизить стоимостные показатели и эксплуатационные затраты.

Результаты работы могут быть использованы организациями и предприятиями Минтяжмаша, Минуглепрома, других министерств и ведомств, связанных с созданием, производством и эксплуатацией ленточных конвейеров.

Реализация результатов работы. По предлагаемой методике усовершенствованы действующие ленточные конвейеры по схеме с переменным шагом роликоопор на Ново-Джамбулском фосфорном заводе (НДЗ), производственном объединении "Каратау", Балхашском горно-металлургическом комбинате (БГМК), Джамбулском производственном объединении "Химпром".

Результаты работы явились практическим дополнением к ГИМ-24.093.04-80 для проектирования ленточных конвейеров общего назначения ГПИ "Союзпроммеханизация", внедрены в учебный процесс КазПИ им.В.И.Ленина.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены на 6-й Международной конференции по подъемно-транспортной технике (Магдебург, ГДР, 1980г.), ряде всесоюзных и региональных конференций (Алма-Ата, 1978г.; Свердловск, 1979г.; Красноярск, 1980г.; Горький, 1980 г.; Москва, 1985г.), на XV научной конференции КазПИ им.В.И.Ленина (Алма-Ата, 1980г.), научно-техническом Совете ПО "Каратау" (1985 г.) и на научных семинарах кафедр "Подъемно-транспортные машины" КазПИ им.В.И.Ленина (1984, 1986гг.), "Подъемно-транспортные машины и оборудование" МВТУ им.Н.Э.Баумана (1986г.).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 14 статей.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 115 страницах машинописного текста, включает введение, 6 глав и заключение. Содержит 45 рисунков, 14 таблиц, библиографию из 155 наименований и приложение на 43 страницах, состоящее из 5 таблиц, 1 машинной программы на алгоритмическом языке ФОРТРАН-IV, 12 актов внедрения и промышленных испытаний и 3-х выписок из протоколов научных конференций об актуальности работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования.

В первой главе показаны роль ленточных конвейеров в промышленности, характеристики технического уровня ЛК в СССР и за рубежом, тенденции их развития. Приведены результаты параметрического анализа ЛК общего назначения, как имеющих наибольшее применение, и анализ условий их эксплуатации.

Установлено, что непрерывный рост производственных мощностей предприятий требует совершенствования технического уровня ЛК. Параметрический анализ позволил определить диапазоны изменения основных параметров ЛК общего назначения и установить корреляционную зависимость между производительностью и шириной ленты.

На основании изучения ленточных конвейеров предприятий, горно-химической и металлургической промышленности выявлено, что основные параметры конвейерных установок изменяются в диапазоне: $V = 150-1800 \text{ м}^3/\text{ч}$, $B = 0,65-1,4 \text{ м.}$, $L = 65-270 \text{ м.}$ Установлено, что эти конвейеры в соответствии с известной регламентацией режимов работы по классам использования работают в среднем режиме работы: класс использования конвейера по времени - ВЗ ($K_{\text{вз}} = 0,67$; $K_{\text{л}} = 0,47$); класс использования по производительности - ПЗ; ($K_3 = 0,7-0,8$); класс использования по натяжению - Т2 ($0,55 \leq K_t \leq 0,85$).

Выявлено, что одним из основных видов повреждений ленты конвейерных установок предприятий являются поперечные порывы и разрывы на стыках, появляющиеся преимущественно при воздействии продольных динамических нагрузок при пуске.

Во второй главе дан обзор и анализ литературы, посвященный исследованию динамики пуска конвейерных установок.

Рассмотрены результаты исследований советских и зарубежных

ученых А.О.Спиваковского, Д.П.Волкова, И.Г.Штокмана, А.А.Долголенко, Р.Д.Зенкова, Н.Я.Биличенко, С.А.Панкратова, Б.А.Кузнецова, Л.И.Чугреева, Е.Е.Новикова, Л.Г.Шахмейстера, В.К.Дьячкова, Л.Н.Колобова, П.Н.Платонова, С.А.Джиенкулова, В.К.Смирнова, H. Oehmen, J. Bahrz, H. Funke, A. Vierling, Z. Havelka и др.

Анализ работ показал, что авторы проводили теоретические и экспериментальные исследования, моделировали пусковые процессы на ЭВМ и АВМ. Расчетные модели тягового органа конвейерных установок представлялись в виде упругого или упруго-вязкого стержня. Выявлено, что экспериментальных исследований пусковых процессов ленточных конвейеров в производственных условиях большинство авторов не проводило. Исследования по продольным колебаниям ленты при пуске установок с переменным шагом роликоопор вообще не проводились, между тем ленточные конвейеры такой конструкции находят широкое распространение в промышленности. В работах, выполненных в КазПИ им.В.И.Ленина, высказаны предположения об уменьшении динамических усилий при изменении шага роликоопор, но уточненной оценки этих усилий и методики их расчетов не даны.

В третьей главе изложена методика расчета с помощью ЭВМ динамических усилий, возникающих в ленте при пуске ленточного конвейера с переменным шагом роликоопор.

Разработана расчетная модель ленточного конвейера с переменным шагом роликоопор.

Дан вывод уравнений движения грузовой и холостой ветвей конвейера.

Сформулированы граничные и начальные условия.

Приведены алгоритмы расчета динамических усилий при пуске ленточного конвейера с переменным шагом роликоопор и блок-схема программы численного расчета.

Исследование процесса пуска ленточных конвейеров с переменным шагом роликоопор проведено при следующих допущениях:

- отсутствует пробуксовка ленты по приводному барабану и отсутствует трение в механизмах натяжного устройства;
- система консервативная, что позволяет не учитывать затухание колебаний от внутренних и внешних сил;
- лента с грузом представляется упругим стержнем с переменной погонной массой, механические свойства которого следуют закону Гука;
- приводное устройство учитывается в виде сосредоточенной приведенной массы;

- влияние поперечных колебаний ленты не учитывается;
- вследствие того, что ускорения имеют сравнительно небольшую величину, принимается, что масса транспортируемого груза жестко связана с лентой.

В ленточных конвейерах с переменным шагом роликоопор расстояние между роликоопорами грузовой ветви увеличивается по длине остова от минимального $l_{\min}$ до максимального $l_{\max}$ значений по мере приближения к приводному устройству. При этом масса вращающихся частей роликоопор уменьшается и неравномерно распределена по длине конвейера.

Расчетная модель ленточного конвейера с переменным шагом роликоопор для режима пуска представлена в виде двухступенчатого стержня с присоединенной массой m_n , изображающей приведенную к ободу приводного барабана массу привода (рис. 1а).

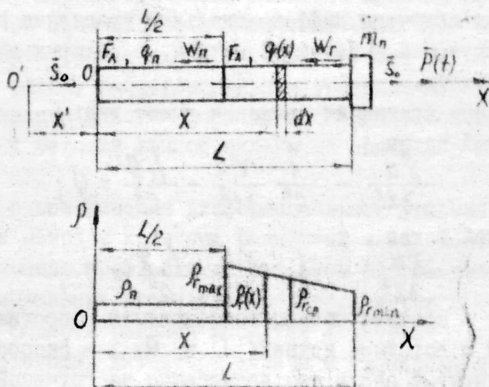


Рис. 1. Расчетная модель ленточного конвейера с переменным шагом роликоопор

Одна ступень стержня, изображающая порожнюю ветвь конвейера имеет плотность ρ_n (рис. 1б), определяемую по формуле

$$\rho_n = \frac{q_n + q_{pn}}{F_A},$$

где q_n и q_{pn} — соответственно погонные масса ленты и приведенная масса вращающихся частей роликоопор на порожней ветви; F_A — площадь оверчая ленты.

Другая ступень стержня, изображает грузную ветвь, плотность $\rho_r(x)$ которой изменяется по линейному закону. Предельные и средние значения плотности определяются по формулам

$$\rho_{\min} = \frac{q + q_L + q_{r\min}}{F_L}; \quad \rho_{\max} = \frac{q + q_L + q_{r\max}}{F_L}; \quad \rho_{\text{ср}} = \frac{\rho_{\max}(1+b)}{2}, \quad (2)$$

где q — погонная масса транспортируемого груза; $q_{r\max}$ и $q_{r\min}$ — соответственно максимальная и минимальная погонная приведенная масса вращающихся частей роликоопор грузовой ветви;

$$b = \frac{\rho_{\min}}{\rho_{\max}}.$$

Значения $q_{r\max}$, $q_{r\min}$ и q_{rp} определяются по формулам

$$q_{r\max} = \frac{m_{\text{прг}}}{l_{\text{мн}}}; \quad q_{r\min} = \frac{m_{\text{прд}}}{l_{\text{м}}}; \quad q_{rp} = \frac{m_{\text{прд}}}{l_{rp}}, \quad (3)$$

где $m_{\text{прг}}$ и $m_{\text{прд}}$ — соответственно приведенная масса вращающихся частей роликоопор грузовой и порожней ветвей конвейера; l_{rp} — расстояние между роликоопорами порожней ветви.

Для этой схемы получены дифференциальные уравнения в частных производных для грузовой и порожней ветвей, в которых учтено сопротивление движению.

Дифференциальные уравнения движения имеют вид:

а) для грузовой ветви

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \frac{f_c g}{c^2} = 0; \quad (4)$$

б) для порожней ветви

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{1}{a_n^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \frac{f_n g}{a_n^2} = 0, \quad (5)$$

где f_c и f_n — соответственно коэффициенты сопротивления движению грузовой и порожней ветвей; c и a_n — скорости распространения упругой волны соответственно на грузовой и порожней ветвях; g — ускорение свободного падения. В уравнениях (4) и (5) c^2 и a_n^2 равны

$$c^2 = \frac{E_{\text{опр}}}{\rho_r(x)}; \quad (6)$$

$$a_n^2 = \frac{E_{\text{опр}}}{\rho_n}, \quad (7)$$

где $E_{\text{опр}}$ — приведенный модуль упругости ленты; L — длина ленты.

Для решения уравнений (4) и (5) сформулированы начальные и граничные условия:

а) начальные условия

$$u(x, 0) = 0; \quad \frac{\partial u(x, 0)}{\partial t} = 0; \quad (8)$$

б) граничные условия

$$\frac{\partial u(0, t)}{\partial x} = \frac{S_0}{E_{опр} F_A}; \quad \frac{\partial u(L, t)}{\partial x} = \frac{P(t) + S_0}{E_{опр} F_A} - \frac{m_n}{E_{опр} F_A} \frac{\partial^2 u(L, t)}{\partial t^2}, \quad (9)$$

где m_n — приведенная масса привода; $P(t)$ — тяговое усилие; S_0 — начальное статическое натяжение ленты.

Решения дифференциальных уравнений в частных производных (4) и (5) в виде функции $u = u(x, t)$ позволяют определить динамические усилия в ленте конвейера.

Для численного решения дифференциальных уравнений в частных производных выбран метод конечных разностей. При выборе этого метода определяющими факторами явились те, что при использовании этого метода требуется довольно простая постановка задачи, содержится мало вводов и выводов, не требуется высокой квалификации и опыта расчетчика и, чтобы получить решения, достаточно описать задачу дифференциальным уравнением. При решении поставленной задачи удается выбрать экономичную сетку. Представление граничных условий данной задачи не связано с большими трудностями.

В основе решения дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных разностей лежит конечно-разностная аппроксимация производных. При этом аппроксимация производных в дифференциальных уравнениях осуществляется в три этапа:

- в области решения вводится двумерная сетка узловых точек, соответствующих характеру задачи и граничным условиям;
- решаемые уравнения в частных производных приводятся к виду разностных уравнений с использованием вычислительных шаблонов;
- решение полученной системы N уравнений с N неизвестными (для узлов сетки) производится прямым методом.

Разложением в ряд Тейлора частные производные в уравнениях (4) и (5) представляются в виде:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial x} &\approx \frac{u_{i,j+1} - u_{i,j-1}}{2h}, & \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} &\approx \frac{u_{i,j+1} - 2u_{i,j} + u_{i,j-1}}{h^2}, \\ \frac{\partial u}{\partial t} &\approx \frac{u_{i,j+1} - u_{i,j-1}}{2k}, & \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} &\approx \frac{u_{i,j+1} - 2u_{i,j} + u_{i,j-1}}{k^2}, \end{aligned} \quad (10)$$

где h и k — малые приращения x и t .

Целью повышения скорости численного решения перемены в

уравнениях движения $(x, t, \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial t}, \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \frac{\partial^2 u}{\partial t^2})$ приводятся к безразмерному виду.

Информацию о коэффициентах при u в конечно-разностных выражениях удобно представлять с помощью вычислительных шаблонов, являющихся диаграммами, показывающими, какой вклад вносят узлы сетки в рассматриваемую производную. Из этих элементов строятся более сложные вычислительные шаблоны для дифференциальных уравнений (4) и (5). Сложение производных осуществляется суперпозицией соответствующих вычислительных шаблонов. Можно построить и более точные вычислительные шаблоны, если включить в рассмотрение дополнительные узлы. В данной работе такой необходимости не возникает, так как максимальная погрешность не превышала 0,25%.

Применив вычислительный шаблон к каждому из N узлов сетки, получим систему N алгебраических уравнений, для решения которой использован прямой метод, который позволяет получить точное решение путем выполнения конечного числа операций.

Следует отметить, что вычислительная сетка в данном случае не обязательно должна состоять из квадратных ячеек, так как шаг сетки h по оси абсцисс может и не быть равен шагу сетки K по оси ординат.

Чтобы не вводить столбец фиктивных узлов сетки, для определения перемещения крайних сечений стержня принята не центрально-разностная аппроксимация производной $\frac{\partial u}{\partial x}$, а правая разностная аппроксимация:

$$\frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x_i} \approx \frac{u_{i,k+1} - u_{i,k}}{h} \quad (II)$$

Конечно-разностные выражения справедливы для всех внутренних узлов, соответственно правой и левой половинам двумерной сетки, и позволяют явным образом выразить перемещение $u_{i,k}$ соответствующего сечения ленточного конвейера в момент времени t_k через перемещения в моменты времени t и $t-k$. Такая постановка задачи позволит обойтись без системы совместных алгебраических уравнений и, следовательно, не требует применения итерационных методов. Полученное решение будет содержать погрешности порядка h^2 и K^2 поскольку таковы порядки членов, отброшенных при конечно-разностной аппроксимации. Расчет перемещений в узлах сетки начинается с вычисления значения перемещения $u_{i,k}$ в узле сетки, расположенном во второй строке крайнего правого столбца. Зная перемещения в узлах сетки, можно вычислить скорости в узлах сетки.

С учетом конечно-разностной аппроксимации производной динамические усилия определяются по формулам:

а) для грузовой ветви

$$\begin{aligned} S_g &= E_{опр} F_L \frac{\partial U}{\partial X} - W_0^n - \frac{2X-L}{L} W_0^n - S_0 = \\ &= E_{опр} F_L \frac{U_{i+1,j} - U_{i-1,j}}{2h} - W_0^n - (2\bar{X}-1)W_0^n - S_0, \end{aligned} \quad (12)$$

б) для порожней ветви

$$\begin{aligned} S_g &= E_{опр} F_L \frac{\partial U}{\partial X} - \frac{2X}{L} W_0^n - S_0 = \\ &= E_{опр} F_L \frac{U_{i+1,j} - U_{i-1,j}}{2h} - 2\bar{X} W_0^n - S_0, \end{aligned} \quad (13)$$

где W_0^n и W_0^n — соответственно силы сопротивления движению грузовой и порожней ветвей конвейера; $\bar{X} = \frac{X}{L}$.

Для реализации изложенного алгоритма на языке ФОРТРАН-IV оставлена программа для определения перемещений, скорости и динамических усилий в ленте ЛК с ПНР. Эта программа позволяет производить расчеты названных параметров и для ленточных конвейеров с постоянным шагом роlikоопор.

В четвертой главе приведены результаты численного расчета динамических усилий в ленте при пуске конвейеров с переменным и постоянным шагами роlikоопор по методике, изложенной в третьей главе.

Произведен анализ и сравнение полученных результатов.

Численные расчеты проведены на ЭВМ ЕС-1022 и ЕС-1033 для трех различных ленточных конвейеров при разных законах изменения тяговых усилий, полученных аппроксимацией нагрузочных диаграмм привода.

Выполнен расчет динамических усилий S_g при пуске и установлены зависимости коэффициента K_g для разных типов ленточных конвейеров при различных законах изменения возмущающих усилий и их максимальных значений.

Получены графики изменения коэффициента динамичности по длине конвейера в зависимости от величины максимального значения возмущающего усилия.

Разработана номограмма для установления времени пуска ленточных конвейеров с переменным шагом роlikоопор при определенных значениях коэффициента динамичности ленты и возмущающего усилия.

В пятой главе приводится методика, описание тензометрической и регистрирующей аппаратуры и результаты экспериментальных исследований.

С целью проверки теоретических положений и определения влияния конструктивных параметров и эксплуатационных режимов на величину динамических усилий в ленте при пуске конвейера были проведены эксперименты в условиях Джамбулского ПО "Химпром" и БГМК на ленточных конвейерах, имеющих, соответственно, следующие основные параметры: производительность $Q = 1350$ и 1400 т/ч; длина трассы $L_k = 206$ и 75 м; ширина ленты $B = 1,4$ и $1,6$ м; скорость ленты $v = 2,0$ и $1,6$ м/с; транспортируемый груз — фосфорит и медно-молибденовая руда.

В соответствии с программой эксперимента измерялись и фиксировались следующие величины: мощность электродвигателя, натяжение ленты в характерных точках контура, линейная нагрузка от ленты и транспортируемого груза, скорость движения ленты. Мощность электродвигателя фиксировалась самопишущим трехфазным ваттметром. Скорость движения ленты определялась по показанию разработанного и изготовленного индукционного датчика, сигнал которого фиксировался на осциллографе. Линейная нагрузка от груза и ленты, натяжение ленты измерялось по методике ДИ с помощью изготовленных измерительных роликоопор. При этом измерительная роликоопора, имея возможность передвигаться вертикально, подвешивалась с двух сторон на неподвижные кронштейны через кольцевые электродинамометры. Сигналы от электродинамометров после усилителя ТА-6 записывались осциллографом.

Проведено планирование экспериментальных исследований с использованием методов математической статистики и теории вероятности.

Обработка результатов экспериментов позволила получить уравнение регрессии, характеризующее зависимость коэффициента динамичности K_d в ленте от расстояний между опорами l_p , линейной нагрузки от транспортируемого груза q и возмущающего усилия привода P при пуске, построены графики зависимостей $K_d = f(l_p)$, $K_d = f(q)$, $K_d = f(P)$.

Экспериментальные исследования подтвердили адекватность теоретических положений реальным процессам при пуске ленточных конвейеров с переменным шагом опор, так как расхождение результатов теоретических и экспериментальных исследований не более 14%.

В результате экспериментальных исследований установлено, что с увеличением значения максимального шага роlikоопор у привода и времени пуска для конвейеров с ℓ_p -мг динамические усилия в ленте уменьшаются. Выявлено, что для конвейерных установок с постоянным и переменным шагом роlikоопор при увеличении возмущающей нагрузки на ленту и линейной нагрузки от транспортируемого груза величина динамического усилия в ленте растет.

В шестой главе приведены методики расчетов динамического усилия в ленте при пуске и экономической эффективности ЛК с ПИР.

Расчет динамических усилий в ленте при пуске ленточных конвейеров с переменным шагом опор проводится в следующей последовательности:

1. По известной методике в зависимости от ширины ленты, насыпной плотности и кусковатости транспортируемого груза вычисляется минимальный шаг роlikоопор грузовой ветви.

2. По стандартной методике производится тяговый расчет ленточного конвейера с постоянным шагом роlikоопор.

3. Определяется максимальное расстояние между роlikоопорами в месте наибольшего натяжения ленты рабочей ветви по методике, предложенной КазПИ с участием автора:

а) для горизонтальных конвейеров

$$\ell_m = \frac{c_y \ell_{min}}{\sqrt{1 - \frac{W_{py}}{W_{py} K_d}}}; \quad (14)$$

б) для конвейеров со сложной трассой

$$\ell_m = c_y \ell_{min} \sqrt{\frac{S_{max}}{S_n \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n W_{py}}{\sum_{i=1}^n W_{py} K_d}\right)}}; \quad (15)$$

Количество пролетов n_{po} , расстояние между роlikоопорами по длине стана конвейера ℓ_x и количество роlikоопор n_p определяется по формулам

$$\ell_x = \ell_{min} + d(x-1); \quad n_{po} = \frac{\ell_x}{\ell_{py} + \ell_{px}}; \quad n_p = n_{po} + 1; \quad d = \frac{\ell_m - \ell_{min}}{n_{po} - 1}. \quad (16)$$

В выражениях (15), (16) и (17) n — количество участков трассы конвейера; ℓ_{min} — расстояние между роlikоопорами рабочей ветви в месте минимального натяжения ленты на m -ом участке конвейера, м; S_{max} — максимальное натяжение ленты на m -ом участке, рассчитанное для конвейера с $\ell_p = const$, Н;

S_m — максимальное натяжение ленты конвейера с $\ell_p - \text{var}$, Н; $\sum_{i=1}^m W_{py}$ и $\sum_{i=1}^m W_{py}$ — соответственно, суммарные удельные сопротивления движению рабочей ветви и всего конвейера, рассчитанное для конвейера с $\ell_p - \text{const}$, Н/м; K_d — коэффициент, зависящий от схемы привода; d — разность прогрессии; χ — порядковый номер пролета; C_y — поправочный коэффициент.

4. Проводится уточнение шага роlikоопор по несущей способности ролика:

$$\ell_m = \frac{P_p}{0,7(q + q_n)} \quad (17)$$

где P_p — значение допускаемой нагрузки по долговечности шарикоподшипника и жесткости оси ролика.

5. Определяются линейные нагрузки от вращающихся частей роlikоопор и уточняется коэффициент сопротивления движению.

6. Исходя из требуемой мощности производится выбор электродвигателя.

7. Определяется время пуска ленточного конвейера с переменным шагом роlikоопор по формуле

$$t_n = 0,834 \frac{D_s \cdot n_s}{(M_n - M_c)g} \sqrt{\beta_c (G D^2)(q + 2q_n + q_{co} + q_n) L \frac{1}{n}} \quad (19)$$

8. Производится численный расчет динамических усилий в ленте конвейеров с ПШР при пуске по следующей схеме: разрабатывается расчетная модель, выводятся уравнения движения, граничные и начальные условия, выбирается численный метод расчета, осуществляется подготовка исходных данных; осуществляется численная реализация изложенной выше методики с помощью ЭВМ.

9. Проводится проверка пуска конвейера по условию отсутствия пробуксовки ленты по барабану.

10. Уточняется коэффициент запаса прочности ленты.

Расчет экономической эффективности показал, что ленточные конвейеры с переменным шагом роlikоопор имеют меньшие капитальные затраты и эксплуатационные расходы по сравнению с конвейерными установками с $\ell_p - \text{const}$.

Фактический экономический эффект при усовершенствовании 14 действующих ленточных конвейеров по схеме с переменным шагом роlikоопор на ПО "Химпром", ПО "Каратау", НДФБ и БГМК составил более 150 тыс. руб.

1. Выявлено, что на предприятиях горно-химической, металлургической промышленности в большинстве эксплуатируются ленточные конвейеры общего назначения нормального ряда, производительностью 150-1800 м³/ч, шириной ленты 0,4-1,4 м, длиной отава 65 - 270 м, углом наклона трассы (0-14)°, работающие в нормальном режиме.

2. Установлено, что при имеющейся тенденции увеличения длины конвейеров и скорости транспортирования груза, особую актуальность приобретают вопросы исследования динамических усилий, возникающих в ленте при пуске.

3. Изучение литературных источников позволило установить, что динамика пуска исследовалась только для конвейеров с постоянным шагом роlikоопор, между тем конвейерные установки с переменным шагом роlikоопор находят все большее применение.

4. В результате теоретических и экспериментальных исследований продольных колебаний ленты конвейеров в период пуска предложена расчетная схема для анализа динамики пуска ленточного конвейера с переменным шагом роlikоопор.

5. Получено дифференциальное уравнение движения ленты конвейера с переменным шагом роlikоопор, решение которого позволило определить максимальные динамические усилия в ленте при пуске конвейера в зависимости от возмущающих сил, изменяющихся мгновенно, по линейному и экспоненциальному законам.

6. Установлено, что из рассмотренных различных законов изменения возмущающих сил привода наилучшее соответствие процессу пуска конвейера имеет график изменения этого усилия по экспоненциальному закону.

7. Разработана методика, алгоритмы, составлена программа численного расчета динамического усилия в ленте при пуске конвейера с переменным шагом роlikоопор. Получены графики изменения коэффициента динамичности по длине конвейера в зависимости от возмущающих сил.

8. Получено уравнение регрессии, характеризующее зависимость коэффициента динамичности от максимального шага роlikоопор, линейной нагрузки от транспортируемого груза и тягового усилия.

9. Установлено, что для конвейерных установок с переменным шагом роlikоопор при увеличении возмущающей нагрузки на ленту, линейной нагрузки от транспортируемого груза, величина динамического усилия (коэффициент динамичности) растет.

10. Выявлено, что с увеличением значения максимального шага роlikоопор для конвейеров с переменным шагом роlikоопор динамические усилия в ленте уменьшаются. Следовательно, продолжительные колебания в ленте при пуске конвейера не являются препятствующими факторами для расстановки роlikоопор по схеме с переменным шагом.

11. Установлено, что ленточные конвейеры с переменным шагом роlikоопор имеют меньшие капитальные затраты и эксплуатационные расходы по сравнению с конвейерными установками с постоянным шагом роlikоопор. В условиях эксплуатации ленточных конвейеров общего назначения ПО "Каратау", НД43, ПО "Химпром" и ВГМК от внедрения установок с переменным шагом роlikоопор, вместо существующих получен экономический эффект более 150 тыс. рублей. Результаты работы внедрены в учебный процесс КазПИ им. В.И. Ленина.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Джиенкулов С.А., Саргужин М.Х., Джумадилдаев Д.А. К вопросу расчета шага роlikоопор ленточных конвейеров// Технические науки. - 1976. - № 20. - С.50-57.

2. Джиенкулов С.А., Саргужин М.Х., Джумадилдаев Д.А. Методика определения предельных расстояний между роlikооперами ленточных конвейеров// Технические науки. - 1975. - № 19. - С. 157-167.

3. Джиенкулов С.А. и др. Основы вероятностного расчета ленточных конвейеров: Методические указания/ С.А.Джиенкулов, Р.А.Кабашев, М.Х.Саргужин и др. - Алма-Ата: КазПИ, 1981. - 38 с.

4. Джиенкулов С.А., Саргужин М.Х. К вопросу исследований пусковых процессов ленточных конвейеров// Кузница инженерных кадров: Тез. докл. и сообщений на XV научной конференции КазПИ им. В.И.Ленина. - Алма-Ата: КазПИ, 1980. - С.240-241.

5. Джиенкулов С.А., Саргужин М.Х. Экономическая эффективность ленточных конвейеров с переменным шагом роlikоопор // Подъемно-транспортные и строительно-дорожные машины. - 1977. - № 22. - С.32-33.

6. Джиенкулов С.А. и др. Решение дифференциального уравнения движения ленты конвейера с переменным шагом роликоопор // С.А.Джиенкулов, М.Х.Саргужин, С.А.Алдашев и др. // Расчет и конструирование машин и механизмов. - Алма-Ата, 1979. - С.19-25.

7. Джиенкулов С.А., Саргужин М.Х., Дуйсеков А.Д. К вопросу исследования динамики пуска ленточных конвейеров // Новое в подъемно-транспортной технике. - Горький: НГО, 1980. - С.64.

8. Джиенкулов С.А., Тюреходжаев А.Н., Саргужин М.Х. Динамические процессы ленточных конвейеров // Вопросы повышения эффективности эксплуатации и совершенствования конструкции подъемно-транспортной техники. - Алма-Ата: КазПИ, 1978. - С.7-10.

9. Джиенкулов С.А., Саргужин М.Х., Сурашов Н.Т. К вопросу экспериментальных исследований ленточных конвейеров // Перспективы развития подъемно-транспортных машин, средств комплексной механизации погрузочно-разгрузочных и транспортно-складских работ. - Красноярск: КИПИ, 1980. - С.102-103.

10. Саргужин М.Х. Разработка и исследование способа уменьшения продольно-поперечных колебаний ленты конвейерных установок // Новое в подъемно-транспортной технике. - М.: МВТУ, 1985. - С.79.

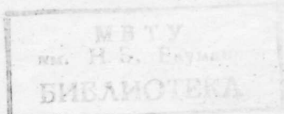
11. Саргужин М.Х. Определение продольных усилий в тяговом органе ленточных конвейеров с переменным шагом роликоопор. // Теория, расчет и исследование ИТМ. - Алма-Ата: КазПИ, 1985. - С.75-79.

12. Саргужин М.Х., Джиенкулов З.С. Расчет динамических усилий при пуске ленточного конвейера с переменным шагом роликоопор конечно-разностным методом // Теория, расчет и исследования ИТМ. - Алма-Ата: КазПИ, 1985. - С.50-54.

13. Саргужин М.Х. Экспериментальное исследование ленточных конвейеров с переменным шагом роликоопор // Расчет и исследования ИТМ. - Алма-Ата: КазПИ, 1985. - С.17.

14. Dzienkulov S.A., Sarguzhin M.Ch. Berechnung der dynamischen Beanspruchungen beim Anlauf von Gurtbandfördern // Wissenschaftliche Zeitschrift. - 1981. - Nr. 3. - S.21-22.

Сарг



Подписано в печать 2.06.87 г. Формат 60x84 1/16. Тираж 100. УР14272

Заказ № 143.

Издание Казахского ордена Трудового Красного Знамени политехни-
ческого института имени В.И.Ленина. Алма-Ата, Сатпаева, 22.