

## **ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРОДОЛЬНО-ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ КОНВЕЙЕРНОЙ ЛЕНТЫ КАК УПРАВЛЯЕМОГО ОБЪЕКТА**

Виконано ідентифікацію подовжньо-поперечних коливань тягово-несучого органу конвеєра як об'єкту управління: розроблено математичну модель коливань стрічки, яка враховує випадковий характер зміни вантажопотоку, вибрано критерії ефективності управління і відповідні обмеження параметрів даної системи

## **IDENTIFICATIONS OF LONGITUDINAL-TRANSVERSAL VIBRATIONS CONVEYER BELT AS THE CONTROL OBJECT**

Identification of longitudinal-transversal vibrations of belt of conveyer as a control object is executed. The mathematical model of vibrations of belt is developed with casual change of goods traffic, the criteria of efficiency of control and proper limitations of parameters of the examined system are chosen

Одним из путей повышения эффективности конвейерного транспорта является создание управляемых систем на основе компьютерных технологий. При помощи компьютерных методов управления можно в процессе эксплуатации добиваться необходимых показателей эффективности конвейера, управляя его параметрами при функционировании.

Важнейшим показателем эффективности конвейерных установок является их надежность (срок службы, долговечность и пр.), повышение которой всегда являлось актуальной задачей, т.к. при эксплуатации элементы конвейеров, как правило, подвергаются значительным динамическим воздействиям и быстро выходят из строя.

Известно, что при эксплуатации конвейеров по разным причинам возбуждаются и поддерживаются поперечные колебания тягово-несущего органа.

Согласно [1] интенсивность этих колебаний может быть столь значительной, что возникает реальная опасность разрушения под их воздействием опорной конструкции средней части конвейера. В процессе шахтной эксплуатации пластинчатых конвейеров неоднократно наблюдались в пусковых режимах мощные поперечные колебания полотна на участках у приводных блоков, приводившие к повреждениям опорных направляющих.

Это может привести к провисанию ленты между роликами и потере нужной формы ее поперечного сечения. У пластинчатых конвейеров провисающая ветвь может заклинить в направляющих, а цепь – выйти из зацепления со звездочкой.

Поперечные колебания конвейерной ленты в вертикальной плоскости обусловлены тем, что на участках между точками контакта со шкивами под действием собственного веса ленты и груза образуется стрела прогиба, величина которой определяется упругими свойствами ленты, ее натяжением и длиной. При возникновении динамических растягивающих усилий в переходных режимах

(пуск, торможение) лента совершает поперечные перемещения в вертикальной плоскости, из-за чего динамически меняются направления реакций ее взаимодействия со шкивами, что приводит к изменению положения точек схода и набегания ленты на шкивы и изменению полного угла обхвата.

Хотя поперечные колебания тягово-несущего органа возникают во время пуска и торможения конвейера, тем не менее, и в стационарном режиме, когда скорость движения конвейера остается постоянной, могут возбуждаться поперечные колебания. Их причиной в этом случае будет неравномерность поступающего грузопотока, т.к. изменение количества груза на ленте вызывает изменение стрелы прогиба ленты.

Таким образом, физико-механические процессы, происходящие в элементах конвейера во время движения, носят многообразный и сложный характер. Взаимовлияние этих процессов требует проведения комплексного анализа, позволяющего разработать рекомендации по созданию автоматической системы управления конвейером, обеспечивающей необходимую эффективность и надежность его работы.

Для того, чтобы управлять продольно-поперечными колебаниями тягово-несущего органа конвейера, необходимо в первую очередь идентифицировать конвейер как динамический объект с приложенным к нему случайным воздействием в виде поступающего грузопотока.

Проблема идентификации (определения) характеристик управляемых объектов и приложенным к ним воздействиям является одной из основных при построении систем автоматического управления [2]. В детерминированных задачах воздействие и характеристики управляемых объектов обычно находятся на основании теоретических или экспериментальных данных. В статистических задачах вероятностные характеристики внешних воздействий (плотности распределения вероятностей, корреляционная функция, спектральные плотности и т.д.) получаются на основе обработки возможных реализаций, а характеристики управляемых объектов (уравнения, временные характеристики и т.п.) находятся с помощью известных статистических методов, но опять же после обработки реализаций.

При идентификации следует различать две задачи:

- а) определение структуры и параметров объекта;
- б) определение параметров объекта при заданной структуре.

На практике основное внимание уделяют второй задаче.

В нашем случае управляемым объектом является ленточный конвейер, параметры которого мы и будем определять.

Ленточный конвейер относится к объектам с распределенными параметрами, динамика конвейера описывается уравнениями в частных производных, в общем виде которые могут быть записаны так

$$\frac{\partial^2 \bar{V}(x,t)}{\partial t^2} = F \left[ x, t, \bar{c}, \bar{b}, \frac{\partial \bar{V}(x,t)}{\partial t}, \frac{\partial \bar{V}(x,t)}{\partial x}, \frac{\partial^2 \bar{V}(x,t)}{\partial x^2} \right], \quad (1)$$

$$(t \geq 0, 0 \leq x \leq L_k),$$

где  $t$  – время;  $x$  – координата вдоль оси конвейера;  $L_k$  – длина конвейера;  $\bar{V}(x,t)$  – вектор, характеризующий состояние конвейера в момент  $t$  в любой точке  $x$ ;  $\bar{c}$  – случайно изменяющийся вектор неуправляемых параметров;  $\bar{b}$  – вектор управляемых параметров.

Под вектором  $\bar{V}(x,t)$  подразумеваем удлинение ленты конвейера в любой ее точке либо поперечные (в вертикальной и горизонтальной плоскостях) перемещения точек ленты, вызванные динамическими нагрузками, неравномерностью грузопотока и другими факторами.

Уравнение (1) идентифицирует динамику конвейерной ленты в самом общем виде. Нашей задачей является идентификация продольно-поперечных колебаний ленты, т.е. разработка соответствующей математической модели (уравнений в частных производных с граничными и начальными условиями), учитывающей неравномерность поступающего грузопотока. Эта модель предназначена для решения задач управления, она устанавливает зависимость перемещений ленты от неуправляемого параметра – текущего значения случайно изменяющегося грузопотока и управляемых параметров – скорости и ускорения ленты.

Математическая модель продольных колебаний ленты для многоприводного конвейера, учитывающая упруго-вязкие свойства и распределенные параметры конвейерной ленты, сопротивление движению ленты со стороны роликов, моменты вращающихся частей конвейера, электромеханические характеристики привода и т.п., приведена в работе [3].

Эту модель дополним уравнениями поперечных колебаний ленты в вертикальной плоскости, которые совершаются относительно ее равновесного положения, соответствующего свободному провисанию при заданном уровне начального натяжения ленты (расчетная схема представлена на рис. 1).

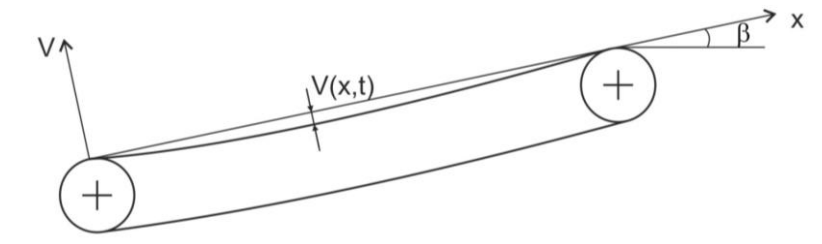


Рис. 1 – Расчетная схема

Для одноприводного конвейера система уравнений продольно-поперечных колебаний представляется следующим образом: уравнениями динамики приводного (индекс 1) и хвостового (индекс 2) барабанов

$$\begin{aligned} J_{\Sigma 1} \dot{\omega}_1(t) &= M_1(t) + R_1(W_{c\bar{b}1} - W_{n\bar{b}1}); \\ J_{\Sigma 2} \dot{\omega}_2(t) &= R_2(W_{c\bar{b}2} - W_{n\bar{b}2}); \end{aligned} \quad (2)$$

уравнениями продольных колебаний грузовой и порожней ветвей ленты

$$\begin{aligned} (\rho_l + \rho_r) \frac{d^2 u_r}{dt^2} + \alpha_r \frac{du_r}{dt} &= EF \frac{d^2}{dx^2} \left[ u_r + \mu \frac{du_r}{dt} \right] + (\rho_l + \rho_r)(g \sin \beta \pm \dot{V}_l) + \alpha_r V_l; \\ \rho_l \frac{d^2 u_n}{dt^2} + \alpha_n \frac{du_n}{dt} &= EF \frac{d^2}{dx^2} \left[ u_n + \mu \frac{du_r}{dt} \right] + \rho_l (g \sin \beta \mp \dot{V}_l) + \alpha_n V_l \end{aligned} \quad (3)$$

и уравнением поперечных перемещений  $V(x,t)$  грузовой ленты конвейера в вертикальной плоскости

$$(\rho_l + \rho_r(x,t)) \frac{\partial^2 V(x,t)}{\partial t^2} - \frac{\partial}{\partial x} \left( W \cdot \frac{\partial V(x,t)}{\partial x} \right) = -(\rho_l + \rho_r(x,t))g \cos \beta, \quad (4)$$

с граничными условиями на барабанах

$$\begin{aligned} u_{c\bar{o}i}(l_{c\bar{o}i}, t) &= u_{n\bar{o}i}(l_{n\bar{o}i}, t - \Delta t), \quad (i=1,2), \\ V(0,t) &= 0; \quad V(L_k, t) = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

и начальными условиями

$$V(x,0) = \varphi(x), \quad V_t'(x,0) = \phi(x), \quad (6)$$

где  $\varphi(x)$  – форма ленты, которую она имела до начала движения;  $x$  – координата вдоль оси ленты конвейера, м;  $t$  – время, с;  $u(x,t)$  – продольная деформация конвейерной ленты, м;  $J_{\Sigma i}$  – суммарный момент инерции барабана, двигателя и редуктора, кг/м<sup>2</sup>;  $\omega_i$  – угловая скорость барабана, рад/с;  $M_1$  – момент привода, Н·м;  $R_i$  – радиус барабана, м;

$W = EF \frac{d}{dx} \left( u + \mu \frac{du}{dt} \right)$  – натяжение ленты в сечении  $x$  в момент времени  $t$ , Н;  $W_{нб}$ ,  $W_{сб}$  – натяжение ленты в точках набега и сбегания с барабана, Н;  $E$  – модуль упругости ленты, Н/м<sup>2</sup>;  $F$  – площадь поперечного сечения ленты, м<sup>2</sup>;  $\mu$  – коэффициент рассеивания энергии в ленте, с-1;  $\alpha_r$  и  $\alpha_n$  – соответственно коэффициенты трения качения грузовой и порожней ветвей конвейера о ролики, кг/м·с;  $\beta$  – угол наклона конвейера к горизонту, рад;  $V_l$  – скорость движения ленты, м/с;  $\rho_r$  и  $\rho_l$  – соответственно линейные плотности (погонные массы) груза и ленты, кг/м.

При построении общего решения системы уравнений (2)-(4) с граничными (5) и начальными (6) условиями будем учитывать, что грузопоток – величина переменная, основные статистические характеристики которой нам известны.

Используя это решение, можно построить систему автоматического управления, которая, воздействуя на управляемый вектор скоростей и ускорений сис-

темы, уменьшает влияние вектора неуправляемых параметров грузопотока на колебания, тем самым повышая эффективность и надежность конвейера.

Цель управления сформулируем так: амплитуды продольных и поперечных колебаний ленты в процессе работы конвейера должны быть минимальными. Указанная цель должна быть реализована с минимальным коэффициентом динамичности  $k_d$  (равным отношению максимального натяжения  $W_{\max}$  в точке набегания ленты на приводной барабан к натяжению  $W$  в ленте при установившейся скорости ее движения) и минимальными потерями электроэнергии  $\Delta w$ . Эти критерии определяют оптимальный закон управления

$$\begin{aligned} J_1 &= V(\rho_r, V_l, \dot{V}_l) \rightarrow \min; \\ J_2 &= u_r(\rho_r, V_l, \dot{V}_l) \rightarrow \min; \\ J_3 &= u_n(\rho_r, V_l, \dot{V}_l) \rightarrow \min; \\ J_4 &= k_d(\rho_r, V_l, \dot{V}_l) \rightarrow \min; \\ J_5 &= \Delta w(\rho_r, V_l, \dot{V}_l) \rightarrow \min. \end{aligned} \quad (7)$$

При этом также должен выполняться ряд ограничений [3]: по ускорению ленты, по условию прочности конвейерной ленты, по условию сцепления ленты с приводным барабаном, по условию непровисания ленты и т.д.

Если бы грузопоток не изменялся ( $\rho_r = \text{const}$ ), то мы смогли бы построить общее решение нашей системы уравнений и на основании известных результатов теории автоматического управления определить показатели качества  $J_i$  ( $i = 1, \dots, 5$ ) в явном виде.

Сложность заключается в том, что грузопоток – величина переменная и не может быть задана в виде явной функции, нам могут быть известны лишь его статистические характеристики. При стационарном случайном изменении грузопотока показатели  $J_i$  также становятся случайными величинами. Поэтому будем искать такое управление (т.е. вектор скоростей  $V_l(t)$  и  $\dot{V}_l(t)$ ), при котором математические ожидания показателя качества были бы минимальными

$$\begin{aligned} J_1 &= M \{V(\rho_r, V_l, \dot{V}_l)\} \rightarrow \min; \\ J_2 &= M \{u_r(\rho_r, V_l, \dot{V}_l)\} \rightarrow \min; \\ J_3 &= M \{u_n(\rho_r, V_l, \dot{V}_l)\} \rightarrow \min; \\ J_4 &= M \{k_d(\rho_r, V_l, \dot{V}_l)\} \rightarrow \min; \\ J_5 &= M \{\Delta w(\rho_r, V_l, \dot{V}_l)\} \rightarrow \min. \end{aligned} \quad (8)$$

Далее необходимо разработать алгоритм управления, доставляющий минимум функционалам  $J_i$  ( $i = 1, \dots, 5$ ).

Приведенная выше математическая модель продольно-поперечных колебаний конвейерной ленты, позволяющая определить их характеристики в условиях изменяющегося грузопотока, вероятностные характеристики самого грузопотока, являющегося возмущающим воздействием, критерии эффективности управления и ограничения параметров рассматриваемой системы представляют собой идентификацию процесса продольно-поперечных колебаний конвейерной ленты как объекта управления.

Идентификация управляемых объектов дает возможность определить закон и построить алгоритм управления ими, что является важнейшим при разработке системы автоматического управления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондрахин П.М. Поперечные колебания тяговонесущего органа конвейера / П.М. Кондрахин // Шахтный и карьерный транспорт. - М.: Недра, 1974. - Вып. 1. - С. 147-154.
2. Цыпкин Я.З. Адаптация и обучение в автоматических системах / Я.З. Цыпкин. - М.: Наука, 1968. - 400 с.
3. Жигула Т.И. Оптимальное управление приводом ленточного конвейера при различных режимах его работы / Т.И. Жигула, Л.П. Ладутина, В.Ю. Максютенко // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАНУ. - Днепропетровск, 2005 – Вып. 55. - С. 29-35.

**УДК 622.831:622.261**

И.Н. Слащев, канд. техн. наук  
(ИГТМ НАН Украины)

### **ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Досліджені питання вдосконалення методів прогнозування зональності і просторової орієнтації техногенних тріщин, які були успішно апробовані у вугільних шахтах

### **ASSESSMENT TECHNOGENIC FRACTURING METHODS OF MATHEMATICAL SIMULATION**

Questions are investigated to improve forecasting methods of zonality and spatial orientation of technogenic fracturing, which have been successfully tested at coal mines

Опыт эксплуатации подготовительных выработок за последние десять лет показал, что 30 % из них ежегодно перекрепляются. Это вызвано, прежде всего, увеличением глубины разработки и повышением интенсивности проявлений горного давления. Одним из путей решения проблемы обеспечения устойчивости и работоспособности подготовительных выработок является разработка новых способов и средств их поддержания, которые максимально используют грузонесущую способность породного массива, определенную на основе расчетных или экспериментальных методов. Вместе с тем, несмотря на большое количество работ, посвященных расчетным методам моделирования процессов разрушения, нет ясности в выборе адекватной условиям деформирования структурно-неоднородных пород математической модели, методов ее реализации и способов адаптации к реальным условиям. Методы анализа геомеханических процессов таких сложных систем требуют дальнейшего совершенствования