

пробега – β ;

- эксплуатационная скорость V_s .

Для исключения взаимно определяющих друг друга показателей, несущих одинаковую информацию, дополнительно необходимо провести проверку этих показателей на линейную зависимость. Проверка наличия

корреляции производилась с использованием непараметрических методов по коэффициенту ранговой корреляции Спирмэна [3], который дает достаточно точный результат при малом объеме выборки.

Расчеты показали незначительность связи между всеми предварительно выбранными

для оценки качества эксплуатации показателями, следовательно, все выбранные показатели характеризуют различные стороны эксплуатации карьерных автосамосвалов и могут быть использованы при оценке качества их эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солод Г. И. Шахова К. И. Повышение долговечности горных машин. М.: Машиностроение, 1979. 184 с.
2. Инструкция по планированию производственно-хозяйственной деятельности управлений автотранспорта (автобаз) производственных объединений по добыче угля. М.: ЦНИЭИуголь, 1983. 67 с.
3. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1998. 479 с.

□ Авторы статей:

Воронов

Юрий Евгеньевич

– докт. техн. наук, проф., зав. каф.
"Автомобильные перевозки"

Буянкин

Алексей Владимирович

– аспирант каф. "Автомобильные
перевозки"

УДК 622.232.8.002.2.

Б.И. Коган, Т.А. Лукашенко

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РОЛИКА ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Одной из форм отображения физических свойств технического объекта является динамическая модель. В инженерной практике часто используют графические формы представления математических моделей. Графическое изображение элементов динамической модели отождествляется с их компонентными уравнениями, а соединения элементов соответствуют топологическим уравнениям. Поэтому, динамическую модель можно рассматривать в качестве математической модели технического объекта в графической форме. Структурирование динамической модели и идентификация ее элементов позволяют формализовать процесс составления математической модели технического объекта в инвариантной форме. Для этого удобно использовать графические формы моделей в виде графов и эквивалентных схем. Граф представляет структурную математическую модель системы и отображает ее топологию, а эквивалентная схема – функциональную модель, топологию и компонентный состав, так же как и динамическая модель.

На рис. 1 представлен ролик ленточного конвейера, на рис. 2, а его динамическая модель. Она отображает инерционные, упругие элементы и внешние воздействия. Элементы динамической модели обозначаются на схеме их параметрами с

цифровыми индексами, соответствующими порядковым номерам элементов. Сосредоточенные массы с моментами инерции J_i отображают инерционные свойства объекта, c_j – коэффициенты жесткости упругих элементов, ω_i – угловые скорости сосредоточенных масс.

Внешние воздействия на систему представлены вращающими моментами $M_{\text{вк}}$, причем, $M_{\text{в1}}$ отображает воздействие двигателя конвейера; $M_{\text{в2}} \dots M_{\text{в6}}$ – воздействие нагрузок на элементы ролика от веса ролика, силы нормального давления груза и ленты, силы бокового давления груза (для боковых роликов), силы от вертикальных ко-

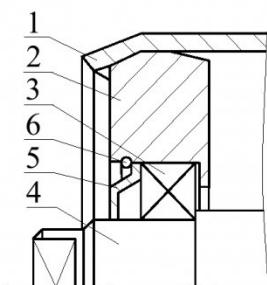


Рис. 1 Ролик ленточного конвейера
1- обечайка; 2-стакан; 3-подшипник; 4- ось; 5- крышка; 6- стопорное кольцо

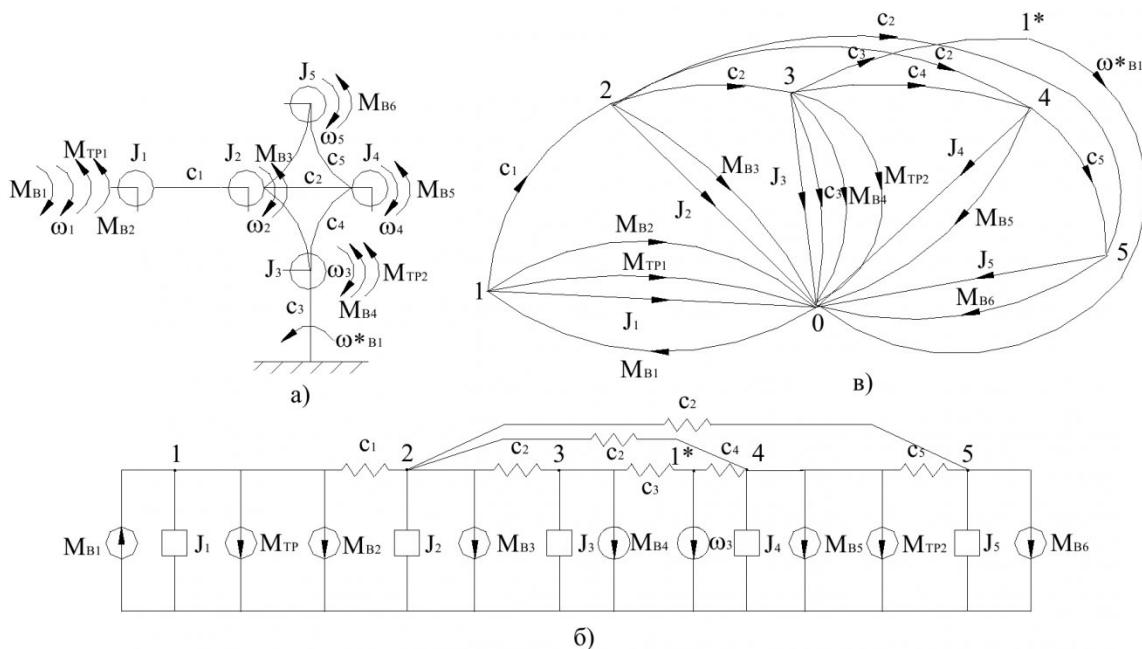


Рис. 2. Динамическая модель (а), эквивалентная схема (б) и орграф (в) ролика ленточного конвейера

J_1, J_2, J_3, J_4, J_5 - моменты инерции обечайки, стакана, подшипника, крышки и стопорного кольца; c_j - коэффициенты жестокостей упругих элементов, ω_i - угловые скорости сосредоточенных масс; M_{el} - воздействие двигателя конвейера; $M_{\text{el2}} \dots M_{\text{el6}}$ - воздействие нагрузок на элементы ролика от его веса, силы нормального давления груза и ленты, силы бокового давления груза (для боковых роликов), силы от вертикальных колебаний ленты; M_{mp1} - момент трения ролика о ленту; M_{mp2} - момент сопротивления вращению ролику

лебаний ленты. Кроме того, на характер движения ролика оказывают воздействия: момент трения M_{mp1} , характеризующий потери при трении ролика о ленту; момент сопротивления вращению ролика M_{mp2} и неуравновешенность ролика, создающая источник потока, описываемое функцией $\omega^*_{\text{B1}}(t)$. Хотя моменты M_{mp1} и M_{mp2} являются внутренними факторами системы, отображающими взаимодействие ее элементов, но поскольку они не могут быть учтены диссипативной функцией Рэлея, их условно относят к внешним воздействиям на систему. Для отображения направлений фазовых переменных источников потенциалов M_{elk} необходимо на динамической модели указать направления фазовых переменных типа потока ω_i , определяющих состояния сосредоточенных масс. Если энергия источника подводится к объекту, то направления фазовых переменных ω_i и M_{elk} совпадают, а если отводится (т.е. вместо источника имеет место сток), то их направления противоположны. В данном случае, врачающий момент M_{el1} является движущим, увеличивающим энергию объекта (к ролику подводится энергия двигателя), поэтому направления фазовых переменных ω_1 и M_{el1} совпадают. Врачающий момент M_{el2} характеризует сопротивление внешней среды вращению ролика, на преодоление которого затрачивается его энергия.

В этой связи направления фазовых переменных ω_1 и M_{el2} не совпадают. Потенциалы упругих M_{yj} элементов, характеризующие их взаимодействие с другими элементами системы, являются внутренними воздействиями и на динамической модели не изображаются.

Если один и тот же упругий элемент соединяет между собой более двух сосредоточенных масс, т.е. образует кольцевое соединение, то такое соединение называется дифференциальным (элемент c_2 на рис. 2,а). При дифференциальном соединении все сосредоточенные массы с моментами инерции J_2, J_3, J_4 и J_5 взаимодействуют с одним и тем же упругим элементом c_2 , что отражено на схеме рис. 1,а.

Построение эквивалентной схемы (рис. 2,б) начинают с инерционных ветвей, которые располагают вертикально. Эти ветви соединяют узлы, отождествляющие сосредоточенные массы системы, с базовым узлом, соответствующим инерционной системе отсчета фазовых координат типа потока. Ветви упругих компонентов соединяют между собой взаимодействующие узлы, в соответствии с динамической моделью. Ветви источников потенциалов связывают узлы, к которым они приложены, с базой. Для обозначения различных ветвей эквивалентной схемы применялись

Таблица

Узлы	Ветви								c_1	c_2	c_3	c_4	c_5
	M_{61}	M_{mp1}	M_{62}	M_{63}	M_{64}	M_{mp2}	M_{65}	M_{66}					
1	1	-1	-1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0
2	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	-1	0	0	0
3	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	-1	1	-1	0
4	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	-1	0	1	-1
5	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	1
1*	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	-1	0
Подматрицы	A_6								A_y				

графические изображения, показанные на рис. 3.

Граф является аналогом эквивалентной схемы и структура его аналогична (рис. 2, в). Если обозначить направления сигналов в ветвях графа, то получим ориентированный граф (орграф). Направления сигналов в ветвях графа изображают стрелками.

В ветвях источников внешних воздействий сигналы направляют от базы к узлу, если энергия подводится к узлу и источник обеспечивает возрастание потоковой переменной узла, то направления фазовых переменных ω_i и M_{ek} совпадают. При отводе энергии на преодоление сопротивлений ω_i и M_{ek} противоположны, поэтому направление сигнала в ветви источника – от узла к базе. Направление сигнала в ветви источника потока определяется аналогично, в зависимости от того, подводится энергия к техническому объекту от внешней среды или отводится.

Во всех ветвях инерционных компонентов направления сигналов от узлов к базе. Такое направление характеризует затраты энергии источников на увеличение кинетической энергии инерционных элементов. В любых других ветвях, соединяющих узлы с базой, кроме ветвей источников, сигналы всегда направлены к базе. В ветвях упругих компонентов стрелки указывают направление передачи энергии от источников к потребителям.

Неуравновешенность создает дополнительное сопротивление вращению ролика, поэтому направление сигнала в ветви источника потока ω^{*6l} принимается от узла 1* к базе, а реакция внешней среды M^{*6l} , обусловленная также этим источником, также считается отрицательной.

Орграф позволяет идентифицировать структуру и физические свойства моделируемой технической системы. Исследование орграфа дает возможность формализовать процесс составления

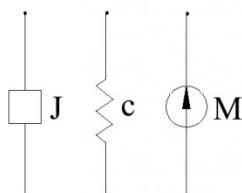


Рис. 3. Обозначение ветвей эквивалентной схемы: а – инерционной, б – упругой, в – источника потенциала

полной математической модели объекта в инвариантной форме, т.е. получить систему обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих процесс функционирования технического объекта.

Для построения математической модели был использован структурно-матричный метод. Основу структурно-матричного метода формирования математических моделей составляет матрица инциденций, которая представляет собой матричную форму математической модели. Метод отличается очевидной наглядностью в отображении структуры технической системы и ее взаимодействия с внешней средой.

Математическая модель представляется системой обыкновенных дифференциальных и математических уравнений. Первое матричное уравнение системы (1) получено на основе равновесия потенциалов ветвей орграфа, инцидентных соответствующим его узлам, и выражает принцип Даламбера. Второе уравнение системы (2) и уравнение (3) представляют собой матричные компонентные уравнения соответственно упругих и диссипативных элементов системы [1].

$$dv/dt = \left(\sum_{l=1}^L I_{6il} F_{6l} + \sum_{j=1}^N I_{yij} F_{yj} + \sum_{k=1}^K I_{\partial ik} F_{\partial kj} \right) / m_i, \quad i = 1, n \quad (1)$$

$$dF_{yj}/dt = -c_j \sum_{i=1}^n I_{yij} v_i, j = 1, N; \quad (2)$$

$$F_{\partial k} = -\mu_k \sum_{i=1}^n I_{\partial ik} v_i, k = 1, K; \quad (3)$$

$$F_{6m}^{*} = - \left(\sum_{j=1}^N I_{ymj} F_{yj} + \sum_{k=1}^K I_{\partial ik} F_{\partial kj} \right) m = 1, M \quad (4)$$

Уравнение (4) характеризует реакцию внешней среды, генерирующей m -тый источник потока.

Выпишем матрицу инциденций анализируемого объекта (A_6 – подматрица инциденций воздействия внешних элементов; A_y – подматрица инциденций упругих элементов), исключив в ней подматрицу инциденции инерционных элементов.

Используя формулы (1) – (4) алгоритма структурно-матричного метода и матрицу инциденций, составим уравнения математической модели ролика ленточного конвейера:

$$\begin{aligned} d\omega_1/dt &= (M_{61} - M_{mp1} - M_{62} - M_{y1})/J_1; \\ d\omega_2/dt &= (-M_{63} + M_{y1} - M_{y2})/J_2; \\ d\omega_3/dt &= (-M_{64} - M_{y2} + M_{y3} - M_{y4} - M_{mp2})/J_3; \\ d\omega_4/dt &= (-M_{65} - M_{y2} + M_{y4} - M_{y5})/J_4; \\ d\omega_5/dt &= (-M_{66} + M_{y2} + M_{y3})/J_5; \\ dM_{y1}/dt &= c_1 (\omega_1 - \omega_2); \\ dM_{y2}/dt &= c_2 (\omega_2 + \omega_3 + \omega_4 - \omega_5); \\ dM_{y3}/dt &= c_3 (-\omega_3 + \omega_{61}^*); \end{aligned}$$

$$dM_{y4}/dt = c_4 (\omega_3 - \omega_4);$$

$$dM_{y5}/dt = c_5 (\omega_4 - \omega_5);$$

$$M_{y6}^* = M_{y2}$$

Задавая начальные условия $\omega_{10}... \omega_{50}$,

$M_{y10}...M_{y50}$ и интегрируя систему дифференциальных уравнений, можно проанализировать нагруженность элементов ролика ленточного конвейера, обусловленную источниками внешних воздействий $M_{62}...M_{66}$ и ω_{61}^* .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем: Учебник для вузов. – Минск: ДизайнПРО, 1997. – 640с.

□ Авторы статьи:

Коган

Борис Исаевич
–докт.техн.наук, проф.каф. технологии машиностроения

Лукашенко

Татьяна Александровна
–аспирант каф. технологий машиностроения