

Докт. техн. наук В.Ф. Монастырский
канд. техн. наук Р.В. Кирия
инж. А.Н. Смирнов
(ИГТМ НАН Украины)

СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НАСЫПНОГО ГРУЗА С РОЛИКООПОРАМИ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

На основі моделей безперервного марковського нормального процесу дрібно кускового вантажу і пуассонівської моделі потоку крупнокускового вантажу одержано статистичну модель взаємодії вантажопотоку насипного вантажу з роликоопорами стрічкового конвеєра. Одержано статистичні характеристики випадкового процесу сили взаємодії вантажопотоку з роликоопорами: математичне очікування, дисперсія і кореляційна функція залежно від параметрів конвеєра і роликоопори.

STATISTIC MODEL OF INTERACTION OF PILED-UP LOAD WITH ROLLER SUPPORTS OF BENT CONVEYERS

On the base of the models of uninterrupted normal Markov process of small-sized load and Poisson model of the stream of large-sized load there was obtained the statistic model of interaction of piled-up load traffic with roller supports of bent conveyor. The statistic characteristics of casual process of force of interaction of load traffic with roller supports are obtained: expected value, dispersion and correlative function depending on the conveyor and roller support parameters.

Одной из важных задач при эксплуатации ленточных конвейеров на горных предприятиях является задача определения надежности става, в частности роликоопор и роликов, в зависимости от характеристики грузопотока, поступающего на конвейер.

Для решения этой задачи необходимо знать силы, действующие на роликоопоры и ролики ленточного конвейера, в зависимости от величины поступающего грузопотока и его гранулометрического состава.

Вопросами моделирования грузопотока насыпного груза и его взаимодействием с роликоопорами ленточных конвейеров занимались многие авторы [1-3].

Однако до настоящего времени не существует статистической модели грузопотока, которая в полной мере учитывала бы грансостав, форму кусков, а так же динамические составляющие сил взаимодействия крупных кусков груза с роликоопорами.

В общем случае грузопоток насыпных грузов можно представить как совокупность грузопотоков мелких и крупных кусков породы различного размера и массы, распределенных вдоль конвейера случайным образом.

Грузопоток мелких фракций с максимальным размером кусков $a_m < 0,1B$ (B – ширина ленты конвейера) составляет 80 % от всей массы насыпного груза, транспортируемого ленточными конвейерами.

Грузопоток мелких фракций согласно [3], описывается непрерывным марковским нормальным случайным процессом с математическим ожиданием m_Q , (кг), дисперсией σ_Q^2 (кг²) и корреляционной функцией

$$R_Q(\tau) = \sigma_Q^2 e^{-\frac{\tau}{\tau_k}},$$

где τ – интервал времени между двумя сечениями случайного процесса, сек;
 τ_k – время корреляции, сек, $\tau_k = 1,5-3$ с.

Грузопоток крупных кусков характеризуется грансоставом, т.е. процентным содержанием по массе крупных кусков груза, с заданными размерами среднего куска. Графически грансостав характеризуется кумулятивной кривой [4].

Средняя масса куска i -ой фракции произвольной формы определяется из формулы [5]

$$m_i = k_{\phi i} \rho_u a_{ci}^3, \quad (i = 2 \dots r+1), \quad (1)$$

где m_i – средняя масса кусков i -ой фракции, кг; ρ_u – плотность породы в целике, кг/м³; a_{ci} – максимальный размер крупного куска i -ой фракции, м; r – число крупных фракций транспортируемой горной массы, $k_{\phi i}$ – коэффициент, учитывающий форму кусков i -ой фракции.

Согласно [5] для скальных пород карьеров Кривбасса в среднем характерны куски столбчатой (параллелепипедной) формы $1 \times 0,7 \times 0,48$ м, при этом $k_i \approx 0,22$.

Известно [1-3], что куски i -ой фракции на ленте конвейера расположены по закону Пуассона. Тогда вероятность того, что за время t на ленте появится s_i кусков i -ой фракции, равно [6]

$$P\{j = s_i\} = \frac{(\lambda_i t)^{s_i}}{s_i!} e^{-\lambda_i t}, \quad (i = 2 \dots r+1) \quad (2)$$

где λ_i – параметр пуассоновского закона, с⁻¹; t – время, с.

При этом математическое ожидание числа кусков s_i -ой фракции на ленте конвейера за время t вычисляется по формуле

$$\bar{s}_i = M[s_i] = \lambda_i t. \quad (3)$$

Из последнего равенства имеем

$$\lambda_i = \frac{\bar{s}_i}{t}, \quad (i = 2 \dots r+1). \quad (4)$$

Из формулы [4] следует, что λ_i есть среднее количество кусков i -ой фракции, проходящих через данное сечение груза на ленте конвейера в единицу

времени. С другой стороны среднее количество кусков i -ой фракции проходящее через данное сечение в единицу времени определяется по формуле

$$\lambda_i = \frac{QP_i}{m_i}, \quad (5)$$

где Q – производительность грузопотока, поступающего на конвейер, кг/с; P_i – весовые доли кусков i -ой фракции в общей массе груза, поступающего на конвейер определяемые по грансоставу транспортируемого груза ($i = 1, 2 \dots r+1$).

При этом P_1 – весовая доля мелкокускового груза в общей массе транспортируемого груза.

Обозначим скорость ленты конвейера через v_l (м/с), тогда среднее расстояние между серединами кусков груза i -ой фракции на конвейере равно

$$l_i = \frac{v_l}{\lambda_i}. \quad (6)$$

Подставляя (5) в (6), получим

$$l_i = \frac{m_i v_l}{QP_i}. \quad (7)$$

Производительность конвейера определим по формуле

$$Q = v_l q, \quad (8)$$

где q – погонная масса груза на ленте конвейера, кг/м.

Подставляя (8) в (7), получили

$$l_i = \frac{m_i}{qP_i}. \quad (9)$$

В таблице 1, для примера, даны значения P_i , m_i , λ_i и l_i для каждой фракции крупнокускового груза, поступающего на конвейерную линию.

При этом значение грузопотока $Q = 400$ т/ч (111,1 кг/с), скорость конвейера $v_l = 2,5$ м/с и плотность породы в целике $\rho_y = 3000$ кг/м³, коэффициент формы кусков для всех фракций принимался равным $k_{\phi i} = 0,22$.

Таблица 1 – Значения P_i , m_i , λ_i и l_i для каждой фракции крупнокускового груза, поступающего на конвейерную линию

	Фракция a_{ci} , м								
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
P_i	0,15	0,1	0,08	0,06	0,045	0,028	0,02	0,016	0,01
m_i , кг	5,28	17,82	42,24	82,5	142,56	225,58	337,92	481,14	660
λ_i , с ⁻¹	3,16	0,62	0,21	0,08	0,04	0,014	0,007	0,004	0,002
l_i , м	0,79	4,03	11,9	31,25	62,5	178,57	357,14	625	1250

При взаимодействии крупных кусков груза i -ой фракции с роликоопорами ленточного конвейера возникают импульсы силы треугольной формы высотой H_i и длительностью τ_{ci} (рис.1).

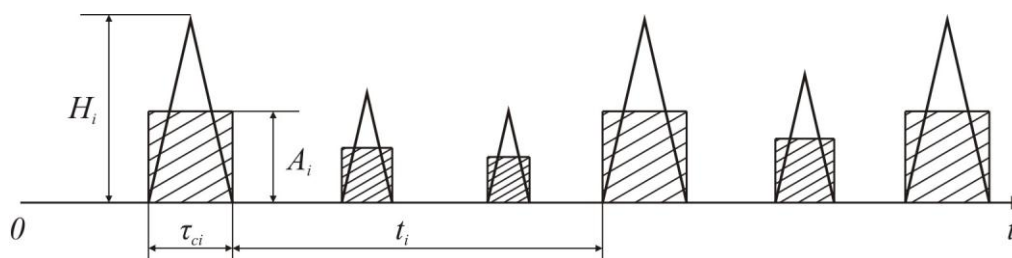


Рис. 1 – Поток импульсов взаимодействия крупных кусков груза с роликоопорами ленточного конвейера

Для моделирования взаимодействия крупнокускового груза i -ой фракции заменим треугольные импульсы на прямоугольные высотой, равной $A_i = 0,5 H_i$, и той же длительностью τ_{ci} (см. рис.1).

Следовательно грузопоток i -й фракции крупнокускового груза, взаимодействующего с роликоопорами, можно представить как импульсный случайный процесс $X_i(t)$, имеющий прямоугольную форму со средней длительностью импульсов τ_{ci} , высотой A_i и моментами появления импульсов t_i , распределенными по пуассоновскому закону с параметром λ_i .

Отсюда, согласно [6], математическое ожидание, дисперсия и корреляционная функция этого случайного процесса равны:

$$\begin{aligned}
 M[X_i(t)] &= A_i \lambda_i \tau_{ci}; \\
 D[X_i(t)] &= A_i^2 \lambda_i \tau_{ci}; \\
 K[X_i(t); X_i(t)] &= K(\tau) = A_i^2 \lambda_i \tau_{ci} e^{-\frac{\tau}{\tau_{ci}}}.
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

Средняя длительность импульсов, т.е. время прохождения кусков i -ой фракции по роликоопоре ленточного конвейера, определяется по формуле

$$\tau_{ci} = \frac{a_{ci}}{v_l}. \quad (11)$$

Средняя высота импульсов взаимодействия крупных кусков с роlikоопорой ленточного конвейера с учетом динамической составляющей силы определяется по формуле

$$A_i = k_i \frac{gm_i}{2}, \quad (12)$$

где k_i – коэффициент динамичности.

Согласно [7], коэффициент динамичности при взаимодействии крупных кусков груза с роlikоопорами определяется по формулам:

для жестких роlikоопор

$$k_i = 1 + \frac{2m_i}{Sa_{ci}} v_l^2; \quad (13)$$

для податливых роlikоопор

$$k_i = 1 + \frac{2m_i}{Sa_{ci}} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{4k+1}} \right) v_l^2, \quad (14)$$

где $k = \frac{S}{cl_p}$.

Здесь S – натяжение ленты, Н; l_p – расстояние между роlikоопорами, м; c – жесткость подвески роlikоопор, Н/м.

Коэффициент динамичности для грузопотоков, состоящих из мелкокусковых грузов, согласно [8] определяется по формуле

$$k_1 = 1 + \frac{2q_1}{S} v_l^2, \quad (15)$$

где q_1 – погонная масса груза мелкой фракции на ленте конвейера, кг/м; ($q_1 = qP_1 = m_Q$).

Подставляя (12) в (10), с учетом (5) и (11), получим

$$M[X_i(t)] = 0,5k_i m_i g \lambda_i \tau_{ci} = 0,5k_i g QP_i \frac{a_{ci}}{v_{\ddot{e}}};$$

$$D[X_i(t)] = 0,25k_i^2 m_i^2 g^2 \lambda_i \tau_{ci} = 0,25k_i^2 m_i g^2 Q P_i \frac{a_{ci}}{v_{\dot{e}}}; \quad (16)$$

$$K(\tau) = 0,25k_i^2 m_i^2 g^2 \lambda_i \tau_{ci} e^{-\frac{v_{\dot{e}} \tau}{a_{ci}}} = 0,25k_i^2 m_i g^2 Q P_i \frac{a_{ci}}{v_{\dot{e}}} e^{-\frac{v_{\dot{e}} \tau}{a_{ci}}}$$

($i=2 \dots r+1$).

Характеристики всего грузопотока насыпного груза, согласно теореме о сумме независимых случайных пуассоновских процессов [6], равны

$$M[X(t)] = 0,5 \sum_{i=2}^{r+1} k_i g Q P_i \frac{a_{ci}}{v_{\dot{e}}} + k_1 g m_Q;$$

$$D[X(t)] = 0,25 \sum_{i=2}^{r+1} k_i^2 m_i g^2 Q P_i \frac{a_{ci}}{v_{\dot{e}}} + k_1 g^2 \sigma_Q^2; \quad (17)$$

$$K(\tau) = 0,25 \sum_{i=2}^{r+1} k_i^2 m_i g^2 Q P_i \frac{a_{ci}}{v_{\dot{e}}} e^{-\frac{v_{\dot{e}} \tau}{a_{ci}}} + k_1 g^2 \sigma_Q^2 e^{-\frac{\tau}{\tau_k}}.$$

Из (13) видно, что математическое ожидание, дисперсия, и корреляционная функция случайного процесса взаимодействия крупных кусков i -й фракции с роlikоопорами зависит от средней массы и размеров кусков m_i , a_{ci} , от производительности Q и процентного содержания фракций P_i , от натяжения ленты S , жесткости и расстояния между роlikоопорами c и l_p соответственно, а так же от скорости ленты конвейера v_L .

Если на сборную конвейерную линию поступает несколько грузопотоков, то, согласно теореме о сумме независимых случайных пуассоновских потоков [7], имеем

$$\lambda_i = \sum_{j=1}^s \lambda_{ij}, \quad (18)$$

где λ_{ij} – среднее число кусков груза i -ой фракции j -го грузопотока, поступающего на сборную конвейерную линию; s – количество грузопотоков, поступающих на сборную конвейерную линию.

Выводы:

1. На основе пуассоновского закона распределения крупных кусков груза получена статистическая модель взаимодействия грузопотока насыпного груза с роlikоопорами ленточного конвейера.

2. Математическое ожидание, дисперсия, и корреляционная функция случайного процесса взаимодействия насыпного груза с роlikоопорами ленточно-

го конвейера линейно зависит от производительности Q и процентного содержания фракций P_i и нелинейно зависит от массы и размеров кусков m_i , a_{ci} соответственно, от натяжения ленты S , жесткости роликоопор и расстояния между ними c и l_p соответственно и скорости ленты конвейера v_d . В то же время математическое ожидание, в отличие от дисперсии и корреляционной функции, линейно зависит от массы крупных кусков груза m_i и средней погонной массы мелкокускового груза m_Q .

3. Полученные результаты исследования дают возможность в зависимости от параметров конвейера, роликоопор, величины грузопотока и его грансостава определить надежность става ленточного конвейера, в частности роликоопор и роликов, выработать технические решения по увеличению их надежности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Монастырский, В.Ф. О силе динамического взаимодействия потока крупнокускового груза с роликоопорами ленточного конвейера / В.Ф. Монастырский, Г.К. Демин // Динамика и прочность горных машин. - 1975. - № 3. - С. 112-118.
2. Дьяков, В.А. Аналитическое описание грузопотока скального крупнокускового груза / В.А. Дьяков // Шахтный и карьерный транспорт. - М.: Недра, 1977. - Вып. 3. - С. 57-60.
3. Приседский, Г.В. Формирование выходных нагрузок в элементах ленточных конвейеров / Г.В. Приседский, Н.П. Дорошенко, В.П. Серый, И.И. Маренко // Шахтный и карьерный транспорт. - М.: Недра, 1977. - Вып. 3. - С. 11-18.
4. Барон, Л.И. Кусковатость и методы ее измерения / Л.И. Барон. - М.: Из-во АН СССР, 1960. - 124 с.
5. Новиков, Е.Е. Теория ленточных конвейеров для крупнокусковых горных пород / Е.Е. Новиков, В.К. Смирнов. - Киев: Наук. думка, 1983. - 181 с.
6. Вентцель, Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерное приложение / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. - М.: Наука, 1981. - 384 с.
7. Гнеденко, Б.В. Математические методы в теории надежности / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев. - М.: Наука, 1965. - 524 с.
8. Панкратов, С.А. Динамика машин открытых горных и земляных работ / С.А. Панкратов. - М. Машиностроение, 1976. - 447с.

УДК 622.647.2:681.5

Канд. техн. наук Т.И. Жигула,
канд. техн. наук Л.П. Ладутина,
канд. техн. наук В.Ю. Максютенко
(ИГТМ НАН Украины)

МОДЕЛИ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПУСКОМ И ТОРМОЖЕНИЕМ КОНВЕЙЕРНОЙ ЛИНИИ

Розглянуто варіанти адаптивного управління динамічними процесами механічних систем і на їх основі розроблено структури алгоритмів адаптивного управління пуском і гальмуванням конвеєрної лінії із змінним вантажопотоком.

ADAPTIVE CASE FRAMES BY STARTING AND BRAKING OF CONVEYER LINE

The variants of adaptive dynamic process control of the mechanical systems are considered and on their basis the structures of algorithms of adaptive control by starting and braking of conveyer line with a changing goods traffic are developed.