

ОБОСНОВАНИЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ ТЯГОВОГО ОРГАНА СКРЕБКОВОГО КОНВЕЙЕРА

Кондрахин В.П., докт. тех. наук., проф., Борисенко В.Ф.,
канд. техн. наук, Мельник А.А.

Донецкий национальный технический университет,
Косарев В.В., канд. техн. наук, Косарев И.В.
Донгипроуглемаш

Предложена многомассовая конечно-элементная модель тягового органа скребкового конвейера, представляющая собой последовательно соединенные между собой элементы, обладающие инерционными, упругими и диссипативными свойствами. Определено минимально необходимое количество элементов для корректного моделирования процесса пуска.

The n -mass finite-element analytical model of the long drag-chain conveyor is analyzed with the purpose of a choice of the minimal number of estimated weights sufficient for reception of the analytical model.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

В общем случае скребковый конвейер представляет собой сложную нелинейную электромеханическую систему (ЭМС) с сосредоточенными и распределенными параметрами [1]. Для описания динамических процессов в таких системах используются системы нелинейных дифференциальных уравнений, в том числе и уравнений в частных производных. Решение такой системы возможно только численными методами и часто требует больших затрат времени на подготовку задачи и ее решение. В то же время задачи исследования переходных динамических процессов в ЭМС конвейеров имеют большое практическое значение, особенно для забойных конвейеров нового технического уровня, оснащенных двухскоростными асинхронными электродвигателями. Моделирование и оптимизация процессов пуска таких конвейеров имеют важное практическое значение, так как пусковые режимы могут во многом определять производительность и надежность машин [2].

Анализ исследований и публикаций. Проблема моделирования переходных процессов в ЭМС скребкового конвейера применительно к односкоростным приводным двигателям рассматривалась в работах

[1,3,4] и др. Расчетная схема тягового органа в указанных работах принимается в виде одномассовой упругой модели, причем распределенная масса тягового органа и груза приводится к сосредоточенной массе методом Рэлея. Однако результаты этих исследований не могут быть непосредственно распространены на современные скребковые забойные конвейеры с двухскоростным электроприводом и длиной 300 м и более. Для анализа процесса пуска таких конвейеров необходимо использовать современные математические модели электродвигателей, редукторов, упруго-демпфирующих муфт и тяговых органов.

Постановка задачи. Задачей данной работы является разработка на основе использования идеи метода конечных элементов динамической и математической модели тягового органа забойного скребкового конвейера и обоснование количества конечных элементов для корректного моделирования процесса запуска конвейера.

Изложение материала и результаты. Как известно, идея метода конечных элементов состоит в представлении непрерывного объекта моделью, состоящей из отдельных элементов (участков). Применительно к тяговому органу скребкового конвейера в качестве таких элементов целесообразно рассматривать некоторую инерционную массу m_i , которая связана с соседней массой при помощи линейного упруго-диссипативного элемента с коэффициентом жесткости C_i и коэффициентом сопротивления β_i .

Указанные параметры конечного элемента определяются принятым количеством элементов на рабочей n_p и холостой n_x ветвях тягового органа. Так, например, для груженной части рабочей ветви

$$m_i = \frac{L(q_u + q_{zp})}{n_p g},$$

где L – длина конвейера,

q_u, q_{zp} – вес 1 м соответственно тягового органа и перемещаемого груза,

g – ускорение свободного падения.

Для холостой ветви

$$m_i = \frac{2Lq_u}{n_x g}.$$

Коэффициент жесткости конечного элемента на рабочей ветви

$C_i = \frac{E_0 n_p}{L}$, на холостой ветви - $C_i = \frac{E_0 n_x}{L}$, где E_0 – продольная динамическая жесткость тягового органа.

Коэффициент сопротивления для конечного элемента определяется, исходя из значения коэффициента поглощения ψ тягового органа

$$\beta_i = \frac{\Psi \sqrt{C_i m_i}}{2\pi}$$

На рис. 1 в качестве примера дана расчетная динамическая схема привода, рабочей и холостой ветвей одноприводного скребкового конвейера.

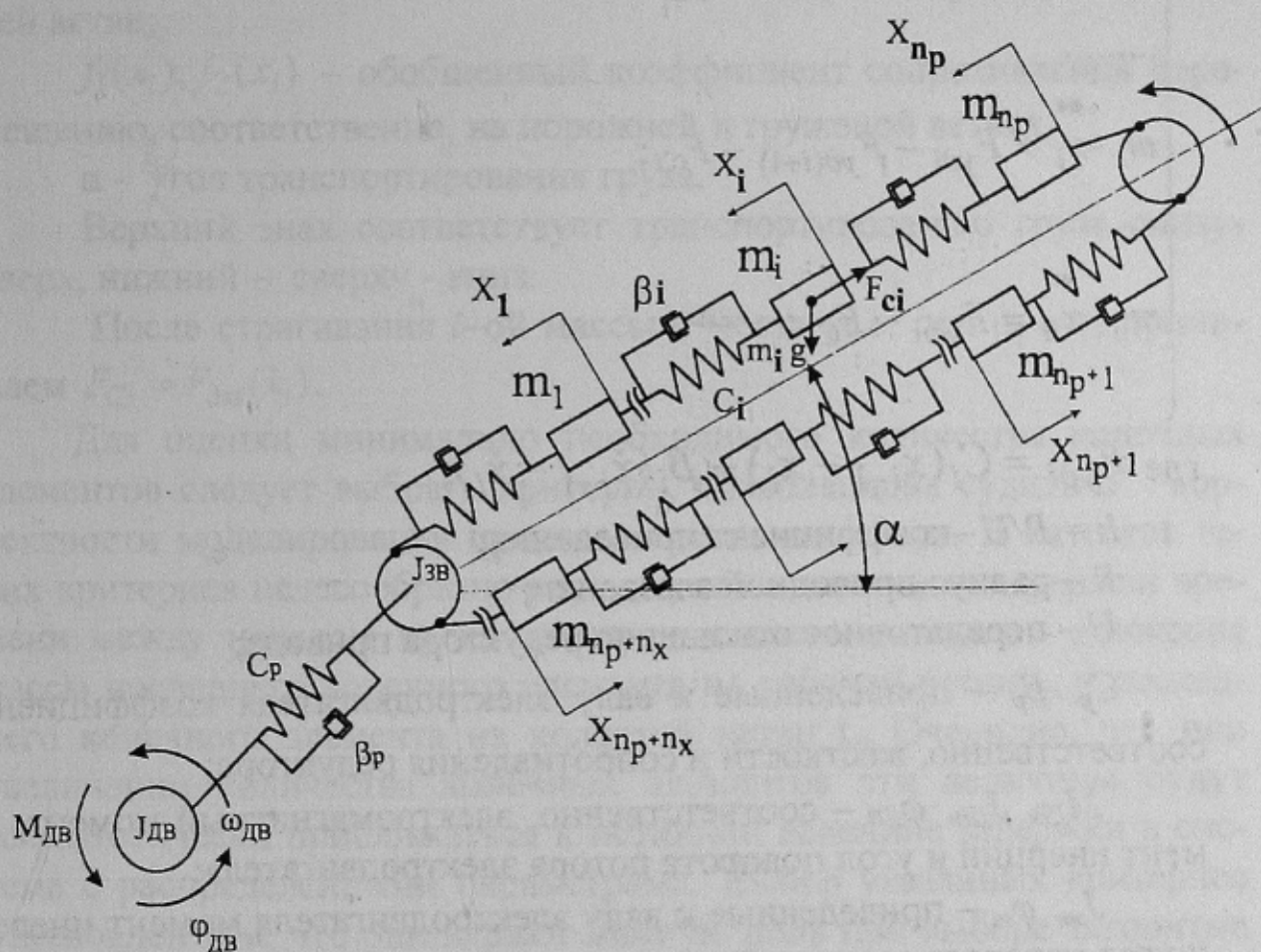


Рисунок 1 - Динамическая расчетная схема привода, рабочей и холостой ветвей скребкового конвейера

На каждую массу в направлении перемещения действуют реакции линейных упруго-демпфирующих связей, составляющая силы веса и внешняя сила сопротивления перемещению груза. Принято допущение, что в точке сбегания с приводной звездочки образуется слабина тягового органа. Для математического описания динамиче-

ских процессов в рассматриваемой ЭМС используется система $(n_p + n_x + 2)$ дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned} J_{ДВ} \cdot \ddot{\varphi}_{ДВ} &= M_{ДВ} - C_P \cdot (\varphi_{ДВ} - \varphi_{ЗВ}) - \beta_P \cdot (\dot{\varphi}_{ДВ} - \dot{\varphi}_{ЗВ}); \\ J_{ЗВ} \cdot \ddot{\varphi}_{ЗВ} &= C_P \cdot (\varphi_{ДВ} - \varphi_{ЗВ}) + \beta_P \cdot (\dot{\varphi}_{ДВ} - \dot{\varphi}_{ЗВ}) - C_1 \cdot (\varphi_{ЗВ} k - x_1) \cdot k - \\ &- \beta_1 \cdot (\dot{\varphi}_{ЗВ} k - \dot{x}_1) \cdot k; \\ m_1 \cdot \ddot{x}_1 &= C_1 \cdot (\varphi_{ЗВ} k - x_1) + \beta_1 \cdot (\dot{\varphi}_{ЗВ} k - \dot{x}_1) - F_{y\partial 2} - F_{C1}; \\ m_2 \cdot \ddot{x}_2 &= F_{y\partial 2} - F_{y\partial 3} - F_{C2}; \\ &\dots\dots\dots \\ m_i \cdot \ddot{x}_i &= F_{y\partial i} - F_{y\partial(i+1)} - F_{Ci}; \\ &\dots\dots\dots \\ m_n \cdot \ddot{x}_n &= F_{y\partial n} - F_{Cn}; \end{aligned} \right.$$

где $F_{y\partial i} = C_i(x_{i-1} - x_i) + \beta_i(\dot{x}_{i-1} - \dot{x}_i)$;

$k = R/U$ – коэффициент приведения;

R – радиус приводной звездочки;

U – передаточное отношение редуктора привода;

C_p, β_p – приведенные к валу электродвигателя коэффициенты, соответственно, жесткости и сопротивления редуктора;

$M_{ДВ}, J_{ДВ}, \varphi_{ДВ}$ – соответственно, электромагнитный момент, момент инерции и угол поворота ротора электродвигателя;

$J_{ЗВ}, \varphi_{ЗВ}$ – приведенные к валу электродвигателя момент инерции и угол поворота звездочки;

$n = n_p + n_x$ – количество конечных элементов.

Для моделирования электромагнитных процессов приводного электродвигателя и определения $M_{ДВ}$ в работе использовалась модель двухскоростного асинхронного электродвигателя [5].

Для исследования процесса запуска конвейера важное значение имеет правильное математическое описание силы сопротивления F_{ci} , действующей на i -ю массу в процессе ее страгивания с места при

пуске конвейера и в движении. Известно [1,4], что сила сопротивления движению тягового органа и груза зависит от скорости.

Для покоящейся i -ой массы (т.е. при $\dot{x}_i = 0$) принимаем $F_{Ci} = F_{ni}$, где

$$F_{ni} = F_{y\partial(i-1)} - F_{y\partial i}; \quad \text{при } F_{y\partial(i-1)} - F_{y\partial i} < F_{\partial vi}(0);$$

$$F_{ni} = F_{\partial vi}(0); \quad \text{при } F_{y\partial(i-1)} - F_{y\partial i} \geq F_{\partial vi}(0),$$

где $F_{\partial vi}(\dot{x}_i) = m_i g (f_1(\dot{x}_i) \cos \alpha \pm \sin \alpha)$ - для холостой ветви;

$F_{\partial vi}(\dot{x}_i) = m_i g (f_1(\dot{x}_i) \cos \alpha \mp \sin \alpha)$ - для незагруженной части рабочей ветви;

$F_{\partial vi}(\dot{x}_i) = m_i g (f_2(\dot{x}_i) \cos \alpha \mp \sin \alpha)$ - для загруженной части рабочей ветви;

$f_1(\dot{x}_i), f_2(\dot{x}_i)$ - обобщенный коэффициент сопротивления перемещению, соответственно, на порожней и грузеной ветвях.

α - угол транспортирования груза.

Верхний знак соответствует транспортированию груза снизу-вверх, нижний - сверху - вниз.

После страгивания i -ой массы с места (т.е. при $\dot{x}_i \neq 0$) принимаем $F_{Ci} = F_{\partial vi}(\dot{x}_i)$.

Для оценки минимально необходимого количества конечных элементов следует выбрать критерии, позволяющие судить о корректности моделирования процесса пуска конвейера. В качестве таких критериев целесообразно рассматривать величины задержки времени между началом пуска электродвигателя и началом движения массы последнего конечного элемента на рабочей ветви t_p и последнего конечного элемента на холостой ветви t_x . Очевидно, что при увеличении количества конечных элементов эти величины будут асимптотически приближаться к истинной величине задержки в системе с распределенными параметрами. Выбор указанных критериев обусловлен тем, что они играют важную роль при выборе алгоритма пуска головного и хвостового приводов конвейера.

Компьютерное моделирование процесса пуска одноприводного конвейера производилось для простоты только на первую ступень скорости электродвигателя, причем количество конечных элементов на рабочей и холостой ветвях принималось одинаковым $n_p = n_x = 1, 2, 3, 4, 5, 6$. Численные значения параметров конечных элементов принимались применительно к конвейеру КСД27 длиной 300 м при полной загрузке рабочей ветви. На рис. 2 приведена осциллограмма

скорости движения масс конечных элементов при запуске конвейера для $n_p = n_x = 1$.

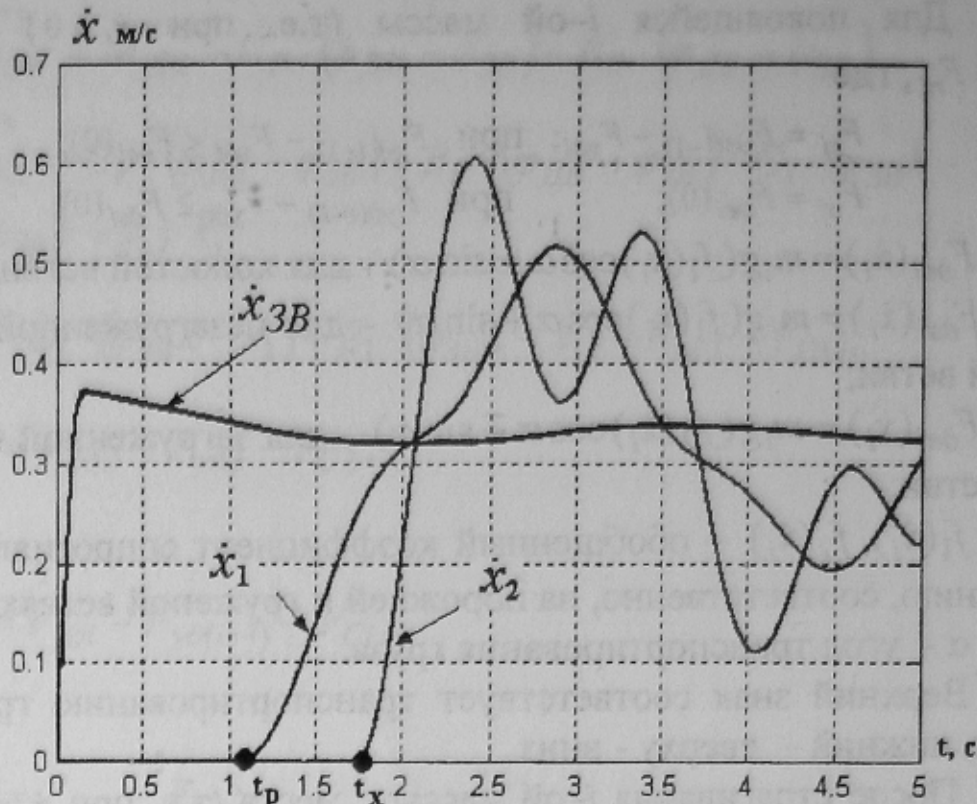


Рисунок 2 - Осциллограмма скорости масс конечных элементов.

На рис. 2 \dot{x}_{3B} - окружная скорость приводной звездочки. На осциллограмме видно, что массы конечных элементов начинают двигаться не сразу после пуска электродвигателя, а с некоторой задержкой t_p и t_x . Это объясняется тем, что движение массы начинается только тогда, когда движущее усилие в упруго-демпфирующей связи превысит силу сопротивления (силу трения покоя). Как показал анализ результатов моделирования, задержка времени начала движения массы зависит от количества принимаемых для моделирования конечных элементов.

На рис. 3 приведена зависимость времени задержки t_p и t_x от количества конечных элементов n .

Из рис. 3 следует, что при увеличении количества конечных элементов от 2 до 10 время задержки начала движения последних по счету масс на рабочей и холостой ветвях снижается. При увеличении количества масс свыше 10 время задержки остается практически неизменным. На основании этого можно оценить минимально необходимое количество конечных элементов 10-12 штук, по 5-6 элементов на рабочей и холостой ветвях.

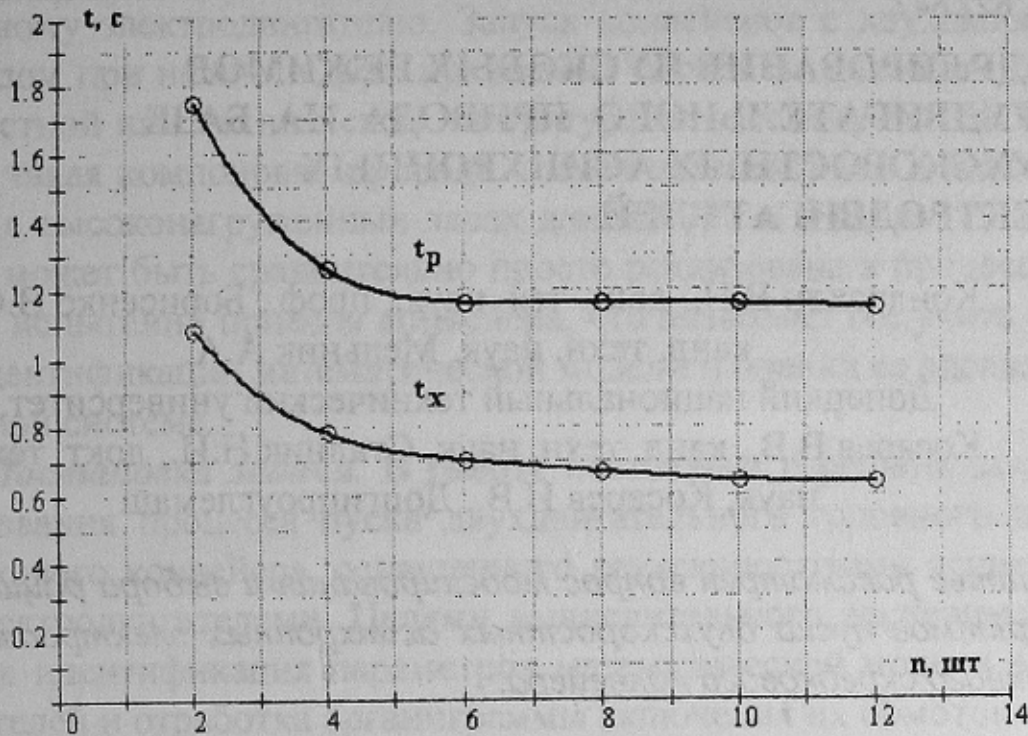


Рисунок 3.- Графік залежності часу затримки t_p і t_x від кількості кінцевих елементів в моделі тягового органа.

Висновки і напрямлення подальших досліджень. При дослідженні пускових режимів багатоприводних скребкових конвейерів цілесообразно представляти тяговий орган в вигляді сукупності 10-12 кінцевих елементів, що складаються з інерційної маси і еластично-дисипативної зв'язі. Численні значення параметрів цих елементів визначаються параметрами тягового органа, навантаженням конвейера, його довжиною і кількістю кінцевих елементів. Використання запропонованої моделі дозволяє без суттєвого ушкодження для точності рішення уникнути інтегрування диференціальних рівнянь в частинних похідних при моделюванні робочих процесів скребкових конвейерів. В процесі подальших досліджень передбачається використовувати розроблену модель для моделювання і оптимізації процесу пуску двохшвидкісних скребкових конвейерів.

Список джерел.

1. Чугреев Л.И. Динамика конвейерів з ланковим тяговим органом. - М.: Недра, 1976. - 256с.
2. Арнс К. Умови запуску навантажених скребкових конвейерів з приводами звичайного типу. - Глюкауф. 1984, № 12, с. 9-15
3. Давыдов Б.Л., Скородумов Б.А. Статика і динаміка машин. М.: Машиностроение, 1967. - 432с.
4. Скребковые конвейеры. Справочник / Под ред. А.В. Леусенко. - М.: Недра, 1992. - 221с.
5. Герман-Галкин С.Г. Комп'ютерне моделювання напівпровідникових систем в Matlab 6.0: Учебное пособие. - СПб.: Корона принт, 2001. - 320с.