



УДК 621.643.25

В.Є.Богуславський, канд. техн. наук,
доцент,
О.О. Шаленко, інж.

ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАКОНІВ РУХУ УДОСКОНАЛЕНОЇ ЦЕНТРИФУГИ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ТІЛ ОБЕРТАННЯ

Вступ

В теперішній час одним із найбільш ефективних акумуляторів енергії є механічні акумулятори у вигляді маховиків. Перевагами таких пристроїв є їх простота і можливість заощаджувати великі об'єми енергії, що неможливо при застосуванні електричних, хімічних та інших акумуляторів.

Зокрема дослідження і аналіз робочого процесу показав доцільність використання маховиків в конструкціях роликів центрифуг для формування довгомірних залізобетонних тіл обертання (типу труб, колон, опор ЛЕП і т.д.).

Особливістю відцентрового формування таких виробів є те, що у вихідний момент робочого процесу бетонна суміш знаходиться у формі у вигляді сегменту.

Ексцентричне розміщення бетонної суміші на початку процесу формування обумовлює тимчасове різке підвищення крутного моменту приводу, що в свою чергу викликає необхідність підвищення його потужності. В деяких випадках для розгону форми може використовуватись додатковий привід.

В процесі розгону форми за рахунок дії відцентрових сил сегмент поступово розподіляється по стінкам форми і перетворюється в колоподібне тіло обертання. Одночасно крутний момент приводу суттєво знижується.

Застосування в конструкції центрифуги акумулятора енергії у вигляді маховика дає можливість значно знизити навантаження на електродвигун на початку формування і, як наслідок, зменшити потужність приводу.

Центрифуга (Рис.1) складається із рами, двигуна постійного струму, клинопасової передачі, двох рядів підтримуючих і привідних роликів з'єднаних карданними валами, а також маховика і двох зчіпних муфт.

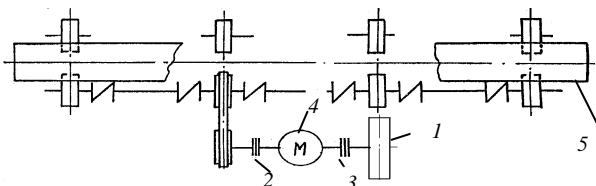


Рис. 1. Кінематична схема роликів центрифуги з маховиком. 1- маховик;
2,3 – зчепні муфти; 4 – електродвигун;
5 – форма

Центрифуга працює таким чином. На початку процесу під час монтажу форми і додаткових операцій розкручується маховик 1. При цьому муфта 2 відключена, а муфта 3 підключена. Після розгону маховика вмикається муфта 2 і форма 5 з бетонною сумішшю приводиться в обертання сумісною енергією маховика 1 і двигуна 4 або тільки маховика.

Мета і постановка задачі

Метою даного дослідження є розробка математичної моделі робочого процесу роликів центрифуги з маховиком для об'єднаного вибору основних параметрів обладнання і вивчення особливостей його роботи.

На попередніх етапах досліджень сформовані моделі процесу роботи центрифуги в традиційному виконанні, а також при розкручуванні маховика [1,2].

Продовжимо дослідження і розглянемо другий етап формування, коли відбувається розгін форми з допомогою енергії маховика і електродвигуна.

Рівняння руху форми на цьому етапі:

$$\frac{I_m \omega_m^2}{2} = \left(M_T + M_c + I \frac{d\omega}{dt} - M_g \right) \varphi, \quad (1)$$

де I_m - момент інерції двигуна; ω_m - кутова швидкість маховика; M_T - момент сил тертя;

M_c - момент від статичної сили опору ексцентричної маси бетонної суміші. I - момент інерції мас, що обертаються; ω - кутова швидкість форми; t - час; M_g - крутний момент двигуна; φ - кут повертання форми.

Прийmemo у ролі узагальненої координати кут повертання форми φ і дамо системі можливість переміщення $d\varphi$. Тоді рівняння руху форми в диференційному вигляді:

$$d \left(\frac{I_m \omega_m^2}{2} \right) = \left(M_m + M_c + I \frac{d\omega}{dt} - M_g \right) d\varphi, \quad (2)$$

Із цього рівняння:

$$\frac{d}{d\varphi} \left(\frac{I_m \omega_m^2}{2} \right) = \left(M_m + M_c + I \frac{d\omega}{dt} - M_g \right), \quad (3)$$

Розглянемо ліву частину рівняння (3)

$$\frac{d}{d\varphi} \left(\frac{I_m \omega_m^2}{2} \right) = I_m \frac{d}{d\varphi} \left(\frac{\omega_m^2}{2} \right) + \frac{dI_m}{d\varphi} \cdot \frac{\omega_m^2}{2},$$

В зв'язку з тим, що момент інерції маховика є константою, маємо:

$$\frac{d}{d\varphi} \left(\frac{I_M \omega_M^2}{2} \right) = I_M \omega_M \frac{d\omega_M}{dt} \frac{dt}{d\varphi} = I_M \frac{d\omega_M}{dt}, \quad (4)$$

Момент від статичної сили опору ексцентричної маси бетонної суміші має максимальне значення на початку формування. В процесі обертання форми бетонна суміш розподіляється по стінкам і цей момент падає до нуля. (Рис.2)

Умовою приймаємо, що цей момент змінюється по прямолінійному закону:

Момент інерції опалубки з бетонною сумішшю змінюється в процесі формування, при чому мінімальне значення він має на початку процесу. Умовно приймаємо, що момент інерції змінюється по закону прямої лінії. (Рис.3)

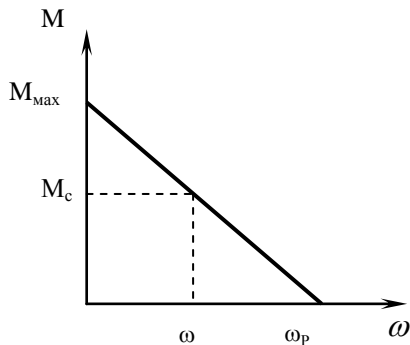


Рис.2 Закон змінення статичного моменту ексцентричної маси в процесі формування

M_{max} – максимальний момент від ексцентричної маси; ω_p - швидкість при повному розподілі бетонної суміші по стінкам форми.

Статичний момент із графіка Рис.2

$$M_C(\omega) = M_{max} - \frac{M_{max}}{\omega_p} \omega \quad (5)$$

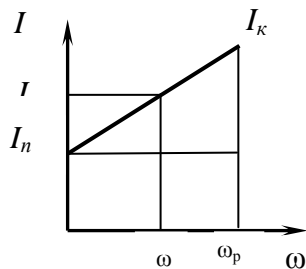


Рис.3 Закон змінення моменту інерції форми з бетонною сумішшю в процесі формування

I_n – момент інерції суміші на початку формування; I_k – момент інерції напівфабриката;
 ω_p - кутова швидкість при повному розподілі бетонної суміші.

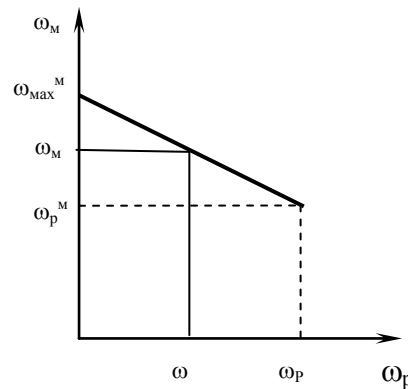


Рис.4 Закон змінення кутової швидкості маховика при розгоні форми

Момент інерції опалубки з бетонною сумішшю змінюється в процесі формування, при чому мінімальне значення він має на початку процесу. Умовно приймаємо, що момент інерції змінюється по закону прямої лінії. (Рис.3)

Момент інерції із рис.3

$$I = I_n + \frac{I_k - I_n}{\omega_p} \omega; \quad (6)$$

Кутова швидкість маховика поступово знижується в процесі розгону форми від нерухомого стану до швидкості розподілу ω_p , після чого маховик відключається. (Рис.4)

ω_{max}^M – первинна кутова швидкість маховика,
 ω_p^M – кутова швидкість маховика при повному

розподілі бетонної суміші.

Кутова швидкість маховика:

$$\omega_M = \omega_{max}^M - \omega \left(\frac{\omega_{max}^M}{\omega_p^M} - 1 \right), \quad (7)$$

На роликівих центрифугах застосовують електродвигун постійного струму, що має падаючу характеристику (рис.5).

Момент двигуна у функції кутової швидкості:

$$M_g = M_n - \frac{M_n - M_{mp}}{\omega_n} \omega; \quad (8)$$

Підставимо параметри (4,5,6,7) в рівняння (3):

$$I_M \frac{d}{dt} \left[\omega_{max}^M - \omega \left(\frac{\omega_{max}^M}{\omega_p^M} - 1 \right) \right] = M_T + M_{max} - M_{max} \frac{\omega}{\omega_p} + \left[I_n + \frac{\omega}{\omega_p} (I_k - I_n) \right] \frac{d\omega}{dt} - \left(M_n - \frac{M_n - M_{mp}}{\omega_n} \omega \right) \quad (9)$$

Продиференціюємо ліву частину цього рівняння:

$$I_M \frac{d}{dt} \left[\omega_{max}^M - \omega \left(\frac{\omega_{max}^M}{\omega_p^M} - 1 \right) \right] = -I_M \left(\frac{\omega_{max}^M}{\omega_p^M} - 1 \right) \frac{d\omega}{dt} \quad (10)$$

Диференційне рівняння в розгорнутому вигляді:

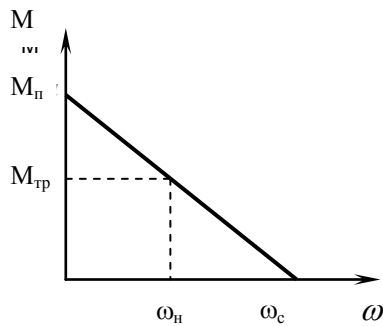


Рис.5 Характеристика двигуна постійного струму

M_n – пусковий момент; $M_{тр}$ – момент при сталому русі;
 ω_n – кутова швидкість при сталому русі

$$-I_M \left(\frac{\omega_{max}^M}{\omega_p^M} - 1 \right) \frac{d\omega}{dt} = M_T + M_{max} - \frac{M_{max}}{\omega_p} \omega + \left(I_n + \frac{I_k - I_n}{\omega_p} \omega \right) \frac{d\omega}{dt} - M_n + \frac{M_n - M_{mp}}{\omega_n} \omega \quad (11)$$

або після перетворень

$$\left[I_n + I_M \left(\frac{\omega_{max}^M}{\omega_p^M} - 1 \right) \right] \frac{d\omega}{dt} + \frac{I_k - I_n}{\omega_p} \omega \frac{d\omega}{dt} = (M_n - M_{mp} - M_{max}) + \left(\frac{M_{max}}{\omega_p} - \frac{M_n - M_{mp}}{\omega_n} \right) \omega$$

Введемо означення

$$I_n + I_M \left(\frac{\omega_{max}^M}{\omega_p^M} - 1 \right) = A; \quad \frac{I_k - I_n}{\omega_p} = B; \\ (M_n - M_{mp} - M_{max}) = D; \\ \left(\frac{M_{max}}{\omega_p} - \frac{M_n - M_{mp}}{\omega_n} \right) = K;$$

$$\text{Тоді } A \frac{d\omega}{dt} + B\omega \frac{d\omega}{dt} = D + K\omega; \quad (12)$$

Розділимо змінні:

$$\frac{d\omega}{dt} (A + B\omega) = D + K\omega; \\ dt = \frac{(B\omega + A)d\omega}{K\omega + D}; \quad (13)$$

Звідси

$$t = \int \frac{(B\omega + A)d\omega}{K\omega + D}$$

Після інтегрування:

$$t = \frac{B\omega}{K} + \frac{AK - BD}{K^2} \ln|K\omega + D| + C; \quad (14)$$

Із початкових умов : $t = 0; \omega = 0$; знаходимо константу інтегрування C .

$$C = \frac{BD - AK}{K^2} \ln|D|;$$

Тоді

$$t = \frac{B\omega}{K} + \frac{AK - BD}{K^2} \ln|K\omega + D| - \frac{AK - BD}{K^2} \ln|D| \quad (15)$$

$$t = \frac{B\omega}{K} + \frac{AK - BD}{K^2} \ln \left| \frac{K\omega + D}{D} \right|; \quad (16)$$

Це рівняння є законом руху форми при її обертанні за допомогою енергії електродвигуна і маховика.

Вирішення цього рівняння відносно ω можливо чисельним методом.

Аналіз рівняння (16) показує, що $K\omega + D > 0$;

Висновок

Таким чином в результаті теоретичних досліджень одержана математична модель робочого процесу роликвої центрифуги з акумулятором енергії у вигляді маховика. Подальші дослідження будуть пов'язані з чисельною реалізацією цієї моделі, а також її перевіркою за допомогою експериментального стенда.

Література

1. Артоболевський С.І. Теорія механізмів й машин.- М., Высшая школа, 1985 – 308с.
2. Богуславський В.Є., Шаленко О.О. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини № 64 К., КНУБА, 2004. Про деякі напрямки дослідження процесу формування довгомірних залізобетонних тіл обертання на роликвих центрифугах /