

УДК 666.97.033.16

ВІБРАЦІЙНЕ УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ЖОРСТКИХ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ

В. О. Дрончак, І. В. Коц, С. Б. Сторожук

Приведені результати досліджень динаміки низькочастотної віброударної площадки з імпульсним гідроприводом для формування виробів из жорстких будівельних сумішей. Запропонована науково обґрунтована методика розрахунку основних параметрів.

Приведены результаты исследования динамики низкочастотной виброударной площадки с импульсным гидроприводом для формирования изделий из жестких бетонных смесей. Предложена научно обоснованная методика расчета основных параметров.

The research results of low-frequency vibroplatform with impulsive hydraulic drive for forming reinforced concrete wares are given. A scientifically founded method of computation of basic parameters is offered.

Актуальність

На сьогоднішній день ще недостатньо високоефективних технологій, які можуть бути застосовані для виготовлення різноманітних бетонних виробів складної конфігурації із жорстких бетонних сумішей. У зв'язку з цим, виникла необхідність в створенні віброударного устаткування, привід якого дозволяє без яких-небудь конструктивних змін в ньому, плавно регулювати робочі параметри коливань залежно від режиму, потрібного згідно з технологічним процесом.

Аналіз останніх досліджень

Основним конструктивним вузлом, який визначає ефективність і надійність машин віброударної дії є їх привід. Серед відомих видів приводів найбільше розповсюдження як привід для устаткування віброударної дії, що використовується в будівельній та інших галузях промисловості, отримали механічні, пневматичні і гідравлічні [1-4]. Внаслідок різних конструктивних недоліків існуючі віброударні пристрої недостатньо задовольняють поставлені вимоги. Як показано у ряді публікацій гідравлічний привід має достатньо високу енергоємність і значну швидкість, дозволяє легко змінювати параметри робочих ходів в процесі вибору оптимальних технологічних режимів [3, 4].

Формулювання мети дослідження

Дослідження направлені на вивчення особливостей і обґрунтування застосування нового типу віброударного устаткування з гідроприводом, яке управляється за величиною тиску в гідросистемі автоматичним гідророзподільвачем – двухходовим клапаном-пульсатором.

Виклад основного матеріалу

На рис. 1 наведена конструктивна схема одного віброблока даного устаткування, який включає вібростіл 1, що пружно за допомогою пружин 2 і 3 зв'язаний з фундаментом. Електромагніт 4, закріплений на вібростолі здійснює зв'язок його з формою 5, в якій знаходиться ущільнюваний залізобетонний виріб 6. Крім того, вібростіл 1 жорстко зв'язаний за допомогою тяги 7 траверсою 8. Плунжер 9, встановлений на траверсі 8, входить в порожнину А корпусу гідроциліндра 10, який нерухомо закріплений на фундаменті. Порожнина А корпусу гідроциліндра 10 пов'язана з напірною магістраллю Н і насосом 11. До напірної магістралі за схемою запобіжного клапана підключений клапан-пульсатор 12. Працює пристрій таким чином. Під дією робочого тиску плунжер гідроциліндра 9 переміщується спільно з вібростолом 1 вниз, стискаючи при цьому пружини 3. Після досягнення в гідросистемі заданого тиску p_n , визначуваного настройкою клапана-пульсатора 12, відбувається його спрацьовування і з'єднання напірної магістралі Н і порожнини А із зливом. Тиск в гідросистемі падає до зливного і під дією зусилля стиснутих пружин 3 вібростіл 1 і пов'язані з ним деталі і виріб повертаються в початкове положення. Далі

клапан-пульсатор 12 закривається і робочий цикл повторюється в автоматичному режимі. Регулюючи тиск спрацьовування клапана-пульсатора 12, можна в широких межах регулювати робоче зусилля, частоту і амплітуду коливань вібростола.

Для складання диференціальних рівнянь, що описують динаміку руху рухомих частин віброблока, розглянемо три основні фази його роботи: фази підвищення тиску, фази ходів вверх та вниз. У початковому положенні гідросистема заповнена робочою рідиною, вага інерційної маси – рухомих частин вібростола і виробу зрівноважена зусиллям стиснення пружин 3. При виведенні диференціальних рівнянь рухів приймаємо такі припущення [3, 4]: податливість рідини – величина постійна, $\beta = \text{const.}$; спрацьовування клапана-пульсатора 12 відбувається релейно, тобто за час, який на порядок відрізняється від часу тривалості фаз ходів вверх та вниз; при відкритті клапана-пульсатора 12 площа його прохідного перерізу змінюється релейно від 0 до $f_{3л}$; тиск в зливній магістралі за клапаном-пульсатором 12 дорівнює нулю, $p_{3л} \approx 0$; продуктивність насоса – величина постійна, $Q_H = \text{const.}$

Приймаємо такі умовні позначення: M – приведена маса рухомих частин віброблока; x – їх переміщення; t – поточний час; α – коефіцієнт в'язкого тертя; c – жорсткість пружин стиснення 3; g – прискорення вільного падіння; $F_{пл}$ – робоча площа плунжера 9; $R_{мп}$ – сила сухого тертя; p – робочий тиск в порожнині А; $(W_{н1}\beta_1 + W_1\beta)(dp/dt)$ – витрата рідини на стиснення в напірних рукавах і робочій камері; W_n і W_l – відповідно, об'єм рідини, що стискається, в напірних рукавах і робочій камері; β_1 і β – коефіцієнт стиснення – податливість робочої рідини в напірних рукавах і робочій камері, відповідно; $F_{пл}(dx/dt)$ – витрата рідини на переміщення плунжера 9 ($F_{пл}$ – ефективна робоча площа плунжера 9); Q_H – продуктивність приводного гідронасоса 1.

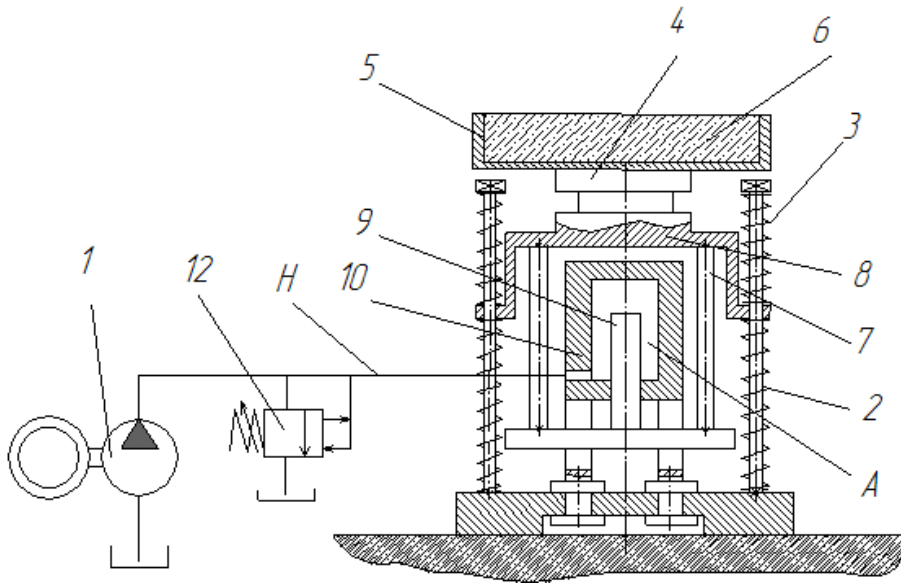


Рис. 1. Конструктивна схема віброблока

З врахуванням прийнятих припущень і позначень розглянемо такі диференціальні рівняння для реалізації математичної моделі робочого циклу, відповідно до прийнятих вище фаз робочого циклу.

I фаза підвищення тиску в гідросистемі може бути подана таким рівнянням:

$$Q_H = (W_n\beta_1 + W_1\beta) \frac{dp_n}{dt}. \quad (1)$$

Розв'язуючи рівняння (1), за початкових умов: $t = 0, p_n = 0$ отримуємо :

$$P_H = \frac{Q_H t}{W_H \beta_1 + W_1 \beta} \quad (2)$$

Початок подальшої другої фази характеризується тиском, при якому починається рух виконавчого органу – плунжера 9 із вібростолом. Цей тиск можна подати виразом :

$$P_{HO} \geq \frac{C y_n + R_{mp}}{F_{nl}}$$

З рівняння (1) знайдемо час, за який в гідросистемі відбудеться набір тиску до p_{HO} :

$$t_1 = \frac{P_{HO}(W_H \beta_1 - W_1 \beta)}{Q_H} = \frac{(C y_n + R_{mp})(W_H \beta_1 - W_1 \beta)}{Q_H F_n} \quad (3)$$

II фаза ходу вгору плунжера з вібростолом можна подати у вигляді системи таких диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} M \frac{d^2 y}{dt^2} + \alpha \frac{dy}{dt} + C(y_n + y) + R_{mp} = P_H F_{nl}; \\ Q_H = (W_H \beta_1 - W_1 \beta) \frac{dp_H}{dt} + F_{nl} \frac{dy}{dt} \end{cases} \quad (4), (5)$$

Розв'язуючи рівняння (4), щодо тиску p_H , знаходимо:

$$p_H = [M \frac{d^2 y}{dt^2} + \alpha \frac{dy}{dt} + C(y_n + y) + R_{mp}] / F_{nl} \quad (6)$$

Диференціюємо вираз (6) за часом:

$$\frac{dp_H}{dt} = \frac{M}{F_{nl}} \frac{d^3 y}{dt^3} + \frac{\alpha}{F_{nl}} \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{C}{F_{nl}} \frac{dy}{dt} \quad (7)$$

Підставляючи в рівність (5) похідну (7), після перетворень отримуємо таке диференціальне рівняння руху виконавчого органу – плунжера 9 з вібростолом:

$$a_{01} \frac{d^3 y}{dt^3} + a_{11} \frac{d^2 y}{dt^2} + a_{21} \frac{dy}{dt} = b_1, \quad (8)$$

де $a_{01} = (W_H \beta_1 - W_1 \beta) M / F_{nl}$;

$$a_{21} = (W_H \beta_1 - W_1 \beta) C / F_{nl} + F_{nl}; \quad (9)$$

$$a_{21} = (W_H \beta_1 - W_1 \beta) \alpha / F_{nl}; \quad b_1 = Q_H.$$

Для визначення шуканої функції $y(t)$ скористаємося методом перетворення Лапласа [5], при якому непотрібно знаходити загальний інтеграл.

Диференціальне рівняння (8) в операторній формі за початкових умов: $t=0$; $y=0$; $dy/dt=0$; $d^2t/dt_2=0$ має вигляд:

$$a_{01}S^3Y(S) + a_{11}S^2Y(S) + a_{21}SY(S) = b_1 / S \quad (10)$$

Розв'язуємо алгебраїчне рівняння (10), щодо невідомої функції

$$Y(S) = \frac{b_{01}}{a_{01}} Y_1(S), \text{ де}$$

$$Y_1(S) = \frac{1}{S^2[S^2 + (a_{11}/a_{01})S + a_{12}/a_{01}]} \quad (11)$$

$$\text{Вважаємо, що в (11) позначено: } n = -\frac{a_{11}}{2a_{01}}, k = \sqrt{h^2 - n^2}.$$

Після нескладних перетворень, в результаті використання теореми розкладання і знаходження оригіналу за зображенням, відповідно до методу перетворення Лапласа [5], отримуємо таке загальне розв'язання диференційного рівняння (8):

$$y = \frac{b_1}{a_{01}} [t/(n^2 + k^2) + 2n/(n^2 + k^2)^2 + [e^{nt}/(n^2 + k^2) \{[(n^2 - k^2)/k] \sin kt - 2n \cos kt \}]]. \quad (12)$$

Аналіз отриманої залежності (12), з урахуванням вищеприйнятих позначень $k, n, a_{01}, a_{11}, a_{21}, b_1$ показує, що при заданих параметрах гідроприводу і конструктивних елементів віброблока вузла, за нею можна знайти величину ходу вверх інерційної маси, її швидкість, прискорення, а також характер зміни тиску робочої рідини в напірній магістралі.

III фазу ходу вниз, при якій здійснюється опускання рухомої інерційної маси – вібростола вниз під дією зусилля стиснутих пружин, що випрямляються, можна подати у вигляді такого диференційного рівняння руху:

$$M \frac{d^2y}{dt^2} + \alpha_0 \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + R_{TP} = C[(y_n + y_{\max}) - y] - p_n^* F_{ПЛ}, \quad (13)$$

де α_0 – коефіцієнт в'язкого тертя, залежний від квадрата швидкості виконавчого органу;

$p_n^* = \Delta p_{nn} + p_{np}$ – сумарний протитиск, що створюється як протидія плунжеру 9 робочою рідиною, що витісняється ним на злив (тут Δp_{nn} – складова протитиску, що утворюється від перепускання витрати насоса на злив через дросельну щілину клапана другого каскаду

$\Delta p_{nn} = Q_n^2 \rho / 2\mu^2 f_{zn}^2$ (μ – гідравлічний коефіцієнт витрати рідини через зливну щілину площею прохідного перерізу f_{zn} клапана-пульсатора 12; ρ – густина робочої рідини);

p_{np} – складова протитиску, що утворюється швидкісним напором при русі рідини на злив при ході плунжера вниз $\Delta p_{np} = (F_{ПЛ}^2 \rho / 2\mu^2 f_{cn}^2) (dy/dt)^2$ [3].

Із врахуванням складових p_n^* переписемо рівняння (13), виконавши необхідні перетворення і вводячи позначення:

$$\frac{d^2y}{dt^2} + a_{22} \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + a_{23} F(y) = b_2, \quad (14)$$

$$\text{де } a_{22} = \left(\frac{\alpha_0}{M} + \frac{F_{ПЛ}^2 \rho}{2\mu^2 f_{cn}^2 M}\right);$$

$$a_{23} = \frac{1}{M};$$

$$b_2 = -\left(\frac{QF_{пл}\rho}{2\mu^2 f_{сл}^2} + R_{TP}\right);$$

$$F(y) = F_0 - Cy; F_0 = C(y_{\max} + y_n). \quad (15)$$

Отримане нелінійне диференціальне рівняння є окремим випадком рівняння Абеля [6], розв'язання якого можливе тільки наближеними способами. При розв'язуванні цього рівняння були враховані рекомендації стосовно конкретного випадку, відповідно до методики розв'язання подібних рівнянь, наведеної в [4, 6]. В результаті ряду складних математичних перетворень отримані такі остаточні результати.

Тривалість фази ходу плунжера 9 із вібростолом вниз:

$$t = \frac{1}{2a_{22}\sqrt{h_3}} \ln \frac{2\sqrt{h_3(h_1 + h_2 e^{2a_{22}y} + h_3 e^{4a_{22}y} + h_3)} + 2h_3 e^{-2a_{22}y} + h_2}{2\sqrt{h_3(h_1 + h_2 + h_3)} + 2h_3 + h_2}. \quad (16)$$

Розв'язуючи це рівняння відносно y , отримаємо рівняння руху вібростола при ході вниз:

$$y = \frac{1}{2a_{22}} \ln \frac{(b_4 e^{2a_{22}\sqrt{h_3}t} - h_2)^2 - 4h_1h_3}{4h_3b_4}. \quad (17)$$

де $h_1 = \frac{a_{22}C}{4a_{12}^2};$

$$h_2 = C_1 - \frac{a_{22}C}{a_{12}^2};$$

$$h_3 = b_3 - \frac{3a_{22}C}{4a_{12}^2}; C_1 = -b_3; \quad (18)$$

$$b_3 = \frac{1}{a_{12}}(b_2 - a_{22}F_0 - \frac{a_{22}C}{2a_{23}}); b_4 = 2\sqrt{h_3(h_1 + h_2 + h_3)} + 2h_2 + 2h_3.$$

Рівняння (17) дозволяє з урахуванням граничних умов $y_{\text{вн}} = H$ (де H – величина переміщення при ході вниз плунжера 9 із вібростолом) визначити тривалість фази ходу вниз, а також визначити швидкість і прискорення рухомої інерційної маси і характер зміни тиску в робочих порожнинах.

За результатами досліджень розроблено і впроваджено на одному з підприємств ТОВ «Грань» (м. Коростень) віброударне устаткування з гідроприводом із вертикально направленими коливаннями, що призначене для формування виробів складної конфігурації із жорстких бетонних сумішей. Вантажопідйомність розробленої віброударної площадки складає 12...24 кН при формуванні бетонних сумішей жорсткістю 40-60 с при регульованій частоті 10...40 Гц і амплітуді коливань 0,2...4,0 мм.

Висновки

- В результаті проведеного дослідження розроблена методика теоретичного визначення кінематичних і динамічних параметрів віброударної площадки з гідроприводом, автоматично керованим клапаном-пульсатором, який виконує періодичне з'єднання напірної і зливної магістралі з робочою камерою виконавчого плунжерного гідроциліндра, що здійснює зворотно-поступальні переміщення підпружиненої віброплощадки у вертикальному напрямі. Отримані аналітичні залежності дозволяють здійснювати проектні розрахунки при розробці подібних пристроїв.

Список літератури

1. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. / Ред. совет: В. Н. Челомей (пред.). – М.: Машиностроение, 1981. – Т. 4. Вибрационные процессы и машины. Под ред. Э. Э. Лавендела. 1981. – 509 с.
2. Емельяненко Н. Г. Низкочастотная виброплощадка для формования железобетонных изделий / Н. Г. Емельяненко, В. В. Герасименко // Науковий вісник будівництва. – Вип.1. – Харьков: ХГТУСА. – 1997. – С. 46-49.
3. Гидропривод сваепогружающих и грунтоуплотняющих машин / М. Е. Иванов, И. Б. Матвеев, И. В. Коц и др. – М.: Машиностроение, 1977. – 174 с.
4. Коц І. В. Дослідження робочого процесу гідроімпульсного приводу ковша активної дії / І. В. Коц // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2007. – № 4. – С. 56-60.
5. Макаров И. М., Менский Б. М. Таблицы обратных преобразований Лапласа и обратных L-преобразований. Дробно-рациональные изображения / И. М. Макаров, Б. М. Менский. – М.: Высшая школа, 1978. – 318 с.
6. Камке Эрих. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям / Эрих Камке. – М.: Наука, 1976. – 576 с.

Дрончак Володимир Олександрович – к.т.н., доцент кафедри менеджменту будівництва, охорони праці та безпеки життєдіяльності Вінницького національного технічного університету

Коц Іван Васильович – к.т.н., доцент кафедри теплогазопостачання Вінницького національного технічного університету

Сторожук Сергій Болеславович – генеральний директор ТОВ “Грань”, м. Коростень.