УДК 666.97.003.16

О.Г. Онищенко, д. т. н., проф., М.П. Нестеренко, к.т.н., доц.

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОЗДОВЖНІХ СТІНОК ФОРМИ НА УЩІЛЬНЕННЯ БЕТОННОЇ СУМІШІ ПРИ ГОРИЗОНТАЛЬНО НАПРАВЛЕНИХ КОЛИВАННЯХ ВІБРОПЛОЩАДКИ

Визначено характер взаємодії подовжніх стінок форми з бетонною сумішшю при дії горизонтально направлених коливаннях віброплощадки на основі аналітичного дослідження динамічної системи «віброплощадка – бетонне середовище».

Ключові слова: *віброзбуджувач, віброплощадка, дебаланс, форма, математична модель, пружна опора, бетонна суміш.*

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв’язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Досить широкого поширення при формуванні залізобетонних виробів набуло розроблене у ПолтНТУ імені Юрія Кондратюка вібраційне обладнання з просторовими коливаннями робочого органа [1], удосконалення котрого може проводитися на підставі аналітичних досліджень з врахуванням фізико-механічних характеристик ущільнюванного середовища і визначенням на їхній основі раціональних параметрів вібраційної площадки та режимів вібраційної дії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв’язання даної проблеми. У розрахунках вібраційного обладнання для формування залізобетонних виробів використовуються різні підходи до складення математичних моделей, про що свідчать публікації різних років. Відомі математичні моделі можна умовно розподілити на дві групи: плоскі динамічні моделі руху робочого органу, що розглядають рух у вертикальній або горизонтальній площині [2–7], та просторові – які розглядають рух робочого органа в просторі [8 –9].

Виділення не розв’язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Просторові коливання вібраційних площадок забезречуються одиночним віброзбуджувачес кругових коливань з вертикальним валом. При обертанні дебалансу виникає вимушуюча відцентрова сила кругової дії, вектор якої обертається у горизонтальній площині із кутовою швидкістю ω. Складові сили по осях прямокутної системи координат OXYZ з початком в ц. м. коливальної системи збуджують трикомпонентні просторові коливання рухомої рами і встановленої на ній форми, які її днищем та бортами передаються бетонній суміші, забезпечуючи її ущільнення. У роботах [13–16] проведені аналітичні дослідження характеру взаємодії стінок форми з бетонною сумішшю вертикальною та горизонтальною складовими просторових коливань віброплощадки при формуванні плоских залізобетонних виробів. Проте часто на таких віброплощадках формують тонкостінні вироби з просторовою складною конфігурацією, найпоширеніші з них: бетонні лотки, ребристі плити покриттів, ребристі плити перекриттів, ригелі однополичкові та двохполичкові, балки таврові та двотаврові, ферми, колони двовгілкові, опори, шахти ліфтів. Раціональні параметри віброплощадок для формування таких виробів можна установити шляхом визначення енергетичних витрат на основі вивчення закону руху даної динамічної системи, включаючи рух як рухомої рами віброплощадки, подовжніх стінок форми, так і рух ущільнюванного середовища.

Постановкою завдання. Метою даної роботи є проведення аналітичних досліджень характеру взаємодії подовжніх стінок форми з бетонною сумішшю при дії горизонтально направленої складової просторових коливань віброплощадки на основі аналітичного дослідження динамічної системи «віброплощадка – бетонне середовище», які дозволять врахувати фізико-механічні характеристики ущільнюванного середовища і визначити раціональні параметри вібраційної площадки та режими вібраційної дії, при яких забезпечується ефективне ущільнення бетонних сумішей.

Виклад основного матеріалу дослідження. При горизонтально направлених коливаннях віброплощадки подовжні стінки форми, які розташовані на незначній відстані одна від одної, викликають у бетонній суміші дотичні напруження, які залежить від величини зсувних деформацій в ущільнюваному шарі. При формуванні тонкостінних конструкцій саме подовжні коливання стінок форми істотно впливають на ефективність ущільнення бетонних сумішей. Зміну дотичних напружень від зсувнихх деформацій можна в першому наближенні, як і раніше [13-14], описати наступною залежністю:

$$\tau = \eta_S \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x \partial t}, \tag{1}$$

де u – зсув бетонної суміші в горизонтальному напрямі;

x – поточна координата в горизонтальному напрямі;

η_s – коефіцієнт динамічної в'язкості бетонної суміші при зсувних деформаціях [2]

$$\eta_S = \frac{a\rho l_1}{2(1+\chi)}, \tag{2}$$

a – фазова швидкість збудження в бетонній суміші;

l_1 – відстань між подовжніми бортами форми;

χ – коефіцієнт Пуассона.

Для визначення характеру взаємодії подовжніх стінок форми з ущільнюваною бетонною сумішшю при дії горизонтальної складової просторових коливань досліджуємо динамічну систему «віброплощадка - бетонне середовище» (рисунок 1), в якій ущільнювана суміш представлена у вигляді системи з розподіленими параметрами. Віброплощадка встановлена на основі за допомогою пружних опор і на її рухливу раму діє збудженняння у вигляді горизонтально направленої гармонійної сили $Q\sin\omega t$.

При вивченні взаємодії бетонної суміші з вертикальними стінками форми умовно не враховуватимемо взаємодію бетонної суміші з днищем форми.

Тоді диференціальне рівняння руху ущільнюваної суміші у напрямі координати X за час t матиме вигляд

$$\eta_s \frac{\partial^3 u(x,t)}{\partial \chi^2 \partial t} - \rho \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} = 0, \tag{3}$$

Розв'язок хвильового рівняння руху відшукуватимемо за наступних граничних умов:

$$-m\frac{\partial^2 (0,t)}{\partial t^2} - c_2 u(0,t) + \eta_s F_3 \frac{\partial^2 u(0,t)}{\partial x \partial t} = -Q\sin\omega t; \tag{4}$$

$$u(0,t) = u(l_1,t), \tag{5}$$

де m – маса віброплощадки;

c_2 – коефіцієнт жорсткості пружних опор у горизонтальному напрямі;

Q – амплітуда вимушучої сили;

ω – кутова частота вимушених коливань;

$F_з$ – площа взаємодії подовжньої стінки форми з бетонною сумішшю.

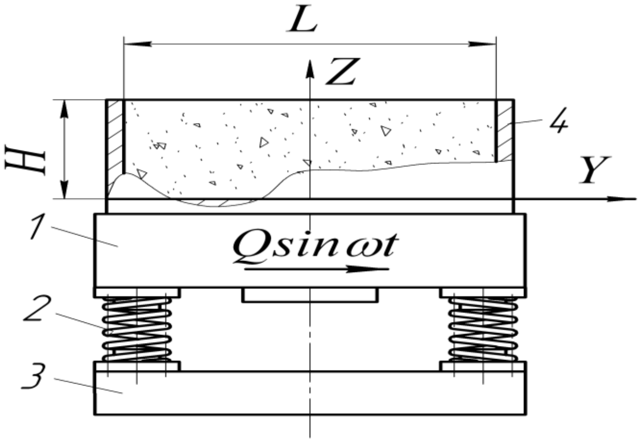

Рисунок 1 – Розрахункова схема динамічної системи «віброплощадка - бетонне середовище» при горизонтальному напрямленні коливань:
1 – рухома рама; 2 – пружні опори; 3 – нижня рама; 4 – форма з бетонною сумішшю

Розв'язок хвильового рівняння коливань (2) представимо у вигляді уявної частини комплексної функції

$$u(x,t) = I_m[U(x)e^{i\omega t}], \tag{6}$$

де $U(x)$ – комплексна амплітуда коливань.

Знак I_m надалі відкидатимемо.

Підставляючи вираз (6) у рівняння (2), отримаємо рівняння для визначення комплексної амплітуди коливань досліджуваної динамічної комплексна амплітуда коливань $U(x)$:

$$\frac{\partial^2 U(x)}{\partial x^2} + \frac{\rho\omega}{i\eta_c}U(x) = 0 \cdot \tag{7}$$

Розв'язок рівняння (7) знайдемо в наступному вигляді:

$$U(x) = D_1 e^{-\tilde{k}x} + D_2 e^{\tilde{k}x}, \tag{8}$$

Де D_1 і D_2 – постійні інтегрування (комплексні амплітуди), визначувані граничними умовами (4) і (5);

$\tilde{k}$ – хвильове число, представлене в комплексній формі

$$\tilde{k} = \sqrt{\frac{\rho\omega}{i\eta_s}}\,. \tag{9}$$

Представимо хвильове число $\tilde{k}$ у вигляді такої комплексної функції

$$\tilde{k} = k_2 - i\alpha_2 = \frac{\omega}{a_2} - i\alpha_2, \tag{10}$$

де k_2 – хвильове число $k_2 = \dfrac{\omega}{a_2}$;

a_2 – фазова швидкість поширення зсувних деформацій в ущільнюваному шарі;

α_2 – коефіцієнт загасання збудження.

Прирівняємо вираз (9) і (10), піднесемо ліву і праву частини до квадрату і, виділяючи відповідно речову і уявну частини виразу, знайдемо

$$k_2 = \sqrt{\frac{\rho\omega}{2\eta_s}};\tag{11}$$

$$a_2 = \sqrt{\frac{2\eta_s\omega}{\rho}}.\tag{12}$$

На підставі залежностей (11) і (12) вираз (8) перетвориться до наступного вигляду:

$$U(x) = D_1 e^{-(\alpha_2 + ik_2)x} + D_2 e^{(\alpha_2 + ik_2)x}.\tag{13}$$

Використовуючи вирази (6) і (13), знайдемо розв'язок хвильового рівняння (2) в наступному вигляді:

$$u(x,t) = [D_1 e^{-(\alpha_2 + ik_2)x} + D_2 e^{(\alpha_2 + ik_2)x}]e^{i\omega t}.\tag{14}$$

Підставляючи отримане рішення (14) в граничну умову (5), знайдемо співвідношення між комплексними амплітудами D_1 і D_2:

$$D_1 = D_2 \frac{e^{(\alpha_2 + ik_2)l_1} - 1}{1 - e^{-(\alpha_2 + ik_2)l_1}}.\tag{15}$$

Підставляючи отриману залежність (15) у вираз (14), отримаємо розв'язок рівняння (2) в такому вигляді:

$$u(x,t) = D_2 \frac{e^{(\alpha_2 + ik_2)(l_1 - x)} + e^{(\alpha_2 + ik_2)x} - e^{-(\alpha_2 + ik_2)(l_1 - x)} - e^{-(\alpha_2 + ik_2)x}}{1 - e^{-(\alpha_2 + ik_2)l_1}} \times$$

$$\times e^{i\omega t}.\tag{16}$$

Звідси, для хвилі що поширюється в позитивному напрямі, знайдемо розв'язок хвильового рівняння (2) у вигляді наступної комплексної функції

$$u(x,t) = D_2 \frac{e^{(\alpha_2 + ik_2)(l_1 - x)} + e^{(\alpha_2 + ik_2)x}}{1 - e^{-(\alpha_2 + ik_2)l_1}} e^{i\omega t}.\tag{17}$$

Підставляючи вираз (17) у граничну умову (4), отримаємо вираз для визначення комплексної амплітуди D_2

$$D_2\left[(c_2 - m\omega^2) - \eta_s\omega k_2 F_3 \frac{e^{(\alpha_2 + ik_2)l_1} - 1}{e^{(\alpha_2 + ik_2)l_1} + 1} + \right.$$

$$\left. + i\eta_s\omega\alpha_2 F_3 \frac{e^{(\alpha_2 + ik_2)l_1} - 1}{e^{(\alpha_2 + ik_2)l_1} + 1}\right] = \frac{Q[1 - e^{-(\alpha_2 + ik_2)l_1}]}{e^{(\alpha_2 + ik_2)l_1} + 1}.\tag{18}$$

Замінимо показникові функції, що стоять в квадратних дужках виразу (18), на тригонометричні функції, отримаємо:

$$D_2\left\{(c_2 - m\omega^2) - \eta_s\omega F_3(k_2 - i\alpha_2)\frac{[e^{2\alpha_2 l_1}\cos(k_2 l_1) - 1] + i\sin(k_2 l_1)}{[e^{2\alpha_2 l_1}\cos(k_2 l_1) + 1] + i\sin(k_2 l_1)}\right\} =$$

$$= \frac{Q[1 - e^{-(\alpha_2 + ik_2)l_1}]}{e^{(\alpha_2 + ik_2)l_1} + 1}.\tag{19}$$

Перемножаючи у фігурних дужках виразу (19) чисельники і знаменники комплексних функцій на комплексні функції, спряжені показниковим функціям, що стоять в знаменниках, отримаємо:

$$D_2\left\{(c_2 - m\omega^2) - \eta_s\omega k_2 F_3 \frac{(e^{2\alpha_2 l_1} - 1)\cos^2(k_2 l_1)}{[e^{\alpha_2 l_1}\cos(k_2 l_1) + 1]^2 + \sin^2(k_2 l_1)} - \right.$$

$$- \frac{2\eta_s\omega\alpha_2 F_3 \sin(k_2 l_1)}{[e^{\alpha_2 l_1}\cos(k_2 l_1) + 1]^2 + \sin^2(k_2 l_1)} - \frac{2i\eta_s\omega k_2 F_3 \sin(k_2 l_1)}{[e^{\alpha_2 l_1}\cos(k_2 l_1) + 1]^2 + \sin^2(k_2 l_1)} +$$

$$\left. + \frac{i\eta_s\omega\alpha_2 F_3 (e^{2\alpha_2 l_1} - 1)\cos^2(k_2 l_1)}{[e^{\alpha_2 l_1}\cos(k_2 l_1) + 1]^2 + \sin^2(k_2 l_1)}\right\} = \frac{Q\cdot[1 - e^{-(\alpha_2 + ik_2)l_1}]}{e^{(\alpha_2 + ik_2)l_1} + 1}.\tag{20}$$

Аналіз виразів, що стоять у фігурних дужках показує, що вираз $\eta_s \omega F_3 \frac{k_2(e^{2\alpha_2 l_1}-1)\cos^2(k_2 l_1)+2\alpha_2\sin(k_2 l_1)}{[e^{\alpha_2 l_1}\cos(k_2 l_1)+1]^2+\sin^2(k_2 l_1)}$ є інерційною силою бетонної суміші, а вираз $i\eta_s \omega F_3 \frac{2k_2\sin(k_2 l_1)+\alpha_2(e^{2\alpha_2 l_1}-1)\cos^2(k_2 l_1)}{[e^{\alpha_2 l_1}\cos(k_2 l_1)+1]^2+\sin^2(k_2 l_1)}$ – силою непружного опору. При цьому приведена маса бетонної суміші при її взаємодії з подовжніми стінками форми може бути визначена з наступної залежності:

$$m_\tau = \eta_s F_3 \frac{k_2(e^{2\alpha_2 l_1}-1)\cos^2(k_2 l_1)+2\alpha_2\sin(k_2 l_1)}{\omega\cdot\{[e^{\alpha_2 l_1}\cos(k_2 l_1)+1]^2+\sin^2(k_2 l_1)\}}, \tag{21}$$

а коефіцієнт непружного опору бетонної суміші при зсувниx деформаціях, що створюються подовжніми стінками форми, з наступного виразу:

$$b_\tau = \eta_s F_3 \frac{2k_2\sin(k_2 l_1)+\alpha_2(e^{2\alpha_2 l_1}-1)\cos^2(k_2 l_1)}{[e^{\alpha_2 l_1}\cos(k_2 l_1)+1]^2+\sin^2(k_2 l_1)}. \tag{22}$$

Використовуючи вирази (21) і (22), визначимо з отриманої залежності (20) значення комплексної амплітуди D_2:

$$D_2 = \frac{Q\cdot[1-e^{-(\alpha_2+ik_2)l_1}]}{[e^{(\alpha_2+ik_2)l_1}+1]\{[c_2-(m+m_\tau)\omega^2]+ib_\tau\omega\}}. \tag{23}$$

Перемножимо чисельник і знаменник виразу (23) на комплексну функцію, спряжену комплексній функції, що знаходиться у фігурних дужках. Отримаємо:

$$D_2 = \frac{Q\cdot[1-e^{-(\alpha_2+ik_2)l_1}]\{[c_2-(m+m_\tau)\omega^2]-ib_\tau\omega\}}{[e^{(\alpha_2+ik_2)l_1}+1]\{[c_2-(m+m_\tau)\omega^2]^2+b_\tau^2\omega^2\}}. \tag{24}$$

Підставляючи вираз (24) у залежність (17), знайдемо розв'язок хвильового рівняння (2), що задовольняє граничним умовам (4) і (5):

$$u(x,t) = \frac{Q\cdot[e^{(\alpha_2+ik_2)(l_1-x)}+e^{(\alpha_2+ik_2)x}]\{[c_2-(m+m_\tau)\omega^2]-ib_\tau\omega\}}{[e^{(\alpha_2+ik_2)l_1}+1]\{[c_2-(m+m_\tau)\omega^2]^2+b_\tau^2\omega^2\}}\times e^{i\omega t}. \tag{25}$$

Замінимо у виразі (25) комплексні показникові функції комплексними тригонометричними функціями. Отримаємо:

$$\begin{aligned} u(x,t) = Q\Big|\{[e^{\alpha_2(l_1-x)}[\cos k_2(l_1-x)+i\sin k_2(l_1-x)]+\\ +e^{\alpha_2 x}[\cos k_2 x+i\sin k_2 x]\}\Big/\Big\langle[(1+e^{\alpha_2 l_1}\cos k_2 l_1)+ie^{\alpha_2 l_1}\sin k_2 l_1]\times\\ \times\{[c_2-(m+m_\tau)\omega^2]^2+b_\tau^2\omega^2\}\Big\rangle\Big|\times\\ \times\{[c_2-(m+m_\tau)\omega^2]-ib_\tau\omega\}(\cos\omega t+i\sin\omega t). \end{aligned} \tag{26}$$

Перемножаючи чисельник і знаменник виразу (26) на комплексну функцію, спряжену комплексній функції, що стоїть в знаменнику цього виразу, і потім, виділяючи з отриманого виразу уявну частину комплексної функції, отримаємо після досить складних перетворень розв'язок хвильового рівняння коливань (2), яке задовольняє граничним умовам (3) і (4) та описує коливання подовжніх стінок форми, в такому вигляді

$$\begin{aligned} u(x,t) = \frac{Q}{(1+2e^{\alpha_2 l_1}\cos k_2 l_1+e^{2\alpha_2 l_1})\sqrt{[c_2-(m+m_\tau)\omega^2]^2+b_\tau^2\omega^2}}\times\\ \times\langle\{e^{\alpha_2(l_1-x)}[\cos k_2(l_1-x)+e^{\alpha_2 l_1}\cos k_2 x]+\\ e^{\alpha_2 x}[\cos k_2 x+e^{\alpha_2 l_1}\cos k_2(l_1-x)]\}\times\\ \times\sin(\omega t-\phi_2)+\{e^{\alpha_2(l_1-x)}[\sin k_2(l_1-x)-e^{\alpha_2 l_1}\sin k_2 x]+\\ +e^{\alpha_2 x}[\sin k_2 x-e^{\alpha_2 l_1}\sin k_2(l_1-x)]\})\cos(\omega t-\phi_2)\rangle, \end{aligned} \tag{27}$$

де ϕ_2 – кут зсуву фаз між амплітудою вимушуючої сили і переміщенням ,

$$\phi_2 = arctg \frac{b_\tau \omega}{c_2 - (m + m_\tau)\omega^2 + b_\tau^2 \omega^2}. \tag{28}$$

Аналіз отриманого виразу (27) показує, що цей вираз описує в загальному вигляді коливання даної динамічної системи, тобто при $0 < x < l_1$ воно описує рух бетонної суміші, а при $x = 0$ і $x = l_1$ – коливання подовжніх стінок форми віброплощадки

$$u(0,t) = u(l_1, t) = \frac{Q}{\sqrt{[c_2 - (m + m_\tau)\omega^2]^2 + b_\tau^2 \omega^2}} \sin(\omega t - \phi_2) =$$

$$= A_2 \sin(\omega t - \phi_2). \tag{29}$$

Після перетворень виразу (27) отримаємо залежність, зручну для аналізу і моделювання на ПЕОМ:

$$u(x,t) = \frac{A_2 \{e^{\alpha_2 (l_1 - x)} \sin[\omega t - \phi_2 - \theta_1(x)] + e^{\alpha_2 x} \sin[\omega t - \phi_2 - \theta_2(x)]}{\sqrt{(1 + 2e^{\alpha_2 l_1} \cos k_2 l_1 + e^{2\alpha_2 l_1})}}, \tag{30}$$

де $\theta_1(x)$ і $\theta_2(x)$ – кути зсуву фаз;

$$\theta_1(x) = arctg \frac{\sin k_2 (l_1 - x) - e^{\alpha_2 l_1} \sin k_2 x}{\cos k_2 (l_1 - x) + e^{\alpha_2 l_1} \cos k_2 x}; \tag{31}$$

$$\theta_2(x) = arctg \frac{\sin k_2 x - e^{\alpha_2 l_1} \sin k_2 (l_1 - x)}{\cos k_2 x + e^{\alpha_2 l_1} \cos k_2 (l_1 - x)}. \tag{32}$$

Дотичні напруження, які виникають під вібраційним впливом в ущільнюваній бетонній суміші, при зсувних деформаціях викликаних горизонтальними коливаннями подовжніх бортів форми, визначаться при підстановці виразу (27) в рівність (1):

$$\tau(x,t) = \eta_s \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x \partial t} = \frac{A_2 \eta_s \omega \sqrt{\alpha_1^2 + k_1^2}}{\sqrt{(1 + 2e^{\alpha_2 l_1} \cos k_2 l_1 + e^{2\alpha_2 l_1})}} \times$$

$$\times \Big\langle e^{\alpha_2 (l_1 - x)} \{[\cos k_2 (l_1 - x) + e^{\alpha_2 l_1} \cos k_2 x] \sin(\omega t - \phi_3) +$$

$$+ [\sin k_2 (l_1 - x) - e^{\alpha_2 l_1} \sin k_2 x] \cos(\omega t - \phi_3)\} -$$

$$- e^{\alpha_2 x} \{[\cos k_2 x + e^{\alpha_2 l_1} \cos k_2 (l_1 - x)] \sin(\omega t - \phi_3) +$$

$$+ [\sin k_2 x - e^{\alpha_2 l_1} \sin k_2 (l_1 - x] \cos(\omega t - \phi_3)\} \Big\rangle, \tag{33}$$

де

$$\phi_3 = \phi_2 + arctg \frac{\alpha_2}{k_2}.$$

Після перетворень виразу (33) отримаємо залежність, зручну для аналізу і моделювання на ПЕОМ:

$$\tau(x,t) = \eta_s \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x \partial t} = A_2 \eta_s \omega \sqrt{\alpha_1^2 + k_1^2} \times$$

$$\times \{e^{\alpha_2 (l_1 - x)} \sin[\omega t - \phi_3 - \theta_1(x)] - e^{\alpha_2 x} \sin[\omega t - \phi_3 - \theta_2(x)]\}. \tag{34}$$

При цьому напруження, що виникають біля подовжніх бортів форми, визначаться з наступного виразу:

$$\tau(0,t) = \tau(l_1, t) = A_2 \eta_s \omega \sqrt{\alpha_1^2 + k_1^2} (e^{\alpha_2 l_1} - 1) \sin[\omega t - \phi_3 - \theta_1(0)], \tag{35}$$

де $\theta_1(0) = arctg \dfrac{\sin k_2 l_1}{\cos k_2 l_1 + e^{\alpha_2 l_1}}$.

Висновки

1. Отримані теоретичні залежності дозволяють встановити закон руху бетонної суміші і віброплощадки, визначити основні параметри віброплощадки і раціональні режими вібраційної дії на бетонну суміш залежно від геометричних розмірів і конфігурації формованого виробу.

2. На основі теоретичних досліджень динамічної системи «віброплощадка – ущільнюване середовище», в якій остання представлена у вигляді системи з розподіленими параметрами, розроблена фізико-механічна модель, яка дозволяє досить точно визначити дисипативні й інерційні сили, що діють з боку суміші на подовжні борти форми при горизонтально направлених коливаннях. Визначені дотичні напруження, що виникають у бетонній суміші при її взаємодії з подовжніми бортами форми.

3. Запропоновані теоретичні залежності є основою для розробки і проектування віброплощадок і дебалансних віброзбуджувачів коливань призначених для формування просторових залізобетонних конструкцій.

Література

1. Нестеренко, М. П. Вібраційні площадки з просторовими коливаннями для виготовлення залізобетонних виробів широкої номенклатури / М. П. Нестеренко // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ. – 2005. – Вип. 16. – С. 177 – 181.

2. Ахвердов И. Н. Основы физики бетона / И. Н. Ахвердов. – М.: Стройиздат. – 1981. – 464 с.

3. Гусев, Б. В. Вибрационная технология бетона / Б. В. Гусев, В. Г. Зазимко. – К.: Будівельник. – 1991. – 160 с.

4. Десов, А. Е. Вибрированый бетон / А . Г. Десов. – М.: Госстройиздат. – 1956. – 230 с.

5. Гольдштейн, Б. Г. Глубинные вибраторы для уплотнения бетона / Б. Г. Гольдштейн, Л. П. Петрунькин. – М.: Машиностроение. – 1966. – 169 с.

6. Овчинников П. Ф. Виброреология. / П. Ф. Овчинников. – К.: Наукова думка. – 1983. – 272 с.

7. Сивко, В. И. Основы механики вибрируемой бетонной смеси / В. И. Сивко. – К.: Высш. шк., 1987. – 168 с.

8. Олехнович, К. А. Иследования характера многокомпонентных колебаний малошумных виброплощадак / К. А. Олехнович, Ю. И. Виноградов. – Полтава: ПИСИ. – 1980. – 13 с.

9. Орисенко О. В. Дослідження просторового руху робочого органа вібраційної машини для формування трубчастих залізобетонних виробів / О. В. Орисенко, М. П. Нестеренко // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ. – 2000. – Вип. 6, Ч. 1. – С. 172 – 175.

10. Маслов, А. Г. Вибрационные машины и процессы в дорожном строительстве /А. Г. Маслов, В. М. Пономарь // К.: Будівельник, І985. – 128 с.

11. Назаренко, І. І. Вібраційні иашини і процеси будівельної індустрії: Навчальний посібник /І.І. Назаренко. – К.: КНУБА. – 2007. – 230 с.

12. Файвусович, А. С. Реологические свойства бетонных смесей при ударных и ударно-вибрационных воздействиях / А. С. Файвусович, Ю. А. Зубов // Изв. вузов. Стр-во и архитектура, 1981, № 11, – С. 68 – 71.

13. Нестеренко, М. П. Дослідження характеру взаємодії віброплощадки з цементобетонною сумішшю при дії вертикально направленої складової просторових коливань віброплощадки / М. П. Нестеренко // Збірник наукових праць (галузеве *машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ. Випуск 3 (25), Т. 1. 2009. – С. 136 – 142.*

14. Нестеренко, М. П. Дослідження характеру взаємодії вертикальних стінок форми з цементобетонною сумішшю при дії горизонтальної складової просторових коливань віброплощадки / М. П. Нестеренко // Нові технології. Науковий вісник Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління №4 (26. – 2009. – С. 153-158.

15. Нестеренко, М. П. Дослідження зміни коефіцієнта приєднаної маси цементобетонної суміші при горизонтальних коливаннях залежно від її властивостей та умов формування виробів / М. П. Нестеренко // Науковий вісник будівництва. Харків: ХДТУБА-ХОТВ АБУ, № 61. – 2010. – С. 184 – 191.

16. Нестеренко, М. П. Визначення коефіцієнта приєднаної маси цементобетонної суміші при вертикальних коливаннях залежно від властивостей та умов формування виробів / М. П. Нестеренко // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ. Випуск 1 (26). – 2010. – С. 78 – 85.

Надійшла до редакції 27.10.2011

А.Г. Онищенко, д. т. н., проф., Н.П. Нестеренко, к.т.н., доц.

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПРОДОЛЬНЫХ СТЕНОК ФОРМЫ НА УПЛОТНЕНИЕ БЕТОННОЙ СМЕСИ ПРИ ГОРИЗОНТАЛЬНО НАПРАВЛЕННЫХ КОЛЕБАНИЯХ ВИБРОПЛОЩАДКИ

Определенно характер взаимодействия продольных стенок формы из цементо-бетонной смесью при действии горизонтально направленных колебаний виброплощадки на основе аналитического исследования динамической системы «виброплощадка – бетонная середа».

***Ключевые слова:** вибровозбудитель, виброплощадка, дебаланс, форма, математическая модель, упругая опора, бетонная смесь.*

O.G. Onyschenko, Dt. S., M.P. Nesterenko, Ph. D.

Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk

ANALYTICAL RESEARCHES OF INFLUENCING OF LONGITUDINAL WALLS FORM ON COMPRESSION CONCRETE MIXTURE AT THE HORIZONTALLY DIRECTED VIBRATIONS VIBROPLATFORM

Character of cooperation longitudinal walls of form is certain with concrete mixture at the action of the horizontally directed vibrations vibroplatform on the basis of analytical research of the dynamic system «vibroplatforms – cement by concrete environment».

***Key words:** form, vibroexciter, vibration platform, mathematical model, unbalans, resilient support, cement concrete mixture.*