

## РАЗРАБОТКА ТЕОРИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПАКЕТНОГО ПЛОСКОСТНОГО ГЛУБИННОГО ВИБРОУПЛОТНИТЕЛЯ С БЕТОННОЙ СМЕСЬЮ

**Жанар Батсайхан**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, 39600, м. Кременчуг, Украина. E-mail: kmt0.43@gmail.com

На основе анализа существующих методов глубинного уплотнения бетонных смесей предложен пакетный плоскостной глубинный уплотнитель в виде двух вертикальных плит, жестко прикрепленных к верхней плите, на которой смонтирован вибровозбудитель горизонтальных колебаний. Для определения характера взаимодействия пакетного плоскостного глубинного виброуплотнителя с бетонной смесью произведено исследование динамической системы «виброуплотнитель – бетонная среда», в которой последняя представлена в виде системы с распределенными параметрами, учитывающей упругие, вязкие, инерционные и энергетические свойства формуемой бетонной смеси. Составлено уравнение в частных производных, описывающее изменение напряжений в уплотняемой среде в зависимости динамического модуля упругой деформации, коэффициента динамической вязкости, коэффициента неупругого сопротивления и инерционности уплотняемой среды в функциональной зависимости от плотности, относительной деформации и консистенции бетонной смеси. Составлено волновое уравнение колебаний, описывающее распространение вязко-упруго-пластических волн деформаций в уплотняемой бетонной смеси между вертикальными пластинами глубинного виброуплотнителя. В результате решения волнового уравнения колебаний установлена закономерность распространения вязко-упруго-пластических волн деформаций, а также найден закон колебаний вертикальных плит, взаимодействующих с бетонной смесью.

**Ключевые слова:** пакетный виброуплотнитель, бетонная смесь, взаимодействие, закон колебаний.

## РОЗРОБКА ТЕОРІЇ ВЗАЄМОДІЇ ПАКЕТНОГО ПЛОЩИННОГО ГЛУБИННОГО ВІБРОУЩІЛЬНЮВАЧА З БЕТОННОЮ СУМІШШЮ

**Жанар Батсайхан**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна. E-mail: kmt0.43@gmail.com

Описано перевага глибинного ущільнення бетонної суміші. На основі аналізу існуючих методів глибинного ущільнення бетонних сумішей запропоновано пакетний площинний глибинний ущільнювач у вигляді двох вертикальних плит, жорстко прикріплених до верхньої плити, на якій змонтовано вібробуджувач горизонтальних коливань. Для визначення характеру взаємодії пакетного площинного глибинного віброущільнювача з бетонною сумішшю проведено дослідження динамічної системи «віброущільнювач – бетонне середовище», в якій останнє представлено у вигляді системи з розподіленими параметрами, що враховує пружні, в'язкі, інерційні та енергетичні властивості формуємої бетонної суміші. Складено рівняння в приватних похідних, що описує зміну напруги ущільнюваного середовища залежно від динамічного модуля пружної деформації, коефіцієнта динамічної в'язкості, коефіцієнт непружного опору і інерційності ущільнюваного середовища у функціональній залежності від густини, відносної деформації і консистенції бетонної суміші. Складено хвильове рівняння коливань, що описує поширення в'язко-пружно-пластичних хвиль деформаций в ущільнюваній бетонній суміші між вертикальними пластинами глибинного віброущільнювача. Для вирішення хвильового рівняння коливань використовувалися крайові умови. Перша крайова умова описує взаємодію вертикальної плити з ущільнюваною бетонною сумішшю, а друга крайова умова показує, що вертикальні плити рухаються синхронно. Знайдено постійні інтегрування (комплексні функції), що задовольняють крайовим умовам. На підставі рішення хвильового рівняння коливань, що описує поширення хвиль деформаций між вертикальними плитами, визначені: закон поширення в'язко-пружно-пластичних хвиль деформаций в ущільнюваній бетонній суміші, а також наведені значення жорсткості, маси і коефіцієнта непружного опору бетонної суміші, які призначені для використання в континуально-дискретній розрахунковій моделі, що описує взаємодію площинного глибинного ущільнювача з бетонною сумішшю в обмеженому вертикальними ущільнювальними пластинами просторі при різних методах вібраційного впливу, конфігурації ущільнюваного виробу і різних значеннях площі поверхонь взаємодії робочого органу з бетонною середовищем. Отримані залежності дозволяють обґрунтувати раціональні параметри площинного глибинного ущільнювача і режими вібраційного впливу на ущільнюване середовище.

**Ключові слова:** пакетний віброущільнювач, бетонна суміш, взаємодія, закон коливань.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** В современном строительстве для уплотнения бетонных смесей нашли широкое применение глубинные вибраторы [1–4]. Их используют в монолитном домостроении, при изготовлении бетонных блоков, несущих колонн, плит перекрытия, лестниц, заливке фундаментов и т.д. [5, 6]. С целью повышения производительности, снижения энергоемкости, повышения надежности и упрощения конструкции был разрабо-

тан пакетный плоскостной глубинный виброуплотнитель, предназначенный для уплотнения бетонных смесей различной консистенции. Для обеспечения эффективной работы предлагаемого уплотнителя необходимо точно определить его основные параметры и режимы работы в зависимости от физико-механических характеристик уплотняемой среды. Поэтому проведение исследований, обеспечивающих создание высокопроизводительного и высоко-

технологичного глибокого ущільнювача простої конструкції, що має високу надійність і забезпечує ущільнення бетонних сумішей різної консистенції, є актуальною задачею.

Ціль роботи – визначення теоретичним шляхом характеру взаємодії пакетного плоского глибокого ущільнювача з бетонною сумішшю.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Для визначення характеру взаємодії вібраційного пакетного глибокого ущільнювача з бетонною сумішшю дослідимо динамічну систему, зображену на рис. 1. Тут вібраційний глибокий ущільнювач складається з двох вертикальних плит 1, жорстко прикріплених до верхньої плити 2, на якій встановлено віброгенератор коливань 3. Вібраційний глибокий ущільнювач занурено в бетонну суміш 4, яка представлена в формі системи з розподіленими параметрами. Під дією горизонтально направленої гармонічної

сили  $Q \sin \omega t$  глибокий ущільнювач коливається в горизонтальному напрямку і здійснює вібраційне вплив на ущільнювану суміш, під дією якої вона переходить в тиксотропне стан, з неї видаляється повітря і вона ущільнюється. Тут  $Q$  – амплітуда горизонтальної збурюючої сили;  $\omega$  – кутова частота вимушених вертикальних коливань;  $t$  – час.

Реологічну модель ущільнюваної середовища, яка враховує дію пружних, дисипативних і інерційних сил, що виникають в цій середовищі при динамічному впливі, можна зобразити в формі схеми, зображеної на рис. 2. Відповідно до прийнятої реологічної моделі, дослідимо одностановне напружене стан, що виникає в ущільнюваній середовищі тільки між вертикальними плитами при дії вібраційного збурювання  $Q \sin \omega t$ .

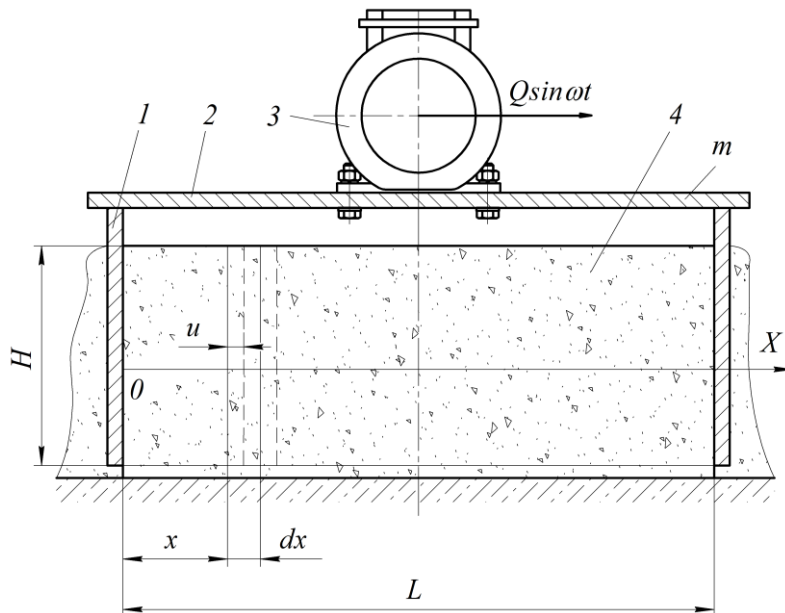


Рисунок 1 – Розрахункова схема взаємодії глибокого ущільнювача з бетонною сумішшю

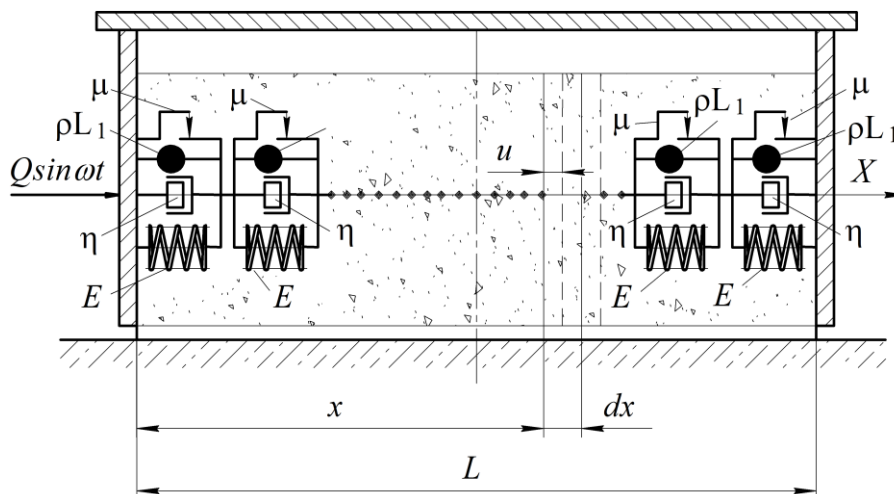


Рисунок 2 – Реологічна модель ущільнюваної середовища

Відповідно до прийнятої реологічної моделі (рис. 2), залежність між напруженням і

деформацією в бетонній середовищі представимо в формі наступного рівняння:

$$\sigma(x,t) = E \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} + \eta \frac{\partial u(x,t)}{\partial t} - \rho L_1 \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} + \mu u(x,t), \quad (1)$$

где  $\sigma(x,t)$  – напряжения, возникающие в уплотняемом слое между вертикальными пластинами в направлении координатой оси  $X$ ;  $u$  и  $x$  – эйлерова и лагранжева координаты;  $E$  – модуль упругой деформации бетонной смеси при динамическом нагружении;  $\eta$  – коэффициент вязкости, учитывающий внутреннее трение в бетонной смеси при вибрации;  $\rho$  – плотность бетонной смеси;  $L_1$  – приведенная толщина уплотняемого слоя в направлении координатой оси  $X$ ;  $\mu$  – коэффициент сопротивления, учитывающий затраты энергии на внутренние процессы в бетонной смеси при вибрационном уплотнении [7].

Колебания бетонного слоя смеси в направлении координатной оси  $X$  за время  $t$  можно представить в виде известной зависимости:

$$\frac{\partial \sigma(x,t)}{\partial x} = \rho \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2}, \quad (2)$$

которая позволяет на основании выражения (1) получить волновое уравнение колебаний –

$$E \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} + \eta \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x \partial t} - \rho L_1 \frac{\partial^3 u(x,t)}{\partial x \partial t^2} + \mu u(x,t) = \rho \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2}. \quad (3)$$

Решение полученного уравнения (3) представим мнимой частью комплексной функции [7]:

$$u(x,t) = U(x)e^{i\omega t}, \quad (4)$$

где  $U(x)$  – комплексная амплитуда колебаний, удовлетворяющая крайевым условиям для приведенной расчетной схемы (рис. 2).

Решение волнового уравнения колебаний (3) будем находить при крайних условиях:

$$-m \frac{\partial^2 u(0,t)}{\partial t^2} + EF \frac{\partial u(0,t)}{\partial x} + \eta F \frac{\partial u(0,t)}{\partial t} - \rho L_1 F \frac{\partial^2 u(0,t)}{\partial t^2} + \mu F u(0,t) = Q \sin \omega t; \quad (5)$$

$$u(L,t) = u(0,t), \quad (6)$$

где  $m$  – масса пакетного глубинного виброуплотнителя;  $F$  – площадь вертикальной плиты, контактирующая с уплотняемой бетонной смесью;  $L$  – расстояние между вертикальными пластинами (толщина уплотняемого слоя).

Первое крайнее условие (5) описывает взаимодействие вертикальной плиты с уплотняемой бетонной смесью, а второе крайнее условие (6) показывает, что вертикальные плиты движутся синхронно.

На основании функции (4) выражение  $Q \sin \omega t$  в крайнем условии (5) может быть представлено в виде мнимой части комплексной функции, т.е.  $Q \sin \omega t = Q e^{i\omega t}$ .

Используя методику, изложенную в работе [8], найдем решение уравнения (3) в следующей комплексной форме:

$$u(x,t) = e^{-\delta x} [B e^{(ix+\alpha)x} + D e^{-(ik+\alpha)x}] e^{i(\omega t - \xi x)}. \quad (7)$$

где  $B$  и  $D$  – постоянные интегрирования (комплексные функции), определяемые из крайних условий (5) и (6).

Определение функциональных значений коэффициентов затухания  $\delta$ , поглощения  $\alpha$ , диссипации  $\xi$  и волнового числа  $k$  приведено в работе [9].

Подставляя зависимость (7) в крайнее условие (6), найдем соотношение между постоянными интегрирования  $B$  и  $D$ :

$$B = -D \frac{1 - e^{-(\delta+\alpha)L} [\cos(k+\xi)L + i \sin(k+\xi)L]}{1 - e^{-(\delta-\alpha)L} [\cos(k-\xi)L - i \sin(k-\xi)L]}. \quad (8)$$

Подставляя соотношение между комплексными амплитудами (8) в выражение (7), получим решение уравнения (3) в следующем виде:

$$u(x,t) = D e^{-\delta x} \times \left\{ \frac{\{1 - e^{-(\delta-\alpha)L} [\cos(k-\xi)L - i \sin(k-\xi)L]\} e^{-(\alpha+ik)x}}{1 - e^{-(\delta-\alpha)L} [\cos(k-\xi)L - i \sin(k-\xi)L]} - \frac{\{1 - e^{-(\delta+\alpha)L} [\cos(k+\xi)L + i \sin(k+\xi)L]\} e^{(\alpha+ik)x}}{1 - e^{-(\delta-\alpha)L} [\cos(k-\xi)L - i \sin(k-\xi)L]} \right\} \times e^{i(\omega t - \xi x)}. \quad (9)$$

С целью упрощения дальнейших математических выкладок проведем преобразование полученного выражения (9), приведя его к следующему виду:

$$u(x,t) = D e^{-\delta x} \left[ \frac{(d - i\lambda) e^{-(\alpha+ik)x} - (M + iN) e^{(\alpha+ik)x}}{d - i\lambda} \right] \times e^{i(\omega t - \xi x)}, \quad (10)$$

где

$$d = 1 - e^{-(\delta-\alpha)L} \cos(k-\xi)L; \quad (11)$$

$$\lambda = e^{-(\delta-\alpha)L} \sin(k-\xi)L; \quad (12)$$

$$M = 1 - e^{-(\delta+\alpha)L} \cos(k+\xi)L; \quad (13)$$

$$N = e^{-(\delta+\alpha)L} \sin(k+\xi)L. \quad (14)$$

Путем подстановки зависимости (10) в крайнее условие (5) и найдем постоянную интегрирования  $D$  (комплексную величину):

$$D = \frac{Q(d - i\lambda)}{(d - M) - i(\lambda + N)} \left[ -m\omega^2 - 0,5F(\rho L_1 \omega^2 + \mu) - \right]$$

$$-i \cdot 0,5\eta\omega F + EF(\alpha + ik) \frac{(d+M) - i(\lambda - N)}{(d-M) - i(\lambda + N)} \Big]^{-1}. \quad (15)$$

Используя выражения (11) – (14), преобразуем комплексную зависимость  $(d - M) + i(\lambda - N)$ , стоящую в знаменателе выражения (15), приведя её к следующему виду:

$$\begin{aligned} & (d - M) - i(\lambda + N) = \\ & = [-e^{-(\delta-\alpha)L} \cos(k - \xi)L + e^{-(\delta+\alpha)L} \cos(k + \xi)L] - \\ & - i \cdot [e^{-(\delta-\alpha)L} \sin(k - \xi)L - e^{-(\delta+\alpha)L} \sin(k + \xi)L] = \\ & = R - iS, \end{aligned} \quad (16)$$

где  $R$  – действительная часть комплексной функции (16),

$$\begin{aligned} R &= d - M = \\ &= -e^{-(\delta-\alpha)L} \cos(k - \xi)L + e^{-(\delta+\alpha)L} \cos(k + \xi)L; \end{aligned} \quad (17)$$

$S$  – мнимая часть комплексной функции (16),

$$\begin{aligned} S &= \lambda + N = \\ &= e^{-(\delta-\alpha)L} \sin(k - \xi)L + e^{-(\delta+\alpha)L} \sin(k + \xi)L. \end{aligned} \quad (18)$$

Аналогичным образом преобразуем комплексную зависимость  $(d + M) - i(\lambda - N)$ , приведя её к следующему виду:

$$\begin{aligned} & (d + M) - i(\lambda - N) = \\ & = [2 - e^{-(\delta-\alpha)L} \cos(k - \xi)L - e^{-(\delta+\alpha)L} \cos(k + \xi)L] - \\ & - i \cdot [e^{-(\delta-\alpha)L} \sin(k - \xi)L - e^{-(\delta+\alpha)L} \sin(k + \xi)L] = \\ & = R_1 - iS_1, \end{aligned} \quad (19)$$

где  $R_1$  – действительная часть комплексной функции (19),

$$\begin{aligned} R_1 &= d + M = \\ &= 2 - e^{-(\delta-\alpha)L} \cos(k - \xi)L - e^{-(\delta+\alpha)L} \cos(k + \xi)L; \end{aligned} \quad (20)$$

$S_1$  – мнимая часть комплексной функции (19),

$$\begin{aligned} S_1 &= \lambda - N = \\ &= e^{-(\delta-\alpha)L} \sin(k - \xi)L - e^{-(\delta+\alpha)L} \sin(k + \xi)L. \end{aligned} \quad (21)$$

На основании зависимостей (16) и (19) приведем выражение для определения постоянной интегрирования (15) к следующему виду:

$$\begin{aligned} D &= \frac{Q(d - i\lambda)}{(R - iS)} \left[ -m\omega^2 - 0,5F(\rho L_1 \omega^2 + \mu - i\eta\omega) + \right. \\ & \left. + EF(\alpha + ik) \frac{R_1 - iS_1}{R - iS} \right]^{-1}. \end{aligned} \quad (22)$$

Умножая числитель и знаменатель выражения  $\frac{R_1 - iS_1}{R - iS}$  в зависимости (22) на комплексное число сопряженное знаменателю и преобразовывая эту зависимость с учетом выражений (17), (18), (20) и (21), получим

$$D = \frac{Q(d - i\lambda)}{(R - iS) \{ [c_b - (m + m_b)\omega^2] + ib_b\omega \}}, \quad (23)$$

где  $c_b$  – приведенная жесткость уплотняемой бетонной смеси,

$$\begin{aligned} c_b &= \frac{EF}{R^2 + S^2} [k(R_1S - RS_1) - \alpha(R_1R + S_1S)] = \\ &= \frac{2EF}{R^2 + S^2} \{ k[e^{-(\delta+\alpha)L} \sin(k + \xi)L + \\ & + e^{-(\delta-\alpha)L} \sin(k - \xi)L - e^{-2\delta L} \sin 2kL] - \\ & - \alpha[e^{-(\delta+\alpha)L} \cos(k + \xi)L + \\ & + e^{-(\delta-\alpha)L} \cos(k - \xi)L - e^{-2\delta L} sh(2\alpha L)] \}; \end{aligned} \quad (24)$$

$m_b$  – приведенная масса уплотняемой бетонной смеси,

$$m_b = F \left( \frac{\mu}{\omega^2} + 0,5\rho L_1 \right); \quad (25)$$

$b_b$  – приведенный коэффициент неупругого сопротивления уплотняемой бетонной смеси,

$$\begin{aligned} b_b &= \frac{EF}{R^2 + S^2} [\alpha(R_1S - RS_1) + k(R_1R + S_1S)] - 0,5\eta F = \\ &= \frac{2EF}{R^2 + S^2} \{ \alpha[e^{-(\delta+\alpha)L} \sin(k + \xi)L + \\ & + e^{-(\delta-\alpha)L} \sin(k - \xi)L - e^{-2\delta L} \sin 2kL] + \\ & + k[e^{-(\delta+\alpha)L} \cos(k + \xi)L + e^{-(\delta-\alpha)L} \cos(k - \xi)L - \\ & - e^{-2\delta L} sh(2\alpha L)] \} - 0,5\eta F. \end{aligned} \quad (26)$$

Подставляя постоянную интегрирования  $D$  (23) в зависимость (10), найдем решение волнового уравнения колебаний (3), удовлетворяющего краевым условиям (5) и (6), в комплексной форме:

$$\begin{aligned} u(x, t) &= Qe^{-\delta x} \frac{(d - i\lambda)e^{-(\alpha+ik)x} - (M + iN)e^{(\alpha+ik)x}}{(R - iS) \{ [c_b - (m + m_b)\omega^2] + ib_b\omega \}} \times \\ & \times e^{i(\omega t - \xi x)}. \end{aligned} \quad (27)$$

Умножим числитель и знаменатель выражения (27) на комплексные числа  $[c_b - (m + m_b)\omega^2] - ib_b\omega$  и  $R + iS$ , сопряженные комплексным числом, которые находятся в знаменателе и, выделяя из полученной зависимости мнимую часть образованной комплексной функции и преобразовывая её, получим искомое решение волнового уравнения (3),

удовлетворяющее краевым условиям (5) и (6), в следующей форме:

$$u(x,t) = \frac{Qe^{-\delta x}}{\sqrt{R^2 + S^2} \sqrt{[c_b - (m + m_b)\omega^2]^2 + b_b^2\omega^2}} \times \\ \times \{ [e^{-\alpha x} (d \cos kx - \lambda \sin kx) - \\ - e^{\alpha x} (M \cos - N \sin kx)] \sin(\omega t - \xi x - \varphi) - \\ - [e^{-\alpha x} (\lambda \cos kx + d \sin kx) + \\ + e^{\alpha x} (N \cos kx + M \sin kx)] \cos(\omega t - \xi x - \varphi) \}, \quad (28)$$

где  $\varphi$  – сдвиг фаз между амплитудой возмущающей силы и перемещением,

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2; \quad (29)$$

$$\varphi_1 = \arctg \frac{b_b \omega}{c_b - (m + m_b)\omega^2}; \quad (30)$$

$$\varphi_2 = \arctg \frac{\lambda + N}{d - M} = \arctg \frac{S}{R}. \quad (31)$$

Полученное решение (28) волнового уравнения колебаний (3), удовлетворяющие краевым условиям (5) и (6), описывают закон колебаний уплотняемого слоя бетонной смеси изучаемой динамической системы “глубинный уплотнитель – бетонная среда” в зависимости от координаты  $x$ , т.е. при  $0 \leq x \leq L$ . При  $x = 0$  эта зависимость описывает закон колебаний слоя смеси, прилегающего к вертикальной плите, и одновременно закон колебаний вертикальной плиты, т.е.

$$u(0,t) = \frac{Q[(d - M) \sin(\omega t - \varphi) - (\lambda + N) \cos(\omega t - \varphi)]}{\sqrt{R^2 + S^2} \sqrt{[c_b - (m + m_b)\omega^2]^2 + b_b^2\omega^2}} = \\ = \frac{Q}{\sqrt{[c_b - (m + m_b)\omega^2]^2 + b_b^2\omega^2}} \sin(\omega t - \varphi_1) = \\ = A \sin(\omega t - \varphi_1), \quad (32)$$

где  $A$  – амплитуда колебаний вертикальных плит,

$$A = \frac{Q}{\sqrt{[c_b - (m + m_b)\omega^2]^2 + b_b^2\omega^2}}. \quad (33)$$

Полученные выражения (24 – 26) могут использоваться в случае применения континуально-дискретной расчетной модели [10], описывающей взаимодействие плоскостного глубинного уплотнителя с бетонной смесью в ограниченном вертикальными уплотняющими пластинами пространстве при различных методах вибрационного воздействия, конфигурации уплотняемого изделия и различных

значениях площади поверхностей взаимодействия рабочего органа с бетонной средой.

**ВЫВОДЫ.** На основе анализа существующих конструкций и способов глубинного уплотнения бетонных смесей предложен пакетный плоскостной глубинный уплотнитель. Составлена математическая модель динамической системы вибрационного пакетного глубинного уплотнителя при взаимодействии его бетонной смесью. Определена закономерность движения уплотняемой смеси и глубинного уплотнителя в зависимости от физико-механических характеристик уплотняемой среды, длины и толщины уплотняемого слоя, угловой частоты колебаний и геометрических параметров уплотнителя. Приведенные зависимости позволяют обосновать рациональные параметры предлагаемой вибрационной машины и режимы вибрационного воздействия на бетонную среду.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Juradin S, Baloević G & Harapin A. Impact of Vibrations on the Final Characteristics of Normal and Self-compacting Concrete. *Journal of Materials Research*. 2014, Vol. 17(1), pp. 178–185.
2. Sudarshan N. M., Chandrashekar Rao T. Vibration Impact on Fresh Concrete of Conventional and UHPFRC. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2017, Vol. 12, 8th edn, pp. 1683–1690.
3. Koh H.B., Yeoh D., Shahidan S. Effect of re-vibration on the compressive strength and surface hardness of concrete. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2017, Vol. 271, 012057, pp. 1–6.
4. Gutierrez J, Ruiz E., Trochu F. (2013), High-frequency vibrations on the compaction of dry fibrous reinforcements. *Journal of Advanced Composite Materials*. 2013, Vol. 22 (1), pp. 13–27
5. Волков С. А., Евтюков С. А. Строительные машины. СПб.: ДНК, 2012. 597 с.
6. Стаценко А. С. Технология каменных работ в строительстве. Минск: Выш. шк. 2010. 255 с.
7. Жанар Батсайхан. Исследование взаимодействия вибрационной плиты рабочего органа с уплотняемой средой. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2015. Вип. 1 (90), частина 1. С. 92–97.
8. Maslov A., Janar Batsaikhan, Puzyr R, Salenko Yu. The Determination of the Parameters of a Vibration Machine for the Internal Compaction of Concrete Mixtures. *International Journal of Engineering & Technology*, 2018, Vol. 7 (4.3), pp 12–19.
9. Maslov O., Janar Batsaikhan, Salenko Yu. The Theory of Concrete Mixture Vibratory Compacting. *International Journal of Engineering & Technology*, 2018, Vol. 7 (3.2), pp 239–244.
10. Маслов А. Г. Иткин А. Ф., Саленко Ю. С. Вибрационные машины для приготовления и уплотнения бетонных смесей: монография. Кременчуг: ЧП Щербатых А.В., 2014. 324 с.

**THE DEVELOPMENT OF THE THEORY OF THE INTERACTION  
OF PLANAR BATCH DEEP VIBROPLATES WITH CONCRETE MIXTURE**

**J. Batsaikhan**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: [kmt0.43@gmail.com](mailto:kmt0.43@gmail.com)

**Purpose.** The article aims to determine the theoretical nature of the interaction of the packet plane deep vibration absorber with a concrete mixture. **Methodology.** Based on the analysis of existing methods of deep compaction of concrete mixtures, a batch planar deep compaction is proposed in the form of two vertical plates rigidly attached to the upper plate on which the vibration exciter of horizontal vibrations is mounted. To determine the character of the interaction of a batch planar deep vibration absorber with a concrete mixture, a study of the dynamic system "vibration absorber-concrete medium" was carried out, in which the latter is represented as a system with distributed parameters, taking into account the elastic, viscous, inertial and energy properties of the formed concrete mixture. A partial differential equation describing the change of the compacted medium stress depending on the dynamic modulus of elastic deformation, dynamic viscosity coefficient, inelastic resistance coefficient and inertia of the compacted medium in functional dependence on the density, relative deformation and consistency of the concrete mixture is developed. The wave equation of oscillations describing the propagation of visco-elastic-plastic deformation waves in the compacted concrete mixture between the vertical plates of the deep vibration absorber is composed. Boundary conditions were used to solve the wave equation of oscillations. The first boundary condition describes the interaction of the vertical plate with the compacted concrete mixture, and the second boundary condition shows that the vertical plates move synchronously. **Results.** Based on the solution of the wave equation of oscillations describing the propagation of deformation waves between vertical plates, the law of propagation of visco-elastic-plastic deformation waves in the compacted concrete mixture is determined, as well as the given values of stiffness, mass and inelastic resistance coefficient of the concrete mixture, which are intended for use in the continuo-discrete computational model, describes the interaction of a planar deep seal with a concrete mixture in a limited space by vertical sealing plates with different methods of vibration, the configuration of the compacted product and different values of the surface area of the interaction of the working body with the concrete medium. The obtained dependences allow us to justify the rational parameters of the planar deep seal and modes of vibration impact on the sealing medium. **Practical.** The obtained results allow: to justify the rational parameters of the package plate deep seal; to find the rational modes of vibration effect on concrete mixtures of different consistency. The proposed batch planar deep vibration seal can be widely used in construction practice.

**Key words:** batch vibrating compactor, concrete mix, interaction, law of vibrations.

REFERENCES

1. Juradin, S., Baloević, G., Harapin, A. (2014), Impact of Vibrations on the Final Characteristics of Normal and Self-compacting Concrete, *Journal of Materials Research*, Vol. 17(1), pp. 178-185.
2. Sudarshan, N. M., Chandrashekar, Rao T. (2017), Vibration Impact on Fresh Concrete of Conventional and UHPFRC, *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol. 12, 8 ed, pp. 1683-1690.
3. Koh, H. B., Yeoh, D., Shahidan, S. (2017), Effect of re-vibration on the compressive strength and surface hardness of concrete, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 271, 012057, pp. 1 – 6.
4. Gutierrez, J., Ruiz, E., Trochu, F. (2013), High-frequency vibrations on the compaction of dry fibrous reinforcements, *Journal of Advanced Composite Materials*, Vol. 22 (1), pp. 13 – 27.
5. Volkov, S. A., Evtyukov, S. A. (2012), *Stroitel'nye mashiny* [Construction machinery]. "DNK", SPb, Russia.
6. Stacenko, A. S. (2010), *Tekhnologiya kamennyh rabot v stroitel'stve* [Technology of stone works in construction], "Vysh. shk.", Minsk, Belorussiya.
7. Batsaikhan, Zh. (2015), Study of the interaction of the vibration plate working body with sealed medium, *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchug: KRNU*, Issue (90), pp. 92 – 97.
8. Maslov, A., Batsaikhan, J., Puzyr, R., Salenko, Yu. (2018), The Determination of the Parameters of a Vibration Machine for the Internal Compaction of Concrete Mixtures, *International Journal of Engineering & Technology*. Vol. 7 (4.3), pp 12-19.
9. Maslov, O., Batsaikhan, J., Salenko, Yu. (2018), The Theory of Concrete Mixture Vibratory Compacting, *International Journal of Engineering & Technology*, Vol. 7 (3.2), pp 239-244.
10. Maslov, A. G., Itkin, A. F., Salenko, Y. S. (2014), *Vibratsionnyye mashiny dlya prigotovleniya i uplotneniya betonnykh smesey* [Vibrating machines for the preparation and compaction of concrete mixes], PP Cherbatykh, Kremenchuk, Ukraine.

Стаття надійшла 20.05.2019.