

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОСКОСТНОГО ГЛУБИННОГО УПЛОТНИТЕЛЯ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ С ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЕМ КРУГОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В РАБОЧЕМ РЕЖИМЕ**А. Г. Маслов, Жанар Батсайхан**Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: kmt0.43@gmail.com

Предложена принципиально новая конструкция глубинного уплотнителя бетонных смесей, выполненная в виде вертикальной влиты, на верхней части которой смонтирован вибровозбудитель круговых колебаний. Описан принцип его действия. Составлена расчетная схема динамической системы «плоскостной глубинный уплотнитель – бетонная среда», в которой последняя представлена в виде приведенной массы и приведенных коэффициентов неупругого и упругого сопротивлений. Определены инерционные, упругие и неупругие силы сопротивления бетонной смеси, которые действуют на вертикальную плиту в процессе колебаний. Составлены уравнения движения вертикальной плиты, контактирующей с бетонной смесью, описывающие ее прямолинейные колебания в горизонтальной плоскости и крутильные колебания относительно центра тяжести. Установлена закономерность движения вертикальной плиты в рабочем режиме при уплотнении бетонных смесей. Приведенные результаты исследований позволяют обосновать рациональные параметры плоскостного глубинного уплотнителя, совершающего пространственные колебания, и эффективные режимы вибрационного воздействия на бетонные смеси различной консистенции.

Ключевые слова: плоскостной глубинный уплотнитель, бетонная смесь, вибрационное уплотнение.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛОЩИННОГО ГЛУБИННОГО УЩІЛЬНЮВАЧА БЕТОННИХ СУМІШЕЙ З ВІБРОЗБУДЖУВАЧЕМ КРУГОВИХ КОЛИВАНЬ У РОБОЧОМУ РЕЖИМІ**О. Г. Маслов, Жанар Батсайхан**Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: kmt0.43@gmail.com

Запропоновано принципово нову конструкцію глибинного ущільнювача бетонних сумішей, що виконано у вигляді вертикальної влити, на верхній частині якої змонтовано вібровозбудувач кругових коливань. Описано принцип дії площинного глибинного ущільнювача бетонних сумішей. Складена розрахункова схема динамічної системи «площинний глибинний ущільнювач – бетонне середовище», в якій останнє представлено у вигляді наведеної маси і наведених коефіцієнтів непружного і пружного опорів. Знайдено момент інерції наведеної маси бетонної суміші щодо центру ваги системи, що коливається. Визначено інерційні, пружні і непружні сили опору бетонної суміші, які діють на вертикальну плиту в процесі їх спільних коливань. Складені рівняння руху вертикальної плити, яка контактує з бетонною сумішшю, що описують її прямолінійні коливання в горизонтальній площині і крутильні коливання відносно центру тяжіння. Рівняння руху враховують дію інерційних сил глибинного ущільнювача і ущільнюваної бетонної суміші, сил пружного і непружного опору бетонної суміші і сил тертя нижньої кромки вертикальної плити про бетонну суміш або основу. Встановлена закономірність руху робочої поверхні вертикальної плити, що взаємодіє з бетонною сумішшю в горизонтальному напрямку і викликає в цьому бетонному середовищі нормальні напруження. При цьому реалізується змінний амплітудно-частотний режим руху вертикальної плити, що викликає в ущільнювальному шарі поширення пружно-пластичних хвиль деформацій, які забезпечують створення імпульсного напружено-деформованого стану, що забезпечує ефективне ущільнення бетонних сумішей пластичних з осадкою конуса ОК-3,5 – 4 см сумішей, так і жорстких сумішей жорсткістю $J=30 - 120$ с. Наведені результати досліджень дозволяють обґрунтувати раціональні параметри площинного глибинного ущільнювача, що здійснює просторові коливання, і ефективні режими вібраційної дії на бетонні суміші різної консистенції.

Ключові слова: площинний глибинний ущільнювач, бетонна суміш, вібраційне ущільнення.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Рядом исследований [1–4] было установлено, что глубинное уплотнение вибрационным воздействием на бетонную смесь, является наименее энергоемким по сравнению с другими способами уплотнения, поскольку рабочий орган уплотнителя, погружаемый в уплотняемую среду, непосредственно передает этой среде вибрационные колебания с минимальными энергетическими затратами. Как правило, для этих целей используют глубинные вибраторы, снабженные погружаемыми в бетонную смесь круглыми наконечниками различного диаметра. Эти вибраторы имеют малый радиус проработки бетонной смеси и, соответственно малую производительность. Они, в основном, используются для уплотнения пластичных бетонных смесей. Для повышения производитель-

ности используют собранные в пакеты глубинные вибраторы, которые имеют индивидуальные приводы [5]. Эти устройства имеют большую массу, сложную конструкцию и требуют использования дополнительных грузоподъемных устройств. Был также предложен плоскостной глубинный уплотнитель [6], который состоит из вертикальной плиты с жестко закрепленными на ней двумя глубинными вибраторами с индивидуальным приводом каждого. Поскольку этот глубинный уплотнитель имел большую массу, сложную конструкцию и неудобность в эксплуатации, то он не получил широкого применения. При этом все глубинные вибраторы снабжаются планетарными вибровозбудителями колебаний, которые быстро выходят из строя [7].

Поэтому создание малоэнергоёмкого глубинного уплотнителя, имеющего малый вес, простую конструкцию, высокую надёжность и обеспечивающего уплотнение бетонных смесей различной консистенции, является актуальной задачей.

Цель работы – исследование рациональных параметров плоскостной глубинный уплотнитель бетонных смесей с вибровозбудителем круговых колебаний в рабочем режиме.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Предлагаемый плоскостной глубинный уплотнитель (рис. 1) состоит из уплотняющей плиты, выполненной в виде вертикальной плиты 1 с ребром жесткости 2, кронштейна 3, жестко связанного с плитой 1, и закрепленного на этом кронштейне при помощи резьбовых соединений 4 вибровозбудителя круговых колебаний 5 с дебалансным валом 6.

Работа плоскостной глубинный уплотнитель осуществляется следующим образом.

Включают плоскостной глубинный уплотнитель и вводят вертикальную плиту 1 в бетонную смесь 7, уложенную ровным слоем. При этом под действием вибровозбудителя круговых колебаний 5 вертикальная плита совершает сложные движения, которые вызывают в уплотняемой среде упруго вязкопластические волны деформации с достаточно высокой частотой. Эти деформации вызывают предельное разрушение структурных связей в бетонной смеси и переводят ее в тиксотропное состояние, приводят к интенсивной переориентации минеральных частиц, вытеснению воздуха и образованию более плотной упаковки.

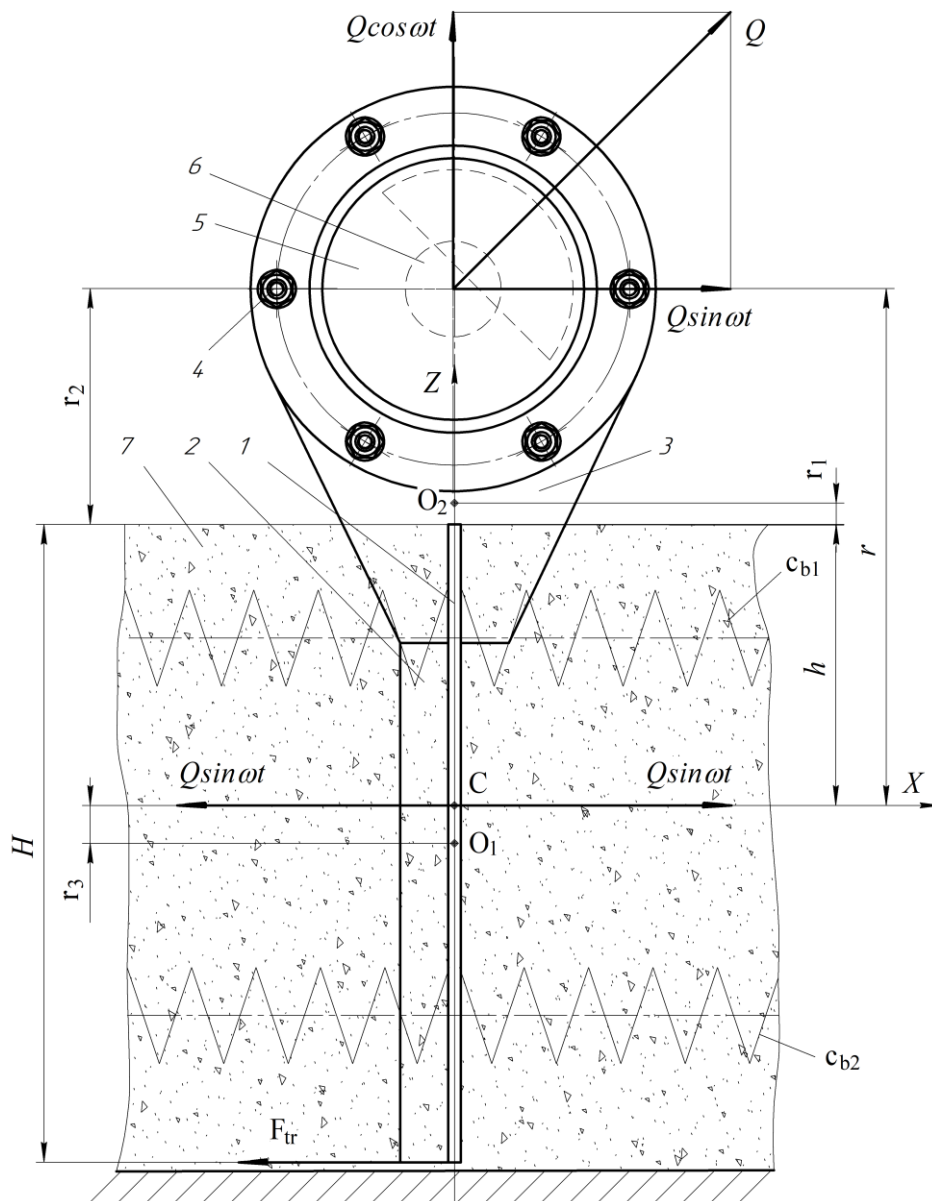


Рисунок 1 – расчетная схема динамической системы «плоскостной глубинный уплотнитель – бетонная среда»

Для определения закона движения вертикальной плиты, взаимодействующей с бетонной смесью в рабочем режиме, рассмотрим расчетную модель

динамической системы «плоскостной глубинный уплотнитель – бетонная среда» (рис. 1). Перемещения рассматриваемой динамической системы будем

рассматривать под действием вибровозбудителя круговых колебаний, дебалансы которого генерируют круговую возмущающую силу Q . Эту силу разложим на две составляющие: горизонтальную $Q \sin \omega t$ и вертикальную $Q \cos \omega t$ силы.

Под действием горизонтальной силы $Q \sin \omega t$, вертикальная плита, взаимодействующая с бетонной смесью, приобретает сложные движения: линейные перемещения в направлении координатной оси X , проходящей через центр тяжести C колеблющейся системы, и крутильные колебания относительно центра тяжести C . Смещение центра тяжести C колеблющейся системы относительно центра тяжести бетонной смеси O_1 по вертикали определим из следующей зависимости:

$$r_3 = \frac{m(0,5H \pm r_1)}{m + m_b}, \quad (1)$$

где m – масса плоскостного глубинного уплотнителя; r_1 – расстояние от центра тяжести плоскостного глубинного уплотнителя до верхней кромки вертикальной плиты, совпадающей с поверхностью уплотняемой бетонной смеси; m_b – приведенная масса бетонной смеси, определяемая в зависимости от способа вибрирования бетонной смеси: в полупространстве [8] или в форме [9].

В выражении (1) знак плюс в круглых скобках берется, если центр тяжести плоскостного глубинного уплотнителя находится выше верхней кромки вертикальной плиты, и минус если ниже.

При этом движение вертикальной плиты, контактирующей с бетонной смесью, можно описать следующей системой уравнений:

– прямолинейное перемещение в горизонтальной плоскости в направлении координатной оси X :

$$(m + m_b) \frac{d^2 x}{dt^2} + b_b \frac{dx}{dt} + c_b x \pm F_{tr} = Q \sin \omega t; \quad (2)$$

– угловое перемещение относительно координатной оси Y :

$$(J + J_b) \frac{d^2 \psi}{dt^2} + n_b \frac{d\psi}{dt} + k_b \psi \pm M_{tr} = Q r \sin \omega t; \quad (3)$$

где x – линейные перемещения вертикальной плиты по центру тяжести колеблющейся системы; ψ – угловые перемещения вертикальной плиты относительно координатной оси Y , проходящей через центр тяжести колеблющейся системы; m_b , b_b , c_b – значения приведенной массы и приведенных коэффициентов неупругого и упругого сопротивлений бетонной смеси, определяемые в соответствии со способом вибрирования бетонной смеси: в полупространстве [8] или в форме [9]; F_{tr} – сила трения нижней кромки вертикальной плиты о бетонную смесь или основание,

$$F_{tr} = mg \cdot f_{tr}, \quad (4)$$

где f_{tr} – коэффициент трения нижней кромки вертикальной плиты о бетонную смесь или основание; J – момент инерции плоскостного глубинного уплотнителя относительно центра тяжести C колеблющейся массы,

$$J = J_y + m(0,5H - r_3 + r_1)^2, \quad (5)$$

где J_y – момент инерции плоскостного глубинного уплотнителя относительно собственного центра тяжести O_2 ; r – расстояние от оси вращения дебалансного вала вибровозбудителя колебаний до центра тяжести колеблющейся системы; J_b – момент инерции приведенной массы бетонной смеси относительно центра тяжести колеблющейся системы,

$$J_b = m_b \frac{H^2}{12} + m_b r_3^2; \quad (6)$$

где k_b , n_b – коэффициенты крутильной жесткости и неупругого сопротивления уплотняемой среды при угловых перемещениях колеблющейся системы относительно координатной оси Y ,

$$k_b = k_{b1} + k_{b2}; \quad n_b = n_{b1} + n_{b2}; \quad (7)$$

где k_{b1} , n_{b1} – коэффициенты крутильной жесткости и неупругого сопротивления уплотняемой среды при угловых перемещениях колеблющейся системы относительно координатной оси Y на участке высотой $h = 0,5H - r_3$,

$$k_{b1} = \sum_{i=1}^{n_1} c_{by} F_i z_i^2; \quad (8)$$

$$n_{b1} = \sum_{i=1}^{n_1} b_{by} F_i z_i^2; \quad (9)$$

где k_{b2} , n_{b2} – коэффициенты крутильной жесткости и неупругого сопротивления уплотняемой среды при угловых перемещениях колеблющейся системы относительно координатной оси Y на участке высотой $h_1 = 0,5H + r_3$,

$$k_{b2} = \sum_{i=1}^{n_2} c_{by} F_i z_i^2; \quad (10)$$

$$n_{b2} = \sum_{i=1}^{n_2} b_{by} F_i z_i^2; \quad (11)$$

где F_i – площадь равных элементарных участков, на которые разбита вертикальная плита по высоте, $F_i = F / (n_1 + n_2)$; n_1 , n_2 – количество разбиений вертикальной плиты соответственно в верхней ее части на участке высотой h и в нижней части на участке высотой h_1 ; Z_i – расстояние по вертикали от центра тяжести колеблющейся системы до i -того выделенного элемента; c_{by} , b_{by} – значения

удельных приведенных коэффициентов упругого и неупругого сопротивлений бетонной смеси, определяемые в соответствии со способом вибрирования бетонной смеси: в полупространстве [8] или в форме [9]; M_{tr} – момент сил трения нижней кромки вертикальной плиты о бетонную смесь или основание,

$$M_{tr} = mg(H - h)f_{tr}. \quad (12)$$

Используя метод линеаризации сил кулонового трения [10], приведем уравнения (2) и (3) к следующему виду:

$$(m + m_b) \frac{d^2 x}{dt^2} + (b_b + b_s) \frac{dx}{dt} + c_b x = Q \sin \omega t; \quad (13)$$

$$(J + J_b) \frac{d^2 \psi}{dt^2} + (n_b + n_s) \frac{d\psi}{dt} + k_b \psi = Qr \sin \omega t, \quad (14)$$

где b_s – эквивалентный коэффициент вязкого трения в направлении координатной оси X ,

$$b_s = \frac{4F_{tr}}{\pi A \omega} = \frac{q_r}{A \omega}; \quad (15)$$

где n_s – эквивалентный коэффициент вязкого трения относительно горизонтальной оси Y ;

$$n_s = \frac{4M_{tr}}{\pi \Phi \omega} = \frac{q_m}{\Phi \omega}; \quad (16)$$

A – амплитуды колебаний вертикальной плиты в горизонтальном направлении по центру тяжести колеблющейся системы; Φ – амплитуда угловых (крутильных) колебаний вертикальной плиты относительно горизонтальной оси Y ;

$$q_r = \frac{4F_{tr}}{\pi}; \quad (17)$$

$$q_m = \frac{4M_{tr}}{\pi}. \quad (18)$$

На основании известных методов классической теории колебаний [10, 11], найдем решение уравнений (13) и (14) в следующем виде:

$$x(t) = A \sin(\omega t - \varphi_1); \quad (19)$$

$$\psi(t) = \Phi \sin(\omega t - \varphi_2), \quad (20)$$

где φ_1 – угол сдвига фаз между амплитудой возмущающей силы Q и перемещением по X ; φ_2 – угол сдвига фаз между амплитудой момента возмущающих сил и амплитудой углового перемещения;

$$A = \frac{Q}{\sqrt{[c_b - (m + m_b)\omega^2]^2 + (b_b + b_s)^2 \omega^2}}; \quad (21)$$

$$\Phi = \frac{Qr}{\sqrt{[k_b - (J + J_b)\omega^2]^2 + (n_b + n_s)^2 \omega^2}}; \quad (22)$$

$$\varphi_1 = \arctg \frac{(b_b + b_s)\omega}{c_b - (m + m_b)\omega^2}; \quad (23)$$

$$\varphi_2 = \arctg \frac{(n_b + n_s)\omega}{k_b - (J + J_b)\omega^2}. \quad (24)$$

Подставляя зависимости (15) и (16) соответственно в выражения (21) и (22), получим уравнения для определения амплитуд прямолинейных и крутильных колебаний вертикальной плиты в следующем виде:

$$A^2 + \frac{2Aq_r b_b \omega}{[c_b - (m + m_b)\omega^2]^2 + b_b^2 \omega^2} - \frac{Q^2 - q_r^2}{[c_b - (m + m_b)\omega^2]^2 + b_b^2 \omega^2} = 0; \quad (25)$$

$$\Phi^2 + \frac{2\Phi q_m n_b \omega}{[k_b - (J + J_b)\omega^2]^2 + n_b^2 \omega^2} - \frac{Q^2 r^2 - q_m^2}{[k_b - (J + J_b)\omega^2]^2 + n_b^2 \omega^2} = 0; \quad (26)$$

Решая уравнения (25) и (26), найдем окончательные значения амплитуд колебаний вертикальной плиты с учетом значений эквивалентных коэффициентов вязкого трения b_s , и n_s , т.е.

$$A = \frac{1}{[c_b - (m + m_b)\omega^2]^2 + b_b^2 \omega^2} \left\langle -q_r b_b \omega + \sqrt{q_r^2 b_b^2 \omega^2 + M_1 \{ [c_b - (m + m_b)\omega^2]^2 + b_b^2 \omega^2 \}} \right\rangle; \quad (27)$$

$$\Phi = \frac{1}{[k_b - (J + J_b)\omega^2]^2 + n_b^2 \omega^2} \left\langle -q_m n_b \omega + \sqrt{q_m^2 n_b^2 \omega^2 + M_2 \{ [k_b - (J + J_b)\omega^2]^2 + n_b^2 \omega^2 \}} \right\rangle, \quad (28)$$

где

$$M_1 = Q^2 - q_r^2;$$

$$M_2 = Q^2 r^2 - q_m^2.$$

Закон движения рабочей поверхности вертикальной плиты, взаимодействующей с бетонной смесью в направлении координатной оси X , и вызывающей в этой бетонной среде нормальные напряжения, может быть на основании выражений (19) и (20) с учетом выражений (27) и (28) представлен в виде следующей функции:

$$X_n(z, t) = x(t) + z\varphi(t) \quad \text{при } -(H-h) \leq z \leq h. \quad (29)$$

Подставляя в выражение (29) значения функций $x(t)$ (19) и $\varphi(t)$ (20) получим зависимость для описания закона движения рабочей поверхности вертикальной плиты, контактирующей с бетонной смесью, в следующем виде:

$$X_n(z, t) = A(z) \sin[\omega t + \varphi(z)] \quad \text{при } -(H-h) \leq z \leq h, \quad (30)$$

где $A(z)$ – амплитуда перемещений вертикальной плиты, взаимодействующей рабочей поверхностью с бетонной смесью, в зависимости от координаты z ,

$$A(z) = \sqrt{A^2 + \Phi^2 z^2 + 2A\Phi z \cos(\varphi_1 - \varphi_2)}; \quad (31)$$

$\varphi(z)$ – угол сдвига фаз между амплитудой возмущающей нагрузки и амплитудой перемещения определенной точки на вертикальной плите с координатой z ,

$$\varphi(z) = \arctg \frac{A \sin \varphi_1 + \Phi z \sin \varphi_2}{A \cos \varphi_1 + \Phi z \cos \varphi_2}. \quad (32)$$

С учетом выражений (15) и (16) приведем зависимости (23) и (24) к следующему виду:

$$\varphi_1 = \arctg \frac{b_b \omega + q_r / A}{c_b - (m + m_b) \omega^2}; \quad (33)$$

$$\varphi_2 = \arctg \frac{n_b \omega + q_m / \Phi}{k_b - (J + J_b) \omega^2}. \quad (34)$$

Анализ выражений (30 – 32) показывает, что вертикальная плита предлагаемого плоскостного глубинного виброуплотнителя совершает при работе пространственные колебания и обеспечивает тем самым эффективное уплотнение бетонной смеси переменным амплитудно-частотным воздействием. Такое вибрационное воздействие вызывает в уплотняемой среде нормальные напряжения в горизонтальной плоскости, которые являются определяющими в разрушении структурных связей и переводе бетонной смеси в тиксотропное состояние. При этом резко уменьшаются силы внутреннего трения в смеси за счет выделения в межзерновое пространство свободной воды, играющей роль смазки [42, 93]. Происходит вытеснение из уплотняемой смеси воздуха, обеспечивается переориентация минеральных частиц и их сближение с образованием более плотной упаковки.

ВЫВОДЫ. Предложена принципиально новая конструкция плоскостного глубинного уплотнителя бетонных смесей, который выполнен в виде вертикальной плиты, в верхней части которой смонтирован вибровозбудитель круговых колебаний. Состав-

лена математическая модель динамической системы «плоскостной глубинный уплотнитель – бетонная среда» и установлена закономерность движения вертикальной плиты, контактирующей с уплотняемой бетонной смесью в рабочем режиме. Получены аналитические зависимости позволяют определить эффективные режимы вибрационного воздействия на уплотняемую среду в виде переменного амплитудно-частотного деформирования уплотняемой среды. Приведенные результаты исследований позволяют обосновать рациональные параметры плоскостного глубинного уплотнителя, совершающего пространственные колебания, и режимы вибрационного воздействия на бетонные смеси различной консистенции.

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 NM & 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 HB, 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.
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).
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. Герасимов М. Д., Герасимов Д. М. Определение закона движения, скорости и ускорения центра масс планетарного вибровозбудителя. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2013. № 12. С. 8–11.
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. Nesterenko M., Maslov A., Salenko Ju. Investigation of Vibration Machine Interaction With Compacted Concrete Mixture. *International Journal of Engineering & Technology*, 2018, Vol. 7 (3.2), pp 260–264.
11. Maslov A., Janar Batsaikhan. The research of the parameters of a vibration machine for composite materials compaction. *Journals MATEC Web of Conferences*. 2018, Vol. 224, 02099.

STUDY OF PLANAR DEEP-SEAL THE CONCRETE MIXTURES VIBRATION EXCITER CIRCULAR OSCILLATION IN THE OPERATING MODE

A. Maslov, Janar Batsaikhan

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: kmto.43@gmail.com

Purpose. The purpose of the article is to study rational parameters of the planar deep seal of concrete mixtures with vibration exciter of circular vibrations in the operating mode. **Methodology.** A fundamentally new design of the deep seal of concrete mixtures, made in the form of a vertical injection, on the top of which is mounted vibration exciter circular vibrations. The principle of its operation is described. The calculation scheme of the dynamic system "planar deep seal – concrete medium", in which the latter is presented in the form of reduced weight and reduced coefficients of inelastic and elastic resistance, is made. The moment of inertia of the reduced mass of the concrete mixture relative to the center of gravity of the oscillating system is found. The inertial, elastic and inelastic forces of resistance of concrete mix which act on a vertical plate in the course of their joint fluctuations are defined. The equations of motion of the vertical plate in contact with the concrete mixture, describing its rectilinear oscillations in the horizontal plane and torsional vibrations relative to the center of gravity. The equations of motion take into account the action of the inertial forces of the deep sealer and the compacted concrete mixture, the forces of elastic and inelastic resistance of the concrete mixture and the friction forces of the lower edge of the vertical plate on the concrete mixture or base. **Results.** The regularity of the movement of the working surface of the vertical plate interacting with the concrete mixture in the horizontal direction and causing normal stresses in this concrete medium is established. **Originality.** The variable amplitude-frequency mode of the vertical plate motion is implemented, which causes the propagation of elastic-plastic deformation waves in the compacted layer and provides the creation of a pulsed stress-strain state. This mode allows for effective compaction of all types of concrete mixtures, plastic with a draft cone OK=3,5-4 cm mixtures and rigid mixtures stiffness $G=30-120$ c. **Practical.** The results of the research allow us to justify the rational parameters of the planar deep seal, performing spatial vibrations, and effective modes of vibration impact on concrete mixtures of different consistency. References 10, tables 2, figures 4.

Key words: planar deep seal, concrete mix, vibration seal.

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*, 17(1), pp. 178-185.
2. Sudarshan, N. M., Chandrashekar, R. T. (2017), Vibration Impact on Fresh Concrete of Conventional and UHPFRC, *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol. 12, 8th edn, 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*, 271, 012057
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)
5. Volkov, S. A., Evtyukov, S. A. (2012), *Stroitel'nye mashiny* [Construction machinery], "DNK", SPb, Russia.
6. Stacenko, A. S. (2010), *Tekhnologiya kamennykh rabot v stroitel'stve* [Technology of stone works in construction], "Vysh. shk.", Minsk, Belorussiya.
7. Gerasimov, M. D., Gerasimov, D. M. (2013), "Determination of the law of motion, speed and acceleration of the center of mass of the planetary vibration exciter". *International journal of applied and fundamental research*, No. 12, pp. 8-11.
8. Maslov, A., Batsaikhan, J., Puzyr, R., Salenko, Yu. (2018), The Determination of the Parameters of a Vibration Machine of 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. Nesterenko, M., Maslov, A., Salenko, Ju. (2018), Investigation of Vibration Machine Interaction With Compacted Concrete Mixture, *International Journal of Engineering & Technology*, Vol. 7 (3.2), pp 260-264.
11. Maslov, A., Batsaikhan, J. (2018), The research of the parameters of a vibration machine for composite materials compaction, *Journals MATEC Web of Conferences*, Vol. 224, 02099.

Стаття надійшла 03.09.2018.