

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-114-121

***Кирилов И.В., Ханин С.И., Воронов В.П.**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: igor_kirilov_1989@mail.ru

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИБРОКОЛЕБАНИЙ ВЯЗКОЙ БЕТОННОЙ СРЕДЫ В ВИБРОФОРМЕ С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ ПУАНСОНАМИ

Аннотация. Рассмотрена актуальность применения машин объёмного виброформования при производстве железобетонных изделий. Описано поэтапное вибрационное воздействие, создаваемое цилиндрической поверхностью пуансона, закреплённого на виброформе машины непрерывного безопасного формования. Обоснована целесообразность достижения эффективного уплотнения через изменение виброскорости. Описано распространение вибрационных колебаний погружённым в вязкую бетонную среду пуансоном. Получены аналитические выражения, описывающие изменения амплитудных и фазовых изменений скорости распространения колебаний в вязкой бетонной среде. С использованием полученных аналитических выражений построены соответствующие графические зависимости, характеризующие воздействие на бетонную среду виброформы с пуансонами, состоящей из двух, колеблющихся с различными амплитудно-частотными характеристиками, частей. Установлено влияние радиального размера поверхности цилиндрического пуансона, частоты и амплитуды его колебаний на изменение амплитуды и сдвига фазы скорости распространения колебаний.

Ключевые слова: цилиндрический пуансон, вязкая бетонная среда, вибрационные колебания, амплитуда, частота, скорость.

Введение. В России около 80 % всего объёма выпуска железобетона приходится на различные виды плоских и линейных конструкций (плиты пустотного настила, балки, ригели и др.) [1]. С целью их получения широко используют технологические комплексы (агрегатно-поточный, конвейерный, стендовый), определяющие общие удельные энергозатраты, производительность, ассортимент и себестоимость выпускаемой продукции [2–4].

Производство преднапряжённого железобетона, полученного непрерывным безопасным способом формования, относится к числу прогрессивных технологий и заслуженно пользуется популярностью в последние годы у производителей [5].

Реализация этого способа осуществляется машинами, перемещающимися относительно неподвижного стенда, и выполняющими различные технологические функции, центральными из которых являются формообразование и уплотнение бетонной массы [6, 7]. Среди машин данного назначения наибольшее эксплуатационное применение, с долей около 72 %, на заводах и предприятиях РФ заняли формующие агрегаты объёмного вибровоздействия [8, 9]. Платформа, входящая в конструкцию, и являющаяся одним из основных органов этих машин, приводит посредством вибровозбудителя в колебательное движение вязкую бетонную среду. В ее устройстве предусмотрены возможности конструктивных и технологических изменений для совершенствования, часть из которых касается режимов работы, включающих параметры вибрационного

воздействия определённой продолжительности [10, 11]. Предлагаются и условия, обеспечивающие процесс передачи виброколебаний на бетонную среду непосредственно закреплёнными на платформе пуансонами. Однако, их влияние на вибровоздействие в процессе уплотнения бетонной среды недостаточно изучено, что значительно усложняет подбор рациональных значений рассматриваемых параметров для получения бетонной массы плотной структуры.

Обычно, в качестве определяющих эффективность вибрационного воздействия характеристик, отмечают амплитудно-частотный режим колебаний и длительность его воздействия [12–15]. Вместе с тем, встречаются работы [16, 17], в которых отмечается, что ее эффективного уплотнения можно достичь изменяя, в зависимости от реологических свойств бетонной смеси, виброскорость колебательного воздействия.

Методология. Описание распространения колебаний, передаваемых платформой (виброформой) на вязкую бетонную среду с заданной частотой и амплитудой, можно произвести на основе уравнения Навье – Стокса.

Опишем распространение вибрационных колебаний в вязкой среде, излучаемых поверхностью помещённого в бетон пуансона – пустотообразователя цилиндрической формы, применяемого при изготовлении пустотных изделий в виде плит перекрытия. Так как вибрирующая цилиндрическая поверхность обладает аксиальной симметрией, то математическое описание про-

цесса распространения колебаний следует провести в цилиндрической системе координат (r, φ, z) с центром на оси симметрии (рис. 1).

В силу её аксиальной симметрии вектор скорости частиц в вязкой среде будет иметь отличную от нуля лишь радиальную компоненту вектора скорости v_r , изменение которой, будет зависеть от времени "t" и радиального размера "r" – удаленности рассматриваемой частицы от центра

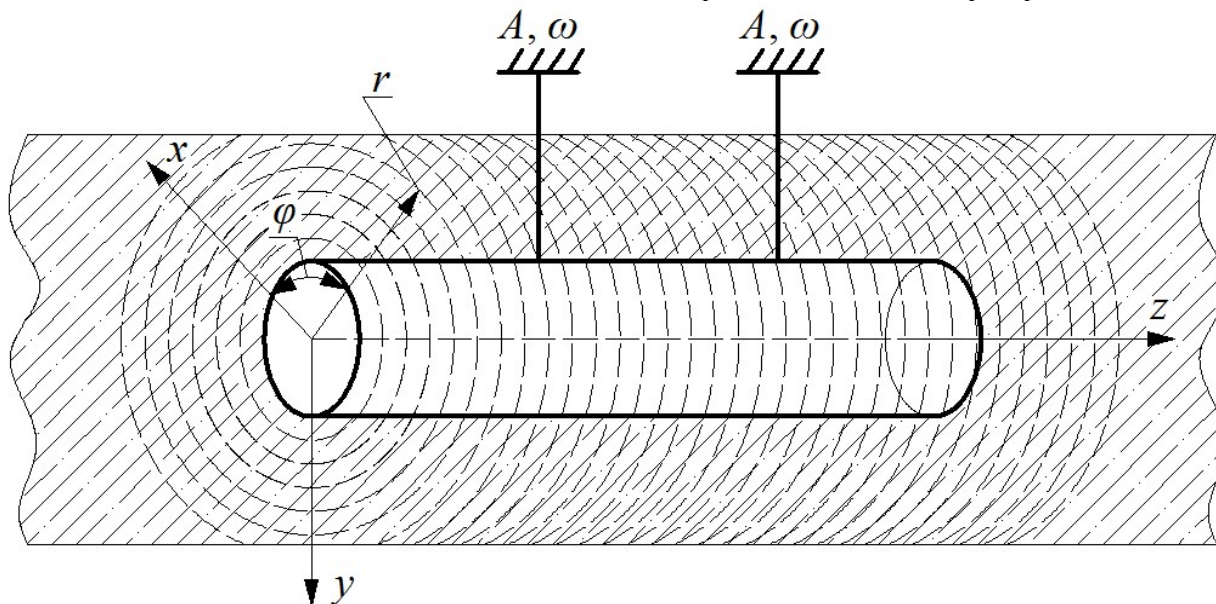


Рис. 1. Иллюстрация распространения вибрации в вязкой бетонной среде, возбуждаемой поверхностью погружённого в бетон цилиндрического пуансона

В свою очередь, скорость колебаний поверхности цилиндра v_0 задаёт начальное значение скорости распространения колебаний вязкой среды и определяется:

$$v_0 = A_0 \cdot \omega_0, \quad (2)$$

где A_0 и ω_0 – амплитуда и частота колебаний поверхности цилиндра пуансона.

Решение уравнения, описывающего распространение колебаний в бетонной среде, находим в рамках линейной комбинации тригонометрических функций синус и косинус:

$$v_r = A_1(r) \sin \omega_0 t + A_2(r) \cos \omega_0 t, \quad (3)$$

где $A_1(r)$ и $A_2(r)$ – амплитуды гармонических колебаний, изменение значений которых происходит в радиальном направлении.

На основании (3) находим:

$$\begin{aligned} & \omega_0 A_1(r) \cos \omega_0 t - \omega_0 A_2(r) \sin \omega_0 t = \\ & = v \left[\frac{d^2 A_1(r)}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dA_1(r)}{dr} - \frac{A_1(r)}{r^2} \right] \cdot \sin \omega_0 t + \\ & + v \left[\frac{d^2 A_2(r)}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dA_2(r)}{dr} - \frac{A_2(r)}{r^2} \right] \cdot \cos \omega_0 t. \end{aligned} \quad (4)$$

На основании тождества (4) получаем следующие уравнения:

цилиндра. Поэтому применительно к рассматриваемому случаю изменение скорости смещения частиц бетонной смеси будет описываться уравнением вида:

$$\frac{\partial v_r}{\partial t} = \nu \Delta_r v_r - \nu \frac{v_r}{r^2}, \quad (1)$$

где ν – коэффициент кинематической вязкости; Δ_r – радиальная часть оператора Лапласа.

$$\omega_0 A_1(r) = v \left[\frac{d^2 A_2(r)}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dA_2(r)}{dr} - \frac{A_2(r)}{r^2} \right], \quad (5)$$

$$-\omega_0 A_2(r) = v \left[\frac{d^2 A_1(r)}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dA_1(r)}{dr} - \frac{A_1(r)}{r^2} \right]. \quad (6)$$

Полученные соотношения (5), (6) представляют собой систему двух обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка для нахождения неизвестных функций $A_1(r)$ и $A_2(r)$. Поиск решений (5), (6) проведём в поле комплексных чисел.

$$\alpha^2 \cdot \frac{d^2 z}{dr_1^2} + \frac{\alpha^2}{r_1} \cdot \frac{dz}{dr_1} - \alpha^2 \cdot \frac{z}{r_1^2} + i \cdot \frac{\omega_0}{\nu} \cdot z = 0, \quad (7)$$

где

$$z = A_2(r) + iA_1(r); \quad (8)$$

и введём параметр:

$$\alpha^2 = -\frac{i\omega_0}{\nu}. \quad (9)$$

Уравнение (7) можно привести к виду:

$$r_1^2 \cdot \frac{d^2 z}{dr_1^2} + r_1 \cdot \frac{dz}{dr_1} - (r_1^2 + 1) \cdot z = 0, \quad (10)$$

здесь r_1 – безразмерный аргумент, связанный с

радиальным размером соотношением:

$$r_1 = \sqrt{-\frac{i\omega_0}{\nu}} \cdot r = \sqrt{\frac{2\omega_0}{\nu}} \cdot (1-i) \cdot \frac{r}{2}. \quad (11)$$

С математической точки, уравнение (10) представляет собой уравнение Бесселя, решение которого является линейная комбинация модифицированных функций Бесселя $I_1(r_1)$ и $K_1(r_1)$:

$$z(r_1) = c_1 \cdot I_1(r_1) + c_2 \cdot K_1(r_1), \quad (12)$$

где c_1, c_2 – произвольные постоянные.

По данным работы [18] модифицированная функция Бесселя $I_1(r_1)$ является неограниченно возрастающей функцией при увеличении аргумента, а функция $K_1(r_1)$ с ростом аргумента наоборот монотонно убывающей.

В силу того, что функция $z(r_1)$ должна удовлетворять соотношению: $z(r_1 \rightarrow \infty) < \infty$, где неравенство означает ограниченность функции (12), а его применение к выражению (12) приводит к необходимости приравнять к нулю первое слагаемое этой функции, необходимо положить равенство нулю произвольной постоянной c_1 .

Поэтому решение уравнения (10) имеет вид:

$$z(r) = c_2 K_1 \left(\sqrt{\frac{2\omega_0}{\nu}} (1-i) \cdot \frac{r}{2} \right). \quad (13)$$

Постоянную величину c_2 можно найти из начального условия:

$$z(r = R_0) = v_0 = A_0 \omega_0, \quad (14)$$

где R_0 – радиус основания цилиндрической поверхности пуансона.

Решение уравнения (3) можно привести к виду:

$$v_r = A_p(r) \sin(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (15)$$

где:

$$A_p(r) = \sqrt{A_1^2(r) + A_2^2(r)}, \quad (16)$$

$$\varphi_0 = \arctg \frac{A_2(r)}{A_1(r)}. \quad (17)$$

Применив (14) к решению уравнения (13) находим:

$$c_2 = \frac{A_0 \omega_0}{K_1 \left(\sqrt{\frac{2\omega_0}{\nu}} (1-i) \frac{R_0}{2} \right)}. \quad (18)$$

На основании решения (13) с учётом (18) находим:

$$A_2(x) = A_0 \omega_0 \cdot \sqrt{\frac{R_0}{r}} \cdot e^{-\left(\frac{r-R_0}{l}\right)} \cdot \cos\left(\frac{r-R_0}{l}\right), \quad (19)$$

$$A_1(x) = A_0 \omega_0 \cdot \sqrt{\frac{R_0}{r}} \cdot e^{-\left(\frac{r-R_0}{l}\right)} \cdot \sin\left(\frac{r-R_0}{l}\right), \quad (20)$$

где l – кратчайшее расстояние от цилиндрической поверхности пуансона с радиусом R_0 до рассматриваемой колеблющейся в бетонной среде частицы (глубина проникновения колебаний).

Подстановка (19) и (20) в (15) и (14) приводит к следующему результату:

$$A_p(r) = A_0 \omega_0 \cdot \sqrt{\frac{R_0}{r}} \cdot \exp\left(-\sqrt{\frac{\omega_0}{2\nu}} \cdot (r-R_0)\right), \quad (21)$$

$$\varphi_0 = \arctg \left(\text{ctg} \left(\sqrt{\frac{\omega_0}{2\nu}} (r-R_0) \right) \right). \quad (22)$$

Полученные соотношения (21) и (22) определяют соответственно изменение амплитуды и сдвига фазы скорости распространения колебаний в вязкой бетонной среде.

Основная часть. Полученные выражения применим к описанию поэтапного виброуплотнения бетонной смеси виброформой с цилиндрической поверхностью пуансонов, состоящей из двух частей и колеблющихся с различными частотами и амплитудами [19]. Построим графические зависимости изменения амплитуды и сдвига фазы скорости распространения колебаний от частоты колебаний поверхности пуансонов ω_0 и радиального размера r . Примем радиус цилиндрической поверхности пуансона, в соответствии с промышленно изготавливаемыми изделиями, $R_0 = 0,078$ м, а плотность бетонной смеси ρ равной 2400 кг/м^3 .

Графики функций $A_p(r)$ от ω_0 при $r = 0,078 \dots 0,100$ м (рис. 2) имеют монотонно возрастающий характер до некоторых значений ω_0 , различных для каждой из частей виброформы. Из зависимостей следует, что с увеличением частоты колебаний ω_0 первой части виброформы от 35 Гц до 55 Гц, при амплитуде $A_0 = 0,0007$ м (рис. 2, а), амплитуда скорости распространения колебаний у основания поверхности пуансона возрастает линейно с 0,0255 до 0,0385 м/с, т.е. на 50,9 %. Меньший прирост амплитуды скорости распространения колебаний у основания цилиндрической поверхности пуансона наблюдается для второй части виброформы. Так, при $A_0 = 0,0004$ м, изменение частоты колебаний ω_0 от 55 Гц до 75 Гц и постоянной $r = 0,078$ м, приводит к возрастанию $A_p(r)$ на 0,008 м, т.е. на 36,4 %. Значения амплитуды скорости распространения колебаний $A_p(r)$ зависят и от величины амплитуды колебаний поверхности цилиндра A_0 .

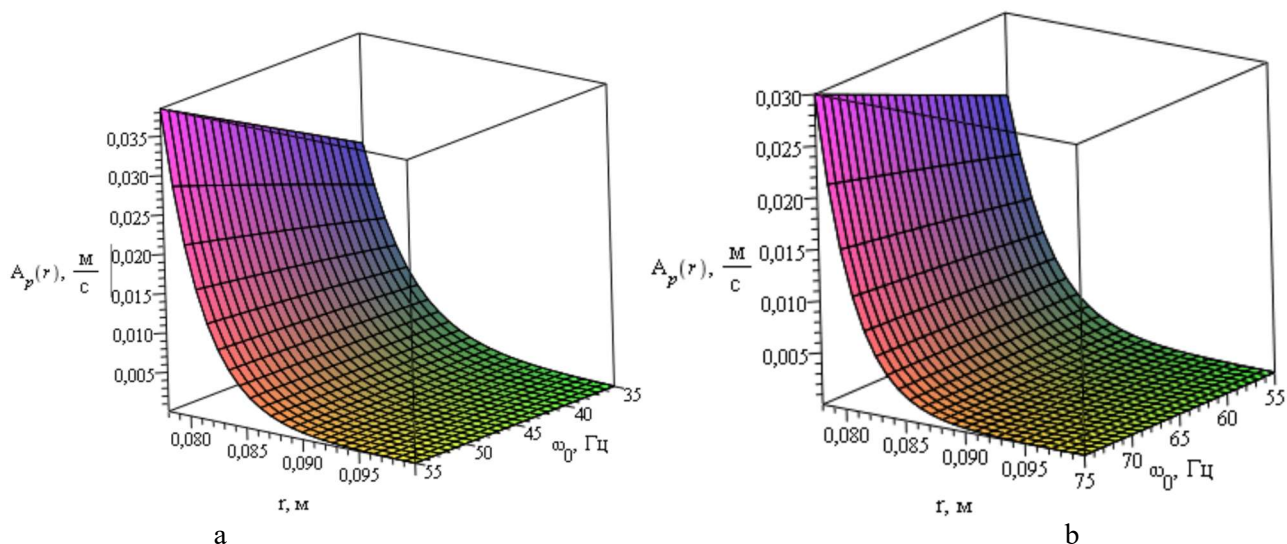


Рис. 2. Зависимости изменения амплитуды скорости распространения колебаний $A_p(r)$ от частоты колебаний поверхности цилиндрического пуансона ω_0 и радиального размера r : a – для первой части виброформы при $A_0 = 0,0007$ м; b – для второй части виброформы при $A_0 = 0,0004$ м

Рассмотрим изменение величины $A_p(r)$ на исследуемом диапазоне значений r . Изменение амплитуды скорости распространения колебаний $A_p(r)$, при удалении частицы материала от поверхности пуансона, носит нелинейный резко убывающий характер. Это характеризует затухание колебаний на относительно небольшой, в сравнении с R_0 , глубине их проникновения. По мере затухания колебаний изменяется характер зависимости $A_p(r)$ от ω_0 . Так, для первой части виброформы при радиальном размере $r = 0,085$ м (глубина проникновения колебаний $l = 0,007$ м) наблюдается отсутствие влияния частоты колебаний поверхности цилиндрического пуансона

ω_0 на изменение величины амплитуды скорости распространения колебаний, которая принимает значение $A_p(r) = 0,0043$ м/с (рис. 2, a). Для второй части виброформы аналогичное явление наблюдается при $r = 0,084$ м ($l = 0,006$ м), где величина амплитуды скорости распространения колебаний принимает значение $A_p(r) = 0,0034$ м/с (рис. 2, b). Амплитуда скорости распространения колебаний, по мере отдалённости от поверхности пуансона, в бетонной среде первой части виброформы уменьшается в 8,2 раза, а во второй части виброформы – в 8,8 раза.

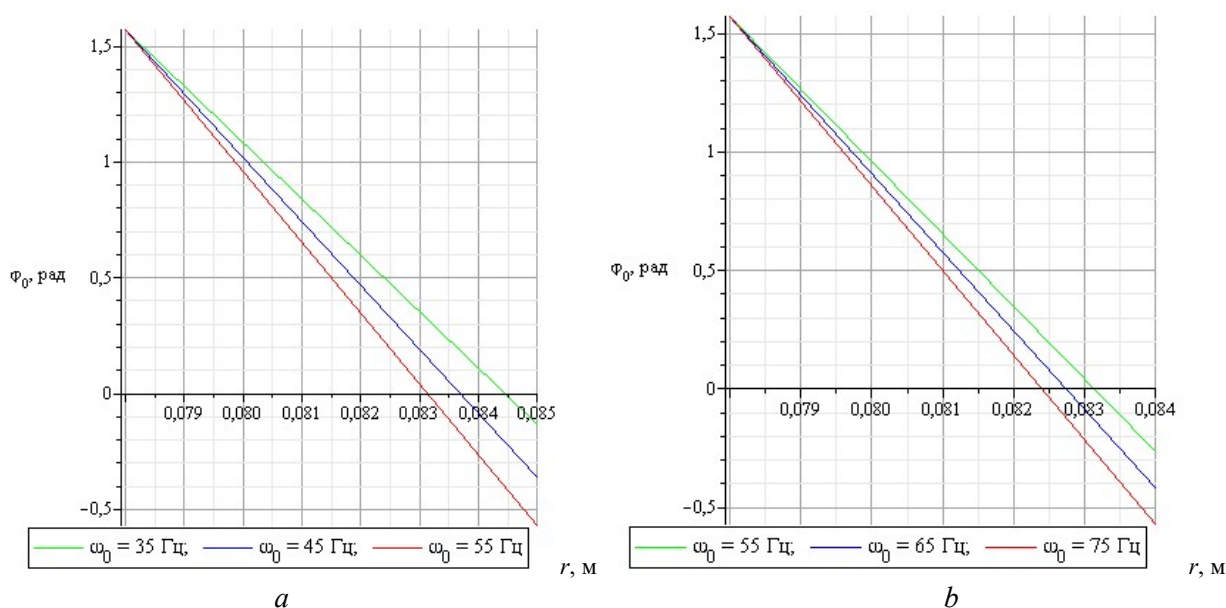


Рис. 3. Зависимости изменения сдвига фазы скорости распространения колебаний φ_0 от радиального размера r : a – для первой части платформы при $A_0 = 0,0007$ м; b – для второй части платформы при $A_0 = 0,0004$ м

Графические зависимости изменения сдвига фазы скорости распространения колебаний φ_0 от r , (рис. 3), носят линейный, убывающий характер. По мере удаления частиц материала от поверхности пуансона изменяется фаза скорости распространения колебаний. При этом величина промежутка с положительной фазой скорости распространения колебаний зависит от частоты колебаний поверхности пуансонов ω_0 . Так в промежутке, ограниченном поверхностью пуансона и $r = 0,0832$ м, при $\omega_0 = 55$ Гц, скорость распространения колебаний имеет положительную фазу, за его пределами – отрицательную. Для второй части виброформы при $\omega_0 = 75$ Гц рассматриваемые промежутки разделяются радиальным размером $r = 0,0824$ м.

Выводы.

1. Получены аналитические выражения, позволяющие описать изменения амплитуды и сдвига фазы скорости распространения колебаний в вязкой бетонной среде применительно к виброформе с цилиндрическими пуансонами.

2. С использованием построенных графических зависимостей для виброформы с пуансонами радиусом $R_0 = 0,078$ м выполнен анализ исследуемых параметров в зависимости от частоты колебаний их поверхностей ω_0 (для первой части виброформы $\omega_0 = 35...55$ Гц, для второй – $55...75$ Гц), радиального размера r ($r = 0,078...0,100$ м) при амплитуде колебаний $A_0 = 0,0004$ м и $A_0 = 0,0007$ м соответственно первой и второй частей виброформы.

3. Установлено влияние на изменение амплитуды и сдвига фазы скорости распространения колебаний в вязкой бетонной среде частоты и амплитуды колебаний поверхностей пуансонов, радиального размера r .

Источники финансирования. Статья подготовлена в рамках программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Михайлов К.В., Волков Ю.С. Сборный железобетон: история и перспективы // Научно-технический и производственный журнал. Бетон и железобетон. М.: Изд-во Ладья, 2007. №5 С. 8–12.

2. Huijben F., Van Herwijnen F., Nijssse R. Concrete shell structures revisited: Introducing a new 'low-tech' construction method using vacuumatics formwork. Structural Membranes – 5th International Conference on Textile Composites and Inflatable Structures. 2011. 409 p.

3. Вагнер Е.С., Супруненко Е.Ю. Безопалубочное формование как перспективная технология производства ЖБИ // Достижения вузовской

науки. Новосибирск: ООО «Центр развития сотрудничества». 2014. № 9. С. 108–113.

4. Мут А.Р. Современные технологии производства ЖБИ // Бетон и железобетон. 2009. №2. С. 20–23.

5. Уткин В.В., Уткин В.Л., Уткин Л.В. Безопалубочное формование железобетона. М.: Изд-во ООО «Папирус», 2015. 226 с.

6. Свищ И.С., Дмитриев А.А. Технология изготовления предварительно-напряженных многопустотных плит перекрытия непрерывного формования по технологии «Тэнсиланд» // Национальная академия природоохранного и курортного строительства. С.340–344.

7. Романов Е.С., Капырин П.Д. Современные технологические линии для производства плит перекрытий // Вестник МГСУ. 2011. № 4. С. 499–508.

8. Копша С.П. Технология безопалубочного формования – ключ к модернизации промышленности и снижению себестоимости // Технологии бетонов. 2013. №11. С. 29–33.

9. Копша С.П., Заикин В.А. Оборудование для непрерывного виброформования. Анализ рынка и критерии выбора // ЖБИ и конструкции. 2014. № 3. С. 40–45.

10. Pantoja Pinazo, Vicente y Azcona Chico, José Luis. Patente de invencion ES 2245522, Int. Cl.⁷ B28B 1/08. Máquina de vigas de hormigón / Pantoja Pinazo, Vicente y Azcona Chico, José Luis. – Titular/es: EXCLUSIVAS RESIMART IBÉRICA, S.L. Número de solicitud: 009601546; Fecha de presentación 10.07.1996; Fecha de publicación de la solicitud: 01.01.2006; Fecha de publicación del folleto de la patente: 16.03.2007.

11. D. José Pinos Sallent. Patente de invencion ES 538447, Int. Cl.⁴ B28B 23/02. Mejoras introducidas en las maquinas para la fabricacion continua de piezas de hormigon armado / D. José Pinos Sallent. – Solicitante PRENSOLAND, S.A. Fecha de presentacion 10 DIC. 1984; 8507036.

12. Huang J., Pei J., Li Y., Yang H., Li R., Zhang J., Wen Y. Investigation on aggregate particles migration characteristics of porous asphalt concrete (PAC) during vibration compaction process. Construction and Building Materials. 2020. Vol. 243. No 118153. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118153.

13. Nazarenko I., Gaidaichuk V., Dedov O., Diachenko, O. Investigation of vibration machine movement with a multimode oscillation spectrum. Eastern European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 6, Issue 1-90. Pp. 28–36. doi: 10.15587/1729-4061.2017.118731.

14. Герасимов М.Д., Мкртычев О.В., Герасимов Д.М. Методика определения величины раз-

балансировки планетарного вибратора направленных колебаний // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 1. С. 107–110.

15. Sharapov R., Vasiliev V. Analysis of the spectrum distribution of oscillation amplitudes of the concrete mix at shock vibration molding. MATEC Web of Conferences. XXVI R-S-P Seminar 2017, Theoretical Foundation of Civil Engineering. 2017. Vol. 117, No 00152. doi: 10.1051/mateconf/201711700152.

16. Батяновский Э.И., Бондарович А. И. Вибропрессованный бетон: технология и свойства. Минск: БНТУ, 2018. 263 с.

17. Pivinskii Yu.E. Refractory concretes of a new generation. Vibrorheology. Vibration methods

of compacting and forming. Refractories. 1994. Vol. 35, Issue 7. Pp. 211220. doi: 10.1007/BF02310375.

18. Абрамовица М., Стиган И. Справочник по специальным функциям. М.: НАУКА, 1979. 832 с.

19. Пат. 186574, Российская Федерация, МПК В28В 1/08, В13В 1/02, В28В 15/00. Машина для непрерывного виброформования бетонных и железобетонных изделий / И.В. Кирилов, С.И. Ханин; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова». №2018139138; заявл. 06.11.2018; опубл. 24.01.2019, Бюл. № 3. 10 с.

Информация об авторах

Кирилов Игорь Викторович, ассистент кафедры механического оборудования. E-mail: igor_kirilov_1989@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Ханин Сергей Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры механического оборудования. E-mail: dh@intbel.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Воронов Виталий Павлович, кандидат физико-математических наук, профессор кафедры механического оборудования. E-mail: v.p.voronov@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 12.02.2020

© Кирилов И.В., Ханин С.И., Воронов В.П., 2020

**Kirilov I.V., Khanin S.I., Voronov V.P.*

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: igor_kirilov_1989@mail.ru*

CHARACTERISTICS OF VIBRATIONS OF VISCOUS CONCRETE MEDIUM IN A VIBROFORM WITH CYLINDRICAL PUNCHES

Abstract. *The relevance of using volumetric vibroforming machines in the production of reinforced concrete products is considered. A step-by-step vibration effect created by the cylindrical surface of a punch fixed to the vibration form of a continuous formless forming machine is described. The expediency of achieving effective compaction by changing the vibration velocity is proved. The spread of vibration by a punch immersed in a viscous concrete medium is described. Analytical expressions describing changes in amplitude and phase variations of vibration propagation velocity in viscous concrete medium are obtained. Using the obtained analytical expressions, the corresponding graphical dependencies characterizing the impact on the concrete medium vibroform with punches, consisting of two parts that oscillate with different amplitude and frequency characteristics are constructed. The influence of the radial size of cylindrical punch surface, frequency and amplitude of its oscillations on the change of amplitude and phase shift of vibration propagation velocity is established.*

Keywords: *cylindrical punch, viscous concrete medium, vibration, amplitude, frequency, speed.*

REFERENCES

1. Mikhailov K.V., Volkov Yu.S. Precast concrete: history and prospects [Sbornyj zhelezobeton: istoriya i perspektivy]. Scientific, technical and production journal. Concrete and reinforced concrete. Moscow: Publishing house Rook, 2007. No. 5. Pp. 8–12. (rus)

4. Huijben F, Van Herwijnen F. & Nijssse R. Concrete shell structures revisited: Introducing a new 'low-tech' construction method using vacuumatics formwork. Structural Membranes – 5th International Conference on Textile Composites and Inflatable Structures. 2011. 409 p.

5. Wagner E.S., Suprunenko E.Yu. Formless molding as a promising production technology for

precast concrete products [Bezopalubochnoe formovanie kak perspektivnaya tekhnologiya proizvodstva ZHBI]. Achievements of university science. Novosibirsk: LLC Center for Development of Cooperation. 2014. No. 9. Pp. 108–113. (rus)

6. Mut A.R. Modern production technologies for reinforced concrete products [Sovremennye tekhnologii proizvodstva ZHBI]. Concrete and reinforced concrete. 2009. No2. Pp. 20–23. (rus)

7. Utkin V.V., Utkin V.L., Utkin L.V. Formwork-free reinforced concrete molding. [Bezopalubochnoe formovanie zhelezobetona]. Moscow: Publishing house LLC Papirus, 2015. 226 p. (rus)

8. Svishch I.S., Dmitriev A.A. The manufacturing technology of prestressed multi-hollow continuous slabs of continuous molding according to the Tensiland technology [Tekhnologiya izgotovleniya predvaritel'no-napryazhennyh mnogopustotnyh plit perekrytiya nepreryvnogo formovaniya po tekhnologii «Tensiland»]. National Academy of Environmental and Resort Construction. Pp.340–344. (rus)

9. Romanov E.S., Kapyrin P.D. Modern technological lines for the production of floor slabs [Sovremennye tekhnologicheskie linii dlya proizvodstva plit perekrytij]. Bulletin of MGSU. 2011. No. 4. Pp. 499–508. (rus)

10. Kopsha S.P. Formless molding technology is the key to industrial modernization and cost reduction [Tekhnologiya bezopalubochnogo formovaniya – klyuch k modernizacii promyshlennosti i snizheniyu sebestoimosti]. Concrete Technologies. 2013. No. 11. Pp. 29–33. (rus)

11. Kopsha S.P., Zaikin V.A. Equipment for continuous vibroforming. Market analysis and selection criteria [Oborudovanie dlya nepreryvnogo vibroformovaniya. Analiz rynka i kriterii vybora]. Reinforced Concrete Products and Structures. 2014. No. 3. Pp. 40–45. (rus)

12. Pantoja Pinazo, Vicente y Azcona Chico, José Luis. Patente de invencion ES 2245522, Int. Cl.⁷ B28B 1/08. Máquina de vigas de hormigón / Pantoja Pinazo, Vicente y Azcona Chico, José Luis. – Titular/es: EXCLUSIVAS RESIMART IBÉRICA, S.L. Número de solicitud: 009601546; Fecha de presentación 10.07.1996; Fecha de publicación de la solicitud: 01.01.2006; Fecha de publicación del folleto de la patente: 16.03.2007.

13. D. José Pinos Sallent. Patente de invencion ES 538447, Int. Cl.⁴ B28B 23/02. Mejoras introducidas en las maquinas para la fabricacion continua de piezas de hormigon armado / D. José Pinos Sallent. – Solicitante PRENSOLAND, S.A. Fecha de presentacion 10 DIC. 1984; 8507036.

14. Huang J., Pei J., Li Y., Yang H., Li R., Zhang J., Wen Y. Investigation on aggregate particles migration characteristics of porous asphalt concrete (PAC) during vibration compaction process. Construction and Building Materials. 2020. Vol. 243. No 118153. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118153.

15. Nazarenko I., Gaidaichuk V., Dedov O., Diachenko O. Investigation of vibration machine movement with a multimode oscillation spectrum. Eastern European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 6, Issue 1-90. Pp. 28–36. doi: 10.15587/1729-4061.2017.118731.

16. Gerasimov M.D., Mkrtychev O.V., Gerasimov D.M. Methodology for determining the magnitude of the imbalance of the planetary vibrator of directed vibrations [Metodika opredeleniya velichiny razbalansirovki planetarnogo vibratora napravlennykh kolebanij]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 1. Pp. 107–110. (rus)

17. Sharapov R., Vasiliev V. Analysis of the spectrum distribution of oscillation amplitudes of the concrete mix at shock vibration molding. MATEC Web of Conferences. XXVI R-S-P Seminar 2017, Theoretical Foundation of Civil Engineering. 2017. Vol. 117. No 00152. doi: 10.1051/mateconf/201711700152.

18. Balyanovsky E.I., Bondarovich A.I. Vibro-pressed concrete: technology and properties [Vibro-pressovannyj beton: tekhnologiya i svoystva]. Minsk: BNTU, 2018. 263 p. (rus)

19. Pivinskii Yu.E. Refractory concretes of a new generation. Vibrorheology. Vibration methods of compacting and forming. Refractories. 1994. Vol. 35, Issue 7. Pp. 211220. doi: 10.1007/BF02310375.

20. Abramovitsa M., Stigan I. Handbook of special functions [Spravochnik po special'nym funkciyam]. Moscow: SCIENCE, 1979. 832 p. (rus)

21. Kirilov I.V., Khanin S.I. Machine for continuous vibroforming of concrete and reinforced concrete products. Patent RF, no. 2018139138, 2019.

Information about the authors

Kirilov, Igor V. Assistant. E-mail: igor_kirilov_1989@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Khanin, Sergei I. DSc, Professor. E-mail: dh@intbel.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Voronov, Vitaly P. PhD, Professor E-mail: v.p.voronov@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 12.02.2020

Для цитирования:

Кирилов И.В., Ханин С.И., Воронов В.П. Характеристики виброколебаний вязкой бетонной среды в виброформе с цилиндрическими пуансонами // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 4. С. 114–121. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-114-121

For citation:

Kirilov I.V., Khanin S.I., Voronov V.P. Characteristics of vibrations of viscous concrete medium in a vibroform with cylindrical punches. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 4. Pp. 114–121. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-114-121