

17,0 – 22,8% , что позволяет уменьшить расход цемента на 12 – 15%. Наибольший эффект дает вибра-

ционная обработка цементобетонных смесей жесткостью $J=30 - 60$ с.

Выводы

Получены теоретические зависимости, позволяющие определить закон движения вибрационного лотка и обосновать рациональные параметры вибрационного оборудования для обработки цементобетонных смесей.

Литература

1. Маслов А.Г. Вибрационные машины и процессы в дорожно-строительном производстве. Монография / А.Г. Маслов, Ю.С. Саленко. – Кременчук: ПП Щербатих О.В., 2014. – 262 с.
2. Маслов А.Г. Вибрационные машины для приготовления и уплотнения бетонных смесей. Монография / А.Г. Маслов, А.Ф. Иткин, Ю.С. Саленко. – Кременчук: ЧП Щербатых А.В., 2014. – 324 с.

УДК 666.97

Иткин А.Ф.¹

РАЗРАБОТКА ВИБРАЦИОННОЙ ПЛОЩАДКИ С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ И ПРИГРУЗОЧНОЙ ПЛИТОЙ

АНОТАЦІЯ. Описано конструкція і принцип дії вібраційної площадки з вертикальними коливаннями і пригрузочною плитою, призначеної для формування бетонних і залізобетонних виробів з жорстких цементобетонних сумішей. Отримано залежності, що описують вимушені коливання віброуючої рами віброплощадки і пригрузочної плити в робочому режимі формування бетонних виробів.

Ключові слова: вібраційна площадка, конструкція, ущільнюване середовище, закон руху.

SUMMARY. The design and principle of operation of the vibration platform with vertical fluctuations and plate for crushing, intended for the molding of concrete products from tough cement concrete mixtures. The dependences describing the forced vibrations of a vibrating frame vibrating pad and plate for crushing the operating mode of the molding of concrete products.

Keywords: vibration platform, design, sealed environment, the law of motion.

Введение. В результате теоретических и экспериментальных исследований [1] было установлено, что виброплощадки, оборудованные вибрирующим столом, имеющим вертикально направленные колебания, целесообразно использовать для формования малогабаритных бетонных и железобетонных изделий. В случае оснащения вибрирующих столов, серийно выпускаемыми электромеханическими вибровозбудителями круговых колебаний, виброплощадки могут иметь сравнительно несложную конструкцию [2]. В этом случае должна быть обеспечена устойчивая самосинхронизация вибровозбудителей колебаний, дебалансные валы которых вращаются в противоположном направлении относительно друг друга [3]. Для эффективного уплотнения жестких и сверхжестких бетонных смесей целесообразно использовать пригрузочную плиту, устанавливаемую на бетонную смесь в процессе формования изделий [4].

Для определения рациональных параметров виброплощадки с вертикальными колебаниями и пригрузочной плитой, отвечающей выше приведенным требованиям необходимо исследовать динамическую систему «виброплощадка – формируемая смесь – пригрузочная плита», в которой уплотняемую смесь целесообразно представить в виде сплошной среды с распределенными параметрами.

Цель и задачи исследования. Целью настоящих исследований является обоснование рациональных параметров виброплощадки на основании исследований распространения волн деформаций в уплотняемой среде.

Изложение основного материала. На рис. 1 представлена схема виброплощадки с вертикальными колебаниями и пригрузочной плитой при виде сбоку. Виброплощадка имеет рамную конструкцию. Несущая часть вибрирующей рамы 1 выполнена из швеллеров, на которых жестко закреплен опорный лист. В качестве амортизаторов 2 используются пружины сжатия. На вибрирующей раме 1 закреплены 2 вибровозбудителя круговых колебаний 4 и 5, дебалансные валы которых 6 и 7 имеют противоположное направление вращения. При этом в основу создания виброплощадок с вертикально направленными колебаниями положен принцип самосинхронизации вибровозбудителей круговых колебаний с противоположным направлением вращения [3].

Для определения закономерностей колебаний виброплощадки с вертикальными колебаниями и пригрузочной плитой, исследуем динамическую систему «виброплощадка – формируемая смесь – пригрузочная плита», в которой уплотняемая смесь представлена в виде сплошной среды с распределенными параметрами.

¹ Иткин А.Ф., докт.техн.наук, доцент

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского.

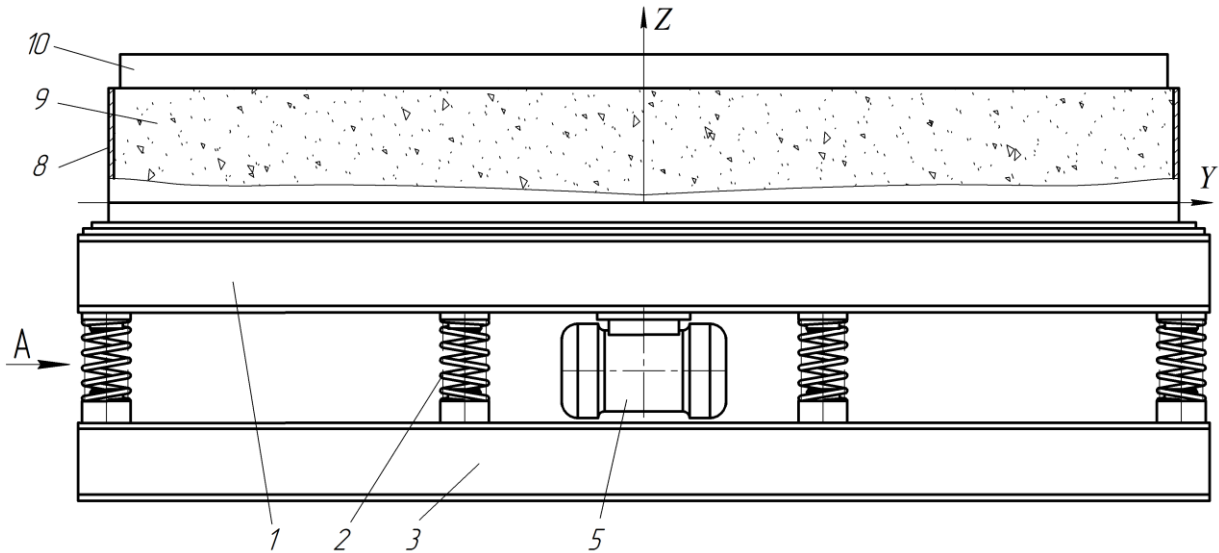


Рисунок 1. Расчетная схема виброплощадки с вертикальными колебаниями и пригрузочной плитой: 1 – вибрирующая рама; 2 – упругие амортизаторы; 3 – опорная рама; 4, 5 – вибровозбудители колебаний; 6, 7 – дебалансы; 8 – форма; 9 – бетонная смесь; 10 – пригрузочная плита.

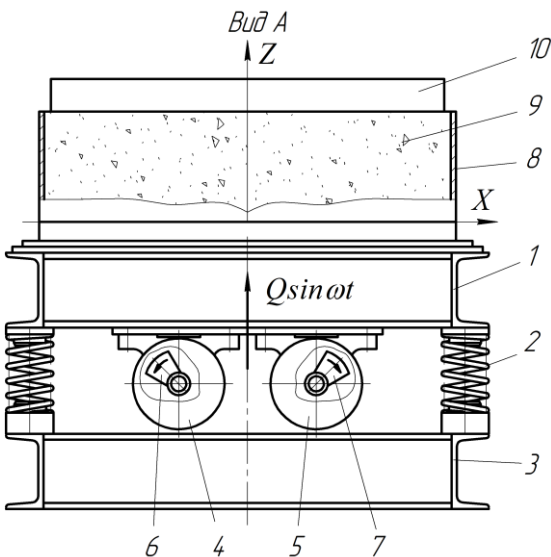


Рисунок 2. Вид А на рис. 1.

Для описания движения уплотняемой смеси в направлении координаты z за время t используем следующее волновое уравнение колебаний [5]:

$$E \frac{\partial^2 \psi(z,t)}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 \psi(z,t)}{\partial z^2 \partial t} = \rho \frac{\partial^2 \psi(z,t)}{\partial t^2}, \quad (1)$$

где z – координата по оси Z от дна формы до уплотняемой поверхности; ψ – смещение слоя смеси соответствующее координате z ; E – модуль деформации уплотняемой среды при динамической нагрузке; η – коэффициент сопротивления уплотняемой среды при динамической нагрузке; ρ – плотность уплотняемой среды.

Решение волнового уравнения колебаний (1) может быть найдено при следующих граничных условиях:

– при взаимодействии уплотняемой среды с дном формы 1,

$$-m \frac{\partial^2 \psi(0,t)}{\partial t^2} - c_3 \psi(0,t) + EF \frac{\partial \psi(0,t)}{\partial z^2} + \eta F \frac{\partial^2 \psi(0,t)}{\partial z \partial t} + Q \sin \omega t = 0; \quad (2)$$

– при взаимодействии уплотняемой среды с пригрузочной плитой,

$$EF \frac{\partial \psi(H,t)}{\partial z} + \eta F \frac{\partial^2 \psi(H,t)}{\partial z \partial t} + m_2 \frac{\partial^2 \psi(H,t)}{\partial t^2} = 0, \quad (3)$$

где m – масса вибрирующей рамы вместе с формой; m_2 – масса пригрузочной плиты; c_3 – коэффициент жесткости амортизаторов; Q – амплитуда возмущающих сил вибровозбудителей колебаний; ω – угловая частота вынужденных колебаний; F – площадь дна формы, контактирующая с формируемой бетонной смесью; H – высота формируемого изделия.

Решение волнового уравнения колебаний (1), удовлетворяющее граничным условиям (2 и 3), представим в следующем виде:

$$\begin{aligned} \psi(z,t) = & \frac{Q}{\sqrt{R_e^2 + R_i^2}} \langle \{ \lambda_2 e^{-\alpha(2H-z)} \times \\ & \times \cos[k(2H-z) + \varphi_2] + \\ & + e^{-\alpha z} \cos kz \} \sin(\omega t - \theta) - \\ & - \{ \lambda_2 e^{-\alpha(2H-z)} \sin[k(2H-z) + \varphi_2] + \\ & + e^{-\alpha z} \sin kz \} \cos(\omega t - \theta) \rangle. \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь R_e и R_i – упругая и диссипативная составляющие динамической характеристики рассматриваемой системы соответственно;

$$R_e = (c_3 - m\omega^2)[1 + e^{-2\alpha H} \lambda_2 \cos(2kH + \varphi_2)] + EF[\alpha - Z_1 \cos(2kH - \varphi_1)] - \eta\omega F[k + Z_1 \sin(2kH - \varphi_1)]; \quad (5)$$

$$R_i = EF[k + Z_1 \sin(2kH - \varphi_1)] + \eta\omega F[\alpha - Z_1 \cos(2kH - \varphi_1) - (c_3 - m\omega^2)e^{-2\alpha H} \times \lambda_2 \sin(2kH + \varphi_2)]; \quad (6)$$

α – коэффициент поглощения,

$$\alpha = \sqrt{\rho\omega^2 \left(-1 + \sqrt{1 + \chi^2} \right) / [2E(1 + \chi^2)]}; \quad (7)$$

$$\chi = \frac{\eta\omega}{E};$$

θ – угол сдвига фаз между упругой и диссипативной составляющих динамической характеристики исследуемой динамической системы,

$$\theta = \arctg \frac{R_i}{R_e}; \quad (8)$$

k – волновое число, $k = \omega/a$; a – скорость распространения возмущения в уплотняемой среде,

$$a = \sqrt{2E \cdot (1 + \chi^2) / [\rho \cdot (1 + \sqrt{1 + \chi^2})]}; \quad (9)$$

$$Z_1 = e^{-2\alpha H} (\alpha\xi_1 + k\lambda_1) \times \sqrt{\left(\frac{k\xi_1 - \alpha\lambda_1}{\alpha\xi_1 + k\lambda_1} \right)^2 + 1}; \quad (10)$$

$$\xi_1 = \frac{\lambda^2 - m_2^2\omega^4 + \xi^2}{(\lambda - m_2\omega^2)^2 + \xi^2}; \quad (11)$$

$$\lambda_1 = \frac{2\xi m_2 \omega^2}{(\lambda - m_2 \omega^2)^2 + \xi^2}. \quad (12)$$

$$\xi = F(kE + \alpha\eta\omega); \quad (13)$$

$$\lambda = F(\alpha E - k\eta\omega). \quad (14)$$

$$\lambda_2 = \sqrt{\lambda_1^2 + \xi_1^2}; \quad (15)$$

φ_1 и φ_2 – углы сдвига фаз;

$$\varphi_1 = \arctg \frac{k\xi_1 - \alpha\lambda_1}{\alpha\xi_1 + k\lambda_1}; \quad (16)$$

$$\varphi_2 = \arctg \frac{\lambda_1}{\xi_1}. \quad (17)$$

Таким образом, на основании решения волнового уравнения колебаний (1) получена закономерность (4), при помощи которой описывается поведение рассматриваемой динамической системы в зависимости от частоты и амплитуды возмущающих сил вибро-возбудителей колебаний, физико-механических свойств формуемой смеси, толщины формуемого слоя, массы вибрирующей рамы и массы пригрузочной плиты, жесткости амортизаторов. При $0 < z < H$ зависимость (4) описывает распространения волн деформаций в уплотняемой среде. При координате $z = 0$ зависимость (4) описывает закон движения нижнего слоя уплотняемой смеси, днища формы и вибрирующей рамы виброплощадки.

Подставляя зависимость (4) в выражение

$$\sigma(z, t) = E \frac{\partial \psi(z, t)}{\partial z} + \eta \frac{\partial^2 \psi(z, t)}{\partial z \partial t}, \quad (18)$$

можно определить напряжения, возникающие в уплотняемом слое бетонной смеси.

Выводы

В процессе проведения исследований было установлено, что существенное влияние на амплитуду колебаний подвижной рамы виброплощадки и амплитуду напряжений оказывают консистенция цементобетонной смеси, толщина уплотняемого слоя, его плотность и величина пригруза. С увеличением толщины уплотняемого слоя H и коэффициента относительной пластической деформации цементобетонной смеси амплитуда колебаний вибративной рамы виброплощадки уменьшается, а амплитуда напряжений, возникающих в основании уплотняемого слоя, возрастает и тем интенсивнее, чем больше величина пригруза. Величина напряжений, возникающих на поверхности уплотняемого слоя, практически не зависит от коэффициента относительной пластической деформации цементобетонной смеси, незначительно зависит от толщины уплотняемого слоя и существенно зависит только от величины пригруза.

Литература

- Иткин А.Ф. Сравнение теоретических и экспериментальных данных исследований виброплощадок с вертикально направленными колебаниями / А.Ф. Иткин, А.Г. Маслов // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету, вип. 1/2007 (42). Частина 2. – Кременчук, 2007. – с. 19 – 23.
- Маслов А.Г. Вибрационные машины для приготовления и уплотнения бетонных смесей / А.Г. Маслов, А.Ф. Иткин, Ю.С. Саленко. – Кременчук: ЧП Щербатых А.В., 2014. – 324 с.
- Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. - М. Машиностроение, 1981. Т.4. Вибрационные процессы и машины/ Под ред. Э.Э. Лавендела. 1981. - 509 с.
- Маслов А.Г. Теоретические основы вибрационного уплотнения цементобетонных смесей / А.Г. Маслов, А.Ф. Иткин // Вісник КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2004. – Вип. 5/2004 (28). – с. 45 – 49.
- Филиппов А.П. Колебания деформируемых систем / А.П. Филиппов. - М.: Машиностроение, 1970. – 736 с.