



УДК 666.97

## СОЗДАНИЕ ДВУХМАССНОЙ ВИБРАЦИОННОЙ ПЛОЩАДКИ ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Ю.С. Саленко, А.Г. Маслов, О.О. Колесник

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, м. Кременчук, 39600, kmt0.43@gmail.com

**АННОТАЦИЯ.** Описаны конструкция и принцип действия вибрационной площадки для формования бетонных изделий, содержащей подвижную раму с вибровозбудителем круговых колебаний и форму с бетонной смесью. При этом форма установлена на подвижной раме с помощью упругих прокладок. Представленная конструкция образует двухмассную резонансную систему, в которой подвижна рама выполняет роль активной массы, а форма является реактивной массой. Составлена расчетная схема динамической системы вибрационной установки при работе на холостом ходу. Получены уравнения движения подвижной рамы и формы в вертикальном и горизонтальном направлениях и определена закономерность изменения амплитуды колебаний активной и реактивной масс в зависимости от жесткости упругих амортизаторов, прокладок, частоты колебаний и масс формы и подвижной рамы. Определены рациональные режимы вибрационного воздействия на уплотняемую среду.

**Ключевые слова:** виброплощадка, подвижная рама, форма, вибровозбудитель колебаний, резонансная система.

## СТВОРЕННЯ ДВОМАСНОЇ ВІБРАЦІЙНОЇ ВІБРОПЛОЩАДКИ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ БЕТОННИХ ВИРОБІВ

Ю.С. Саленко, О.Г. Маслов, О.О. Колесник

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
ул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, kmt0.43@gmail.com

**АННОТАЦІЯ.** Описано конструкція і принцип дії вібраційної установки для формування бетонних виробів, що містить рухома раму з віброзбуджувачем кругових коливань і форму з бетонною сумішшю. При цьому форма встановлена на рухомій рамі за допомогою пружних прокладок. Представлена конструкція утворює двомасову резонансну систему, в якій рухома рама виконує роль активної маси, а форма є реактивною масою. Складена розрахункова схема динамічної системи вібраційної установки при роботі на холостому ходу. Отримано рівняння руху рухомої рами і форми в вертикально та горизонтальному напрямках і визначена закономірність зміни амплітуди коливань активної та реактивної мас залежно від жорсткості пружних амортизаторів, прокладок, частоти коливань і мас форми і рухомої рами. Визначено раціональні режими вібраційного впливу на ущільнюване середовище.

**Ключові слова:** виброплощадка, рухома рама, форма, віброзбудник коливань, резонансна система.

## CREATION OF TWO MASS VIBRATING MACHINES FOR FORMING CONCRETE PRODUCTS

Yu.S. Salenko, A.G. Maslov, O.O. Kolesnik

Kremenchuk National University named after Mikhail Ostrogradsky  
Pershotravneva str., 20, Kremenchuk, 39600, kmt0.43@gmail.com

**Abstract.** The design and principle of operation of vibration platform for molding concrete products containing movable frame with the exciter circular oscillation and the form with concrete mix. The form is installed on the movable frame by means of elastic gaskets. The design of dvuhmestnoe forms a resonance system in which a movable frame assumes the role of active mass, and form is a reactive mass. The settlement scheme of the dynamic system of the vibration is set up when idling. The equations of motion of the moving frame, and forms in vertical and horizontal directions and determine the change pattern of the amplitude fluctuations of active and reactive mass depending on the stiffness of the elastic shock absorbers,

*gaskets, frequency of oscillation and mass of shapes and the movable frame. Defined rational modes of vibration exposure to the sealed environment.*

**Keywords:** *vibrating platform, the moving frame, the shape, the exciter of vibrations, the resonant system.*

**Постановка проблемы.** Потребность промышленности в высококачественных дорожных изделиях из жестких бетонных смесей ставит задачу создания вибрационных машин для их производства. Такие вибромашины должны обеспечивать качественное уплотнение бетонной смеси, иметь простую конструкцию и низкую энергоемкость.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В настоящее время для формования бетонных изделий используют установки с круговыми [1, 2], вертикально направленными [3, 4] и пространственными колебаниями [5, 6].

Вибрационная установка, содержащая подвижную раму с вибровозбудителем круговых колебаний, предназначена для формования бетонных изделий из пластичных бетонных смесей, но не обеспечивает формирование жестких бетонных смесей, что ведет к перерасходу цемента [7].

Вибрационная установка, содержащая подвижную раму с вибровозбудителем вертикально направленных колебаний, снабженным шестеренным синхронизатором, обеспечивает формирование изделий из жестких бетонных смесей, но имеет сложное устройство и высокую энергоемкость, кроме того, она не обеспечивает качественное формирование бетонных изделий толщиной 60...80 мм [8, 9].

Поэтому актуальной задачей является создание вибрационной установки, которая сочетает в себе малый расход энергии и материала, простоту устройства и качественное формирование бетонных изделий больших толщин.

На эффективность работы вибрационной установки влияют такие параметры, как способ передачи воздействий уплотняемой смеси, точность учета и определения всех действующих в процессе уплотнения сил, возникающих в динамической системе, и физико-механические характеристики уплотняемой смеси.

К основным параметрам вибрационной установки, определяемым в процессе теоретических исследований и уточняемым в процессе экспериментальных исследований, относятся: масса подвижной рамы и формы; частота и амплитуда возмущающей силы возбудителя колебаний; жесткость упругих амортизаторов и прокладок; линейные перемещения подвижной рамы и формы, измеряемые по вертикали и горизонтали в направлении координатных осей  $X$  и  $Y$  под действием гармонических возмущающих сил  $Q \sin \omega t$  и  $Q \cos \omega t$  соответственно и др.

**Цель и задачи исследования.** Цель настоящих исследований является разработка научных предпосылок для создания двухмассной виброплощадки, имеющей сравнительно простую конструкцию и малые затраты энергии на формирование изделий из жестких цементобетонных смесей.

#### **Изложение основного материала.**

Двухмассная вибрационная площадка для формования цементобетонных изделий (рис. 1) состоит из подвижной рамы 1, на которой смонтирован вибрационный возбудитель круговых колебаний 2. Подвижная рама 1 посредством упругих амортизаторов 3 смонтирована на опорной раме 4. На подвижной раме 1 также жестко закреплены призмы 5 прямоугольной формы, на верхней стороне которых закреплены упругие прокладки 6. Форма 7 опирается своим днищем на упругие прокладки.

Работает двухмассная вибрационная площадка следующим образом.

Форма 7 устанавливается на упругие прокладки 6, жестко закрепленные на призмах 5, и заполняется бетонной смесью 8. Включается вибрационный возбудитель круговых колебаний 2, который сообщает подвижной раме колебания в вертикальном направлении. При этом подвижная рама 1 через призмы 2 и упругие прокладки 6 передает форме 7 вертикально направленные колебания. При этом возможны два режима колебаний:



вибрационный гармонический и виброударный. Для осуществления гармонических колебаний форма прикрепляется к упругим прокладкам. Для осуществления виброударных колебаний форма должна свободно опираться на упругие прокладки. В результате при движении подвижной рамы 1 вверх в этом же направлении перемещается и форма 7, а при движении подвижной рамы 1 вниз форма 6 отстает от упругих прокладок 6 и свободно падает до соударения с прокладками 7 уже движущейся вверх подвижной рамы. В результате такого закона движения форма 7, а вместе с ней и бетонная смесь 8 подвергаются виброимпульсному воздействию. Причем, в результате удара формы 1 об упругие прокладки 6 дополнительно на основную гармонику колебаний накладываются высокочастотные гармоники колебаний. Такой режим работы обеспечивает эффективное уплотнение жестких бетонных смесей, поскольку исключается из процесса формирования бетонных изделий фаза разуплотнения бетонной смеси при принудительном движении формы вниз.

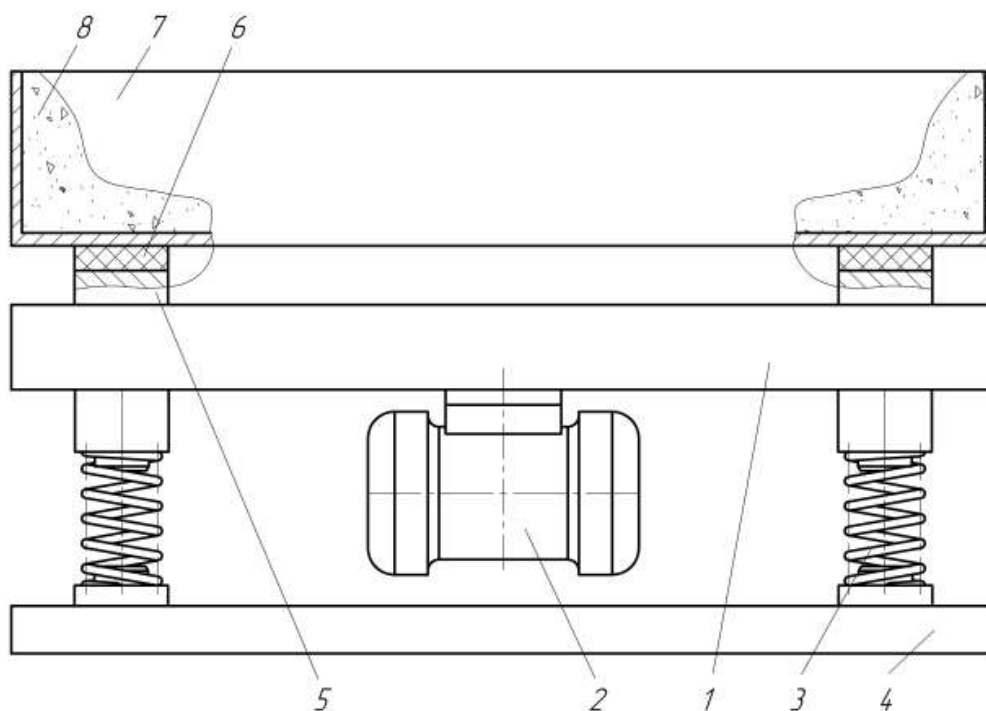


Рис. 1. Общий вид двухмассной виброплощадки для формирования бетонных изделий

К основным параметрам и показателям эффективности работы вибрационной установки для формирования бетонных изделий, подлежащим определению или уточнению в процессе теоретических исследований, относятся:

- жесткость упругих амортизаторов и прокладок;
- масса подвижной рамы и формы;
- линейные перемещения подвижной рамы и формы по вертикали и горизонтали в направлении координатных осей  $X$ ,  $Y$  под действием гармонических возмущающих сил  $Q \sin \omega t$  и  $Q \cos \omega t$  соответственно;
- коэффициент диссипации амортизаторов и упругих прокладок в вертикальном и горизонтальном направлениях;
- углы сдвига фаз между возмущающими силами и перемещениями подвижной рамы и формы в направлении координат  $X$  и  $Y$ ;
- амплитуда возмущающей силы вибрационного возбудителя круговых колебаний;
- активная и реактивная амплитуды колебаний в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Для определения законов колебаний подвижной рамы и формы рассмотрим расчетную схему двухмассной виброплощадки для формирования бетонных изделий (рис. 2).

Перемещения рассматриваемой двухмассной динамической системы будем рассматривать под действием вибровозбудителя колебаний, дебалансы которого генерируют возмущающую силу  $Q$ . Эту силу можно разложить на вертикальную  $Q_1 = Q \sin \varphi = Q \sin \omega t$  и горизонтальную  $Q_2 = Q \cos \varphi = Q \cos \omega t$  составляющие.

Здесь  $Q$  – амплитуда возмущающей силы вибродвижителя колебаний;  $\varphi$  – угол, определяющий поворот возмущающей силы относительно горизонтали;  $\omega$  – угловая частота вращения дебалансных валов вибродвижителя колебаний, которая определяет частоту вынужденных колебаний подвижной рамы и формы;  $t$  – время.

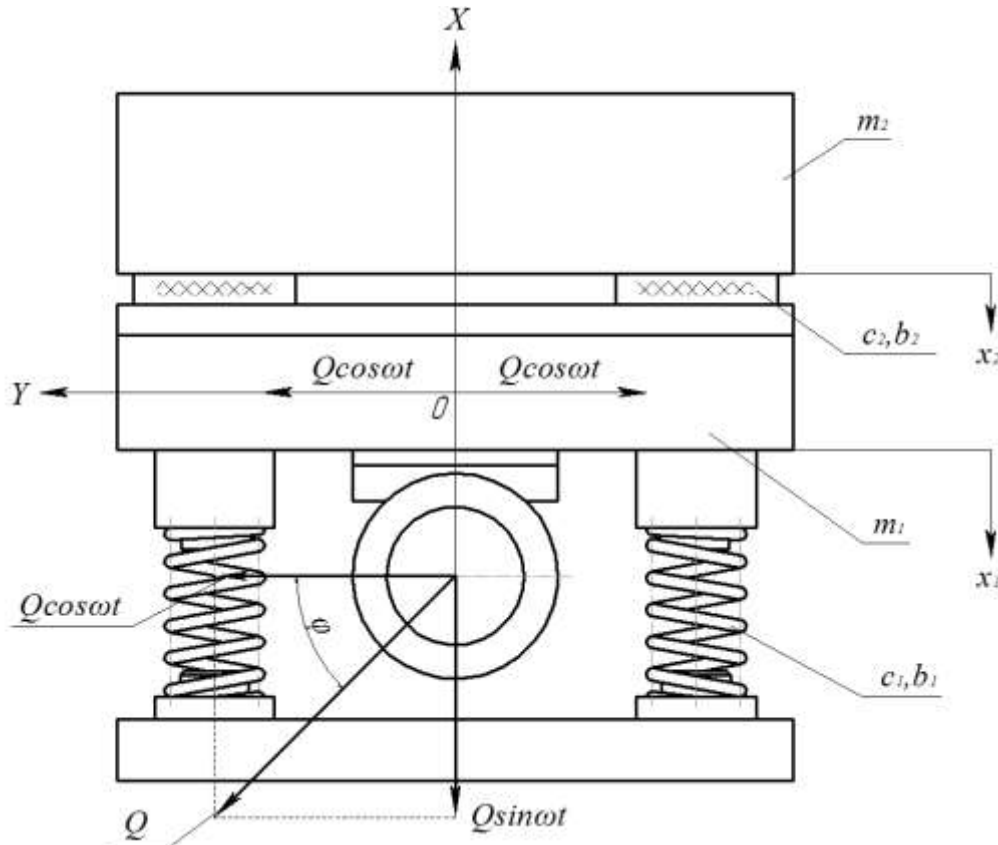


Рис. 2. Расчетная схема двухмассной виброплощадки для формования бетонных изделий

Под действием вертикальной и горизонтальной составляющих возмущающей силы движение подвижной рамы и формы представим в виде прямолинейных колебаний, направленных по координатным осям  $X$  и  $Y$  (рис. 2). При этом колебания подвижной рамы и формы опишем следующими уравнениями:

– колебания подвижной рамы по вертикали в направлении координаты  $X$ :

$$m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} + b_1 \frac{dx_1}{dt} + c_1 x_1 + b_2 \left( \frac{dx_1}{dt} - \frac{dx_2}{dt} \right) + c_2 (x_1 - x_2) = Q \sin \omega t; \quad (1)$$

– колебания формы по вертикали в направлении координаты  $X$ :

$$m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} + c_2 (x_2 - x_1) + b_2 \left( \frac{dx_2}{dt} - \frac{dx_1}{dt} \right) = 0; \quad (2)$$

– колебания подвижной рамы по горизонтали в направлении координаты  $Y$ :

$$m_1 \frac{d^2 y_1}{dt^2} + b_{12} \frac{dy_1}{dt} + c_{12} y_1 + b_{22} \left( \frac{dy_1}{dt} - \frac{dy_2}{dt} \right) + c_{22} (y_1 - y_2) = Q \cos \omega t; \quad (3)$$



– перемещение формы по горизонтали в направлении координаты  $Y$ :

$$m_2 \frac{d^2 y_2}{dt^2} + c_{22}(y_2 - y_1) + b_{22} \left( \frac{dy_2}{dt} - \frac{dy_1}{dt} \right) = 0, \quad (4)$$

где  $m_1$  – масса подвижной рамы;  $m_2$  – масса формы;  $x_1$  и  $x_2$  – перемещения подвижной рамы и формы по вертикали в направлении координаты  $X$  и под действием возмущающей силы  $Q \sin \omega t$ ;  $y_1$  и  $y_2$  – перемещения подвижной рамы и формы по горизонтали в направлении координаты  $Y$  под действием возмущающей силы  $Q \cos \omega t$ ;  $X$  и  $Y$  – координатные оси, проходящие через центр тяжести колеблющейся части подвижной рамы;  $c_1$  – жесткость и  $b_1$  – коэффициент диссипации амортизаторов в вертикальном направлении;  $c_2$  – жесткость и  $b_2$  – коэффициент диссипации упругих прокладок в вертикальном направлении;  $c_{12}$  – жесткость и  $b_{12}$  – коэффициент диссипации амортизаторов в направлении координаты  $Y$ ;  $c_{22}$  – жесткость и  $b_{22}$  – коэффициент диссипации упругих прокладок в направлении координаты  $Y$ .

Решение составленной системы уравнений (1, 2) для вынужденных колебаний, описывающих движение подвижной рамы и формы в режиме холостого хода, т.е. без бетонной смеси, представим  $x_1$  в виде мнимой части комплексной функции,

$$x_1 = M e^{i\omega t}; \quad (5)$$

а  $x_2$  в виде действительной части комплексной функции,

$$x_2 = N e^{i\omega t}, \quad (6)$$

где  $M$  и  $N$  – постоянные интегрирования, комплексные амплитуды.

Подставляя выражения (5) и (6) в уравнения (1) и (2) и после преобразования, получим следующую систему уравнений:

$$M[(c_1 + c_2 - m_1 \omega^2) + i\omega(b_1 + b_2)] - N(c_2 + i\omega b_2) = Q \sin \omega t; \quad (7)$$

$$N[(c_2 - m_2 \omega^2) + i\omega b_2] - M(c_2 + i\omega b_2) = 0. \quad (8)$$

Откуда найдем соотношение между постоянными интегрирования  $M$  и  $N$ :

$$M = N \frac{(c_2 - m_2 \omega^2) + i\omega b_2}{c_2 + i\omega b_2}. \quad (9)$$

Подставляя выражение (9) в уравнение (7) получим:

$$M(D + iL) = Q[(c_2 - m_2 \omega^2) + i\omega b_2]. \quad (10)$$

Из полученного выражения (10) определим постоянную интегрирования  $M$ , т.е.

$$M = Q \frac{(c_2 - m_2 \omega^2) + i\omega b_2}{D + iL}, \quad (11)$$

где

$$D = (c_1 + c_2 - m_1 \omega^2)(c_2 - m_2 \omega^2) - c_2^2 - b_1 b_2 \omega^2;$$

$$L = i\omega[b_2(c_1 + c_2 - m_1 \omega^2) + (b_1 + b_2)(c_2 - m_2 \omega^2) - 2b_2 c_2].$$

Умножая числитель и знаменатель полученного выражения (11) на число сопряженное знаменателю, получим:

$$M = [Q \times D(c_2 - m_2\omega^2) + Lb_2\omega + i[Db_2\omega - L(c_2 - m_2\omega^2)]] \frac{1}{(D^2 + L^2)}. \quad (12)$$

С учетом зависимости (12) в выражение (5) преобразуется к следующему виду:

$$x_1 = \left\langle Q \{ [D(c_2 - m_2\omega^2) + Lb_2\omega] \cos \omega t + i [D(c_2 - m_2\omega^2) + Lb_2\omega - L(c_2 - m_2\omega^2)] \cos \omega t - [Db_2\omega - L(c_2 - m_2\omega^2)] \times \sin \omega t \} \right\rangle \frac{1}{(D^2 + L^2)}. \quad (13)$$

Выделяя из полученного выражения (13) мнимую часть, найдем решение выражения (5):

$$x_1 = Q \times \left[ - \frac{\sqrt{(c_2 - m_2\omega^2)^2 + b_2^2\omega^2}}{\sqrt{D^2 + L^2}} \right] \times \sin(\omega t - \varphi_1), \quad (14)$$

где  $\varphi_1$  – угол сдвига фаз, возникающий между амплитудой вынужденных колебаний и амплитудой возмущающей силы в направлении координаты  $X$ ;

$$\varphi_1 = \varphi_{12} - \varphi_{11}; \quad (15)$$

$$\varphi_{11} = \arctg \frac{b_2\omega}{c_2 - m_2\omega^2}; \quad (16)$$

$$\varphi_{12} = \arctg \frac{L}{D}. \quad (17)$$

Аналогично найдем решение выражения (6):

$$x_2 = Q \frac{\sqrt{c_2^2 + b_2^2\omega^2}}{\sqrt{D^2 + L^2}} \times \sin(\omega t - \varphi_2), \quad (18)$$

где  $\varphi_2$  – угол сдвига фаз, возникающий между амплитудой вынужденных колебаний и амплитудой возмущающей силы в направлении координаты  $Y$ ;

$$\varphi_2 = \varphi_{12} - \varphi_{21}; \quad (19)$$

$$\varphi_{21} = \arctg \frac{b_2\omega}{c_2}. \quad (20)$$

Решение представленной системы уравнений (3, 4) для вынужденных колебаний, описывающих движение подвижной рамы и формы в горизонтальном направлении в режиме холостого хода, т.е. без бетонной смеси, представим в виде мнимой части комплексных функций:

$$y_1 = Ke^{i\omega t}; \quad (21)$$



$$y_2 = Pe^{i\omega t}, \quad (22)$$

где  $K$  и  $P$  – постоянные интегрирования, комплексные амплитуды.

Подставляя выражения (21) и (22) в уравнения (3) и (4) и после преобразования, получим следующую систему уравнений:

$$K[(c_{12} + c_{22} - m_1\omega^2) + i\omega(b_{12} + b_{22})] - P(c_{22} + i\omega b_{22}) = Q \cos \omega t; \quad (23)$$

$$P[(c_{22} - m_2\omega^2) + i\omega b_{22}] - K(c_{22} + i\omega b_{22}) = 0. \quad (24)$$

Откуда найдем соотношение между постоянными интегрирования  $K$  и  $P$ :

$$K = P \frac{(c_{22} - m_2\omega^2) + i\omega b_{22}}{c_{22} + i\omega b_{22}}. \quad (25)$$

Подставляя выражение (25) в уравнение (23) получим:

$$K(E + iF) = Q[(c_{22} - m_2\omega^2) + i\omega b_{22}]. \quad (26)$$

Из полученного выражения (10) определим постоянную интегрирования  $K$ , т.е.

$$K = Q \frac{(c_{22} - m_2\omega^2) + i\omega b_{22}}{E + iF}, \quad (27)$$

где

$$E = (c_{12} + c_{22} - m_1\omega^2)(c_{22} - m_2\omega^2) - c_{22}^2 - b_{12}b_{22}\omega^2;$$

$$F = i\omega[b_{22}(c_{12} + c_{22} - m_1\omega^2) + (b_{12} + b_{22})(c_{22} - m_2\omega^2) - 2b_{22}c_{22}].$$

Умножая числитель и знаменатель полученного выражения (27) на число сопряженное знаменателю, получим:

$$K = [Q \times E(c_{22} - m_2\omega^2) + Fb_{22}\omega + i[Eb_{22}\omega - F(c_{22} - m_2\omega^2)]] \frac{1}{(E^2 + F^2)}. \quad (28)$$

Подставляя выражение (28) в уравнения (21) и преобразовывая его, получим:

$$y_1 = \left\langle Q \{ [E(c_{22} - m_2\omega^2) + Fb_{22}\omega] \cos \omega t + i[E(c_{22} - m_2\omega^2) + Fb_{22}\omega] \sin \omega t + i[Eb_{22}\omega - F(c_{22} - m_2\omega^2)] \cos \omega t - [Eb_{22}\omega - F(c_{22} - m_2\omega^2)] \sin \omega t \} \right\rangle \frac{1}{(E^2 + F^2)}. \quad (29)$$

Выделяя из полученного выражения (29) действительную часть, найдем решение выражения (21) в виде следующей зависимости:

$$y_1 = Q \frac{\sqrt{(c_{22} - m_2\omega^2)^2 + b_{22}^2\omega^2}}{\sqrt{E^2 + F^2}} \times \cos(\omega t - \varphi_3), \quad (30)$$

где  $\varphi_3$  – угол сдвига фаз между амплитудами возмущающих сил и амплитудами вынужденных колебаний в направлении координатной оси  $X$ ;

$$\varphi_3 = \varphi_{13} - \varphi_{14}; \quad (31)$$

$$\varphi_{13} = \operatorname{arctg} \frac{b_{22}\omega}{c_{22} - m_2\omega^2}; \quad (32)$$

$$\varphi_{14} = \operatorname{arctg} \frac{F}{E}. \quad (33)$$

Аналогично найдем решение выражения (22):

$$y_2 = Q \frac{\sqrt{c_{22}^2 + b_{22}^2\omega^2}}{\sqrt{E^2 + F^2}} \times \cos(\omega t - \varphi_4), \quad (34)$$

где  $\varphi_4$  – угол сдвига фаз между амплитудами вынужденных колебаний и амплитудами возмущающих сил в направлении координаты  $Y$ ;

$$\varphi_4 = \varphi_{41} - \varphi_{14}; \quad (35)$$

$$\varphi_{41} = \operatorname{arctg} \frac{b_{22}\omega}{c_{22}}. \quad (36)$$

Анализ выражений показывает, что подвижная рама и форма вибрационной установки в процессе работы совершают пространственные амплитудно-частотные колебания, которые способствуют эффективной проработке уплотняемых бетонных смесей. При вертикально-направленных колебаниях с соответствующей амплитудно-частотной характеристикой обеспечивается создание в уплотняемой бетонной среде нормальных напряжений в вертикальном направлении. Горизонтально-направленные колебания подвижной рамы создают в уплотняемой цементобетонной среде сдвиговые деформации, вызывающие касательные напряжения. Сочетание нормальных и касательных напряжений приводит к предельному разрушению структурных связей в бетонной среде, переориентации минеральных частиц с образованием более плотной упаковки и, как следствие, к эффективному уплотнению жестких бетонных смесей с достаточно высокой эффективностью.

На основании проведенных аналитических исследований была разработана двухмассная вибрационная площадка со следующими параметрами:

- масса подвижной рамы –  $m_1 = 80 \text{ кг}$ ;
- масса формы –  $m_2 = 100...240 \text{ кг}$ ;
- амплитуда возмущающей силы вибрационного возбудителя колебаний –  $Q = 250 \text{ кг}$ ;
- частота возмущающей силы вибровозбудителя колебаний –  $\omega = 292 \text{ рад/с}$ ;
- соотношение между жесткостями амортизаторов  $c_1$  и прокладок  $c_2$  в вертикальном направлении –  $k_p = 0,05...1$ ;
- соотношение между жесткостями амортизаторов  $c_{12}$  и прокладок  $c_{22}$  в направлении координатной оси  $Y$  –  $k_b = 0,2$ ;
- жесткость амортизаторов в вертикальном направлении –  $c_1 = 480 \text{ кг/см}$ ;
- жесткость прокладок в вертикальном направлении –  $c_2 = k_p \cdot m_2 \cdot \omega^2$ .

Коэффициенты диссипации амортизаторов  $b_1$  и  $b_{12}$  и упругих прокладок определяются из следующих зависимостей:

$$b_1 = \mu_1 c_1; \quad b_{12} = \mu_1 c_{12}; \quad b_2 = \mu_2 c_2; \quad b_{22} = \mu_2 c_{22},$$



где  $\mu_1$  и  $\mu_2$  – коэффициенты пропорциональности, для упругих амортизаторов  $\mu_1 = 1 \cdot 10^{-4}$ , а для упругих прокладок, выполненных с использованием резины 2959,  $\mu_2 = 1,8 \cdot 10^{-3}$ .

Изменения амплитуды колебаний подвижной рамы и формы в зависимости от массы формы, выраженные найденными аналитическими зависимостями для представленных выше основных параметров двухмассной вибрационной площадки, показаны на рисунках 3 и 4.

Так на рис. 3, 4 показано изменение активной  $A_1$ ,  $A_{y1}$  и реактивной  $A_2$ ,  $A_{y2}$  амплитуд колебаний в вертикальном и горизонтальном направлениях соответственно при массе формы  $m_2 = 100...240\text{кг}$  в зависимости от жесткости прокладок  $c_2$ .

Приведенные зависимости на рис. 3 показывают, что при жесткости  $c_2$  до 3500 кг/см активная  $A_1$  и реактивная  $A_2$  амплитуды горизонтальных колебаний возрастают и на участке с жесткостью  $c_2$  от 3500 до 4500 кг/см незначительно стабилизируются, а затем уменьшается (кривые 1-4). При жесткости  $c_2$  до 4500 кг/см активная  $A_1$  и реактивная  $A_2$  амплитуда горизонтальных колебаний возрастает и на участке с жесткостью от 4500 до 6000 кг/см незначительно стабилизируется, а затем уменьшается (кривые 4-16).

Полученные результаты исследований показывают, что наиболее рациональным является для данной конструкции вибрационной установки с параметрами, приведенными выше, использование жесткости прокладок при массе подвижной рамы  $m_2$  до 180 кг –  $c_2 = 2500...3500\text{кг/см}$ , а при массе  $m_2 = 180...240\text{кг}$  –  $c_2 = 3500...4000\text{кг/см}$ .

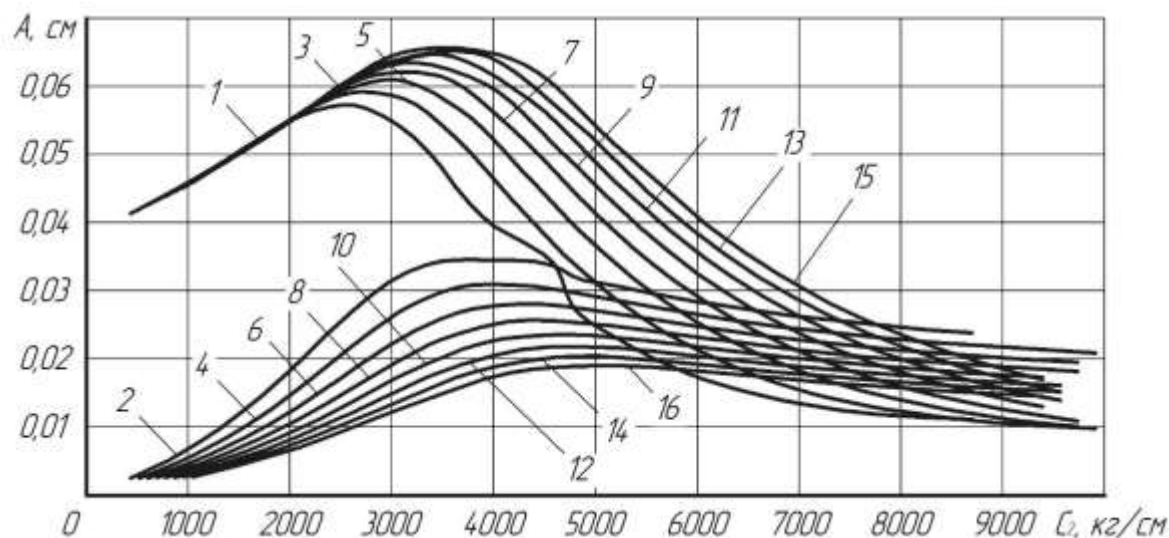


Рис. 3. Изменение амплитуды колебаний  $A$  в вертикальном направлении при массе формы:  $m_2 = 100\text{кг}$  (1, 2),  $m_2 = 120\text{кг}$  (3, 4),  $m_2 = 140\text{кг}$  (5, 6),  $m_2 = 160\text{кг}$  (7, 8),  $m_2 = 180\text{кг}$  (9, 10),  $m_2 = 200\text{кг}$  (11, 12),  $m_2 = 220\text{кг}$  (13, 14),  $m_2 = 240\text{кг}$  (15, 16) в зависимости от жесткости прокладок  $c_2$ : 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 – изменение реактивной амплитуды колебаний, т.е. формы,  $A_2$ ; 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 – изменение активной амплитуды колебаний, т.е. подвижной рамы,  $A_1$ .

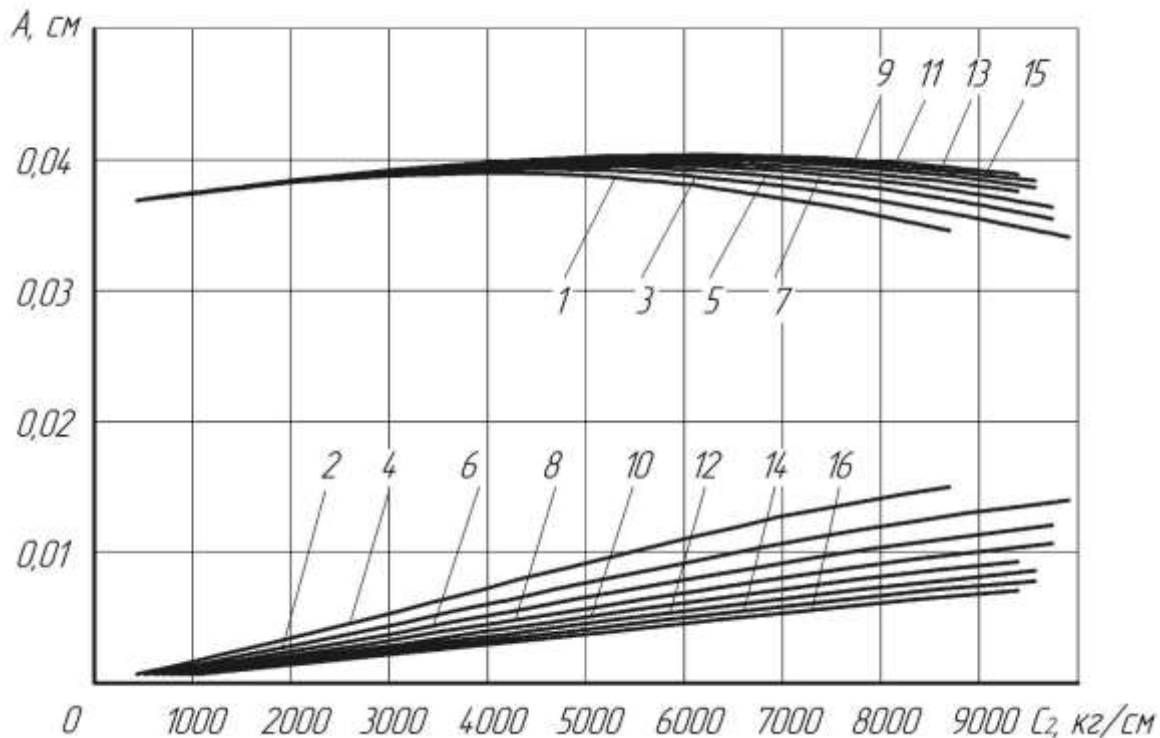


Рис. 4. Изменение амплитуды колебаний  $A$  в горизонтальном направлении при массе формы:  $m_2 = 100\text{кг}$  (1, 2),  $m_2 = 120\text{кг}$  (3, 4),  $m_2 = 140\text{кг}$  (5, 6),  $m_2 = 160\text{кг}$  (7, 8),  $m_2 = 180\text{кг}$  (9, 10),  $m_2 = 200\text{кг}$  (11, 12),  $m_2 = 220\text{кг}$  (13, 14),  $m_2 = 240\text{кг}$  (15, 16) в зависимости от жесткости прокладок  $c_2$  : 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 – изменение активной амплитуды колебаний  $A_{y1}$ ; 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 – изменение реактивной амплитуды колебаний  $A_{y2}$ .

### Выводы.

Составлена расчетная схема динамической системы вибрационной установки при работе на холостом ходу. Получены уравнения движения подвижной рамы и формы и определено изменение амплитуды колебаний в горизонтальном и вертикальном направлениях в зависимости от жесткости упругих прокладок.

Определены рациональные режимы вибрационного воздействия на уплотняемую среду, что позволяет обеспечить более плотную усадку жестких бетонных смесей.

### Литература

1. Maslov A.G., Zhanar Batsaikhan. The Research of oscillations of the machine working body of the for compaction of concrete mixes in vibration working mode. Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. – Kremenchug: KRNU, 2015. – Issue 91, – P. 92 – 97.
2. Волков С.А. Строительные машины / С.А. Волков, С.А. Евтюков. – СПб.: Издательство ДНК, 2012. – 597 с.
3. Иткин А.Ф. Вибрационные машины для формирования бетонных изделий / А.Ф. Иткин. – К.: «МП Леся», 2009. – 152 с.
4. Маслов А.Г. Вибрационные машины для приготовления и уплотнения бетонных смесей / А.Г. Маслов, А.Ф. Иткин, Ю.С. Саленко. – Кременчуг: ЧП Щербатых А.В., 2014. – 324 с.
5. Маслов А.Г. Вибрационные машины и процессы в дорожно-строительном производстве / А.Г. Маслов, Ю.С. Саленко. – Кременчуг: ПП Щербатих О.В., 2014. – 262 с.
6. Добронравов С.С. Строительные машины и основы автоматизации / С.С. Добронравов, В.Г. Дронов. – М.: Высшая школа, 2001. – 575 с.



7. Иткин А.Ф. Сравнение теоретических и экспериментальных данных исследований виброплощадок с горизонтально направленными колебаниями / А.Ф. Иткин, А.Г. Маслов // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. – 2007. – Випуск 1 (42). Частина 2. – С. 14 – 18.
8. Зоткин А.Г. Процессы удаления воздуха при виброуплотнении бетонных смесей. // Научно-технический журнал «Технологии бетонов». – 2013. – №4 (81). – С. 24 – 27.
9. Гусев Б.В. Устойчивость и надежность работы конвейерных технологических линий по производству сборного железобетона / Б.В. Гусев, А.Ю. Гусева, Е.М. Литвиновский // Научно-технический журнал «Технологии бетонов». – 2015. – №7-8 (108-109). – С. 30 – 31.
10. Шолин М.К. Выбор параметров и расчет системы виброизоляции тяжелых горно-обогатительных машин / М.К. Шолин, В.И. Дырда // Геотехническая механика. – 2002. – Вып. 39. – С. 106-119.

## References

1. Maslov, A.G., Zhanar Batsaikhan (2015) The Research of oscillations of the machine working body of the for compaction of concrete mixes in vibration working mode. *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University*. 91. Kremenchug: KRNU, 92-97.
2. Volkov, S.A., Evtyukov, S.A. (2012). *Budivel'ni mashyny [Construction machines]*. SPb.: Izdatel'stvo DNK.
3. Ytkyn, A.F. (2009). *Vibratsiyini mashyny dlya formovanyy betonnykh vyrobiv [Vibration machines for molding concrete products]*. Kyiv: MP Lesya.
4. Maslov, A.G., Itkin, A.F., Salenko, Yu.S. (2014). *Vibratsionnyye mashiny dlya prigotovleniya i uplotneniya betonnykh smesey [Vibrating machines for the preparation and compaction of concrete mixtures]*. Kremenchug: CHP Shcherbatykh A.V.
5. Maslov, A.G., Salenko, Yu.S. (2014). *Vibratsionnyye mashiny i protsessy v dorozhno-stroitel'nom proizvodstve [Vibrating machines and processes in road construction]*. Kremenchuk: PP Shcherbatikh O.V.
6. Dobronravov, S.S., Dronov, V.G. (2001). *Stroitel'nyye mashiny i osnovy avtomatizatsii [Construction machines and basis of automation]*. Moscow: Vysshaya shkola.
7. Itkin, A.F., Maslov, A.G. (2007). Sravneniye teoreticheskikh i eksperimental'nykh dannykh issledovaniy vibroploshchadok s gorizontal'no napravlennymi kolebaniyami [Comparison of theoretical and experimental data of studies of vibratory areas with horizontally directed oscillations]. *Visnik KDPU imeni Mikhayla Ostrograds'kogo*, 1 (42), P.2, 14 - 18.
8. Zotkin, A.G. (2013). Protsessy udaleniya vozdukha pri vibrouplotnenii betonnykh smesey [Processes of air removal during vibrocompression of concrete mixtures.]. *Nauchno-tekhnicheskyy zhurnal «Tekhnologii betonov» [Scientific and technical journal "Concrete Technologies"]*, 4 (81), 24 - 27.
9. Gusev, B.V. (2015). Ustoychivost' i nadezhnost' raboty konveyernykh tekhnologicheskikh liniy po proizvodstvu sbornogo zhelezobetona [Stability and reliability of operation of conveyor production lines for the production of precast concrete]. *Nauchno-tekhnicheskyy zhurnal «Tekhnologii betonov» [Scientific and Technical Journal "Concrete Technologies"]*, 7-8 (108-109), 30-31.
10. Sholin, M.K., Dyrda, V.I. (2002). Vybor parametrov i raschet sistemy vibroizolyatsii tyazhelykh gorno-obogatitel'nykh mashin [Choice of parameters and calculation of vibration isolation system for heavy mining machines]. *Geotekhnicheskaya mekhanika [Geotechnical Mechanics]*, 39, 106-119.

Надійшло до редакції 6.02.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Сівко В.Й.