

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТОНКИХ СЛОЕВ БЕТОННОЙ СМЕСИ С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ СТЕНКАМИ ВИБРАЦИОННОЙ ФОРМЫ

А. Г. Маслов, В. П. Лукьяненко

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, 39600, м. Кременчуг, Украина. E-mail: kmt@mail.ru

Составлена математическая модель взаимодействия тонких слоев бетонной смеси с вертикальными стенками вибрационной формы без дна, в которой уплотняемая среда представлена в виде сплошной среды с распределенными параметрами. В результате решения уравнения колебаний уплотняемой среды в частных производных, удовлетворяющего заданным граничным условиям, определена закономерность деформирования тонкого слоя уплотняемой среды в зависимости от нарастающей во времени плотности формируемой смеси, её физико-механических характеристик, толщины уплотняемого слоя, массы вибрационной формы, частоты и амплитуды возмущающей силы. Определен коэффициент сопротивления бетонной смеси, действующего на вертикальные стенки вибрационной формы без дна в зависимости от относительной плотности бетонной смеси, её консистенции и толщины уплотняемого слоя. Определены амплитуда колебаний вибрационной формы и напряжения, возникающие в уплотняемой среде.

Ключевые слова: вибрационная форма, колебания, взаимодействие, уплотняемая среда.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ТОНКИХ ШАРІВ БЕТОННОЇ СУМІШІ З ВЕРТИКАЛЬНИМИ СТІНКАМИ ВІБРАЦІЙНОЇ ФОРМИ

О. Г. Маслов, В. П. Лукьяненко

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна. E-mail: kmt@mail.ru

Складено математичну модель взаємодії тонких шарів бетонної суміші з вертикальними стінками вібраційної форми без дна, в якій ущільнюване середовище представлено у вигляді суцільного середовища з розподіленими параметрами. В результаті рішення рівняння коливань ущільнюваного середовища в приватних похідних, що задовольняє заданим граничним умовам, визначена закономірність деформування тонкого шару ущільнюваного середовища залежно від наростаючої у часі щільності формованої суміші, її фізико-механічних характеристик, товщини ущільнюваного шару, маси вібраційної форми, частоти і амплітуди, що збурює сили. Визначено коефіцієнт опору бетонної суміші, чинного на вертикальні стінки форми вібраційної без дна в залежності від відносної щільності бетонної суміші, її консистенції і товщини ущільнюваного шару. Визначено амплітуду коливань вібраційної форми і напруги, що виникають в ущільнюваному середовищі.

Ключові слова: вібраційна форма, коливання, взаємодія, ущільнюване середовище.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Физико-механические характеристики обрабатываемой вибрационным воздействием бетонной среды во многом определяют поведение динамической системы вибрационной машины и существенно влияют на определение его основных параметров [1, 2, 3]. Достаточно точное выявление физико-механических свойств уплотняемой среды позволяет установить рациональный закон движения и устойчивый режим работы вибрационной машины, правильно выбрать технологические параметры вибрационного воздействия на обрабатываемую среду, использование которых обеспечивает эффективное уплотнение с малой энергоемкостью.

В проведенных ранее исследованиях, физико-механические характеристики деформируемой среды, взаимодействующей с вибрационным рабочим органом, были представлены в виде дискретных реологических моделей: упругой модели Гука, вязкого тела, описываемого моделью Ньютона, вязкоупругого тела в виде модели Кельвина – Фогта или Максвелла, модели Бингама [4–7]. Многие исследователи пытались представить физико-механические характеристики деформируемой среды различными математическими кривыми в виде степенной функции или комбинации степенной функции с прямой линией [8–12].

Такое представление уплотняемой среды не позволяет с приемлемой для инженерных расчетов точностью определить основные параметры вибрационной машины и режимы вибрационного воздействия на формируемую смесь, поскольку не учитывают влияние изменяющихся физико-механических характеристик уплотняемой смеси в процессе уплотнения, частоту и амплитуду вибрационного воздействия, толщину уплотняемого слоя. Наиболее точное описание дает представление уплотняемой среды в виде сплошной среды с распределенными параметрами, учитывающей упругие и вязкие её свойства [13–15].

В работе [1] приведено исследование взаимодействия вибрационной машины с уплотняемой средой при средних показателях динамического модуля упругой деформации и коэффициента динамической вязкости цементобетонной смеси. В работах [16–18] показано изменение этих физико-механических характеристик в зависимости от плотности смеси, непрерывно возрастающей в процессе уплотнения. В этих работах было принято условие, что уплотняемая бетонная среда имеет однородную структуру и ее колебания под действием вибрационного возмущения могут быть описаны соответствующим волновым уравнением [2, 13]. При этом не учитывались силы трения, возникающее внутри бетонной смеси между отдельными ее составляю-

щими при переорієнтації мінеральних частиць і їх зближенні, деформації, перерозподіленні в'язущого. Поєтому для обосновання раціональних параметрів вібраційної машини і визначення необхідного режиму вібраційного впливу необхідно точно визначити зміну фізико-механічних характеристик ущільнюваної середовища, врахувати дію виникаючих сил опору бетону при коливаннях вібраційної машини. Це дає позитивні результати при ущільненні суміші вибрируваної плити, деформуючої ущільнювану середовищу в вертикальному напрямку. При дослідженні взаємодії вертикальних стінок форми без дна з бетоном необхідно врахувати різницю навантаження на ущільнюваний шар при його стисненні і розтягненні, виникаюче на протилежних вертикальних стінках форми [20–22]. Однак, отримані на основі хвильової теорії коливань результати [21] дають точні результати тільки при товщині ущільнюваного бетонного шару більше 100 мм. Якщо товщина ущільнюваного шару між вертикальними стінками менше 50 мм, що зазвичай спостерігається при формуванні багатопористих блоків, то наведені в роботі [22] залежності не забезпечують необхідної точності при визначенні основних параметрів ущільнюваної вібраційної машини. Поєтому для обосновання раціональних параметрів вібраційної машини необхідно точно визначити закономірність деформування формованої середовища біля розташованими вертикальними стінками форми і встановити закон руху вібраційної форми, використовуваної для виготовлення багатопористих будівельних блоків.

Ціль роботи – дослідження взаємодії бетону з вертикальними стінками форми без дна при формуванні багатопористих будівельних блоків горизонтально направленими коливаннями.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ІСЛЕДОВАНИЙ. Для визначення сил опору, виникаючих в процесі ущільнення, розглянемо розрахункову схему динамічної системи «Віброформа – ущільнювана середовища» (рис. 1), включаючої вібраційну форму 1 без дна, встановлену на жорсткому основанні 2 і заповнену бетоном сумішшю 3. На передню вертикальну стінку форми діє горизонтально направлена гармонічна сила $Q \sin \omega t$, під дією якої здійснюється ущільнення суміші 3. При цьому залежність між напруженням і деформацією в ущільнюваній середовищі опишемо відомим рівнянням [23]:

$$\sigma(y, t) = E \frac{\partial u(y, t)}{\partial y} + \lambda u(y, t), \quad (1)$$

де $\sigma(y, t)$ – напруження, виникаючі в ущільнюваній середовищі; u – переміщення ущільнюваного шару в залежності від поточної координати y ; u і y – це ейлери і лагранжеві координати; E – модуль деформації формованої бетону суміші,

повільно змінюваний параметр в залежності від зростаючої в процесі ущільнення густоти формованої суміші; λ – коефіцієнт опору, який враховує витрати енергії на руйнування внутрішніх зв'язей, витіснення повітря, переорієнтацію частиць і інші явища в ущільнюваній середовищі, супроводжувані вібраційним ущільненням [2, 13, 23], а також вплив близько розташованих стінок форми на деформацію ущільнюваної суміші.

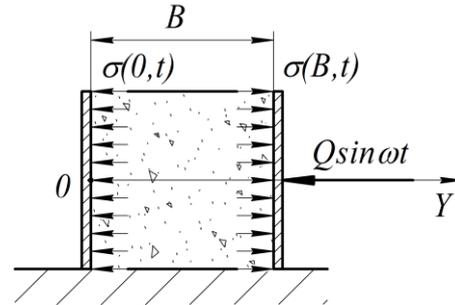


Рисунок 1 – Розрахункова схема взаємодії бетону з вертикальними стінками форми

На основі виразу (1) рух ущільнюваної суміші в напрямку координати y і в часі t опишемо наступним рівнянням коливань [23]:

$$E \frac{\partial^2 u(y, t)}{\partial y^2} + \lambda \frac{\partial u(y, t)}{\partial y} = \rho \frac{\partial^2 u(y, t)}{\partial t^2}. \quad (2)$$

де ρ – густина бетону суміші, повільно змінюваний параметр.

Для розв'язання рівняння коливань (3) представимо функцію $u(y, t)$ в вигляді синусоїдальної функції [2]:

$$u(y, t) = U(y) \sin \omega t, \quad (3)$$

де $U(y)$ – функція, що задовольняє граничним умовам розглянутої динамічної системи.

Поведіння розглянутої динамічної системи буде залежати від граничних умов. В результаті переміщення віброформи в прямому напрямку по координаті Y від нульового положення, передня стінка, що має координату $y=0$, здійснює стиснення ущільнюваної бетону суміші, а задня стінка, що має координату $y=d$ і переміщується в тому ж напрямку, буде діяти на ущільнювану суміш розтягуючим впливом. При цьому граничні умови будуть мати вигляд:

$$m \frac{\partial^2 u(B, t)}{\partial t^2} - EF \frac{\partial u(B, t)}{\partial y} - \lambda u(B, t) = Q \sin \omega t; \quad (4)$$

$$u(B, t) = u(0, t), \quad (5)$$

де m – маса віброформи, разом з масою вібровозбудителя коливань; F – площа однієї стінки віброформи, що контактує з ущільнюваною середовищем; B – товщина формованого шару.

При обратном движении виброформы сжатие бетонной смеси будут наблюдаться у задней стенки, а растягивающие напряжения у передней кромки.

Поскольку виброформу можно считать абсолютно жестким (недеформируемым) телом, то закон движения виброформы будет одинаков, как при прямом, так и обратном ее перемещении, т.е. симметричным. Поэтому достаточно будет рассмотреть только движение виброформы в одном направлении при граничных условиях (4) и (5).

Путем подстановки функции (3) в уравнение колебаний (2), получим уравнение для определения функции $U(y)$, т.е.

$$\frac{\partial^2 U(y)}{\partial y^2} + 2\delta \frac{\partial U(y)}{\partial y} + k^2 U(y) = 0, \quad (6)$$

где k – волновое число, $k = \frac{\omega}{a}$; a – фазовая скорость распространения возмущения в обрабатываемом слое;

$$a = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (7)$$

δ – коэффициент поглощения,

$$\delta = \frac{\lambda}{2E}. \quad (8)$$

Решение уравнения (6) будет иметь следующий вид:

$$U(y) = e^{-\delta y} (M \sin k_1 y + N \cos k_1 y). \quad (9)$$

Здесь M и N – постоянные интегрирования, определяемые граничными условиями (4) и (5); k_1 – волновое число с учетом действия коэффициента поглощения,

$$k_1 = \sqrt{k - \delta}. \quad (10)$$

С учетом выражений (3) и (9) функция $u(y, t)$ примет следующий вид:

$$u(y, t) = e^{-\delta y} (M \sin k_1 y + N \cos k_1 y) \sin \omega t. \quad (11)$$

Подставляя выражение (9) в граничное условие (5), выразим одну постоянную интегрирования M через другую постоянную интегрирования N , т.е.

$$M = N \frac{(1 - e^{-\delta B} \sin k_1 B)}{e^{-\delta B} \sin k_1 B}. \quad (12)$$

Используя зависимость (12), получим решение уравнения колебаний (2) в следующей общей форме:

$$u(y, t) = \frac{\sin k_1 y + e^{-\delta B} \sin k_1 (B - y)}{e^{-\delta B} \sin k_1 B} \times N e^{-\delta y} \sin \omega t. \quad (13)$$

Путем подстановки зависимости (12) в граничное условие (4) найдем постоянную интегрирования N :

$$N = \frac{Q}{k_1 E F \frac{e^{-\delta B} - \cos k_1 B}{\sin k_1 B} - \delta E F - m \omega^2}. \quad (14)$$

Подставляя выражение (14) в функциональную зависимость (13) найдем решение уравнения колебаний (2) в следующей форме:

$$u(y, t) = \frac{Q e^{-\delta y} [\sin k_1 y + e^{-\delta B} \sin k_1 (B - y)]}{e^{-\delta B} \sin k_1 B} \times \frac{1}{k_1 E F \frac{e^{-\delta B} - \cos k_1 B}{\sin k_1 B} - \delta E F - m \omega^2} \sin \omega t. \quad (15)$$

Полученное выражение (15) описывает закон движения рассматриваемой динамической системы «Виброформа – уплотняемая среда», т.е. описывает движение уплотняемой среды при значениях координаты $0 \leq y \leq L$. При $y=0$ выражение (15) описывает движение уплотняемой среды совместно с передней стенкой виброформы и соответственно движение самой виброформы в горизонтальном направлении:

$$u(0, t) = \frac{Q \sin \omega t}{k_1 E F \frac{e^{-\delta B} - \cos k_1 B}{\sin k_1 B} - \delta E F - m \omega^2}. \quad (16)$$

Из анализа зависимости (16) видно, что выражение

$$c_s = k_1 E F \frac{e^{-\delta B} - \cos k_1 B}{\sin k_1 B} - \delta E F \quad (17)$$

представляет собой комплексную силу сопротивления.

На основании выражения (17) закон колебаний рассматриваемой динамической системы преобразуется к следующему виду:

$$u(y, t) = \frac{Q e^{-\delta y} [\sin k_1 y + e^{-\delta B} \sin k_1 (B - y)]}{e^{-\delta B} (c_s - m \omega^2) \sin k_1 B} \times \sin \omega t. \quad (18)$$

Подставляя выражение (18) в уравнение (1) определим закон изменения напряжений, возникающих в уплотняемом слое, т.е.

$$\sigma(y, t) = - \frac{Q e^{-\delta y} \sqrt{\delta^2 + k_1^2}}{e^{-\delta B} (c_s - m \omega^2) \sin k_1 B} \times E \{-\cos(k_1 y - \varphi) + e^{-\delta B} \cos[k_1 (B - y) + \varphi]\} \times \sin \omega t, \quad (19)$$

где φ – угол сдвига фаз,

$$\varphi = \arctg \frac{\delta}{k_1}.$$

Напряжения, возникающие в бетонной смеси у стенок формы, определяются из следующих выражений:

$$\sigma(0, t) = \frac{Q \sin \omega t}{e^{-\delta B} (c_s - m\omega^2) \sin k_1 B} \times \\ \times E[k_1 + e^{-\delta B} (\delta \sin k_1 B - k_1 \cos k_1 B)]; \quad (20)$$

$$\sigma(B, t) = \frac{Q}{(c_s - m\omega^2) \sin k_1 B} \times \\ \times E(-e^{-\delta B} k_1 + \delta \sin k_1 B + k_1 \cos k_1 B). \quad (21)$$

Таким образом, на основе изучения распространения волн деформации в уплотняемой среде, представленной в виде сплошной среды с распределенными параметрами, получены зависимости для определения физико-механических характеристик уплотняемой среды, взаимодействующей с вертикальными, близко расположенными друг к другу стенками формы. Эти зависимости с достаточно высокой степенью точности могут быть использованы в сложных дискретных динамических системах, например, таких как вибрационная машина, предназначенная для формирования многопустотных блоков.

ВЫВОДЫ. На основании теории колебаний механики сплошной среды изучен процесс распространения волн деформации в уплотняемой среде, представленной в виде системы с распределенными параметрами, и определен закон деформирования уплотняемой среды при воздействии на неё горизонтально направленными колебаниями со стороны вертикальных, близко расположенных друг к другу стенок вибрационной формы. Получены теоретические выражения, позволяющие достаточно точно описать поведение реальной динамической системы «Вибрационная форма – уплотняемая среда» при формировании бетонных изделий из жестких бетонных смесей путем приложения горизонтально направленных колебаний. Они позволяют произвести компьютерное моделирование законов движения и форм колебаний тонких уплотняемых слоев бетонной смеси, проанализировать их с точки зрения эффективного воздействия на обрабатываемую среду горизонтально направленными колебаниями, обосновать вид и форму вибрационного воздействия, а также обосновать рациональные параметры вибрационного оборудования. Полученные зависимости коэффициента комплексного сопротивления могут быть с достаточно высокой степенью точности использованы в сложных дискретных динамических системах, например, таких как вибрационная форма без дна, совершающая сложные колебания в виде прямолинейных и крутильных колебаний в горизонтальной плоскости и обеспечивающая формирование многопустотных бетонных блоков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование взаимодействия вибрирующей плиты с цементобетонной смесью / А.Г. Маслов, Ю.С. Саленко, Н.А. Маслова // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2011. – Вип. 2 (67). Частина 1. – С 93–98.
2. Маслов А.Г., Саленко Ю.С. Вибрационные машины и процессы в дорожно-строительном производстве. – Кременчук: ПП Щербатих О.В. – 2014. – 262 с.
3. Иткин А.Ф. Вибрационные машины для формирования бетонных изделий. – К.: «МП Леся». – 2009. – 152 с.
4. Chen X., Wu S., Zhou J. Experimental study and analytical formulation of mechanical behavior of concrete, *Construction and Buildings Materials* 47, 2013, pp. 662–670.
5. Tattersall G. H. Effect of Vibration on the Rheological Properties of Fresh Cement Pastes and Concretes, *Rheology of Fresh Cement and Concrete, Proceedings of the International Conference*, P. F. G. Banfill, ed., University of Liverpool, UK, Mar. 16-29, Chapman and Hall, London, 1990, pp. 323–338.
6. Kakuta S., Kojima T. Rheology of Fresh Concrete under Vibration, *Rheology of Fresh Cement and Concrete, Proceedings of the International Conference*, P. F. G. Banfill, ed., University of Liverpool, UK, Mar. 16-29, Chapman and Hall, London, 1990, pp. 339–342.
7. P. F. G. Banfill, et al. Rheology and vibration of fresh concrete: Predicting the radius of action of poker vibrators from wave propagation, *Cement and Concrete Research*, 2011, vol. 41, no. 9, pp. 932–941.
8. Hu C., Larrard F. The Rheology of Fresh High-Performance Concrete, *Cement and Concrete Research*, 1996, vol. 26, No. 2, pp. 283–294.
10. Szwabowski J. Influence of Three-Phase Structure on the Yield Stress of Fresh Concrete, *Rheology of Fresh Cement and Concrete, Proceedings of the International Conference*, P. F. G. Banfill, ed., University of Liverpool, UK, Mar. 16-29, 1990, Chapman and Hall, London, pp. 241–248.
11. Kłosiński J., Trąbka A. Frequency analysis of vibratory device model (in Polish). *Pneumatyka*, 1, 2010, pp. 46–49.
12. Żółtowski B. Research of machine dynamics (in Polish), *Wyd. MARKAR*, 2002, Bydgoszcz.
13. Маслов А.Г., Иткин А.Ф., Саленко Ю.С. Вибрационные машины для приготовления и уплотнения бетонных смесей. – Кременчук: ЧП Щербатих А.В. – 2014. – 324 с.
14. Маслов А.Г., Жанар Батсайхан. Исследование колебаний рабочего органа машины для уплотнения бетонных смесей в вибрационном рабочем режиме // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип. 2 (91). Частина 1. – С. 92–97.
15. Маслов А.Г., Иткин А.Ф. Теоретические основы вибрационного уплотнения цементобетонных смесей // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету, Кременчук: КДПУ, 2004. – Вип. 5/2004. – С. 45–49.

16. Маслов А.Г., Иткин А.Ф. Исследование процесса уплотнения цементобетонной смеси на вибраторной площадке с вертикально направленными колебаниями // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету, Кременчук: КДПУ, 2004. – Вип. 6/2004 (29). – С. 86–91.

17. Маслов А.Г., Иткин А.Ф. Исследование процесса уплотнения цементобетонной смеси на вибраторной площадке с горизонтально направленными колебаниями. // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету, Кременчук: КДПУ, 2005. – Вип. 2/2005 (31). – С. 76–80.

18. Маслов А.Г., Иткин А.Ф. Исследование процесса уплотнения цементобетонной смеси на виброплощадке с полигармоническим возбуждением колебаний // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету, Кременчук: КДПУ, 2005. – Вип. 5/2005 (34). – С. 42–47.

19. Иткин А.Ф., Маслов А.Г. Сравнение теоретических и экспериментальных данных исследований виброплощадок с горизонтально направленными колебаниями // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету, Кременчук: КДПУ. – 2007. – Вип. 1/2007 (42). Частина 2. – С. 14–18.

20. Маслов А.Г., Сербин В.А., Лукьяненко В.П. Определение рациональных параметров вибраторной машины для формования бетонных блоков // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип. 1/2015 (90), ч.1. – С. 103–108.

21. Маслов А.Г., Лукьяненко В.П. Исследование взаимодействия бетонной смеси с вертикальными стенками вибраторной формы / Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського, Кременчук: КрНУ. – 2015. – Вип. 6/2015 (95). Частина 1. – С. 93–99.

22. Маслов А.Г., Лукьяненко В.П. Исследование вибраторной машины для формования бетонных блоков в рабочем режиме // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, Кременчук: КрНУ, 2016. – Вип. 1(96). – С. 84–90.

23. Жанар Батсайхан. Исследование взаимодействия вибраторной плиты рабочего органа с уплотняемой средой // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип. 1 (90). Частина 1. – С. 92–97.

RESEARCH OF CONCRETE MIX THIN LAYERS INTERACTION WITH VIBRATING FORM VERTICAL WALLS

A. Maslov, V. Luk'yanenko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: kmt0.43@gmail.com

Purpose. Existing methods of definition of rational parameters of vibrating machines do not provide the required accuracy when the thickness of the sealing layer between the vertical walls of less than 50 mm, which is usually observed when molding the hollow blocks. Therefore, for justification of rational parameters of the vibrating machine is necessary to accurately determine the pattern of deformation generated environment closely spaced vertical walls of the mold and to set the law of motion of vibrating forms used for the manufacture of hollow building blocks. The aim of this work is to study the interaction of concrete mix with the vertical walls of the mold without a bottom for forming hollow building blocks of the horizontally directed oscillations. **Methodology.** To determine the resistance forces arising in the process of sealing the mathematical model of the interaction of thin layers of concrete with vertical walls vibrating shape without a bottom. On the vibrational form is valid horizontally directed force. but the sealing environment is presented in the form of continua with distributed parameters. The equations of oscillations of a dynamical system in partial derivatives and defined boundary conditions. This regularity of the variations of the studied dynamic system. **Results.** By solving the equation of oscillation of the sealing medium equations, satisfying the given boundary conditions, determined the pattern of deformation of a thin layer of the sealing medium depending on the rise time of the density of the moldable mixture, its physical-mechanical characteristics, the thickness of the sealing layer of the vibrating mass shape, frequency and amplitude of the perturbing force. Coefficient of resistance of the concrete mix acting on the vertical wall of the vibration of the bottom depending on the relative density of the concrete mix, its consistency and thickness of the sealing layer. Determined by the oscillation amplitude of vibrating forms and stresses in the sealing environment. **Originality.** First investigated the interaction of vertical walls vibrating shapes with thin layers of compacted concrete. As formulated in the equations of oscillations of a dynamic system takes into account the effect of compressive and tensile forces acting on opposite walls of the form. The found stresses in the concrete mix that occurs throughout the thickness of the sealing layer. **Practical value.** The theoretical expression that allows to make computer modeling of the laws of motion and mode shapes of thin sealing layers of concrete mixtures, to examine them from the point of view of effective influence on the processed medium horizontally directed vibrations, to justify the shape and form of vibration exposure, and to substantiate the rational parameters of vibrating equipment. The dependences of coefficient of impedance can be with a fairly high degree of accuracy used in complex discrete dynamical systems, such as vibratory form without a bottom, making the complex oscillations in the form of rectilinear and krutilek oscillations in the horizontal plane and providing a molding hollow concrete blocks.

Key words: form vibration, oscillation, interaction, the sealing environment..

REFERENCES

1. Maslov, A.G., Salenko, Y.S., Maslova, N.A. (2011) "Study of the interaction between a vibrating plate with cement concrete mixture", *Transactions of*

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. Kremenchug: KRNU, Issue (67), pp. 93 – 98.

2. Maslov, A.G., Salenko, Y.S. (2014), *Vibratsionnyie mashiny i protsessyi v dorozhno-*

stroitelnom proizvodstve [Vibrating machines and processes in road construction industry: *monography*], PP Cherbatyh, Kremenchuk, Ukraine.

3. Itkin, A.F. (2009), *Vybratsyonnie mashyni dlya formovanyya betonnykh izdeliy* [Vibrating machines forming of the concrete products], "Les MP", Kyiv, Ukraine.

4. Chen, X., Wu, S., Zhou, J. (2013), Experimental study and analytical formulation of mechanical behavior of concrete, *Construction and Buildings Materials* 47, 662–670.

5. Tattersall, G. H. (1990), Effect of Vibration on the Rheological Properties of Fresh Cement Pastes and Concretes, *Rheology of Fresh Cement and Concrete, Proceedings of the International Conference, P. F. G. Banfill, ed., University of Liverpool, UK, Mar. 16-29, Chapman and Hall, London, pp. 323-338.*

6. Kakuta, S., Kojima, T. (1990), "Rheology of Fresh Concrete under Vibration, *Rheology of Fresh Cement and Concrete, Proceedings of the International Conference, P. F. G. Banfill, ed., University of Liverpool, UK, Mar. 16-29, Chapman and Hall, London, pp. 339-342.*

7. Banfill P. F. G., et al. (2011), "Rheology and vibration of fresh concrete: Predicting the radius of action of poker vibrators from wave propagation," *Cement and Concrete Research*, vol. 41, no. 9, pp. 932-941.

8. Hu, C., Larrard, F. (1996), The Rheology of Fresh High-Performance Concrete," *Cement and Concrete Research*, V. 26, No. 2, pp. 283-294.

10. Szwabowski, J. (1990), Influence of Three-Phase Structure on the Yield Stress of Fresh Concrete, *Rheology of Fresh Cement and Concrete, Proceedings of the International Conference, P. F. G. Banfill, ed., University of Liverpool, UK, Mar. 16-29, 1990, Chapman and Hall, London, pp. 241-248.*

11. Kłosiński, J., Trąbka, A. (2010), Frequency analysis of vibratory device model (in Polish). *Pneumatyka*, 1, pp. 46-49.

12. Żółtowski, B. (2002), Research of machine dynamics (in Polish), *Wyd. MARKAR, Bydgoszcz.*

13. Maslov, A.G., Itkin, A.F., Salenko, Y.S. (2014), *Vibratsionnyie mashyni dlya prigotovleniya i uplotneniya betonnykh smesey* [Vibrating machines for the preparation and compaction of concrete mixes] PP Cherbatyh, Kremenchuk, Ukraine.

14. Maslov, A.G., Batsaikhan, Z. (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 Ostrohradskyi National University. Kremenchug: KRNU, Issue (91), pp. 92 – 97.*

15. Maslov, A.G., Itkin, A.F. (2004) "Theoretical foundations of the vibration compaction of concrete mix", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi State Polytechnic University. Kremenchug: KDPU, Issue (28), pp. 45 – 49.*

16. Maslov, A.G., Itkin, A.F. (2004) "The study of the process of compaction of concrete mix on the vibrating platform with vertically directed vibrations", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi State Polytechnic University. Kremenchug: KDPU, Issue (29), pp. 86 – 91.*

17. Maslov, A.G., Itkin, A.F. (2005) "The study of the process of compaction of concrete mix on the vibrating platform with horizontally directed vibrations", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi State Polytechnic University. Kremenchug: KDPU, Issue (31), pp. 76 – 80.*

18. Maslov, A.G., Itkin, A.F. (2005) "The study of the process of compaction of cement concrete mixture on the shaking table with the excitation of polyharmonic vibrations", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi State Polytechnic University. Kremenchug: KDPU, Issue (34), pp. 42 – 47.*

19. Itkin, A.F., Maslov, A.G. (2007) "Comparison of theoretical and experimental studies of vibration platforms with horizontal vibrations", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi State Polytechnic University. Kremenchug: KDPU, Issue (42), pp. 14-18.*

20. Maslov, A.G., Serbin, V.A., Luk'yanenko, V.P. (2015) "Determination of rational parameters of vibratory machine for molding concrete blocks", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. Kremenchug: KRNU, Issue (90), pp. 103 – 109.*

21. Maslov, A.G., Luk'yanenko, V.P. (2015) "Study of the interaction of concrete mix with vertical walls vibrating forms", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. Kremenchug: KRNU, Issue (95), pp. 93 – 99.*

22. Maslov, A.G., Luk'yanenko, V.P. (2016) "The study of vibratory machine for molding concrete blocks in a working mode", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. Kremenchug: KRNU, Issue (96), pp. 84 – 90.*

23. Batsaikhan, Z. (2015) "Study of the interaction of the vibrating plate of the working body with the sealing medium", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. Kremenchug: KRNU, Issue (90), pp. 92 – 97.*

Стаття надійшла 17.03.2017.