

УДК 624.041

DOI: 10.20998/2411-0558.2022.02.05

М. К. УСАРОВ, д-р физ-мат. наук, проф., Академия наук Республики Узбекистан, "Институт механики и сейсмостойкости сооружений", Ташкент,

Г. У. ИСАЕВ, младший научный сотрудник, Академия наук Республики Узбекистан, "Институт механики и сейсмостойкости сооружений", Ташкент,

Д. М. УСАРОВ, младший научный сотрудник, Академия наук Республики Узбекистан, "Институт механики и сейсмостойкости сооружений", Ташкент,

Ф. А. УСАНОВ, младший научный сотрудник, "Академия наук Республики Узбекистан, "Институт механики и сейсмостойкости сооружений", Ташкент

СЕЙСМИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ В РАМКАХ ПЛАСТИНЧАТОЙ МОДЕЛИ

Предложена континуальная пластинчатая динамическая модель многоэтажного здания в виде консольной ортотропной пластины, разработанной в рамках теории пластин Тимошенко, описывающей сейсмические колебания зданий. Приведены формулы для определения приведенных модулей упругости, сдвига и плотности пластинчатой модели здания. Рассмотрены поперечные колебания здания при сейсмических воздействиях. Получены численные результаты. Ил.: 1. Табл.: 1. Библиогр.: 12 назв.

Ключові слова: континуальная пластинчатая модель; многоэтажное здание; приведенные модули упругости; сейсмические воздействия.

Введение. Среди многочисленных объектов изучения механики деформируемого твердого тела особое место занимают многоэтажные здания и сооружения. Разработка динамических моделей зданий и сооружений, деформирование которых носит пространственный характер, является одной из сложных актуальных задач механики. До сегодняшнего дня универсальная модель здания не разработана. Это связано со сложной структурой, многообразием и многочисленностью элементов здания. Существует много статей и монографий, посвященных развитию теории сейсмостойкости зданий. Разработаны различные методики расчета зданий и сооружений на сейсмические воздействия с учетом различных важных факторов.

Работа [1] посвящена рассмотрению способа статического учета высших форм колебаний в задачах динамики строительных конструкций под действием внешней гармонической нагрузки. С помощью расчетного

программного комплекса определены перемещения узлов и внутренние усилия в элементах рассматриваемых конструкций.

В статье [2] рассмотрено влияние смещений, переломов осей стеновых панелей в процессе их установки на работу крупнопанельной конструкции. Произведен анализ расчетных схем, учитывающих разные типы погрешности монтажа. Усилия в элементах конструкции, превышающие допустимые значения, определены с учетом погрешности установки деталей.

При землетрясениях повреждаемость зданий и сооружений зависит от характеристик сейсмического воздействия (интенсивность, спектральный состав и т.д.). Надежность проектирования и строительства зависит от структуры и свойств грунтов основания строительной площадки [3]. В статье [4] рассмотрены основные задачи по определению параметров арматуры железобетонных конструкций при их обследовании. Проанализированы основные известные пути решения указанных задач. Показаны наиболее достоверные и точные методы определения параметров арматуры.

Работы [5, 6] посвящены усовершенствованию коробчатой модели конструкции здания с учетом контактных условий между элементами панелей и балок. Построены уравнения движения элементов коробки и графики перемещений пластин и балок. В статье рассматривается проблема вынужденных колебаний здания типа пространственной коробки, состоящей из прямоугольных панелей и взаимодействующих при динамическом воздействии, заданном смещением основания по синусоидальному закону. При решении задачи использовался метод конечных разностей.

Статьи [7 – 9] посвящены разработке на основе метода конечных разностей методов динамического пространственного расчета многоэтажного здания в рамках пластинчатой модели многоэтажного здания с использованием бимоментной теории толстых пластин [10 – 12], учитывающей пространственное напряженно-деформированное состояние.

В статье предлагается методика расчета континуальной пластинчатой модели многоэтажных высотных зданий, разработанная в рамках теории пластин С.П. Тимошенко. Движение многоэтажного здания при сейсмических воздействиях представлено как поперечные колебания некоторой толстой консольной пластины, которая деформируется в рамках теории пластин типа Тимошенко. Используются обозначения работы [7 – 9]

Впервые разработана новая пространственная динамическая пластинчатая модель и методики динамического расчета на

сейсмостойкость многоэтажных зданий в рамках теории пластин Тимошенко. Построены формулы для определения приведенных модулей упругости и плотности пластинчатой модели здания.

В работах [7, 8] определены приведенные механические характеристики пластинчатой модели здания. Приведенные механические и физические характеристики здания определены в предположении, что здание состоит из многочисленных коробок (комнат) с объемами, определяемыми по формуле:

$$V_{кор} = d_1 d_2 d_3, \quad (1)$$

где d_1, d_2 – размеры коробки здания в плане, d_3 – высота коробки.

Тогда для определения массы коробок имеем формулу

$$m_{зд} = \rho_0 V_0 = \rho_{зд} V_{кор}, \quad (2)$$

здесь V_0 – сумма объемов несущих и межкомнатных плит и перекрытий

$$V_0 = 2 \left(\frac{d_1 d_2 h_3}{2} + \frac{d_1 d_3 h_2}{2} + \frac{d_2 d_3 h_1}{2} \right), \quad (3)$$

где h_1, h_2 – толщина несущих и межкомнатных стен, h_3 – толщина перекрытия.

Из соотношений (1) – (3) получим формулу для определения приведенной плотности пластинчатой модели здания

$$\rho_{зд} = \rho_{бет} \left(\frac{h_3}{d_3} + \frac{h_2}{d_2} + \frac{h_1}{d_1} \right). \quad (4)$$

Остальные приведенные упругие характеристики и плотности здания определяются по формулам:

$$\begin{aligned} E_1^{(зд)} &= \xi_{11} E_0, & E_2^{(зд)} &= \xi_{22} E_0, & E_3^{(зд)} &= \xi_{33} E_0, \\ G_{12}^{(зд)} &= \xi_{12} G_0, & G_{13}^{(зд)} &= \xi_{13} G_0, & G_{23}^{(зд)} &= \xi_{23} G_0, & \rho_{зд} &= \rho_{0r} \xi_0. \end{aligned} \quad (5)$$

где E_0, G_0 и ρ_0 – модули упругости, сдвига и плотности самой прочной несущей панели здания.

Значения коэффициентов $\xi_{11}, \xi_{22}, \xi_{33}, \xi_{12}, \xi_{13}, \xi_{23}, \xi_0$ для каждой ячейки (комнаты) здания определяются в виде функций двух пространственных переменных. Приведенный модуль упругости здания определяем по формулам:

$$\xi_{11} = \frac{S_{11}}{S_{01}}, \quad \xi_{22} = \frac{S_{22}}{S_{02}}, \quad \xi_{33} = \frac{S_{33}}{S_{03}} E_0, \quad (6)$$

$$\xi_{12} = \frac{S_{11}}{S_{01}}, \quad \xi_{13} = \frac{h_{nep}}{b_1} \lambda^*, \quad \xi_{23} = \frac{h_2}{b},$$

$$\zeta_0 = \frac{V_1}{V_0}, \quad (7)$$

где S_{01} , S_{02} , S_{03} – площади поперечных сечений здания в трех координатных плоскостях одного этажа здания; S_{11} , S_{22} , S_{33} – суммарные площади поперечных сечений плит в координатных плоскостях, образующих один этаж здания; λ^* – коэффициент, характеризующий пустоты в поперечном сечении плиты перекрытия:

$$\lambda^* = \frac{a_1 h_{nep} - s^*}{a_1 h_{nep}}. \quad (8)$$

Здесь a_1 – расстояние между двумя поперечными межкомнатными плитами; s^* – сумма площадей отверстий в поперечном сечении перекрытия.

Отметим, что вышеприведенные объемы и площади определяются в зависимости от размеров плит, комнат и самого здания в следующем виде:

$$\begin{aligned} S_{01} &= b_1 H, \quad S_{02} = aH, \quad S_{03} = ab_1, \\ S_{11} &= 2b_1 h_1 + b_1 h_2 + Hh_{nep}, \\ S_{22} &= 2ah_1 + ah_2 + 2Hh_1 + (k-2)Hh_2, \\ S_{33} &= 2b_1 h_1 + ah_2 + (k-2)b_1 h_2, \end{aligned} \quad (9)$$

где a , H – длина и ширина здания; b_1 – высота одного этажа здания; k – количество внутренних поперечных стен здания.

Значения коэффициентов ξ_{11} , ξ_{22} , ξ_{33} , ξ_{12} , ξ_{13} , ξ_{23} определяются для каждой ячейки (комнаты) здания. В общем случае эти коэффициенты переменные и являются функцией двух пространственных координат, которые должны определяться для рассматриваемого здания из многократных численных теоретических экспериментов и существующих экспериментальных данных. Модули упругости континуальной пластинчатой модели здания определяются по формулам (3) – (9).

Постановка задачі. Уравнения движения континуальной модели многоэтажного здания описываем относительно изгибающих, крутящих моментов и перерезывающих сил для ортотропной пластины; они имеют вид

$$\begin{aligned} M_{11} &= D_{11} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_1} + \nu_{12} \frac{\partial \psi}{\partial x_2} \right), \quad M_{22} = D_{22} \left(\frac{\partial \psi}{\partial x_2} + \nu_{12} \frac{\partial \varphi}{\partial x_1} \right), \\ M_{12} &= M_{21} = D_{12} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_2} + \frac{\partial \psi}{\partial x_1} \right), \\ Q_{13} &= k^2 G_{13} H \left(\varphi + \frac{\partial w}{\partial x_1} \right), \quad Q_{23} = k^2 G_{23} H \left(\psi + \frac{\partial w}{\partial x_2} \right), \end{aligned} \quad (10)$$

где цилиндрическая жесткость ортотропной пластины имеет выражения

$$D_{11} = \frac{E_1 H^3}{12(1-\nu_{12}\nu_{21})}, \quad D_{22} = \frac{E_2 H^3}{12(1-\nu_{12}\nu_{21})}, \quad D_{12} = \frac{G_{12} H^3}{12}.$$

Запишем уравнения движения пластины в виде:

$$\begin{aligned} \frac{\partial M_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial M_{12}}{\partial x_2} - Q_{13} &= \frac{H^3}{12} \rho \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2}, \\ \frac{\partial M_{21}}{\partial x_1} + \frac{\partial M_{22}}{\partial x_2} - Q_{23} &= \frac{H^3}{12} \rho \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}, \end{aligned} \quad (11)$$

где ρ – плотность материала пластины.

Уравнение относительно перерезывающих сил запишется в виде:

$$\frac{\partial Q_{13}}{\partial x_1} + \frac{\partial Q_{23}}{\partial x_2} = \rho H \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}. \quad (12)$$

Пусть, точки основания совершают движение по заданному закону $u_0(t)$, и нижняя часть здания в горизонтальном направлении перемещается вместе с основанием. Из кинематического соображения следует, что перемещения основания здания запишутся в виде:

$$u_1(x_1, 0, z, t) = u_2(x_1, 0, z, t) = 0, \quad u_3(x_1, 0, z, t) = u_0(t). \quad (13)$$

Запишем граничные условия задачи. Из кинематических условий (13) следует, что в основании здания должны выполняться граничные условия в виде:

$$\psi = 0, \quad \varphi = 0, \quad w = u_0(t). \quad (14)$$

На свободных боковых гранях здания имеем условия равенства нулю силовых факторов

$$M_{11} = 0, \quad M_{12} = 0, \quad Q_{13} = 0. \quad (15)$$

На свободных верхних гранях здания имеем условия равенства нулю силовых факторов

$$M_{22} = 0, \quad M_{23} = 0, \quad Q_{23} = 0. \quad (16)$$

Начальные условия задачи принимались нулевыми

$$\psi = 0, \quad \varphi = 0, \quad w = 0, \quad \dot{\psi} = 0, \quad \dot{\varphi} = 0, \quad \dot{w} = 0. \quad (17)$$

Таким образом, сформулирована математическая задача о колебаниях многоэтажных зданий с выражениями и уравнениями (10) – (17).

Пример. В качестве примера рассмотрим задачу определения собственных частот многоэтажных зданий, которая решается методом резонанса. В качестве внешнего сейсмического воздействия на нижнем защемлённом крае задаём ускорение основания $\ddot{u}_0(t)$ в виде:

$$\ddot{u}_0(t) = a_0 \cos(p_0 t), \quad (18)$$

где $a_0 = k_c g$ и $p_0 = 2\pi\omega_0$ – соответственно максимальное ускорение и частота грунтового основания.

Из выражения ускорения (18) получим формулу для перемещения основания здания в виде

$$u = \frac{A_0}{2}(1 - \cos(\omega_0 t)).$$

Метод решения. Воздействие задается через ускорение основания с амплитудой, равной $a_0 = 0.1g$, что соответствует интенсивности 7-балльного землетрясения. Значение частоты сейсмического воздействия постепенно увеличивается, начиная с заданного значения до наступления резонансного явления. Значение частоты, при котором состояние здания переходит в резонансный режим, принимаем за значение собственной частоты.

Задача решается методом конечных разностей. Для аппроксимации первых производных принимаем центральные разностные схемы.

План рассматриваемого здания приведен на рис. 1.

При решении задачи использованы следующие исходные данные для конструкций рассматриваемого высотного здания.

Внешние стены из железобетона: модуль упругости $E = 20000 \text{ МПа}$; плотность $\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$, коэффициент Пуассона $\nu = 0.3$.

Внутренние стены из керамзитбетона: он имеет следующий модуль упругости $E = 7500 \text{ МПа}$, плотность $\rho = 1200 \text{ кг/м}^3$, коэффициент Пуассона $\nu = 0.3$.

Приведем результаты расчетов вынужденных колебаний высотных зданий в рамках континуальной пластинчатой модели для следующих размеров плит перекрытий здания:

$$h_1=0.25 \text{ м}, h_2=0.2 \text{ м}, h_{\text{пер}}=0.2 \text{ м}, a_1=6 \text{ м}, b_1=3 \text{ м}, a=30 \text{ м}, H=11 \text{ м}.$$

Тогда коэффициенты $\zeta_0, \zeta_{11}, \zeta_{22}, \zeta_{33}, \zeta_{12}, \zeta_{13}, \zeta_{23}$, приведенные модули упругости и плотности по формулам (3) – (9) принимают следующие значения:

$$\begin{aligned} \zeta_0 &= 0.167, \zeta_{11} = 0.13, \zeta_{22} = 0.1, \zeta_{33} = 0.103, \\ \zeta_{12} &= 0.063, \zeta_{13} = 0.066, \zeta_{23} = 0.027, \end{aligned}$$

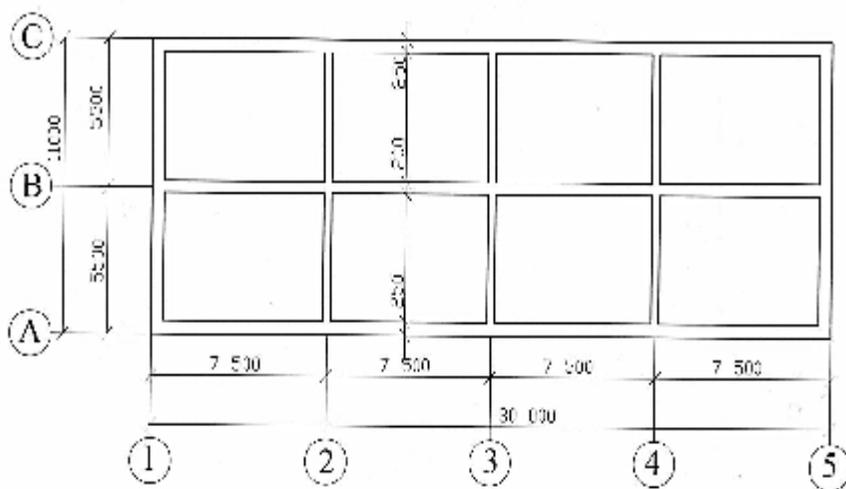


Рис. 1. План коробчатой модели здания

При этом приведенные модули упругости, сдвига и плотности многоэтажного здания получились равными

$$E_1^{np} = 2600 \text{ МПа}, E_2^{np} = E_3^{np} = 2000 \text{ МПа},$$

$$G_{12}^{np} = 480 \text{ МПа}, G_{13}^{np} = 520 \text{ МПа}, G_{23}^{np} = 200 \text{ МПа}, \rho_{np} = 451 \text{ кг/м}^3.$$

Введены безразмерные переменные $x=x_1/a$, $y=x_2/b$, $\tau=c/H$, где $c = \sqrt{E/\rho}$.

Шаг вычисления по безразмерным координатам принят равным $\Delta x = 1/60$, $\Delta y = 1/30$. Устойчивость расчета по безразмерному времени обеспечена по явной схеме при шаге $\Delta \tau = 0.01$.

В табл. 1 приведены первые три значения собственной частоты ω_0 и периода T_0 собственных колебаний двадцатиэтажного здания при поперечном изгибе для различных значений малого размера здания H .

Таблица 1

Первые три значения собственной частоты и периода собственных колебаний

$H, (\text{в м})$	$\omega_0,$ (в рад/сек)	$\nu_0 = \frac{\omega_0}{2\pi},$ (в 1/сек)	$T_0 = \frac{1}{\nu_0},$ в сек
11	5.09	0.81	0.123
	17.81	2.83	0.353
	54.70	8.71	0.115
13	5.62	0.89	1.123
	26.91	4.28	0.233
	59.22	9.42	0.132
15	6.72	1.07	0.934
	29.12	4.56	0.212
	62.30	9.92	0.145
18	7.46	1.19	0.843
	31.81	5.07	0.192
	66.82	10.65	0.094
22	17.81	2.83	0.353
	34.36	5.47	0.182
	71.52	11.3	0.088

Расчеты выполнены в среде Borland Delphi 7.0.

Выводы. В заключение отметим, предложена пространственная континуальная пластинчатая модель многоэтажных зданий в рамках теории пластин Тимошенко. Приведены формулы для определения упругих характеристик пластинчатой модели многоэтажных зданий с учетом конструктивных особенностей. Пластинчатая модель здания за счет выбора коэффициентов ξ_{22} , ξ_{33} , ξ_{12} , ξ_{13} , ξ_{23} , приемлема для определения поля перемещения высотного здания при землетрясении и динамических характеристик здания. Представлены формулы для приведенной плотности и модулей упругости и сдвига пластинчатой модели здания. С использованием геометрических размеров здания и его комнат определены приведенные плотность, модули упругости и сдвига пластинчатой модели. Сформулирована и решена задача о колебаниях многоэтажных зданий при сейсмических воздействиях на основе континуальной пластинчатой модели многоэтажного здания с учетом конструктивных особенностей.

Отметим, что разработанная пластинчатая модель, построенные формулы и методы исследования пригодны для описания динамического поведения и расчета на сейсмостойкость многоэтажных и высотных зданий.

Список литературы:

1. *Le T. Q. T.* Static accounting of highest modes in problems of structural dynamics Magazine of Civil Engineering / *Q. T. T. Le, V.V. Lalin, A.A. Bratashov* // St. Petersburg: Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 2019, 88, pp. 3-13. DOI: 10.18720/mce.88.1.
2. *Vatin N.I.* Installation errors in calculating large-panel buildings Magazine of Civil Engineering / *N.I. Vatin, V.D. Kuznetsov, E.S. Nedviga* // St. Petersburg: Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. – 2011. – 6. – pp. 35-40. DOI:10.5862/mce.24.3.
3. *Tyapin A.G.* Calculation of structures for seismic effects, taking into account interaction with a soil base / *A.G. Tyapin*. – M.: DIA Publishing House. – 2013. – 399 p.
4. *Ulybin A.V.* Inspection methods of reinforcement parameters of concrete structures / *A.V. Ulybin* // Magazine of Civil Engineering. – 2012. – 27 (1). – pp. 4-13. DOI: 10.5862/MCE.27.1.
5. *Usarov M.* Calculation on seismic resistance of box-type structures of large-panel buildings / *M. Usarov, G. Mamatisaev* // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – 971. – pp. 032-041. DOI:doi:10.1088/1757-899X/971/3/032041.
6. *Usarov M.* Dynamic calculation of boxed design of buildings / *M. Usarov, G. Mamatisaev, G. Ayubov, D. Usarov, D. Khodzhaev* // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. 883(012186.). DOI:10.1088/1757-899X/883/1/012186.
7. *Usarov M.* Building oscillations based on a plate model / *M. Usarov, G. Ayubov, G. Mamatisaev, B. Normuminov* // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. DOI:10.1088/1757-899x/883/1/012211.
8. *Yarashov J.* Study of longitudinal oscillations of a five-storey building on the basis of plate continuum model / *J. Yarashov, M. Usarov, G. Ayubov* // E3S Web of Conferences 97 04065 (Form 2019 04065). – 2019. DOI:org/10.1051/e3sconf/20199704065.
9. *Toshmatov E.* Dynamic methods of spatial calculation of structures based on a plate model /

E. Toshmatov, M. Usarov, G. Ayubov, D. Usarov // E3S Web of Conferences 97 04072 (Form 2019 04072). – 2019. DOI:org/10.1051/e3sconf/20199704072.

10. *Usarov D.* Simulation of free vibrations of a thick plate without simplifying hypotheses / *D. Usarov, K. Turajonov, S. Khamidov // Journal of Physics: Conference Series.* – 2020. – 1425 012115. DOI:org/10.1088/1742-6596/1425/1/012115.

11. *Usarov M.K.* Buckling of orthotropic plates with bimoments Magazine of Civil Engineering / *M.K. Usarov // St. Petersburg: Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University).* – 2015. – 53 (1). – pp. 80-90. DOI: 10.5862/MCE.53.8.

12. *Usarov M.* To the theory of bending and oscillations of three-layered plates with a compressible filler / *M. Usarov, A. Salokhiddinov, D.M. Usarov, I. Khazratkulov, N. Dremova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* – 2020. DOI:10.1088/1757-899X/869/5/052037.

References:

1. Le, T. Q. T., Lalin, V.V., and Bratashov, A.A. (2019), *Static accounting of highest modes in problems of structural dynamics Magazine of Civil Engineering*, St. Petersburg: Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 88 3-13. DOI: 10.18720/mce.88.1.

2. Vatin, N.I., Kuznetsov, V.D. and Nedviga, E.S. (2011), *Installation errors in calculating large-panel buildings Magazine of Civil Engineering*, St. Petersburg: Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 6, pp. 35-40. DOI:10.5862/mce.24.3.

3. Tyapin, A.G. (2013), *Calculation of structures for seismic effects, taking into account interaction with a soil base*, M.: DIA Publishing House, 399 p.

4. Ulybin, A.V. (2012), Inspection methods of reinforcement parameters of concrete structures. *Magazine of Civil Engineering*, 27 (1), pp. 4-13. DOI: 10.5862/MCE.27.1.

5. Usarov, M., Mamatisaev, G. (2020), Calculation on seismic resistance of box-type structures of large-panel buildings, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 971. pp. 032-041. DOI:doi:10.1088/1757-899X/971/3/032041.

6. Usarov, M., Mamatisaev, G., Ayubov, G., Usarov, D., and Khodzhaev, D. (2020), Dynamic calculation of boxed design of buildings, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 883 (012186). DOI:10.1088/1757-899X/883/1/012186.

7. Usarov, M., Ayubov, G., Mamatisaev, G., Normuminov, B. (2020), Building oscillations based on a plate model, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, DOI:10.1088/1757-899x/883/1/012211.

8. Yarashov, J., Usarov, M., and Ayubov, G. (2019), Study of longitudinal oscillations of a five-storey building on the basis of plate continuum model, *E3S Web of Conferences*, 97, 04065 (Form 2019 04065). DOI:org/10.1051/e3sconf/20199704065.

9. Toshmatov, E., Usarov, M., Ayubov, G. and Usarov, D. (2019), Dynamic methods of spatial calculation of structures based on a plate model, *E3S Web of Conferences*, 97, 04072 (Form 2019 04072). DOI:org/10.1051/e3sconf/20199704072.

10. Usarov, D., Turajonov, K. and Khamidov, S. (2020), Simulation of free vibrations of a thick plate without simplifying hypotheses, *Journal of Physics: Conference Series*, 1425, 012115. DOI:org/10.1088/1742-6596/1425/1/012115.

11. Usarov, M.K. (2015), Buckling of orthotropic plates with bimoments, *Magazine of Civil Engineering*, St. Petersburg: Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 53 (1), pp. 80-90. DOI: 10.5862/MCE.53.8.

12. Usarov, M., Salokhiddinov, A., Usarov, D.M., Khazratkulov, I., Dremova, N. (2020), To the theory of bending and oscillations of three-layered plates with a compressible filler, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. DOI:10.1088/1757-899X/869/5/052037.

Статтю представив д.т.н., проф. Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" С.Ю. Леонов.

Поступила (received) 06.12.2022

Makhmatali Usarov, Dr. Phys.-Math. Sci, Professor
"Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures"
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan,
Str. Durmon yuli 33, Tashkent, Uzbekistan,100125,
Тел: -998 (90) 374-38-78. E-mail: umakhamatali@mail.ru
ORCID ID 0000-0001-7848-3696

Gulamjan Isaev, junior researcher,
"Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures"
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan,
Str. Durmon yuli 33, Tashkent, Uzbekistan,100125,
Тел: +998 (90) 974-30-64. E-mail: isaev.gulomzhon@bk.ru

Davronbek Usarov, junior researcher,
"Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures"
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan,
Str. Durmon yuli 33, Tashkent, Uzbekistan,100125,
Тел: +998 (90) 374-38-83. E-mail:davronbek.usarov@gmail.com
ORCID ID 0000-0001-7848-3696

Furqat Usanov, junior researcher,
"Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures"
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan,
Str. Durmon yuli 33, Tashkent, Uzbekistan,100125,
Тел: +998 (99) 953-61-74. E-mail: usanovfurqat94@mail.ru

УДК 624.041

Сейсмичні коливання багатоповерхових будівель у рамках пластинчастої моделі / М.К. Усаров, Г.У. Ісаєв, Д.М. Усаров, Ф.А. Усанов // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2022. – № 1 – 2 (7 – 8). – С. 52 – 63.

Запропоновано континуальну пластинчасту динамічну модель багатоповерхової будівлі у вигляді консольної ортотропної пластини, розробленої в рамках теорії пластин Тимошенко, яка описує сейсмичні коливання будівель. Наведено формули для визначення наведених модулів пружності, зсуву та щільності пластинчастої моделі будівлі. Розглянуто поперечні коливання будівлі при сейсмичних впливах. Отримано чисельні результати. Іл.: 1. Табл.: 1. Бібліогр.: 12 назв.

Ключові слова: сейсмичні дії; континуальна пластинчаста модель будівлі; сейсмична дія; чисельні результати.

УДК 624.041

Сейсмические колебания многоэтажных зданий в рамках пластинчатой модели / М.К. Усаров, Г.У. Исаев, Д.М. Усаров, Ф.А. Усанов // Вестник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2022. – № 1 – 2 (7 – 8). – С. 52 – 63.

Предложена континуальная пластинчатая динамическая модель многоэтажного здания в виде консольной ортотропной пластины, разработанной в рамках теории пластин Тимошенко, описывающей сейсмические колебания зданий. Приведены формулы для определения приведенных модулей упругости, сдвига и плотности пластинчатой модели здания. Рассмотрены поперечные колебания здания при сейсмических воздействиях. Получены численные результаты. Ил.: 1. Табл.: 1. Библиогр.: 12 назв.

Ключевые слова: сейсмические воздействия; континуальная пластинчатая модель здания; сейсмическое воздействие; численные результаты.

UDK 624.041

Seismic vibrations of multi-storey buildings within the framework of the plate model / M.K. Usarov, G.U. Isaev, D.M. Usarov, F.A. Usanov // Herald of the National Technical University "KhPI". Series of "Informatics and Modeling". – Kharkov: NTU "KhPI". – 2022. – № 1 – 2 (7 – 8). – P. 52 – 63.

A continual plate-like dynamic model of a multi-storey building is proposed in the form of a cantilevered orthotropic plate developed in the framework of Timoshenko's theory of plates, which describes the seismic vibrations of buildings. Formulas are given for determining the reduced moduli of elasticity, shear, and density of a plate-like model of a building. The transverse vibrations of the building under seismic effects are considered. Numerical results are obtained. Figs.: 1. Tabl.: 1. Refs.: 12 titles.

Keywords: seismic actions; continual plate model of a building; seismic action; numerical results.