

УДК 624.04

DOI: 10.31675/1607-1859-2018-20-4-94-102

*О.А. ХОДЖИБОВЕВ,**Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН РТ*

## **ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ПЛОСКОЙ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ УРАВНЕНИЙ**

В статье исследовано напряженно-деформированное состояние двумерной задачи в условиях плоской деформации методом граничных уравнений. Приведен пример прямоугольной пластины, жестко защемленной в основании, в условиях плоской деформации под действием горизонтальной нагрузки, распределенной по вертикальной грани. Проведены численные эксперименты с целью анализа устойчивости решения, сходимости и точности результатов.

**Ключевые слова:** плоская задача; метод граничных уравнений; вариационно-разностный метод; напряженно-деформированное состояние; балка-стенка; численное решение.

**Для цитирования:** Ходжибоев О.А. Численное решение плоской задачи теории упругости методом граничных уравнений // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20. № 4. С. 94–102.

*О.А. KHODZHIBOEV,**Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan*

## **NUMERICAL SOLUTION OF PLANE PROBLEM OF ELASTICITY THEORY USING BOUNDARY EQUATION METHOD**

The stress-strain state of a two-dimensional problem under the conditions of plane deformation is investigated using the method of boundary equations. A rectangular plate rigidly clamped into the base under conditions of plane deformation is studied under horizontal load distributed along the vertical face. Numerical experiments are carried out to analyze the stability of the solution, the convergence, and the accuracy of results obtained.

**Keywords:** plane problem; boundary equation method; variational-difference method; stress-strain state; wall beam; numerical solution.

**For citation:** Khodzhiboev O.A. Chislennoe reshenie ploskoi zadachi teorii uprugosti metodom granichnykh uravnenii [Numerical solution of plane problem of elasticity theory using boundary equation method]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2018. V. 20. No. 4. Pp. 94–102. (rus)

Рассматривается решение двумерной задачи теории упругости на примере балки-стенки, жестко защемленной в основании. Разработаны алгоритм и компьютерная программа численного моделирования статической задачи по определению напряженно-деформированного состояния балки-стенки под действием горизонтальной нагрузки, равномерно распределенной по вертикальной грани. Результаты численного анализа сопоставлены с данными других авторов.

Рассмотрим упругое изотропное двумерное тело с внутренней областью  $\Omega$ , ограниченной контуром  $\Gamma$ . Предполагается, что на одной части границы  $\Gamma$  могут быть заданы напряжения, а на другой – перемещения. Принимая за основные неизвестные функции перемещений  $u_x(x, y)$  и  $u_y(x, y)$  [м], систему дифференциальных уравнений Ламе, в условиях плоского напряженного состояния, представим в виде [1]

$$\begin{aligned} G_1^* \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + G \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + G_2^* \frac{\partial^2 u_y}{\partial x \partial y} + \gamma_x &= 0, \\ G_1^* \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} + G \frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + G_2^* \frac{\partial^2 u_x}{\partial x \partial y} + \gamma_y &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $G_1^* = 2G / (1 - \nu)$  [т/м<sup>2</sup>];  $G_2^* = G(1 + \nu) / (1 - \nu)$  [т/м<sup>2</sup>];  $G = 1$  – модуль упругости при сдвиге [т/м<sup>2</sup>];  $\nu$  – коэффициент Пуассона, здесь принять 0,2. В системе дифференциальных уравнений (1)  $\gamma_x$  и  $\gamma_y$  являются компонентами объемной силы. Погружая конечную область  $\Omega + \Gamma$  с заданными на поверхности  $\Gamma$  компонентами напряжений и перемещений в неограниченное пространство, которое последовательно загружается единичными силами и описывается дифференциальными уравнениями

$$\begin{aligned} G_1 \frac{\partial^2 u_x^*}{\partial x^2} + G \frac{\partial^2 u_x^*}{\partial y^2} + G_2 \frac{\partial^2 u_y^*}{\partial x \partial y} &= -\delta(k, p) e_x, \\ G_1 \frac{\partial^2 u_y^*}{\partial y^2} + G \frac{\partial^2 u_y^*}{\partial x^2} + G_2 \frac{\partial^2 u_x^*}{\partial x \partial y} &= -\delta(k, p) e_y, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $k(x, y), p(\xi, \eta)$  – фиксированная и переменная точки в плоскости;  $\delta(k, p)$  – дельта-функция Дирака;  $e_x, e_y$  – единичные силы, направленные соответственно по осям  $x$  и  $y$ , согласно теореме Бетти;  $\frac{\partial^2 u_x^*}{\partial x^2}$  – вторая частная производная от фундаментального решения перемещений по координате  $x$ , с учетом (1) и (2) получаем

$$\begin{aligned} \int_{\Gamma} (p_x u_{xx}^* + p_y u_{yx}^*) d\Gamma + \int_{\Omega} (\gamma_x u_{xx}^* + \gamma_y u_{yx}^*) d\Omega &= \\ = \int_{\Gamma} (p_{xx}^* u_x + p_{yx}^* u_y) d\Gamma + \int_{\Omega} \delta(p, k) u_x d\Omega. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь  $u_{xx}^*, \dots, p_{yx}^*$  – фундаментальные перемещения и напряжения Кельвина [2]. С учетом свойств дельта-функции Дирака

$$\int_{\Omega} \delta(p, k) u_x(k) d\Omega(k) = u_x(p)$$

второй интеграл в правой части будет равняться  $u_x(p)$ , где точка  $p(\xi, \eta) \in \Omega$ , тогда уравнение (3) можно представить в виде

$$u_x(p) = \int_{\Gamma} (p_x u_{xx}^* + p_y u_{yx}^*) d\Gamma - \int_{\Gamma} (p_{xx}^* u_x + p_{yx}^* u_y) d\Gamma + \int_{\Omega} (\gamma_x u_{xx}^* + \gamma_y u_{yx}^*) d\Omega. \quad (4)$$

Отметим, что фундаментальные перемещения  $u_x^* = u_{xx}^* + u_{xy}^*$  и  $u_y^* = u_{yy}^* + u_{yx}^*$  удовлетворяют системе дифференциальных уравнений (2).

Проведя аналогичную процедуру от действия единичной сосредоточенной силы, действующей по оси  $y$ , получаем

$$u_y(p) = \int_{\Gamma} (p_x u_{xy}^* + p_y u_{yy}^*) d\Gamma_k - \int_{\Gamma} (p_{xy}^* u_x + p_{yy}^* u_y) d\Gamma_k + \int_{\Omega} (\gamma_x u_{xy}^* + \gamma_y u_{yy}^*) d\Omega. \quad (5)$$

Граничные интегральные уравнения можно получить из уравнений (4) и (5) при предельном переходе, когда точка  $p(\xi, \eta)$  устремится к границе  $\Gamma$ , а при этом точка  $k(x, y)$  находится на границе [3]. Следовательно, при  $p(\xi, \eta) \in \Gamma$  уравнения (4) и (5) преобразуются в граничные интегральные уравнения [4–6]:

$$u_x(1 - c_{xx}) - u_y c_{yx} = \int_{\Gamma} (p_x u_{xx}^* + p_y u_{yx}^*) d\Gamma_k - \int_{\Gamma} (p_{xx}^* u_x + p_{yx}^* u_y) d\Gamma_k + \int_{\Omega} (\gamma_x u_{xx}^* + \gamma_y u_{yx}^*) d\Omega, \quad (6)$$

$$-u_x c_{xy} + u_y(1 - c_{yy}) = \int_{\Gamma} (p_x u_{xy}^* + p_y u_{yy}^*) d\Gamma_k - \int_{\Gamma} (p_{xy}^* u_x + p_{yy}^* u_y) d\Gamma_k + \int_{\Omega} (\gamma_x u_{xy}^* + \gamma_y u_{yy}^*) d\Omega. \quad (7)$$

Если воспользоваться наиболее простой аппроксимацией граничных параметров в виде В-сплайна нулевого порядка, то из уравнений (6) и (7) получим систему разрешающих уравнений, которая без учета объемных сил представляется в виде

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^{n_1} a_{ij}^* u_{xj} + \sum_{j=1}^{n_1} b_{ij} u_{xj} - \sum_{j=1}^{n_2} e_{ij} p_{xj} - \sum_{j=1}^{n_2} f_{ij} p_{yj} &= \sum_{j=1}^{n_0} e_{ij} p_{x0j} + \sum_{j=1}^{n_0} f_{ij} p_{y0j}, \\ \sum_{j=1}^{n_1} c_{ij} u_{xj} + \sum_{j=1}^{n_1} d_{ij}^* u_{xj} - \sum_{j=1}^{n_2} g_{ij} p_{xj} - \sum_{j=1}^{n_2} h_{ij} p_{yj} &= \sum_{j=1}^{n_0} g_{ij} p_{x0j} + \sum_{j=1}^{n_0} h_{ij} p_{y0j}, \\ i &= 1, 2, \dots, n, \end{aligned} \quad (8)$$

$$a_{ij}^* = a_{ij} + 0,5\delta_{ij}, \quad d_{ij}^* = d_{ij} + 0,5\delta_{ij}, \quad \text{при } i = j \quad \delta_{ij} = 1, \quad \text{а при } i \neq j \quad \delta_{ij} = 0,$$

где  $n = n_1 + n_2$  – общее число граничных элементов;  $p_{x0}, p_{y0}$  – заданные на контуре области напряжения;  $a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij}$  – безразмерные коэффициенты;  $e_{ij}, f_{ij}, g_{ij}, h_{ij}$  – коэффициенты при неизвестных перемещениях и напряжениях. Коэффициенты при неизвестных компонентах перемещений и напряжений в системе (8) выражаются так:

$$\begin{aligned} a_{ij} &= -b \int_{\Delta S_j} (c + 2m_1^2) \frac{\cos \gamma_{ij}}{r_{ij}} ds_j, \quad d_{ij} = -b \int_{\Delta S_j} (c + 2m_2^2) \frac{\cos \gamma_{ij}}{r_{ij}} ds_j, \\ b_{ij} &= bc \int_{\Delta S_j} \frac{\sin \gamma_{ij}}{r_{ij}} ds_j - 2b \int_{\Delta S_j} m_1 m_2 \frac{\cos \gamma_{ij}}{r_{ij}} ds_j, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
c_{ij} &= -bc \int_{\Delta S_j} \frac{\sin \gamma_{ij}}{r_{ij}} ds_j - 2b \int_{\Delta S_j} m_1 m_2 \frac{\cos \gamma_{ij}}{r_{ij}} ds_j, \\
e_{ij} &= -a \int_{\Delta S_j} [(3-4\nu) \ln r_{ij} - m_1^2] ds_j, \\
f_{ij} &= a \int_{\Delta S_j} m_1 m_2 ds_j = g_{ij}, \quad h_{ij} = -a \int_{\Delta S_j} [(3-4\nu) \ln r_{ij} - m_2^2] ds_j.
\end{aligned} \tag{9}$$

Здесь  $a = 1/8\pi G(1-\nu)$ ;  $b = 1/4\pi(1-\nu)$ ;  $c = 1-2\nu$ ;  $\Delta S_j$  – длина  $j$ -го элемента.

Направляющие косинусы для  $j$ -го элемента с номерами  $j$  и  $j+1$  соответственно в начале и в конце выражаются формулами

$$\begin{aligned}
n_{1j} &= \cos \alpha_{1j}, \quad n_{2j} = \sin \alpha_{1j}, \quad m_{1ij} = \cos \beta_{1ij}, \quad m_{2ij} = \sin \beta_{1ij}, \\
\cos \gamma_{ij} &= n_{1j} m_{1ij} + n_{2j} m_{2ij}, \quad \sin \gamma_{ij} = m_{1ij} n_{2j} - m_{2ij} n_{1j}, \\
n_{1j} &= (y_{j+1} - y_j) / \Delta S_j, \quad n_{2j} = (x_j - x_{j+1}) / \Delta S_j, \quad m_{1ij} = (x_j - x_i) / r_{ij}, \quad m_{2ij} = (y_j - y_i) / r_{ij}, \\
r_{ij} &= \left[ (x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 \right]^{1/2}.
\end{aligned} \tag{10}$$

Как следует из (9), с заменой  $m_1, n_1$  на  $m_2, n_2$  из коэффициентов  $a_{ij}, b_{ij}$  можно получить соответственно  $d_{ij}$  и  $c_{ij}$ , а из  $e_{ij}, f_{ij}$  соответственно  $h_{ij}$  и  $g_{ij}$ . Вычислив коэффициенты (9) с использованием квадратурной формулы Гаусса с четным числом точек, после формирования общей матрицы коэффициентов и вектора свободных членов, из решения системы (8), представленной в общем виде

$$\mathbf{A}\mathbf{X} = \mathbf{B}, \tag{11}$$

где квадратная матрица  $\mathbf{A}$  порядка  $2n$  является блочной матрицей

$$\begin{aligned}
\mathbf{A} &= \begin{bmatrix} [a_{ij}^*] & [b_{ij}] & -[e_{ij}] & -[f_{ij}] \\ [c_{ij}] & [d_{ij}^*] & -[g_{ij}] & -[h_{ij}] \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} [e_{ij}] & [f_{ij}] \\ [g_{ij}] & [h_{ij}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} P_{x0} \\ P_{y0} \end{Bmatrix}, \\
\mathbf{X} &= \left\{ U_x \ U_y \ P_x \ P_y \right\}^T.
\end{aligned} \tag{12}$$

Прямоугольные блоки  $[a_{ij}^*]$ ,  $[b_{ij}]$ ,  $[c_{ij}]$ ,  $[d_{ij}^*]$  размера  $n \times n_1$ , а блоки  $[e_{ij}]$ ,  $[f_{ij}]$ ,  $[g_{ij}]$  и  $[h_{ij}]$  имеют размер  $n \times n_2$ . Векторы неизвестных  $\mathbf{X}$  и свободных членов  $\mathbf{B}$  состоят из  $2n$  элементов. Из решения системы алгебраических уравнений (11) методом Гаусса получим вектор  $\mathbf{X}$ , где одна часть из его элементов – перемещения на контуре, свободном от закрепления, а другая часть – напряжения на опорной части. Тангенциальные и нормальные перемещения точек контура находим по формулам

$$u_{sj} = -u_{xj} \sin \alpha_{1j} + u_{yj} \cos \alpha_{1j}, \quad u_{nj} = u_{xj} \cos \alpha_{1j} + u_{yj} \sin \alpha_{1j}. \tag{13}$$

Для определения деформаций по формулам Коши можно также использовать методы численного дифференцирования. После определения вектора перемещений, применив необходимую аппроксимацию, можно выразить деформации через узловые перемещения. Например, если для аппроксимации

воспользоваться квадратичным сплайном с носителем  $[\xi_{j-1}, \xi_{j+1}]$ , то первая производная в узлах  $j-1, j$  и  $j+1$  соответственно равна

$$\begin{aligned} (\partial u / \partial \xi)_{j-1} &= (-3u_{j-1} + 4u_j - u_{j+1}) / 2h, \\ (\partial u / \partial \xi)_j &= (u_{j+1} - u_{j-1}) / 2h, \\ (\partial u / \partial \xi)_{j+1} &= (3u_{j+1} + 4u_j + u_{j-1}) / 2h, \end{aligned} \quad (14)$$

что совпадает с разностными формулами, полученными при разложении искомой функции в ряд Тейлора с учетом двух членов разложения и с порядком погрешности остаточного члена  $o(h^2)$ . Тангенциальные напряжения  $\sigma_s$  на гранях балки-стенки определяются по следующей формуле:

$$\sigma_s = 2G\varepsilon_s(1 + \nu) + \nu\sigma_n, \quad (15)$$

где  $\sigma_n$  – нормальное напряжение  $[\text{т/м}^2]$ .

**Пример.** В качестве примера рассмотрим прямоугольную балку-стенку, жестко защемленную в основании под действием горизонтальной нагрузки  $q = 1 \text{ т/м}^2$ , распределенной по вертикальной грани (рис. 1).

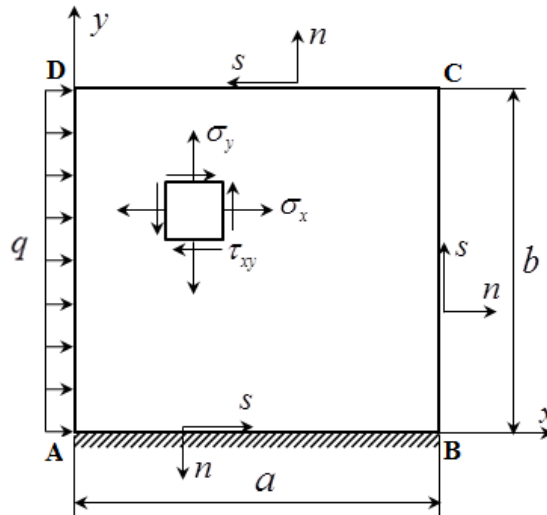


Рис. 1. Балка-стенка, защемленная в основании

На основе изложенного алгоритма (11) – (14) и разработанной компьютерной программы на Фортране получены результаты численного моделирования балки-стенки (рис. 1) при разбивке каждой грани на 8 граничных элементов. В табл. 1 результаты численного решения по методу граничных уравнений (МГУ) для квадратной балки-стенки сопоставляются с результатами, полученными вариационно-разностным методом (ВРМ) [7]. Для наглядности на рис. 2 и 3 сопоставлены распределения касательных  $\tau_{xy} / q$  (безразмерные) и нормальных напряжений  $\sigma_n / q$  (безразмерные) на защемленной грани АВ.

Таблица 1

Значения напряжений  $\tau_{xy}/q$  и  $\sigma_y/q$  (безразмерные) в узлах грани АВ

$x_i/h$	Касательные напряжения $\tau_{xy}/q$		$x_i/h$	Нормальные напряжения $\sigma_y/q$	
	Метод граничных уравнений	Вариационно-разностный метод		Метод граничных уравнений	Вариационно-разностный метод
0,5	-1,8660	-1,699	0	-5,1940	-4,675
1,5	-1,0740	-1,089	1	-2,1900	-1,822
2,5	-1,0120	-1,050	2	-0,7543	-0,831
3,5	-0,9336	-0,981	3	-0,2769	-0,292
4,5	-0,8642	-0,909	4	0,1092	0,122
5,5	-0,7936	-0,829	5	0,4850	0,526
6,5	-0,7049	-0,716	6	0,9331	1,017
7,5	-0,8877	-0,726	7	1,9990	1,798
			8	4,0550	3,638

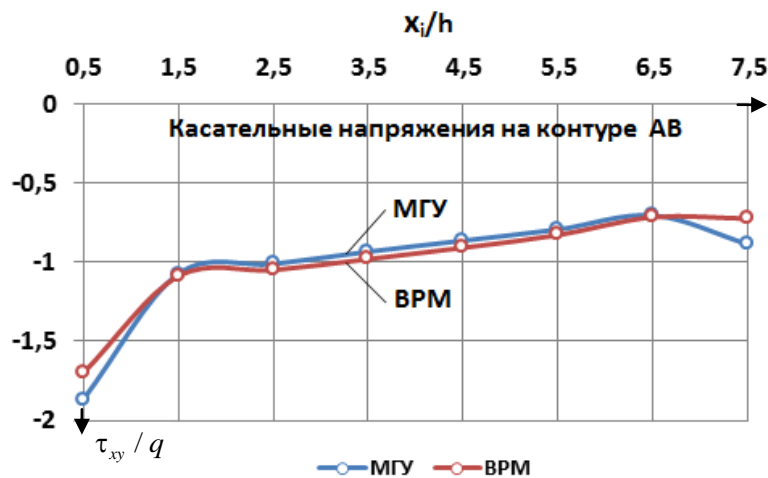


Рис. 2. Сравнение касательных напряжений на защемленном контуре АВ

В табл. 2 приведены величины тангенциальных напряжений  $\sigma_s/q$  (безразмерные) на гранях балки-стенки, полученные по МГУ, сравниваются с данными по ВРМ [7].

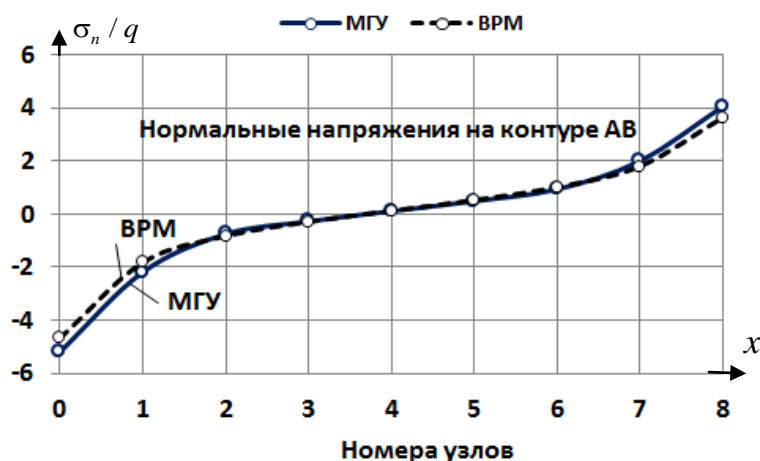


Рис. 3. Сравнение нормальных напряжений на опорной грани АВ

Таблица 2

Тангенциальное напряжение  $\sigma_s / q$  на гранях балки-стенки

Уз- лы	Метод граничных уравнений				Вариационно-разностный метод			
	AB	BC	CD	DA	AB	BC	CD	DA
0	-1	-3,2930	0	0	-1	-3,638	0	0
1	-0,4493	-2,2840	-0,4743	-0,4587	-0,304	-2,485	-0,011	-0,023
2	0,1886	-1,5180	-0,2720	-0,1243	0,138	-1,689	-0,088	0,040
3	0,0692	-0,9640	-0,3591	0,1031	0,149	-1,097	-0,288	0,212
4	-0,0273	-0,5357	-0,5288	0,3822	-0,020	-0,643	-0,537	0,492
5	-0,1213	-0,2026	-0,6884	0,7656	-0,088	-0,306	-0,777	0,905
6	-0,2333	0,0670	-0,7467	1,3460	-0,170	-0,086	-0,952	1,526
7	0,0307	0,4462	-0,5027	2,4300	-0,300	0,011	-1,023	2,581
8	0	0	-1	4,1620	0	0	-1	4,675

Для проверки выполнения граничных условий в табл. 3 приведены результаты расчетов по разработанному алгоритму и программе, составленной на языке FORTRAN. Значения нормальных напряжений  $\sigma_n = 0$  на грани **BC** и  $\sigma_n = -1$  [т/м<sup>2</sup>] на грани **DA** соответствуют заданным внешним нагрузкам на контуре.

Таблица 3

Нормальные напряжения  $\sigma_n / q$  на гранях BC и DA

Узлы	BC	Узлы	DA
9	0	25	-1
10	0	26	-1
11	0	27	-1
12	0	28	-1

Окончание табл. 3

Узлы	BC	Узлы	DA
13	0	29	-1
14	0	30	-1
15	0	31	-1
16	0	32	-1

### Вывод

Численная реализация методом граничных интегральных уравнений при использовании В-сплайна нулевого порядка позволяет получать результаты, которые удовлетворительно совпадают с известными решениями. Особенность предлагаемой методики расчета состоит в том, что неизвестными в системе разрешающих уравнений являются только граничные параметры. В связи с этим можно значительно уменьшить шаг разбивки контура системы с целью уточнения результатов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.: Наука, 1975. 575 с.
2. Новацкий В. Теория упругости. М.: Мир, 1975. 872 с.
3. Бреббия К., Теллес Ж., Вробел Л. Методы граничных элементов. М.: Мир, 1987. 524 с.
4. Низомов Д.Н. Метод граничных уравнений в решении статических и динамических задач строительной механики. М.: Изд-во АСВ, 2000. 282 с.
5. Низомов Д.Н., Ходжибоев О.А., Ходжибоев А.А. Граничные уравнения взаимодействия сооружения с упругим полупространством // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2016. Т. 59. № 5–6. С. 229–235.
6. Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Каландарбеков И., Ходжибоев О.А. Напряженное и деформированное состояния угловых зон в плоской задаче теории упругости // Тр. Межд. конф. по снижению сейсмического риска. Душанбе, 2009. С. 157–163.
7. Вайнберг Д.В. Справочник по прочности, устойчивости и колебаниям пластин. Киев: Будівельник, 1973. 488 с.

### REFERENCES

1. Timoshenko S.P., Gud'er Dz. Teorija uprugosti [Theory of elasticity]. Moscow: Nauka, 1975. 575 p. (rus)
2. Novackij V. Teorija uprugosti [Theory of elasticity]. Moscow: Mir, 1975. 872 p. (rus)
3. Brebbia C.A., Telles J.C.F., Wrobel L.C. Metody granichnyh uravnenij [Boundary element techniques: theory and applications in engineering]. Moscow: Mir, 1987. 524 p. (transl. from Engl.)
4. Nizomov D.N. Metod granichnyh uravnenij v reshenii staticheskikh i dinamicheskikh zadach stroitel'noj mehaniki [Boundary element method for static and dynamic problem of structural mechanics]. Moscow: ASV, 2000. 282 p. (rus)
5. Nizomov D.N., Hodzhiboev O.A., Hodzhiboev A.A. Granichnye uravnenija vzaimodejstvija sooruzhenija s uprugim poluprostranstvom [Boundary equations of interaction between structure and elastic half-space]. Doklady Akademii nauk Respubliki Tadzhikistan. Dushanbe, 2016. V. 59. No. 5–6. Pp. 229–235. (rus)
6. Nizomov D.N., Hodzhiboev A.A., Kalandarbekov I., Hodzhiboev O.A. Naprjazhennoe i deformirovannoe sostojaniya uglovyyh zon v ploskoj zadache teorii uprugosti [Stress-strain state of angular areas in plane elastic problem]. Trudy mezhd. konf. po snizheniju sejsmicheskogo riska (Proc. Int. Sci. Conf. on Seismic Risk Reduction). Dushanbe, 2009. Pp. 157–163. (rus)



7. *Vainberg D.V. Spravochnik po prochnosti, ustoichivosti i kolebaniyam plastin* [Handbook on strength, stability and vibration of plates]. Kiev: Budivel'nik. 1973. 488 p. (rus)

**Сведения об авторе**

*Ходжибоев Орифджон Абдуазизович*, ст. научный сотрудник, Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН РТ, 734029, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 269, [hojiboev@mail.ru](mailto:hojiboev@mail.ru)

**Author Details**

*Orifdzhon A. Khodzhiboev*, Senior Scientist, Academy of Sciences of the Re-public of Tajikistan, 33, Rudaki Ave., 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, [hojiboev@mail.ru](mailto:hojiboev@mail.ru)