

УДК 699.841

DOI [10.37153/2618-9283-2023-1-29-37](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2023-1-29-37)

### ***Теоретические и экспериментальные исследования***

#### **Моделирование взаимодействия сооружения с основанием при сейсмических воздействиях**

**Низомов Джахонгир Низомович<sup>1</sup>, Сангинов Абдусамад Мирвафоевич<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной академии наук Таджикистана. Душанбе, Республика Таджикистан

**Аннотация:** Задача взаимодействия сооружения с упругим полупространством представляет практический интерес по ряду причин. Во-первых, сооружение и грунт, на котором оно покоится, образуют связанную динамическую систему, и существенной может быть обратная связь от сооружения к пластам грунта. В этом случае, например, сейсмическое воздействие не может определяться независимо от характеристик сооружения. Во-вторых, не всегда удается выбрать или смоделировать записи колебаний грунта, которые являются представительными для определенных грунтовых условий строительной площадки. В этом случае желательно при расчетах учитывать характеристики массива фундамента. В-третьих, грунт также может взаимодействовать с сооружением, вызывая изменения в его напряженном состоянии.

Проблема динамического взаимодействия сооружений с основанием и передачи колебаний через грунт связана с такими науками как инженерная сейсмология, теория сейсмостойкости, механика деформируемого твердого тела. В настоящей статье рассматривается проблема задания расчетного сейсмического воздействия на сооружение.

**Ключевые слова:** землетрясение, взаимодействие с основанием, кинематическое возмущение, основание сооружения, сейсмическое воздействие

**Для цитирования:** Низомов Д.Н., Сангинов А.М. Моделирование взаимодействия сооружения с основанием при сейсмических воздействиях // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2023. № 1. С. 29-37.

DOI [10.37153/2618-9283-2023-1-29-37](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2023-1-29-37)

### ***Theoretical and experimental studies***

#### **Simulation of the interaction of the structure with the foundation under seismic impacts**

Djahongir N. Nizomov<sup>1</sup>, Abdusamad M. Sanginov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology of the National Academy of Sciences of Tajikistan NAST. Dushanbe, Republic of Tajikistan

**Abstract:** The problem of the interaction of a structure with an elastic half-space is of practical interest for a number of reasons. Firstly, the structure and the soil on which it rests form a

@ D.N. Nizomov, A.M. Sanginov, 2023

connected dynamic system, and the feedback from the structure to the soil layers can be significant. In this case, for example, the seismic action cannot be determined independently of the characteristics of the structure. Second, it is not always possible to select or model ground motion records that are representative of the specific ground conditions of a construction site. In this case, it is desirable to take into account the characteristics of the foundation array in the calculations. Thirdly, the soil can also interact with the structure, causing changes in its stress state.

The problem of dynamic interaction of structures with the foundation and the transmission of vibrations through the ground is associated with such sciences as engineering seismology, theory of seismic resistance, mechanics of a deformable solid body. This article deals with the problem of setting the design seismic impact on the structure.

**Keywords:** earthquake, interaction with the base, kinematic perturbation, structure base, seismic impact

**For citation:** Nizomov D.N., Sanginov A.M. Simulation of the interaction of the structure with the foundation under seismic impacts. *Earthquake engineering. Constructions safety*. 2023, no. 1, pp. 29-37 (In Russian) DOI [10.37153/2618-9283-2023-1-29-37](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2023-1-29-37)

Возможно различное математическое моделирование задачи о совместных колебаниях двух различных систем – сооружения и грунтового основания:

- 1) использование единой динамической модели, объединяющей обе системы в одну, и решение задачи о колебаниях единой системы;
- 2) решение задач о колебаниях каждой из систем без связи с другой и затем использование условий совместности для решения задачи о связанных колебаниях.

В настоящее время существуют два основных подхода к решению проблемы взаимодействия сооружения с основанием:

- 1) использование эквивалентных динамических характеристик основания;
- 2) прямой метод, в котором колебания сооружения и основания исследуются совместно.

По первому подходу могут быть три варианта решения задачи:

- 1) определение сейсмического воздействия на фундамент исследуемого объекта, исходя из направления падения сейсмических волн и геометрии фундамента;
- 2) определение эквивалентных динамических характеристик основания (модели Винклера, Власова–Леонтьева и т.п.).

В практических расчетах предполагается, что основание состоит из горизонтальных слоев и нижнего подстилающего скального слоя, который представляет собой однородное полупространство. При этом направление падения сейсмических волн принимается вертикальным. Грунт рассматривается как линейная упруго-вязкая среда. В этом случае проблема передачи сейсмического воздействия через слоистое основание сводится к решению одномерной задачи распространения упругой волны.

Рассмотрим задачу о колебаниях штампа, лежащего на упругом полупространстве с однородным поверхностным слоем при действии поперечной волны. Предполагается, что штамп жестко связан с упругим телом и перемещение его определяет перемещение границы упругого тела. На поверхности упругого тела вне штампа нормальная и тангенциальная составляющие напряжения равны нулю. Поверхностный слой толщиной  $h$  имеет плотность  $\rho_1$ , и скорость распространения волны  $c_1$ , а подстилающий слой соответственно имеет  $\rho_2$  и  $c_2$ . Для принятой системы координат (рис. 1) динамическое состояние полупространства описывается плоским волновым уравнением

$$\frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} = \frac{1}{c_2^2} \cdot \frac{\partial^2 u_y}{\partial t^2}, \quad u_y = u_y(x, t)$$

Данное уравнение – дифференциальное уравнение плоской поперечной волны, распространяющейся по оси  $Oz$ . Можно легко показать, что функция (1) является его решением.

Предположим, что от подстилающего слоя вверх движется синусоидальная поперечная волна с амплитудой  $A_0$  и частотой  $\omega$

$$A_2(x, t) = A_0 \exp \left[ i\omega \left( t + \frac{x}{c_2} \right) \right], \quad c_2 = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{G_2}{\rho_2}}, \quad (1)$$

а в поверхностном слое приобретает вид

$$A_1(x, t) = A_1 \exp \left[ i\omega \left( t + \frac{x}{c_1} \right) \right], \quad c_1 = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{G_1}{\rho_1}}, \quad (2)$$

$c_1, c_2$  – скорости поперечных волн соответственно в поверхностном и подстилающем слоях. Поперечная волна, достигая поверхность  $x = -h$ , приводит в движение штамп, а затем, отражаясь от него, создает волну

$$B_1(x, t) = B_1 \exp \left[ i\omega \left( t - \frac{x}{c_1} \right) \right], \quad (3)$$

которая в подстилающем слое записывается в виде

$$B_2(x, t) = B_2 \exp \left[ i\omega \left( t - \frac{x}{c_2} \right) \right]. \quad (4)$$

В формулах (1) – (4):  $A_0$  – заданная амплитуда волны;  $A_1, B_1, B_2$  – неизвестные амплитуды;  $c_1, c_2$  – скорости поперечных волн соответственно в поверхностном и подстилающем слоях.

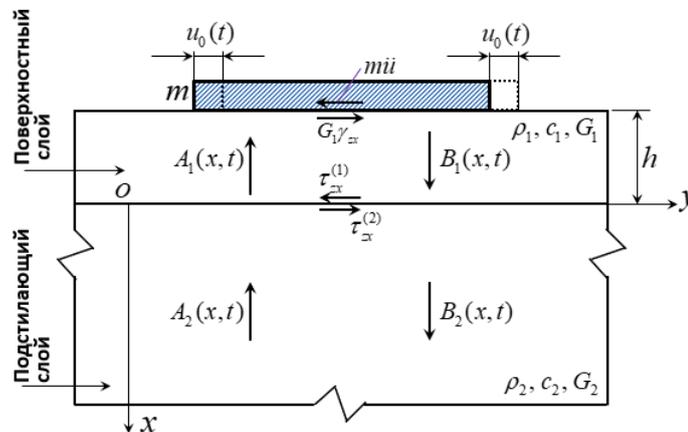


Рисунок 1 – Двухслойная полуплоскость при действии поперечной волны

Figure 1 – Two-layer half-plane under the action of a transverse wave

Перемещение грунта в поверхностном и подстилающем слоях состоит из суммы прямой и отраженной волны:

$$u_y^{(1)} = u_1(x, t) = A_1 e^{i\omega \left( t + \frac{x}{c_1} \right)} + B_1 e^{i\omega \left( t - \frac{x}{c_1} \right)}, \quad (5)$$

$$u_y^{(2)} = u_2(x, t) = A_0 e^{i\omega \left( t + \frac{x}{c_2} \right)} + B_2 e^{i\omega \left( t - \frac{x}{c_2} \right)}. \quad (6)$$

Граничные условия задачи с учетом штампа записываются в виде

$$1) G_1 \frac{\partial u}{\partial x} = m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \text{ при } x = -h; \quad 2) u_1 = u_2; \quad 3) \tau_{xy}^{(1)} = \tau_{xy}^{(2)} \text{ при } x = 0, \quad (7)$$

где  $G_1$  – модуль сдвига поверхностного слоя;  $m$  – масса единицы площади штампа. Из трех граничных условий (7) с учетом (5) и (6) получим систему алгебраических уравнений

$$\begin{aligned} A_1 \theta_1 e^{i\omega \left( t - \frac{h}{c_1} \right)} + B_2 \theta_2 e^{i\omega \left( t + \frac{h}{c_1} \right)} &= 0, \\ A_1 + B_1 - B_2 &= A_0, \\ k_0 A_1 - k_0 B_1 + B_2 &= A_0, \end{aligned} \quad (8)$$

где  $k_0 = \frac{G_1 c_2}{G_2 c_1}$ ;  $\theta_1 = m^* \omega^2 + i \frac{\omega}{c_1}$ ,  $\theta_2 = m^* \omega^2 - i \frac{\omega}{c_1}$ ,  $m^* = \frac{m}{G_1}$ .

Из совместного решения (8) находим амплитуды колебаний:

$$A_1 = \frac{2A_0}{z_1}, \quad B_1 = -\frac{2A_0 z e^{-i\omega \frac{2h}{c_1}}}{z_1}, \quad B_2 = \frac{A_0 \left[ (1-k_0) - (1+k_0)z \cdot e^{-i\omega \frac{2h}{c_1}} \right]}{z_1}, \quad (9)$$

где  $z_1 = (1+k_0) - (1-k_0)z \cdot e^{-i\omega \frac{2h}{c_1}}$   $z = \frac{\theta_1}{\theta_2}$ .

Внося  $A_1$  и  $B_1$  в (5), получим формулу определения перемещений в поверхностном слое, откуда при  $x = -h$  будем иметь горизонтальное перемещение штампа

$$u_0(t) = \frac{2A_0(1-z)}{z_1 \exp \left[ -i\omega \left( t - \frac{h}{c_1} \right) \right]} = \frac{2A_0}{x+iy}, \quad (10)$$

$$x = \cos \omega t \cdot \cos \frac{\omega h}{c_1} - k_0 \sin \omega t \sin \frac{\omega h}{c_1} + k_0 k_m \sin \omega t \cos \frac{\omega h}{c_1} + k_m \cos \omega t \sin \frac{\omega h}{c_1};$$

$$y = k_0 k_m \cos \omega t \cos \frac{\omega h}{c_1} - k_m \sin \omega t \cdot \sin \frac{\omega h}{c_1} - \sin \omega t \cos \frac{\omega h}{c_1} - k_0 \cos \omega t \cdot \sin \frac{\omega h}{c_1},$$

$$k_0 = \frac{G_1 c_2}{G_2 c_1} = \frac{\rho_1 c_1}{\rho_2 c_2}, \quad k_m = \frac{k_2}{k_1}, \quad k_1 = \frac{\omega}{c_1}, \quad k_2 = m^* \omega^2.$$

Амплитуда колебаний штампа, равная модулю  $u_0(t)$  выражается так

$$u_0 = \frac{2A_0}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \frac{2A_0}{\sqrt{k_0^2 (\sin \beta + k_m \cos \beta)^2 + (\cos \beta - k_m \sin \beta)^2}}, \quad (11)$$

где  $\beta = \omega h / c_1 = k_1 \cdot h$ .

коэффициент  $k_m$ , учитывающий влияние штампа на амплитуду колебаний поверхности при  $x = -h$ , можно выразить либо через длину волны  $l = 2\pi / k_1$ , либо через параметр  $\beta$ :

$$k_m = \frac{k_2}{k_1} = \frac{2\pi m}{\rho_1 l} = \frac{m}{\rho_1 h}. \quad (12)$$

Перемещение на границе между поверхностным слоем и грунтом основания, полученное из (6) при  $x = 0$ , с учетом (9) записывается в виде

$$u_{12}(t) = 2A_0 \frac{(1-z)(\cos \beta - k_m \sin \beta)}{z_1 \exp \left[ -i\omega \left( t - \frac{h}{c_1} \right) \right]}, \quad (13)$$

откуда, отделив действительную и мнимую части, находим амплитуду горизонтальных колебаний в плоскости  $x = 0$

$$u_{12} = \frac{2A_0(\cos\beta - k_m \sin\beta)}{\sqrt{k_0^2(\sin\beta + k_m \cos\beta)^2 + (\cos\beta - k_m \sin\beta)^2}}, \quad (14)$$

Отношение амплитуд

$$u_0 / u_{12} = 1 / (\cos\beta - k_m \sin\beta), \quad (15)$$

в зависимости от  $\beta$  и  $k_m$  может принимать значения от 0 до  $\infty$ . Следует заметить, что при  $k_m = 0$ , что соответствует отсутствию штампа, из (11), (14) и (15) мы получим известные решения [1]

$$u_0 = \frac{2A_0}{\sqrt{\cos^2\beta + k_0 \sin^2\beta}}, \quad u_{12} = \frac{2A_0 \cos\beta}{\sqrt{\cos^2\beta + k_0 \sin^2\beta}}, \quad \frac{u_0}{u_{12}} = \sec\beta.$$

Амплитуду колебаний касательных напряжений на линии сцепления штампа с упругим телом определим с помощью (5), откуда при  $x = -h$ , получаем

$$\frac{\partial u}{\partial x} = 2A_0 \frac{\omega i(1+z)}{c_1 z_1} \exp\left[i\omega\left(t - \frac{h}{c_1}\right)\right],$$

$$\tau_{xy} = G_1 \cdot \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{2A_0 m \omega^2}{\sqrt{k_0^2(\sin\beta + k_m \cos\beta)^2 + (\cos\beta - k_m \sin\beta)^2}}. \quad (16)$$

$$k_0 = \frac{G_1 c_2}{G_2 c_1} = \frac{\rho_1 c_1}{\rho_2 c_2} \text{ (б/р)}, \quad k_1 = \frac{\omega}{c_1} \text{ (м}^{-1}\text{)}, \quad m^* = \frac{m}{G_1} \text{ (с}^2\text{/м)}, \quad k_2 = m^* \omega^2 \text{ (м}^{-1}\text{)},$$

$$k_m = \frac{k_2}{k_1} = \frac{m \omega c_1}{G_1}, \quad \beta = \frac{\omega h}{c_1} = k_1 \cdot h.$$

Как следует из полученных результатов, усиление колебаний штампа происходит при движении волны с периодом ( $\beta = 1,314$ )

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi h}{c_1 \beta} = 4,78 \frac{h}{c_1} = 4,78 t_0, \quad t_0 = \frac{h}{c_1},$$

который в 4,78 раза больше  $t_0$  – времени прохождения волны через поверхностный слой.

В табл. 1 представлены значения касательных напряжений, полученных по формуле (16) при  $k_m = 0,2\beta$  и различных значениях  $k_0$ . Если правую часть формулы (11) представить как произведение динамического коэффициента на  $A_0$ , то при определенных значениях  $k_m$ , коэффициент  $k_0$  играет роль параметра затухания. Следовательно, с увеличением плотности (жесткости) грунта поверхностного слоя амплитуда колебаний штампа уменьшается.

**Таблица 1** – Безразмерные значения касательных напряжений  $\tau_{xy} / A_0 m \omega^2$  на контактной линии в зависимости от  $k_0$  и  $\beta$

**Table 1** – Dimensionless values of tangential stresses  $\tau_{xy} / A_0 m \omega^2$  on the contact line, depending on  $k_0$  and  $\beta$

$k_0$	$\beta = \omega h / c_1$					
	0	$\pi / 4$	1,314	$\pi / 2$	$3\pi / 4$	$\pi$
0	2	3,36	$\infty$	6,36	1,92	2
0,25	2	3,16	7,72	4,98	1,92	1,98
0,5	2	2,76	3,86	3,38	1,90	1,90
1,0	2	1,96	1,93	2,58	1,80	1,70
2,0	2	1,14	0,96	0,98	1,56	1,24

Из полученных результатов (табл.1) следует, что при  $\beta > 0$  и с увеличением  $k_0$  касательные напряжения на контактной поверхности уменьшаются.

Предположим, что основание состоит из двух упругих тел, гладко соединенных в точках поверхности  $x = 0$ , а на поверхности  $x = h_2$  действует динамическая нагрузка  $q(t)$ . Обе части упругого основания имеют разные плотности  $\rho_1$  и  $\rho_2$  и разные волновые скорости  $c_1$  и  $c_2$ . Волна, бегущая по основанию, в точке  $x = 0$  сталкивается со скачком импеданса, часть падающей волны отразится, а другая часть пройдет в область с импедансом  $\rho_1 c_1$ . Граничные условия задачи для принятой системы координат (2) записываются в виде

$$\begin{aligned}
 G_1 \frac{\partial u_1}{\partial x} &= m \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} \quad \text{при } x = -h_1; \\
 u_1(x, t) &= u_2(x, t), \quad G_1 \frac{\partial u_1}{\partial x} = G_2 \frac{\partial u_2}{\partial x} \quad \text{при } x = 0, \\
 G_2 \frac{\partial u_2}{\partial x} &= -q(t) \quad \text{при } x = h_2.
 \end{aligned} \tag{17}$$

В результате аналитического решения поставленной задачи получим модуль амплитуды горизонтальных колебаний штампа

$$u_0 = \frac{k_0 q^*}{k_0 (m \omega^2 \cos \alpha \cdot \cos \beta + k_1 G_1 \sin \alpha \cdot \cos \beta) - m \omega^2 \sin \alpha \cdot \sin \beta + k_1 G_1 \cos \alpha \cdot \sin \beta}, \tag{17, a}$$

где  $q^* = q(t) e^{-i \omega t}$ ,  $\alpha = k_1 h_1$ ,  $\beta = k_2 h_2$ , что при  $k_0 = 1$ ,  $\alpha + \beta = kh$  совпадает с решением для однослойного основания.

Далее переходим к решению задачи методом граничных уравнений [2]. Используя систему координат, представленную на рис. 2, запишем уравнение

$$u(\xi) = u_0^*(\xi) \varphi_0 - \varphi_0^*(\xi) u_0 + u_1 \varphi_0^*(\xi) - u_1^*(\xi) \varphi_1,$$

где  $\varphi = du / dx$ ,  $\varphi^* = du^* / dx$ ,  $u_0, u_1$  – искомые перемещения соответственно в точках  $x = 0$ ,  $x = h$ , для двух слоев основания

$$\begin{aligned}
 u(\xi) &= u_0^*(\xi) \varphi_0 - \varphi_0^*(\xi) u_0 + \varphi_1^*(\xi) u_1 - u_1^*(\xi) \varphi_1, \quad 0 \leq \xi < h_1, \\
 u(\xi) &= u_2^*(\xi) \varphi_2 - \varphi_2^*(\xi) u_2 + \varphi_3^*(\xi) u_3 - u_3^*(\xi) \varphi_3, \quad h_1 < \xi < h.
 \end{aligned} \tag{18}$$

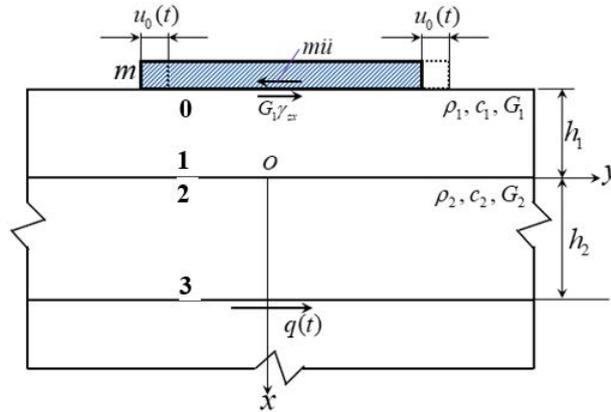


Рисунок 2 – К решению задачи штампа, лежащего на двухслойном основании при действии гармонической нагрузки

Figure 2 – To the solution of the problem of a stamp lying on a two-layer base under the action of a harmonic load

Используя предельный переход из (18), получим систему уравнений

$$\begin{aligned} (1 + \varphi_{00}^*)u_0 - \varphi_{10}^*u_1 + u_{10}^*\varphi_1 &= u_{00}^*\varphi_0, \\ \varphi_{01}^*u_0 + (1 - \varphi_{11}^*)u_1 + u_{11}^*\varphi_1 &= u_{01}^*\varphi_0, \\ (1 + \varphi_{22}^*)u_2 - \varphi_{32}^*u_3 - u_{22}^*\varphi_2 &= -u_{32}^*\varphi_3, \\ \varphi_{23}^*u_2 + (1 - \varphi_{33}^*)u_3 - u_{23}^*\varphi_2 &= -u_{33}^*\varphi_3. \end{aligned} \quad (19)$$

Записав граничные условия в виде

$$G_1\varphi_0 = -m\omega^2 u_0, \quad u_1 = u_2, \quad G_1\varphi_1 = G_2\varphi_2, \quad G_2\varphi_3 = -q^*, \quad (20)$$

и внося их в систему (19), получаем граничные параметры

$$\begin{aligned} u_0 &= \frac{k_0 q^*}{k_0 d_1 + d_2}, \quad u_1 = \frac{(k_1 G_1 \cos \alpha - m\omega^2 \sin \alpha)}{k_2 G_2 (k_0 d_1 + d_2)}, \quad u_3 = -\frac{q^* (k_0 d_3 - d_4)}{k_2 G_2 (k_0 d_1 + d_2)}, \\ \varphi_1 &= -\frac{k_0 (k_1 G_1 \sin \alpha + m\omega^2 \cos \alpha) q^*}{G_1 (k_0 d_1 + d_2)}, \end{aligned} \quad (21)$$

где

$$\begin{aligned} d_1 &= k_1 G_1 \sin \alpha \cdot \cos \beta + m\omega^2 \cos \alpha \cdot \cos \beta, \\ d_2 &= k_1 G_1 \cos \alpha \cdot \sin \beta - m\omega^2 \sin \alpha \cdot \sin \beta, \\ d_3 &= k_1 G_1 \sin \alpha \cdot \sin \beta + m\omega^2 \cos \alpha \cdot \sin \beta, \\ d_4 &= k_1 G_1 \cos \alpha \cdot \cos \beta - m\omega^2 \sin \alpha \cdot \cos \beta \end{aligned}$$

Можно заметить, что полученная амплитуда колебаний штампа методом граничных уравнений совпадает с классическим решением (17, а).

В таблице 2 приведены значения амплитуды колебаний штампа в зависимости от  $\alpha$  и  $\beta$  при различных значениях  $k_m$  и  $k_0 = 0,25$ .

Таблица 2 – Амплитуды колебания штампа при  $k_0 = 0,25$

Table 2 – The amplitudes of the stamp oscillation at  $k_0 = 0,25$

$\alpha$	$k_m = 0,25$					$k_m = 0,5$				
	$\beta$					$\beta$				
	0	$\pi/4$	$\pi/2$	$3\pi/4$	$\pi$	0	$\pi/4$	$\pi/2$	$3\pi/4$	$\pi$
0	4	1,13	1,0	1,88	-4,0	2	0,94	1,0	0,94	-2,0
$\pi/4$	2,83	<b>4,0</b>	$\infty$	-4,0	-2,83	1,88	-8,0	-1,41	-2,66	-1,88
$\pi/2$	4	-2,83	-1,0	-1,13	-4,0	<b>4,0</b>	-0,81	-0,5	-0,63	-4,0
$3\pi/4$	$\infty$	0,40	-0,71	-1,0	$\infty$	-5,65	-0,62	-0,47	-0,53	5,65
$\pi$	-4	-1,13	-1,0	-1,88	4,0	-2,0	-0,94	-1,0	-0,94	2,0

Из полученных результатов, приведенных в таблице 2, следует, что с увеличением  $k_m$ , то есть с уменьшением жесткости грунта поверхностного слоя, увеличивается амплитуда колебаний штампа.

### Выводы

Получено аналитическое решение задачи о колебаниях штампа, лежащего на упругом неоднородном полупространстве при действии поперечной волны. Установлено, что с увеличением плотности грунта поверхностного слоя амплитуда колебаний штампа уменьшается. Усиление колебаний штампа имеет место в том случае, когда период волны в 4,78 раза больше времени прохождения волны через поверхностный слой. Достоверность полученных результатов подтверждается путем сравнения с известными решениями, полученными для неоднородного полупространства без штампа. Полученные результаты позволяют оценить поведение модуля амплитуды колебаний штампа в зависимости от изменения физических и геометрических параметров двухслойного основания.

### Список литературы

1. Окамото Ш. Сейсмостойкость инженерных сооружений. М.: Стройиздат. 1980. 342 с.
2. Низомов Д.Н. Метод граничных уравнений и сплайн-аппроксимаций в решении статических и динамических задач строительной механики: Дисс. докт. техн. наук. М.: МИСИ (МГСУ). 1999. 322 с.
3. Низомов Д.Н. Метод граничных уравнений в решении статических и динамических задач строительной механики. М.: Изд-во АСВ, 2000. 282 с.

### References

1. Okamoto Sh. Seismic stability of engineering structures. Moscow: Stroyizdat. 1980. 342 p. (In Russian)
2. Nizomov D.N. The method of boundary equations and spline approximations in solving static and dynamic problems of structural mechanics: Diss. doc. tech. Sciences. Moscow: MISI (MGSU). 1999. 322 p. (In Russian)
3. Nizomov D.N. Method of boundary equations in solving static and dynamic problems of structural mechanics. M.: Publishing house ASV, 2000. 282 p. (In Russian)

## Информация об авторах / Information about the authors

**Низомов Джахонгир Низомович**, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАНТ, заведующий лабораторией сейсмостойкости зданий и сооружений. Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАНТ. Душанбе, Республика Таджикистан [ties@mail.ru](mailto:ties@mail.ru)

**Djahongir N. Nizomov**, Dr. Sci. (engineering), professor, Corresponding Member of NAST, Head of the Laboratory of seismic resistance of buildings and structures, Institute of geology, earthquake engineering and seismology of the National Academy of sciences of Tajikistan (NAST). Dushanbe, Republic of Tajikistan [ties@mail.ru](mailto:ties@mail.ru)

**Сангинов Абдусамад Мирвафоевич**, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории сейсмостойкости зданий и сооружений. Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАНТ. Душанбе, Республика Таджикистан [samad80@mail.ru](mailto:samad80@mail.ru)

**Abdusamad M. Sanginov**, Cand. Sci. (engineering), leading researcher at the Laboratory of seismic resistance of buildings and structures, Institute of geology, earthquake engineering and seismology of the National Academy of sciences of Tajikistan (NAST.)  
Dushanbe, Republic of Tajikistan [samad80@mail.ru](mailto:samad80@mail.ru)