

**Изменение № 1 к СП 26.13330.2012 «Фундаменты машин с динамическими нагрузками»**

**Утверждено и введено в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России)**

от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_.

Дата введения \_\_\_\_\_

Раздел 2. Нормативную ссылку «ГОСТ Р 54257-2010 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования» заменить на «ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения».

Нормативную ссылку «ГОСТ 25100-95 Грунты. Классификация» заменить на «ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация».

Нормативную ссылку «СП 47.13330.2010 "СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения"» заменить на «СП 47.13330.2012 "СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения"».

Включить нормативную ссылку «ГОСТ Р 56353-2015 Грунты. Методы лабораторного определения динамических свойств дисперсных грунтов».

Раздел 5. Пункт 5.2.2. Первый абзац изложить в следующей редакции «Фундаменты машин с динамическими нагрузками проектируются бетонными или железобетонными монолитными, сборно-монолитными и сборными или металлическими. Для применения металлических фундаментов требуется соответствующее обоснование. Использование в конструкциях фундаментов машин бывших в употреблении металлоконструкций не допускается.»

Раздел 6. Пункт 6.1.2. Первый абзац изложить в следующей редакции «Основную упругую характеристику естественных оснований фундаментов машин - коэффициент упругого равномерного сжатия,  $C_z$ , кН/м<sup>3</sup>, следует определять, как правило, по результатам испытаний; на основе данных о скоростях продольных и поперечных упругих волн; на основе данных о динамических модулях упругости и сдвига, определяемых из лабораторных испытаний по ГОСТ Р 56353.»

Пункт 6.1.4. Последний абзац изложить в следующей редакции «С целью более точной оценки жесткости и демпфирования основания следует учитывать влияние ряда

дополнительных факторов, таких как наличие пола, боковой засыпки фундамента и др., на увеличение этих коэффициентов, проводя для этого специальные исследования в соответствии с указаниями [4]».

Раздел 6.1. Дополнить следующими пунктами:

6.1.9 При определении коэффициентов жесткости  $K_{z0}$ ,  $K_{\varphi0}$  и  $K_{x0}$  и соответствующих коэффициентов относительного демпфирования  $\xi_{z0}$ ,  $\xi_{\varphi0}$  и  $\xi_{x0}$  по результатам экспериментов с незаглубленными или мало заглубленными фундаментами, полученные значения следует уточнять с целью учета заглубления фундамента, бетонируемого враспор или, при условии тщательного уплотнения обратной засыпки, в опалубке.

6.1.10 При расчете горизонтально-вращательных колебаний фундамента машин с динамическими нагрузками с учетом заглубления и боковой засыпки следует заменить  $h_2$  — расстояние от центра тяжести установки до подошвы фундамента — на

$$h_{2,d} = h_2 - d,$$

а  $h$  — расстояние от подошвы до верхней грани фундамента — на

$$h_d = h - d,$$

где

$$d = \delta D;$$

$D$  — отсчитываемая от подошвы фундамента высота засыпки или контактирующего с вертикальными гранями фундамента ненарушенного грунта. Значение  $\delta$  принимается равным 0,27 для песчаных грунтов; 0,31 — для супесей и суглинков; 0,35 — для глин.

Значения коэффициентов жесткости  $K_z$ ,  $K_{\varphi}$ ,  $K_x$ , учитывающие заглубление фундамента, определяются по формулам

$$K_z = K_{z0}R_z;$$

$$K_{\varphi} = K_{\varphi0}R_{\varphi};$$

$$K_x = K_{x0}R_x.$$

Коэффициенты  $R_z$ ,  $R_{\varphi}$ ,  $R_x$  определяются по рис. 6.1 в зависимости от  $b$  и отношения  $D/b$ . Значение  $b$  принимается равным меньшей стороне подошвы фундамента — в случае вертикальных колебаний или стороне, параллельной направлению колебаний — в случае горизонтально-вращательных колебаний.

Значения коэффициентов относительного демпфирования, учитывающие заглубление фундамента, определяются по формулам

$$\xi_z = \frac{\xi_{z0}}{\sqrt{R_z}} + \frac{\Delta B_z}{2\sqrt{mK_z}};$$

$$\xi_\varphi = \sqrt{\frac{\theta_{\varphi 0}}{\theta_{\varphi 0, d}}} \xi_{\varphi, 0} + \frac{\Delta B_\varphi - d^2(B_{x0} + \Delta B_x)}{2\sqrt{\theta_{\varphi 0, d}(K_\varphi - mgh_{2, d})}};$$

$$\xi_x = \frac{\xi_{x0}}{\sqrt{R_x}} + \frac{\Delta B_x}{2\sqrt{mK_x}}.$$

где

$$\Delta B_z = 1,7\sqrt{\rho EDl};$$

$$\Delta B_\varphi = \kappa\sqrt{\rho ED^3l};$$

$$\Delta B_x = 3\kappa\sqrt{\rho EDl};$$

$$B_{x0} = 2\xi_{x0}\sqrt{mK_{x0}};$$

$E$  — модуль деформации грунта;

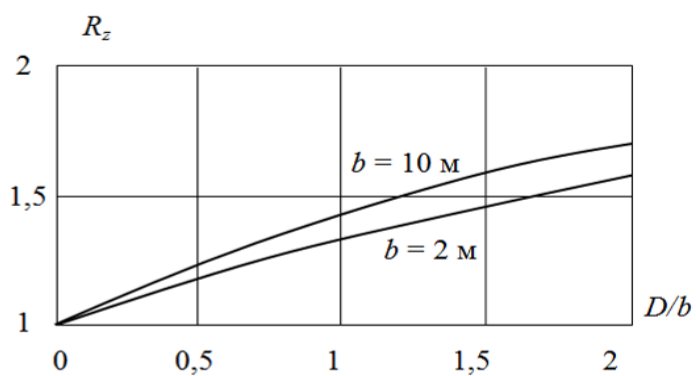
$\rho$  — плотность грунта;

$l$  — большая сторона подошвы фундамента при вертикальных колебаниях или сторона подошвы фундамента, перпендикулярная плоскости колебаний при горизонтально-вращательных колебаниях;

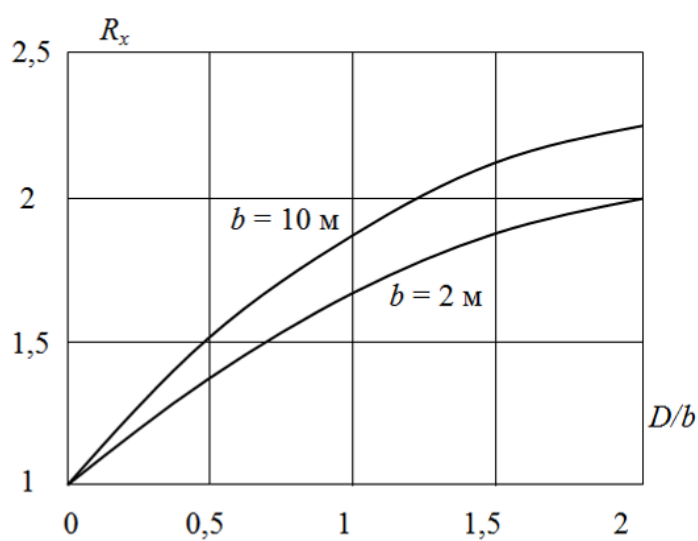
$m, \theta_{\varphi 0}$  — то же, что в 6.2.5.

Значение  $\theta_{\varphi 0, d}$  вычисляется по формуле (50) с заменой  $\theta_{\varphi 0}$  и  $h_2$  на  $\theta_{\varphi 0, d}$  и  $h_{2, d}$  соответственно; значение  $\kappa$  принимается равным 1,0 для песчаных грунтов; 1,2 — для супесей и суглинков; 1,8 — для глин.

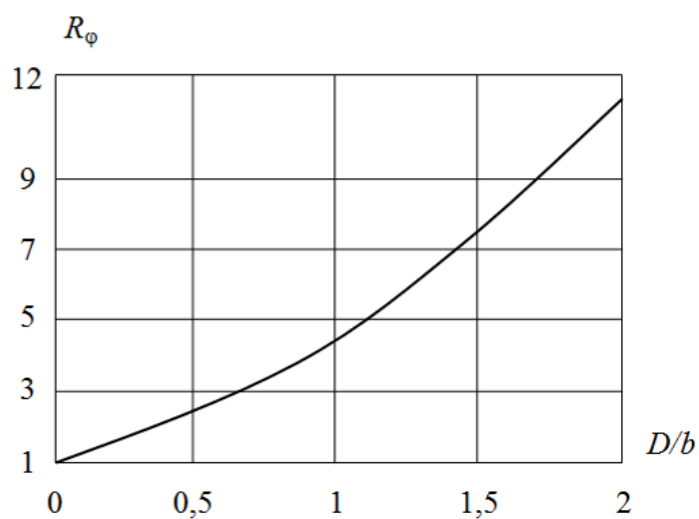
а)



б)



в)



$a — R_z$ ;  $б — R_x$ ;  $в — R_\phi$

**Рисунок 6.1 — Графики определения коэффициентов  $R_z$ ,  $R_\phi$ ,  $R_x$  для расчета коэффициентов жесткости оснований заглубленных фундаментов**

Пункт 6.6.3. Изложить абзац « $A_0, B_0, C_0$  - коэффициенты, зависящие от приведенной глубины погружения сваи  $\bar{l} = \bar{\alpha}l$  и условий опирания ее нижнего конца (определяются по указаниям СП 24.13330).» в следующей редакции « $A_0, B_0, C_0$  - коэффициенты, зависящие от приведенной глубины погружения сваи  $\bar{l} = \bar{\alpha}l$  и условий опирания ее нижнего конца, определяемые по таблице 8а.»

Пункт 6.6.3. Дополнить:

Таблица 8а

Приведенная глубина погружения сваи $\bar{l}$	При опирании сваи на нескальный грунт			При опирании сваи на скалу			При заделке сваи в скалу		
	$A_0$	$B_0$	$C_0$	$A_0$	$B_0$	$C_0$	$A_0$	$B_0$	$C_0$
0,5	72,004	192,026	576,243	48,006	96,037	192,291	0,042	0,125	0,500
0,6	50,007	111,149	278,069	33,344	55,609	92,942	0,072	0,180	0,600
0,7	36,745	70,023	150,278	24,507	35,059	50,387	0,114	0,244	0,699
0,8	28,140	46,943	88,279	18,775	23,533	29,763	0,170	0,319	0,798
0,9	22,244	33,008	55,307	14,851	16,582	18,814	0,241	0,402	0,896
1,0	18,030	24,106	36,486	12,049	12,149	12,582	0,329	0,494	0,992
1,1	14,916	18,160	25,123	9,983	9,196	8,836	0,434	0,593	1,086
1,2	12,552	14,041	17,944	8,418	7,159	6,485	0,556	0,698	1,176
1,3	10,717	11,103	13,235	7,208	5,713	4,957	0,695	0,807	1,262
1,4	9,266	8,954	10,050	6,257	4,664	3,937	0,849	0,918	1,342
1,5	8,101	7,349	7,838	5,498	3,889	3,240	1,014	1,028	1,415
1,6	7,154	6,129	6,268	4,887	3,308	2,758	1,186	1,134	1,480
1,7	6,375	5,189	5,133	4,391	2,868	2,419	1,361	1,232	1,535
1,8	5,730	4,456	4,299	3,985	2,533	2,181	1,532	1,321	1,581
1,9	5,190	3,878	3,679	3,653	2,277	2,012	1,693	1,397	1,617
2,0	4,737	3,418	3,213	3,381	2,081	1,894	1,841	1,460	1,644
2,2	4,032	2,756	2,591	2,977	1,819	1,758	2,080	1,545	1,675
2,4	3,526	2,327	2,227	2,713	1,673	1,701	2,240	1,586	1,685
2,6	3,163	2,048	2,013	2,548	1,600	2,687	2,330	1,596	1,687
2,8	2,905	1,869	1,889	2,453	1,572	1,693	2,371	1,593	1,687
3,0	2,727	1,758	1,818	2,406	1,568	1,707	2,385	1,586	1,691
3,5	2,502	1,641	1,757	2,394	1,597	1,739	2,389	1,584	1,711
4,0	2,441	1,621	1,751	2,419	1,618	1,750	2,401	1,600	1,732

Приложение А Термины и определения. Дополнить следующими позициями:

**А.6 экспонента матрицы (matrix exponential):** матричная функция от квадратной матрицы, аналогичная обычной экспоненциальной функции.

**А.7 спектральная плотность мощности случайного процесса (stochastic process power spectral density):** функция, описывающая распределение мощности случайного процесса в зависимости от частоты.

Приложение Б Расчет колебаний несимметричных массивных и ступенчатых фундаментов при произвольной зависимости нагрузки от времени. Дополнить следующими пунктами:

Б.8 Для расчетов колебаний несимметричных массивных и ступенчатых фундаментов рекомендуется использовать матричную форму:

$$\mathbf{M}' \ddot{\mathbf{q}}'(t) + \mathbf{B}' \dot{\mathbf{q}}'(t) + \mathbf{K}' \mathbf{q}'(t) = \mathbf{f}'(t), \quad (\text{Б.5})$$

где  $\mathbf{q}'(t) = [x' y' z' \chi' \varphi' \psi']^T$  и  $\mathbf{f}'(t) = [F_x F_y F_z M_\chi M_\varphi M_\psi]^T$  — вектор-столбцы обобщенных координат и связанных с ними обобщенных сил;  $\mathbf{M}'$ ,  $\mathbf{B}'$  и  $\mathbf{K}'$  — матрицы инерции, демпфирования и жесткости:

$$\mathbf{M}' = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 & 0 & md'_z & -md'_y \\ 0 & m & 0 & -md'_z & 0 & md'_x \\ 0 & 0 & m & md'_y & -md'_x & 0 \\ 0 & -md'_z & md'_y & \theta_{\chi'0} & -J_{x'y'0} & -J_{x'z'0} \\ md'_z & 0 & -md'_x & -J_{x'y'0} & \theta_{\varphi'0} & -J_{y'z'0} \\ -md'_y & md'_x & 0 & -J_{x'z'0} & -J_{y'z'0} & \theta_{\psi'0} \end{bmatrix}, \quad (\text{Б.6})$$

где  $m$  — масса фундамента с машиной;  $\theta_{\chi'0}$ ,  $\theta_{\varphi'0}$ ,  $\theta_{\psi'0}$  и  $J_{x'y'0}$ ,  $J_{y'z'0}$ ,  $J_{x'z'0}$  — моменты инерции относительно осей выбранной прямоугольной системы координат и соответствующие центробежные моменты инерции;  $d'_x$ ,  $d'_y$ ,  $d'_z$  — координаты центра масс;

$$\mathbf{B}' = \text{diag}\{B'_{ii}\} \quad (1 \leq i \leq 6); \quad (\text{Б.7})$$

$$\mathbf{K}' = \text{diag}\{K'_{ii}\} \quad (1 \leq i \leq 6). \quad (\text{Б.8})$$

Б.9 При задании вектора  $\mathbf{f}(t) = [F_x F_y F_z M_\chi M_\varphi M_\psi]^T$  действующих на фундамент обобщенных сил в системе координат  $Oxyz$ , не связанной с главными осями подошвы несимметричного фундамента вектор  $\mathbf{f}'(t)$  определяется по  $\mathbf{f}(t)$ :

$$\mathbf{f}' = \mathbf{S} \mathbf{f}, \quad (\text{Б.9})$$

где

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} \cos \zeta & \sin \zeta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin \zeta & \cos \zeta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin \zeta d_z & \cos \zeta d_z & -\cos \zeta d_y + \sin \zeta d_x & \cos \zeta & \sin \zeta & 0 \\ -\cos \zeta d_z & -\sin \zeta d_z & \cos \zeta d_x + \sin \zeta d_y & -\sin \zeta & \cos \zeta & 0 \\ d_y & -d_x & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (\text{Б.10})$$

$d_x$ ,  $d_y$  и  $d_z$  — координаты точки  $O'$  в системе  $Oxyz$ ;  $\zeta$  — угол, на который следует повернуть ось  $Ox$  (или  $Oy$ ) вокруг оси  $Oz$  в положительном направлении для достижения ее параллельности и сонаправленности с осью  $O'x'$  (соответственно  $O'y'$ ); оси  $Oz$  и  $O'z'$  параллельны и направлены вертикально вверх. В качестве системы координат  $Oxyz$  целесообразно выбирать систему координат, связанную с осями машины

Вектор обобщенных координат  $\mathbf{q}(t) = [x \ y \ z \ \chi \ \varphi \ \psi]^T$  в системе координат  $Oxyz$  определяется по  $\mathbf{q}'(t)$ :

$$\mathbf{q} = \mathbf{S}^T \mathbf{q}' \quad (\text{Б.11})$$

### *Периодические нагрузки*

Б.10 При вынужденных колебаниях с угловой частотой  $\omega$  вектор периодических нагрузок (обобщенных сил) задается формулой

$$\mathbf{f}'(t) = \mathbf{P}' e^{i\omega t}, \quad (\text{Б.12})$$

а решение матричного уравнения (Б.5) имеет вид

$$\mathbf{q}' = \mathbf{U}' e^{i\omega t}. \quad (\text{Б.13})$$

Постоянный вектор  $\mathbf{U}'$  размера  $6 \times 1$  определяется из условия

$$\mathbf{U}' = \left( -\omega^2 \mathbf{M}' + i\omega \mathbf{B}' + \mathbf{K}' \right)^{-1} \mathbf{P}'. \quad (\text{Б.14})$$

### *Импульсные нагрузки*

Б.11 Для матричного уравнения (Б.5) импульсная нагрузка рассматривается как мгновенная. Вектор начальных скоростей размера  $6 \times 1$  дается формулой

$$\mathbf{v}'_0 = (\mathbf{M}')^{-1} \mathbf{J}', \quad (\text{Б.14})$$

где  $\mathbf{J}'$  — вектор обобщенных импульсов размера  $6 \times 1$ , переданных телу при импульсном воздействии; вектор начальных значений обобщенных координат размера  $6 \times 1$  принимается нулевым:  $\mathbf{q}'_0 = \mathbf{0}$ . Для решения уравнения свободных колебаний фундамента

(Б.5) при  $\mathbf{f}'(t) = 0$  применяются численные или аналитические методы.

Б.12 Значение вектора обобщенных перемещений через время  $t$  после импульсного воздействия может определяться по формуле

$$\mathbf{q}'(t) = [\mathbf{I} \mid \mathbf{0}] e^{\mathbf{A}t} \mathbf{d}_0, \quad (\text{Б.15})$$

где

$$\mathbf{A} = \left[ \begin{array}{c|c} \mathbf{0} & \mathbf{I} \\ \hline -(\mathbf{M}')^{-1} \mathbf{K}' & -(\mathbf{M}')^{-1} \mathbf{B}' \end{array} \right]; \quad (\text{Б.16})$$

$$\mathbf{d}_0 = \begin{bmatrix} \mathbf{q}'_0 \\ \mathbf{v}'_0 \end{bmatrix}; \quad (\text{Б.17})$$

$\mathbf{0}$  и  $\mathbf{I}$  — нулевая и единичная матрицы размера  $6 \times 6$ ;  $e^{\mathbf{A}t}$  — экспонента матрицы  $\mathbf{A}t$ . Значение амплитуды колебаний (пикового значения) определяется как максимум абсолютного значения по времени.

### *Случайные нагрузки*

Б.13 Случайные нагрузки задаются постоянной матрицей  $\mathbf{Q}$  размера  $6 \times 6$ , состоящей из спектральных плотностей мощности для вектора  $\mathbf{f}'(t)$ . Случайные колебания описываются зависящей от угловой частоты  $\omega$  матрицей размера  $6 \times 6$

$$\text{PSD}_{\mathbf{q}'(\omega)} = \mathbf{H}(\omega) \mathbf{Q} \mathbf{H}(\omega)^* \quad (\text{Б.18})$$

где

$$\mathbf{H}(\omega) = \left( -\omega^2 \mathbf{M}' + i\omega \mathbf{B}' + \mathbf{K}' \right)^{-1}; \quad (\text{Б.19})$$

\* означает транспонирование и комплексное сопряжение матрицы.

При применении условия ограничения колебаний к компоненте смещения

$$u(t) = \mathbf{L} \mathbf{q}'(t), \quad (\text{Б.20})$$

где  $\mathbf{L}$  — постоянная матрица-строка размера  $1 \times 6$  (с действительными элементами) спектральная плотность мощности  $u(t)$  определяется из условия

$$\text{PSD}_u(\omega) = \mathbf{L} \mathbf{H}(\omega) \mathbf{Q} \mathbf{H}(\omega)^* \mathbf{L}^T. \quad (\text{Б.21})$$

Амплитуда колебаний (среднеквадратическое значение)  $a$  определяется из условия

$$a = \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} \text{PSD}_u(\omega) d\omega \right\}^{\frac{1}{2}}. \quad (\text{Б.22})$$



Приложение Г Список обозначений изложить соответствующую позицию в следующей редакции:

$S_q$  - спектральная плотность случайной нагрузки (постоянная).

Раздел Библиография. Включить позицию «[4] Руководство по проектированию фундаментов машин с динамическими нагрузками. М.: Стройиздат, 1982. - 207 с.».

УДК 624.159.11

ОКС 93.020

Ключевые слова: фундаменты машин, динамические нагрузки, колебания, проектирование

Руководитель организации-разработчика  
АО «НИЦ «Строительство»

Заместитель генерального директора  
по науке

Звездов А.И.

Руководители разработки:

Директор НИИОСП  
им. Н.М. Герсевича

Колыбин И.В.

Зав. лабораторией  
геомеханики подземных сооружений

В.И. Шейнин

Ответственный исполнитель:

Ведущий научный сотрудник

М.Л. Холмянский