

Расчет колебаний фундаментов машин с импульсными нагрузками<sup>1</sup>

4.10 (1 прил. 2). Амплитуды вертикальных колебаний фундамента при центральной установке машины  $A_z$ , м, следует определять по формуле

$$A_z = \frac{(1 + \epsilon) V Q_0}{(1 + 1,67\epsilon_z) \lambda_z Q} \quad (123 \text{ (1 прил. 2)})$$

где  $\epsilon$  — коэффициент восстановления скорости удара, значение которого следует принимать по соответствующим разделам глав СНиП II-19-79;

$V$  — скорость падающих частей в начале удара, м/с, принимаемая по данным завода-производителя или, при отсутствии таковых данных, определяемая по соответствующим разделам главы СНиП II-19-79;

$Q_0$  — расчетное значение веса падающих частей машины, тс, принимаемое по соответствующим разделам главы СНиП II-19-79 с учетом указания п. 1.35 этой главы;

$\epsilon_z$  — коэффициент относительного демпфирования для вертикальных колебаний, определяемый согласно указаниям п. 1.44 главы СНиП II-19-79;

$\lambda_z$  — круговая частота свободных вертикальных колебаний фундамента, с<sup>-1</sup>, определяемая по формуле

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{K_z g}{Q}} \quad (124 \text{ (2 прил. 2)})$$

$K_z$  — коэффициент жесткости основания, тс/м, определяемый по указаниям п. 1.43 для фундаментов на естественном основании или п. 1.52 главы СНиП II-19-79 для свайных фундаментов;

$Q$  — расчетное значение общего веса фундамента, установки и засыпки грунта, расположенного на обрезах фундамента, тс, определяемое с учетом указания п. 1.35 главы СНиП II-19-79;  $g$  — ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>.

4.11. Амплитуды вертикальных колебаний фундамента при эксцентричной установке молота  $A_b$ , м, следует определять по формуле [125 (3 прил. 2)].

При устройстве общей плиты под несколько молотов в соответствии с п. 4.4 главы СНиП II-19-79 и при нескольких отдельных стоящих фундаментах в цехе амплитуды вертикальных колебаний фундамента следует определять с учетом указания п. 1.46 этой главы.

4.11 (2 прил. 2). Амплитуды вертикальных колебаний фундамента при эксцентричной установке машины  $A_b$ , м, следует определять по формуле

$$A_b = A_z + A_z' \quad (125 \text{ (3 прил. 2)})$$

<sup>1</sup> К машинам с импульсными нагрузками относятся кузнечные молоты, формовочные машины литейного производства и др.

в которой  $A_z$  определяется по формуле [123 (1 прил. 2)], а  $A_z'$  по формуле

$$A_z' = \frac{(1 + \epsilon) V Q_0 e / \beta}{2Q h_z^2 \lambda_\phi (1 + \beta) (1 + 1,67\epsilon_\phi)} \quad (126 \text{ (4 прил. 2)})$$

где  $e$  — эксцентриситет удара, м;

$l$  — длина фундамента, м;

$\epsilon_\phi$ ,  $V$ ,  $Q_0$ ,  $Q$ ,  $\epsilon_z$ ,  $\lambda_z$  — то же, что в п. 4.10 (1 прил. 2);

$\beta$ ,  $h_z$ ,  $\epsilon_\phi$ ,  $\lambda_\phi$  — то же, что в п. 1.35 (5 прил. 1).

4.12. Максимальная предельно допускаемая амплитуда колебаний фундамента  $A_d$  принимается равной 1,2 мм, а при возведении фундаментов на всех водонасыщенных песках, а также мелких и пылеватых маловлажных песках 0,8 мм.

4.13. Для уменьшения колебаний фундамента молота и вредного влияния их на обслуживающий персонал, технологические процессы, здания расположенные оборудованные и конструкции зданий и сооружений следует, как правило, предусматривать виброизоляцию фундаментов молотов.

Для фундаментов молотов с весом падающих частей 10 тс и более, а также в случае, если основания фундаментов молотов и несущих строительных конструкций зданий кузнечного цеха сложены мелкими и пылеватыми водонасыщенными песками, применение виброизоляции для фундаментов молотов является обязательным.

4.14. Расчетное динамическое давление на деревянную подшаботную прокладку  $\sigma$ , тс/м<sup>2</sup>, вычисляется по формуле

$$\sigma = 0,5 Q_0 V \sqrt{\frac{E_d}{Q_1' F_1' b_d}} \quad (127 \text{ (34)})$$

где  $Q_1'$  — расчетное значение общего веса шабота и станины для штамповочных молотов и веса шабота для ковочных молотов, тс;

$F_1$  — опорная площадь шабота, м<sup>2</sup>;

$b_d$  — толщина прокладки, м;

$E_d$  — модуль упругости подшаботной прокладки, принимаемый для прокладки из дуба  $E_d = 50\,000$  тс/м<sup>2</sup>, сосны и лиственницы  $E_d = 30\,000$  тс/м<sup>2</sup>;

$Q_0$  и  $V$  — то же, что и в п. 4.10 главы СНиП II-19-79.

При этом значение  $\sigma$  не должно превышать величин расчетных сопротивлений древесины при сжатии поперек волокон, принимаемых равными:

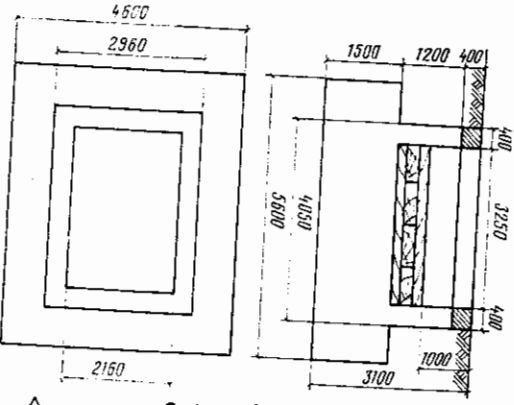
для прокладок из дуба	360 тс/м <sup>2</sup>
для прокладок из лиственницы	216 »
для прокладок из сосны	180 »

ПРИМЕР РАСЧЕТА ФУНДАМЕНТА ПОД ШТАМПОВОЧНЫМ МОЛОТОМ

Исходные данные. Молот двойного действия для штамповки стальных изделий с номинальным весом падающих частей  $Q_0 = 3$  тс; рабочая высота падения  $h = 1,3$  м; давление пара на поршени

$p = 70$  тс/м<sup>2</sup>; площадь подошвы  $f = 0,16$  м<sup>2</sup>; вес шабета и станины  $Q_1 = 92,5$  тс; размеры подошвы шабета  $F_1 = 3,0 \times 1,9$  м; отметка подшаботной прокладки 3,25×2,16×0,5 м; коэффициент восстановления скорости улада при штамповке стальных изделий  $e = 0,5$ . Основанием фундамента служат глина полутвердая с характеристиками  $E = 2600$  тс/м<sup>2</sup>,  $\nu = 0,2$ ,  $e = 0,6$ .

Решение. Размеры фундамента выбираем в соответствии с размерами подшаботной части молота (рис. 10): площадь подошвы фундамента  $F = 5,6 \times 4,6 = 25,76$  м<sup>2</sup>; толщина подошвы боковой части молота в соответствии с таблицей 18(7) принята равной 1,5 м; вес фундамента  $[25,76 \cdot 1,5 + (4,05 + 2,16) \cdot 0,4 \cdot 1,6 \cdot 2] \cdot 2,4 = 111,8$  тс; вес засыпки грунта на обрезах фундамента  $(25,76 - 4,05) \times 2,96 \cdot 1,6 \cdot 1,7 = 37,5$  тс; вес фундамента с засыпкой и молотом  $Q = 111,8 + 37,4 + 92,5 = 241,8$  тс.



Проверку среднего статического давления производим в соответствии с формулой [47(2)].

$$P_{ср} = \frac{241,8}{25,76} = 9,4 <$$

$$< m_0 m_1 R = 0,5 \cdot 1,56 = 28 \text{ тс/м}^2$$

Рис. 10. Табличные размеры фундамента под штамповочный молот

$$R = R_0 \left[ 1 + k_1 \frac{b - b_1}{b_1} \right] + k_2 \gamma_{II} (h - h_1) =$$

$$= 4,6 \left[ 1 + 0,05 \left( \frac{3,25 - 1}{1} \right) \right] + 0,15 \cdot 1,7 (3,1 - 1) = 5,6 \text{ кгс/см}^2 =$$

$$= 56 \text{ тс/м}^2; m_0 = 0,5; m_1 = 1.$$

Упругие и демпфирующие характеристики основания определяются в соответствии с указаниями пп. 1.41—1.44.

Коэффициент упругого равномерного сжатия при  $b_0 = 1,5$  м—1

$$C_z = 1,5 \cdot 2600 \left( 1 + \sqrt{\frac{10}{25,76}} \right) = 6330 \text{ тс/м}^2.$$

Коэффициент относительного демпфирования в соответствии с формулой [58(13)]

$$\xi_z = 2 \sqrt{\frac{E}{C_z P_{ср}}} = 2 \sqrt{\frac{2600}{6330 \cdot 9,4}} = 0,42.$$

Собственная частота колебаний установки

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{C_z F g}{Q}} = \sqrt{\frac{6330 \cdot 25,76 \cdot 9,81}{241,8}} = 81,3 \text{ с}^{-1}.$$

Амплитуда колебаний фундамента по формуле [123 (1 прил. 2)]

$$A_z = \frac{(1 + e) V Q_0}{(1 + 1,67 \xi_z) \lambda_z Q} = \frac{(1 + 0,5) \cdot 7,1 \cdot 3}{(1 + 1,67 \cdot 0,42) \cdot 81,3 \cdot 241,8} =$$

$$= 0,96 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,96 \text{ мм} < 1,2 \text{ мм} = A_d.$$

где

$$V = 0,65 \sqrt{\frac{2 g h}{Q_0}} = 0,65 \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 1,3}{3}} = 7,1 \text{ м/с}.$$

Производим проверку напряжения в подшаботной прокладке по формуле [127(34)].

$$\sigma = 0,5 Q_0 V \sqrt{\frac{E_d}{Q_1 F_1 b_d}} = 0,5 \cdot 3 \cdot 7,1 \sqrt{\frac{5 \cdot 10^4}{92,5 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 0,6}} =$$

$$= 133 \text{ тс/м}^2 < 360 \text{ тс/м}^2 = \sigma_d.$$

ПРИМЕР РАСЧЕТА ФУНДАМЕНТА ПОД ТРИ КУЗНЕЧНЫХ МОЛОТОВ

Исходные данные. Молоты двойного действия для штамповки стальных изделий с номинальным весом падающих частей  $Q_0 = 1$  тс; рабочая высота падения  $h = 0,8$  м; давление пара на поршень  $p = 80$  тс/м<sup>2</sup>; площадь подошвы  $f = 0,1$  м<sup>2</sup>; вес шабета и станины  $Q_1 = 30$  тс; размеры подошвы шабета  $F_1 = 2,38 \times 1,1$  м<sup>2</sup> = 2,62 м<sup>2</sup>; отметка подошвы шабета относительно пола цеха—0,7 м; минимальное расстояние между молотами 1,5 м; размеры подшаботной прокладки 2,78×1,38×0,6 м.

Основанием служит песок водонасыщенный средней крупности, имеющий следующие характеристики:  $E = 4000$  тс/м<sup>2</sup>;  $\nu = 38^\circ$ ,  $c^0 = 0,02$  кгс/см<sup>2</sup>;  $\nu = 1,7$  тс/м<sup>2</sup>;  $e = 0,6$ ;  $R_0 = 40$  тс/м<sup>2</sup>.

Решение. Размеры фундамента выбираем в соответствии с размерами подшаботной части молотов (рис. 11): площадь подошвы фундамента  $F = 11,8 \times 2,6 = 30,7$  м<sup>2</sup>; толщина подошвы (плиты) принята 1,25 м в соответствии с табл. 18(7); вес фундамента  $(30,7 \cdot 1,25 + 1,3 \cdot 11,54 \cdot 1,98 - 1,38 \cdot 2,78 - 1,3 \cdot 3) \cdot 2,4 = 127,5$  тс; вес засыпки грунта на обрезах фундамента  $(0,26 \cdot 1,3 \cdot 1,98 + 0,62 \cdot 11,8 \times 1,3) \cdot 1,7 = 17,3$  тс; вес фундамента с засыпкой и молотами  $Q = 127,5 + 17,3 + 90 = 234$  тс.

Проверку среднего статического давления под фундаментом производим в соответствии с формулой [47(2)], в которой

$$R = R_0 \left[ 1 + k_1 \left( \frac{b - b_1}{b_1} \right) \right] + k_2 \gamma_{II} (h - h_1) =$$

$$= 4 \left[ 1 + 0,125 \left( \frac{2,6 - 1}{1} \right) \right] + 0,25 \cdot 1,7 \cdot (2,55 - 2) = 5 \text{ кгс/см}^2 = 50 \text{ тс/м}^2;$$

коэффициент условной работы  $m_0 = 0,5$ ; коэффициент условной работы грунта основания  $m_1 = 0,7$ .

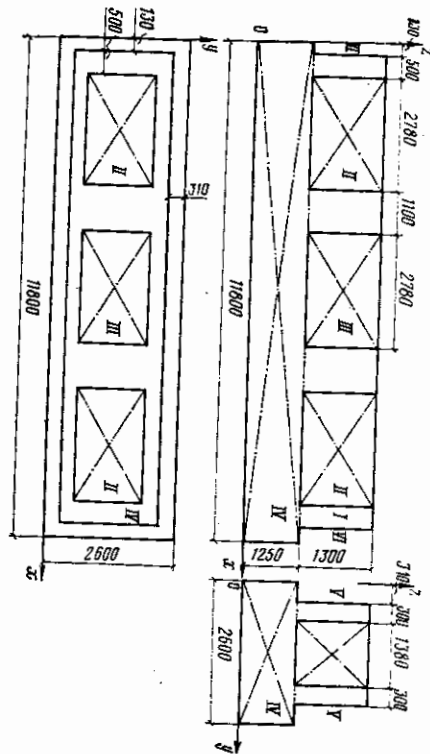


Рис. 11. Схема фундамента под три кулачных колеса

Тогда среднее статическое давление на основание фундамента

$$P_{cp} = \frac{234}{30,7} = 7,6 \text{ тс/м}^2 < 17,5 \text{ тс/м}^2 = 0,5 \cdot 0,7 \cdot 50 \text{ тс/м}^2.$$

Определение амплитуд колебаний фундамента. Упругие характеристики основания определяются в соответствии с указанными коэффициентами упругого равномерного сжатия по формуле

$$C_z = 1 \cdot 4000 \left( 1 + \sqrt{\frac{10}{30,7}} \right) = 6280 \text{ тс/м}^2;$$

коэффициент упругого неравномерного сжатия по формуле

$$C_\phi = 2C_z = 12560 \text{ тс/м}^2.$$

Коэффициенты жесткости основания определяются по формулам

$$K_z = C_z F = 6280 \cdot 30,7 = 1,9 \cdot 10^6 \text{ тс/м};$$

$$K_\phi = C_\phi J = 12560 \cdot 356 = 44,7 \cdot 10^6 \text{ тс} \cdot \text{м} \approx K_\phi,$$

где момент инерции площади подошвы основания

$$J = \frac{2,6 \cdot 11,8^3}{12} = 356 \text{ м}^4.$$

Таблица 19

Элементы №	Количество элементов	Размеры элементов, м			Масса*, тс·с²	Координаты центров тяжести элементов относительно осей x, y, z, м			Статические моменты масс элементов относительно осей x, y, z, тс·с²			Моменты инерции масс элементов относительно осей, проходящих через центры тяжести элементов, тс·м·с²	Координаты центров тяжести элементов относительно осей, проходящих через центр тяжести всей установки		Моменты инерции масс элементов относительно оси OY, проходящей через центр тяжести всей установки, тс·м·с²
		$a_x$	$a_y$	$a_z$		$m_i$	$x_i$	$y_i$	$z_i$	$m_i x_i$	$m_i y_i$		$m_i z_i$	$\frac{m_i}{12} (a_x^2 + a_z^2)$	
I	1	11,54	1,98	1,3	7,27	—	—	1,9	—	—	13,81	81,7	—	0,12	0,1
II	2	2,78	1,38	1,3	2,44	—	—	1,9	—	—	4,62	—1,9	3,88	0,12	—36,7
III	1	2,78	1,38	1,3	1,22	—	—	1,9	—	—	2,32	—0,95	—	0,12	0,0
IV	1	11,8	2,6	1,25	9,38	—	—	0,625	—	—	5,86	110,06	—	1,155	12,6
V	2	11,8	0,31	1,3	1,64	—	—	1,9	—	—	3,12	19,35	—	0,12	0,3
VI	2	0,13	1,98	1,3	0,12	—	—	1,9	—	—	0,23	0,02	5,84	0,12	4,1
VII	2	—	—	—	6,12	—	—	2,9	—	—	17,74	4,2	3,88	1,12	99,4
VIII	1	—	—	—	3,06	—	—	2,9	—	—	8,87	2,1	—	1,12	3,8
Σ					23,9						42,6	214,6			83,6

\* Для элементов фундамента и засыпки грунта на его обрезах  $m_i = \frac{a_x a_y a_z \gamma}{9,81} n$ , где  $\gamma$  — объемный вес материала (для железобетона — 2,4 тс/м³, для грунта — 1,7 тс/м³).  
 Массы неподвижных частей машины заменяются точечными, приложенными в местах их центров тяжести.

Определение массы фундамента с засыпкой грунта и молота, центра тяжести установки  $h_2$  и момента инерции  $\Theta$  всей установки и засыпки грунта относительно оси, проходящей через общий центр тяжести перпендикулярно плоскости колебаний, производится по табл. 19. Оси координат показаны на рис. 11.

$$m_n = 23,9 \text{ тс} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}; \quad h_2 = \frac{42,6}{23,9} = 1,78 \text{ м};$$

$$\Theta = 214,6 + 83,6 = 298 \text{ тс} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2.$$

Момент инерции массы установки и засыпки грунта относительно оси, проходящей через центр тяжести подошвы фундамента перпендикулярно плоскости колебаний согласно п. 1.35 (5 прил. 1)

$$\Theta_0 = \Theta + m_n h_2^2 = 298 + 23,9 \cdot 1,78^2 = 374 \text{ тс} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2.$$

Круговые частоты колебаний (по формулам [41(38) прил. 1] и [32(29) прил. 1]):

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{1,9 \cdot 10^6}{23,9}} = 89 \text{ с}^{-1};$$

$$\lambda_{\varphi} = \sqrt{\frac{44,7 \cdot 10^6}{374}} = 110 \text{ с}^{-1}.$$

Коэффициент относительного демпфирования для вертикальных колебаний определяем по формуле [38(13)]:

$$\xi_z = 2 \sqrt{\frac{E}{C_z P_{\text{ср}}}} = 2 \sqrt{\frac{4000}{6280 \cdot 7,6}} = 0,58.$$

Коэффициент относительного демпфирования основания для вращательных колебаний определяем по формуле [61(15)]:

$$\xi_{\varphi} = 0,5 \xi_z = 0,5 \cdot 0,58 = 0,29.$$

Амплитуду вертикальных колебаний фундамента каждого молота от поступательных перемещений определяем по формуле [123(1) прил. 2)]:

$$A_z = \frac{(1 + 0,5) \cdot 7,7 \cdot 1}{(1 + 1,67 \cdot 0,58) \cdot 89 \cdot 234} = 0,28 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,28 \text{ мм}.$$

Амплитуда вертикальных колебаний при работе каждого крайнего молота от вращения [126(4) прил. 2)]:

$$A'_z = \frac{(1 + 0,5) \cdot 7,7 \cdot 1 \cdot 3,88 \cdot 11,8 \cdot 0,26}{[2 \cdot 234 \cdot 1,78^2 \cdot 110 \cdot 1,26 (1 + 1,67 \cdot 0,29)]} = 0,45 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,45 \text{ мм}.$$

Здесь  $e = 3,88 \text{ м}$  — эксцентриситет удара;  
 $l = 11,8 \text{ м}$  — длина фундамента;

$$P = \frac{m_n h_2^2}{\Theta} = \frac{23,9 \cdot 1,78^2}{298} = 0,26;$$

$V$  — скорость падающей части молота, определяемая по формуле [121(32)]:

$$V = 0,65 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,8 \frac{80 \cdot 0,1 + 1}{1}} = 7,7 \text{ м/с}.$$

$$A_n = A_z + A'_z = 0,28 + 0,45 = 0,73 \text{ мм}.$$

Учет работы трех молотов производим в соответствии с формулой [66(18)]:

$$A_n = 0,7 \sqrt{0,73^2 + 0,73^2 + 0,28^2} = 0,8 \text{ мм} = A_n.$$

Проверка напряжений в подшаблотной прокладке. Материал прокладок — дуб. Динамические напряжения в подшаблотной прокладке по формуле [127(34)]:

$$\sigma = 0,5 Q_0 V \sqrt{\frac{E_d}{Q_1 F_d b}} = 0,5 \cdot 1 \cdot 7,7 \sqrt{\frac{50000}{30 \cdot 2 \cdot 62 \cdot 0,6}} = 125 \text{ тс/м}^2 < 360 \text{ тс/м}^2,$$

т. е. меньше допускаемых.

## 5. ФУНДАМЕНТЫ ФОРМОВОЧНЫХ МАШИН ЛИТЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

5.1. Требования настоящего раздела распространяются на проектирование фундаментов формовочных (встрякивающих) машин литенного производства с вертикально направляемыми ударными нагрузками.

5.2. В состав задания на проектирование фундаментов формовочных машин литенного производства, кроме материалов, перечисленных в п. 1.4 главы СНиП II-19-79, должны входить следующие данные:

- величины нормативных статических нагрузок, передаваемых на фундамент основными механизмами (встрякивающими, поворотными, приемными и пр.), и координаты точек приложения этих нагрузок;
- грузоподъемность машины (нормативные значения суммарного веса оплки и формовочной смеси), нормативные значения веса падающих частей и веса станиныстрякивающего механизма;
- рабочая высота падениястрякивающих (падающих) частей машины;
- размеры в плане, толщина и материал надфундаментной упругой прокладки.

При отсутствии данных о весе падающих частей суммарное значение веса падающих частей определяется по формуле

$$Q_0 = 0,8 d^2 P_c, \quad [128]$$

где  $d$  — диаметр поршнястрякивающего механизма, м;

$P_c$  — рабочее давление сжатого воздуха, тс/м<sup>2</sup>.

5.3. Для устройства надфундаментной упругой прокладки следует предусматривать брусья из дуба и листовую резину. Длястрякивающих формовочных машин грузоподъемностью

менее 5 тс допускается применение брусев из лиственницы или сосны.

Деревянные брусья следуетготавливать из древесины, отвечающей требованиям, указанным в п. 4.3 главы СНиП II-19-79. Листовая резина должна удовлетворять требованиям Технических условий для резиновых технических изделий при твердости Н-30—45 в соответствии с ГОСТ 263—75.

Для надфундаментной прокладки следует применять листовую резину таких сортов, которые имеют высокий коэффициент неупругого сжатия.

5.4. Фундаменты формовочных машин литейного производства следует проектировать железобетонными в виде монолитного массива с соответствующими выемками, каналами, тоннелями и отверстиями, необходимыми для размещения частей машины, вспомогательного оборудования и коммуникаций, а также для доступа обслуживающего персонала к механизмам, прокладкам, трубопроводам и т. п.

При производстве работ по устройству фундаментов встряхивающих формовочных машин необходимо соблюдать следующие дополнительные требования:

а) при бетонировании фундамента под формовочную машину не допускается назначение рабочего шва в пределах 1,5 м верхней части фундамента под встряхивающим механизмом;

б) подливка опорной рамы встряхивающего механизма не допускается; допуск на непараллельность и прямолинейность составляет 0,1 мм на 1 м длины;

в) отклонения от горизонтали поверхности фундамента под упругими прокладками встряхивающего механизма не допускаются;

г) выравнивание поверхности фундамента под упругой надфундаментной прокладкой следует производить до начала схватывания бетона.

5.5. Основные размеры фундаментов в плане должны определяться исходя из размеров и расположения механизмов формовочной машины, расположения тоннелей, каналов и выемок в теле фундамента.

Таблица 20 (8)

Наименование размеров	Размеры, м, (не менее) при грузоподъемности машины Q, тс					
	Q < 1,5	1,5 < Q < 2,5	2,5 < Q < 5	5 < Q < 10	10 < Q < 20	Q > 20
Высота фундамента под встряхивающим механизмом	1	1,25	1,5	1,8	2	2,25
Расстояние от дна каналов, тоннелей и выемок до подошвы фундамента	0,2	0,3	0,4	0,5	1,7	0,9

Размеры фундамента, определенные конструктивно, следует проверять расчетом.

5.6. Высота фундамента под встряхивающим механизмом и расстояние от дна каналов, тоннелей и выемок до подошвы фундамента должны быть не менее указанных в табл. 20(8).

5.7. Общие и местные конструктивные армирование фундаментов формовочных машин и их отдельных элементов следует производить с учетом требований, приведенных в пп. 1.22—1.26 главы СНиП II-19-79.

Верхнюю часть фундамента непосредственно под станиной встряхивающего механизма следует армировать горизонтальными сетками с квадратными ячейками размером 100 мм на стержней диаметром 10—12 мм; количество сеток назначается в зависимости от грузоподъемности механизма, тс:

до 5	1—2 сетки
от 5 до 15	2—3 »
более 15	3—4 »

Верхнюю сетку следует укладывать на расстоянии 30 мм от поверхности фундамента, примыкающей к упругой прокладке под станину встряхивающего механизма, а расстояние по вертикали между сетками принимать равным 100—150 мм. Следует предусматривать, как правило, соединение сеток в объемные арматурные каркасы, которые в последующем должны устанавливаться на место перед бетонированием фундамента.

У подошвы фундамента необходимо предусматривать укладку нижней горизонтальной арматурной сетки с квадратными ячейками размером 200 мм из стержней диаметром 12—20 мм (в зависимости от грузоподъемности машины).

Наружные железобетонные стены, ограждающие формовочную машину, армируют двойными сетками, используя в качестве вертикальной арматуры стержни диаметром 12—14 мм при грузоподъемности машин до 15 тс и диаметром 16—20 мм при большей грузоподъемности машин. В качестве продольной арматуры следует предусматривать стержни диаметром 10—12 мм с шагом соответственно 300—400 мм. Сетки следует соединять между собой поперечными стержнями диаметром 10—12 мм через 600—800 мм в горизонтальном и вертикальном направлении.

Наружные боковые грани фундамента следует армировать, как правило, путем продолжения до его подошвы наружных арматурных сеток стен, ограждающих машину. При этом арматурные сетки фундаментов объемом 80 м<sup>3</sup> и менее следует выполнить с вертикальными стержнями диаметром 12—14 мм и шагом 200 мм, а фундаментов объемом более 80 м<sup>3</sup> — диаметром 16—20 мм с тем же шагом.

5.8. Надфундаментную упругую деревянную прокладку под станину встряхивающего механизма следует предусматривать из брусев, уложенных плашмя в сплошной прямоугольный шит. Болты, стягивающие брусья в шит, следует располагать через 0,5—1 м по длине прокладки. В центре прокладки следует предусматривать отверстие для размещения цилиндра встряхивающего механизма.

Размеры упругой деревянной и резиновой прокладок в плане должны соответствовать размерам опорной площадки станины встряхивающего механизма; расстояние от края станины до

Края прокладки должны быть не менее 50 мм. Деревянную прокладку следует проектировать из одного или нескольких шпигтов, укладываемых крест-накрест, толщину каждого шпигта следует принимать не менее 100 мм. Толщину деревянной прокладки в зависимости от грузоподъемности машины следует принимать по заданию на проектирование фундамента (см. п. 5.2 «т» главы СНиП II-19-79), но не менее 200 мм. Толщину резиновых листов следует принимать от 10 до 20 мм в зависимости от грузоподъемности машины.

Толщину деревянной прокладки и резиновых листов в зависимости от грузоподъемности формовочной машины принимают в соответствии с табл. 21.

Т а б л и ц а 21

Грузоподъемность, тс	Толщина упругой прокладки, мм	
	деревянной	резиновой
До 2,5	200	10
до 10	300	10
до 20	400	20
свыше 20	600	20

Резиновые листы рекомендуются располагать в горизонтальной плоскости с обеих сторон деревянного шпигта.

Расчетное динамическое давление на надфундаментную прокладку  $q$ , тс/м<sup>2</sup>, вычисляется по формуле

$$q = 0,5 \frac{Q_0 V}{F_2} \sqrt{\frac{c}{Q_1}} \quad [129]$$

где  $Q_0$  — вес падающих частей, тс;

$V$  — скорость падающих частей, м/с;

$F_2$  — площадь прокладки, м<sup>2</sup>;

$Q_1$  — вес частей машины, расположенных на прокладке, тс;

$c$  — суммарный коэффициент жесткости упругой надфундаментной прокладки, тс/м.

5.9. В верхней части фундамента необходимо предусматривать специальные приспособления для крепления опорной рамы деревянного или металлического настига (пола формовочной машины). Расчет прочности опорной рамы следует производить на действие расчетной нагрузки от веса оплки и формовочной смеси.

Опорную раму допускается опирать на станину поворотного перекидного механизма (исключая кривошипную камеру); ка-санне опорной рамы настига со станиной встряхивающего механизма не допускается.

В конструкции опорной рамы и настига должна предусматриваться возможность снятия станины встряхивающего механизма, удаления встряхивающего клапана и разборки кривошипной камеры поворотного-перекидного механизма без предварительной разборки рамы и пола формовочной машины.

5.10. Фундаменты под формовочные машины следует отделять от строительных конструкций зданий, фундаментов другого оборудования, коммуникаций, полов и т. п.; отдельные конструктивные здания на фундаментах формовочных машин не допускаются.

Формовочные машины с поворотного-перекидным механизмом следует располагать на фундаменте, как правило, обращенным поворотного-перекидным механизмом в сторону строительных конструкций.

В связи с тем, что ударная нагрузка от формовочной встряхивающей машины с поворотного-перекидным механизмом передается на фундамент эксцентрично, амплитуды вертикальных колебаний грунта со стороны встряхивающего механизма существенно превышают амплитуду колебаний с противоположной стороны, что следует учитывать при расположении в цехе вновь проектируемого фундамента.

Строительные конструкции зданий следует располагать на таком расстоянии от фундаментов формовочных машин, при котором ускорение вертикальных колебаний основания строительных конструкций не превышает 0,2 g.

5.11 При проверке по формуле [47 (2)] среднего статического давления  $P_{ср}$  на основании фундаментов формовочных машин следует принимать значение коэффициента условий работы  $m = 0,5$ , а коэффициента условной работы грунтов  $m_1$ : для мелких и пылеватых песков, водонасыщенных крупный и средний крупности песков и глинистых грунтов текучей консистенции 0,7 и для остальных видов и состояний грунтов 1.

5.12. Амплитуды вертикальных колебаний фундаментов формовочных машин следует определять в зависимости от соотношения круговой частоты  $\omega$ , с<sup>-1</sup>, свободных вертикальных колебаний подвижных частей машины на упругой надфундаментной прокладке и круговой частоты  $\lambda_z$ , с<sup>-1</sup>, свободных вертикальных колебаний всей установки на грунте, определяемых по формулам:

$$\omega = \sqrt{\frac{c}{Q_0 + Q_1}} \quad [130 (35)]$$

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{K_z g}{Q_1}} \quad [131 (36)]$$

где  $c = \frac{F_1 E_D E_p}{b_r E_D + b_d E_p}$  — суммарный коэффициент жесткости

упругой надфундаментной прокладки, тс/м;

$F_1$  — площадь станины встряхивающего механизма, м<sup>2</sup>;

$b_d$  — толщина деревянной прокладки, м;

$b_r$  — толщина резиновой прокладки, м;

$E_d$  — модуль упругости деревянной прокладки, тс/м<sup>2</sup>, принимаемый как в формуле [127 (34)] главы СНиП II-19-79;

$E_p$  — модуль упругости резиновой прокладки, изменяющийся в пределах от 200 до 1000 тс/м<sup>2</sup> в зависимости от твердости по

ГОСТ 263—75;

$K_2$  — коэффициент жесткости основания, тс/м, определяемый согласно указаниям п. 1.43 главы СНиП II-19-79;

$$Q' = Q_0 + Q_1 + Q; \quad [132 (37)]$$

$Q_0$  — расчетное значение суммарного веса падающих частей машины, включая вес оплки и формовочной смеси, тс;  
 $Q_1$  — расчетное значение веса станины встряхивающего механизма, тс;  
 $Q$  — расчетное значение общего веса фундамента, неподвижных частей машины и грунта над обрезами фундамента, тс.

При условии  $\omega > 0,7\lambda_z$  амплитуду вертикальных колебаний фундаментов формовочных машин следует определять по формулам [123 (1 прил. 2)] или [125 (3 прил. 2)] для центрального  $A_z$  и эксцентренного  $A_e$  действия динамической нагрузки соответственно, в которых  $e$  — коэффициент восстановления скорости удара, принимаемый равным нулю;

$V$  — скорость падающих частей формовочной машины, м/с определяемая по формуле [120 (31)] (п. 4.10 главы СНиП II-19-79), в которой  $h$  — рабочая высота падения встряхивающих частей машины, м.

Вместо значений  $\lambda_z$  и  $Q$  в формуле [123 (1 прил. 2)] следует принимать значения соответственно  $\lambda_z$  и  $Q$ , вычисленные по формулам [131 (36)] и [132 (37)], главы СНиП II-19-79, а вместо значения  $\lambda_\phi$  в формуле [126 (4 прил. 2)] — значение  $\lambda'_\phi$ , определяемое по формуле

$$\lambda'_\phi = \sqrt{\frac{K_\phi}{\theta_0}}, \quad [133 (38)]$$

где  $K_\phi$  — коэффициент жесткости основания, определяемый согласно указаниям п. 1.43 главы СНиП II-19-79;

$\theta_0$  — момент инерции массы всей установки, включая массу подвижных частей, относительно оси, проходящей через центр тяжести подошвы фундамента перпендикулярно плоскости колебаний, тс·м·с<sup>2</sup>;

При условии  $\omega \leq 0,7\lambda_z$  амплитуду вертикальных колебаний  $A_e$  фундаментов формовочных машин следует определять по формуле [38 (35 прил. 1)], в которой  $A_z$  — амплитуда вертикальных колебаний общего центра тяжести фундамента и неподвижных частей машины, определяемая по формуле [39 (36 прил. 1)];

$A_z$  — вертикальная составляющая вращательных колебаний фундамента и неподвижных частей машины относительно горизонтальной оси, проходящей через их общий центр тяжести перпендикулярно плоскости колебаний. Для фундаментов машин с центральным приложением динамической нагрузки (встряхивающие столы и формовочные машины со штифтовым съемом)  $A_z = 0$ , а для фундаментов машин с эксцентренным действием динамической нагрузки (формовочные машины с по-

воротню-перекладным механизмом)  $A_z$  определяется по формуле [40 (37 прил. 1)];

$$P_n = Q_0 V \sqrt{\frac{c}{(Q_0 + Q_1) g}}, \quad [134 (39)]$$

а вместо круговой частоты вращения машины  $\omega$  следует принимать круговую частоту свободных вертикальных колебаний подвижных частей машины на упругой надфундаментной площадке, определяемую по формуле [130 (35)].

При определении амплитуды вертикальных колебаний верхнего обреза фундамента формовочных машин литейного производства разглядают два случая:

а) ось приложения динамической нагрузки совпадает с вертикальной осью, проходящей через общий центр тяжести системы фундамент — машина и центр тяжести площади подошвы фундамента, что характерно для фундаментов встряхивающих столов и формовочных машин со штифтовым съемом; при этом величина эксцентриситета не должна превышать 5% от размера той стороны подошвы фундамента, в направлении которой происходит смещение центра тяжести;

б) ось приложения динамической нагрузки не совпадает с вертикальной осью, проходящей через общий центр тяжести системы фундамент — машина и центр тяжести площади подошвы фундамента, что соответствует фундаментам под формовочные машины с поворотню-перекладным механизмом.

5.13. При установке в одном пролете здания нескольких отдельно стоящих фундаментов под формовочные машины литейного производства амплитуды колебаний  $A$  фундаментов следует определять с учетом указаний п. 1.46 главы СНиП II-19-79.

5.14. Максимальная предельно допускаемая амплитуда вертикальных колебаний фундаментов формовочных машин принимается равной  $A_n = 0,5$  мм.

5.15. При основании, сложенном мелкими или пылеватыми водонасыщенными песками, для машин грузоподъемностью 10 тс и более следует проектировать фундаменты, как правило, виброизолированными.

**ПРИМЕР РАСЧЕТА ФУНДАМЕНТА ФОРМОВОЧНОЙ МАШИНЫ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА С ЦЕНТРАЛЬНЫМ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ**

Техническая характеристика формовочной машины 703М: грузоподъемность 900 кгс; число встряхивания 130 уд/мин; высота встряхивания 40 мм; вес машины 2900 кгс; вес падающих частей машины 900 кгс; ширина подошвы станины 780 мм; длина подошвы станины 930 мм.

Грунтовые условия. В основании фундамента залегает суглинок с характеристиками

$$l_s = 0,4; e = 0,65; E = 190 \text{ кгс/см}^2;$$

$$R_0 = 25 \text{ тс/м}^2.$$

Данные о фундаменте. Основные размеры фундамента приведены на рис. 12. Прокладка резиновой толщиной  $b_1 = 10$  мм, твердостью 50 по ГОСТ 263-75; прокладка дубовая толщиной 200 мм,  $Q_0 = 0,9 + 0,9 = 1,8$  тс — нормативное значение суммарного веса падающих частей машины, включая вес полезной нагрузки;  $Q_1 = 2,9 - 0,9 = 2$  тс — нормативное значение веса стальной вставки; вакуето механизма; нормативное значение веса фундамента  $Q = [2,34 \cdot 2,175 \cdot 0,9 + (2,234 + 1,775 \cdot 2) \cdot 0,2 \cdot 0,45] \cdot 2,5 = 13,2$  тс (общий вес железобетона 2,5 тс/м<sup>3</sup>).

Среднее давление под подошвой фундамента

$$P_{\text{ср}} = \frac{Q_0 + Q_1 + Q}{F} = \frac{1,8 + 2 + 13,2}{5,1} = 3,3 \text{ тс/м}^2,$$

$$P_{\text{ср}} < m_0 m_1 R = 0,5 \cdot 1,32 \cdot 8 = 16,4 \text{ тс/м}^2,$$

где  $m_0 = 0,5$  — коэффициент условий работы, учитывающий характер динамических нагрузок и ответственность машины;  $m_1 = 1$  — коэффициент условий работы грунтов основания; расчетное давление на основание, определенное согласно СНиП II-15-74 (приложение 4) при  $h = 1,35$  м  $< 2$  м,  $k_1 = 0,05$ ,  $b_1 = 1$  м;  $h_1 = 2$  м:

$$R = R_0 \left[ 1 + k_1 \left( \frac{b - b_1}{b_1} \right) \right] \left( \frac{h + h_1}{2h_1} \right) = 25 \left[ 1 + 0,05 \left( \frac{2,175 - 1}{1} \right) \right] \left( \frac{1,35 + 2}{2 \cdot 1,35} \right) = 32,8 \text{ тс/м}^2.$$

Расчетное динамическое давление на прокладку по формуле [129]

$$\sigma = \frac{0,5 Q_0 V}{F_3} \sqrt{\frac{c}{Q_0 + Q_1}} = \frac{0,5 \cdot 1,8 \cdot 0,8}{0,73} \sqrt{\frac{35300}{3,8}} = 90 \text{ тс/м}^2 < 360 \text{ тс/м}^2$$

(расчетного сжатия дуба при сжатии поперек волокон), где  $V$  — скорость падающих частей в момент удара:

$$V = 0,9 \sqrt{2gh} = 0,9 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,04} = 0,8 \text{ м/с},$$

$F_2 = 0,93 \cdot 0,78 = 0,73$  м<sup>2</sup> — площадь прокладки,

$c$  — суммарный коэффициент жесткости упругой надфундаментной прокладки, определяемый по формуле

$$c = \frac{F_1 E_d E_p}{b_p E_d + b_d E_p} = \frac{0,73 \cdot 50000 \cdot 600}{0,01 \cdot 50000 + 0,2 \cdot 600} = 35300 \text{ тс/м}^2,$$

где  $F_1 = 0,93 \times 0,78 = 0,73$  м<sup>2</sup> — площадь подошвы стальной вставки механизма;

114

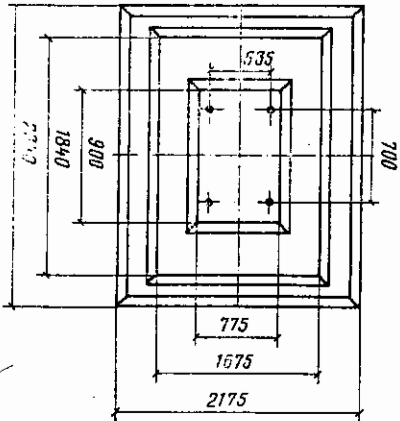
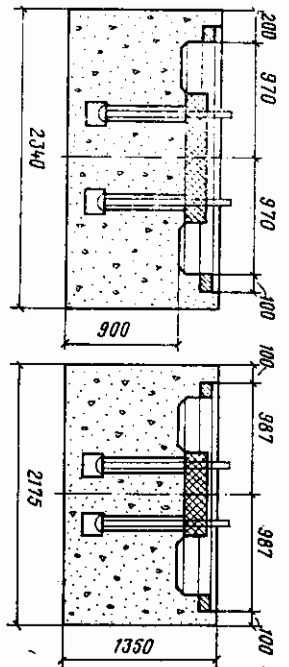


Рис. 12. Габаритные размеры фундамента под формульную машину литейного производства с центральным действием динамической нагрузки.

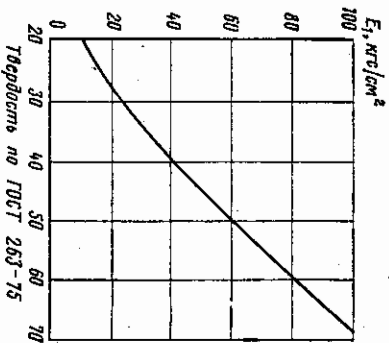


Рис. 13. График для определения динамического модуля упругости резиновой прокладки.





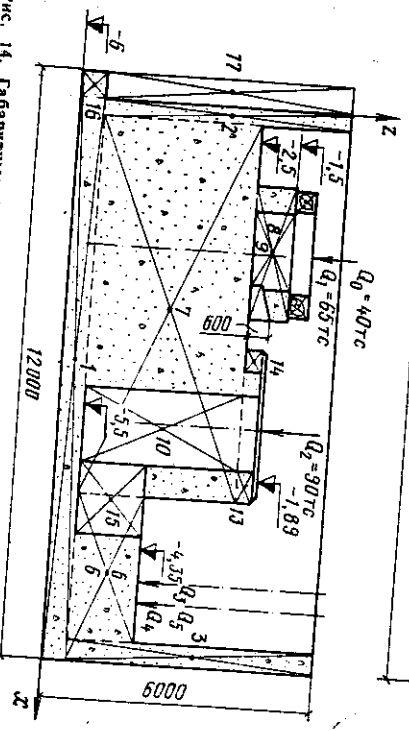
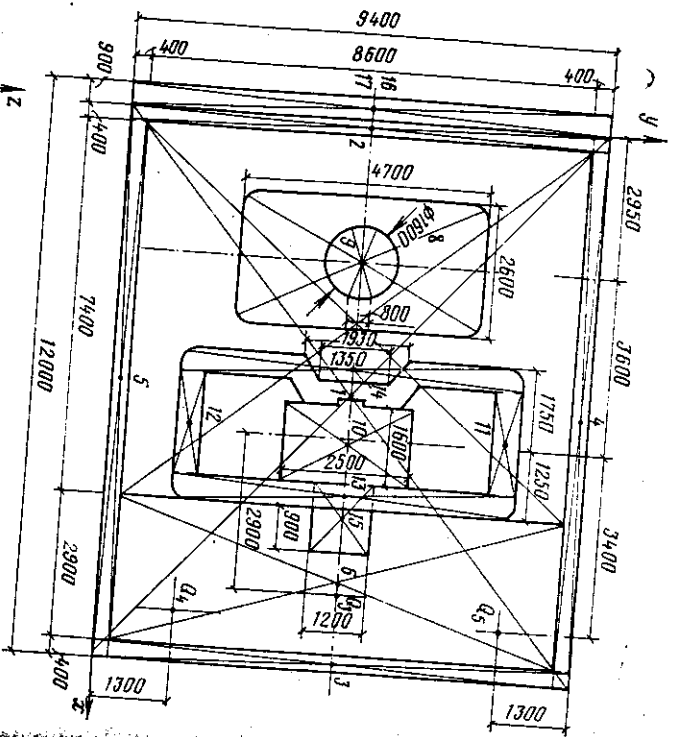


Рис. 14. Габаритные размеры фундамента под формовочную машину литейного производства с эксцентричным действием динамической нагрузки

Скорость падающих частей в момент удара:  

$$c = \frac{F_1 E_d E_p}{b_p E_d + b_d E_p} = \frac{10,2 \cdot 50000 \cdot 230}{0,06 \cdot 50000 + 0,6 \cdot 230} = 3,7 \cdot 10^4 \text{ тс/к}$$
  
 суммарный коэффициент жесткости упругой надфундаментной прокладки.

Круговая частота собственных вертикальных колебаний машины на упругой надфундаментной прокладке по формуле [130 (35)]

$$\omega = \sqrt{\frac{c g}{Q_0 + Q_1}} = \sqrt{\frac{3,7 \cdot 10^4 \cdot 9,81}{40 + 65}} = 58,5 \text{ с}^{-1}$$

Круговая частота собственных вертикальных колебаний всей установки на грунте по формуле [131 (36)]

$$\lambda'_z = \sqrt{\frac{K_z E}{Q'}} = \sqrt{\frac{93 \cdot 10^4 \cdot 9,81}{1305}} = 84 \text{ с}^{-1}$$

где  $K_z = C_z F = 8200 \cdot 113 = 93 \cdot 10^4 \text{ тс/м}$ ;

$C_z$  — коэффициент упругого равномерного сжатия определяем по формуле [49 (41)]

при  $b_0 = 1,5 \text{ м}^{-1}$ ,  $E = 5000 \text{ тс/м}^2$

$$C_z = 1,5 \cdot 5000 \left( 1 + \sqrt{\frac{10}{113}} \right) = 8200 \text{ тс/м}^2$$

Так как

$$\omega = 58,5 \text{ с}^{-1} < 0,7 \lambda'_z = 0,7 \cdot 84 = 59 \text{ с}^{-1}$$

то амплитуду вертикальных колебаний фундамента определяем по формулам [38 (35) прил. 1)] — [40 (37) прил. 1)].

Величину динамической нагрузки на фундамент формовочной машины вычисляем при этом по формуле [134 (39)]

$$P_s = Q_0 V \sqrt{\frac{c}{(Q_0 + Q_1) g}} = 40 \cdot 0,975 \sqrt{\frac{3,7 \cdot 10^4}{(40 + 65) \cdot 9,81}} = 235 \text{ тс}$$

Определив геометрических и статических характеристик фундамента. Массы отдельных элементов  $m_i$ , положение их центров тяжести

$$x_i, y_i, z_i, \Sigma m_i x_i, \theta$$

и положение центра тяжести фундамента с грунтом на его обрезах и неподвижных частей машины определяют в табличной форме (здесь не приводится) аналогично табл. 19 для фундамента под кузнечные молоты. В данном расчете принят объемный вес железобетона  $\gamma = 2,5 \text{ тс/м}^3$ , а грунта —  $1,8 \text{ тс/м}^3$ . Массы неподвижных частей машины принимаются точечными, расположенными в их центрах тяжести.

$$\Sigma m_1 = 122 \text{ тс} \cdot \text{с}^2/\text{м}; \Sigma m_1 x_1 = 555 \text{ тс} \cdot \text{с}^2;$$

$$\Sigma m_2 y_2 = 572 \text{ тс} \cdot \text{с}^2; \Sigma m_2 z_2 = 299 \text{ тс} \cdot \text{с}^2$$

Следовательно, координаты центра тяжести системы (фундамента,















(гирационных) дробилок  $A_r$ , м, допускается производить по приближенной формуле

$$A_r = \frac{P_r \left( \rho_1 \frac{h_1}{h_2} + 1 \right) (1 + \chi \rho_1)}{K_x \sqrt{\left[ 1 - \left( \frac{\omega}{\lambda_1} \right)^2 \right]^2 + 4 \xi_x^2 \left[ (1 - \rho_1)^2 + \rho_1^2 \frac{\xi_\phi K_\phi}{\xi_x K_x h_2^2} \right]^2}} \quad [143 \text{ (45)}]$$

где

$$K_1 = (1 - \rho_1)^2 + \rho_1^2 \frac{K_\phi}{K_x h_2^2}; \quad [144 \text{ (46)}]$$

$$P_r: K_x; K_\phi; h_1; h_2; \chi; \lambda_1; \omega; \xi_x; \xi_\phi -$$

то же, что и в формулах пп. 1.35 (5 прил. 1) и 1.35 (6 прил. 1);  $\rho_1$  — то же, что и в формуле [154 (4 прил. 3)].

8.11. Расчет колебаний фундаментов конусных дробилок, имеющих прямоугольную форму подошвы, следует производить в плоскости, совпадающей с направлением меньшего размера подошвы.

Расчет колебаний групповых фундаментов под несколько дробилок выполняется в соответствии с требованиями п. 1.46. При этом амплитуда горизонтально-вращательных колебаний фундамента при работе  $i$ -той дробилки  $A_{xi}$ , м, определяется по формуле

$$A_{xi} = A_{xi} + A_{\phi i} L_{макс} \quad [145]$$

где  $L_{макс}$  — расстояние, м, по горизонтали от центра тяжести всей установки до подшипника наиболее удаленной машины;

$A_{xi}$  — амплитуда, м, горизонтальных колебаний фундамента при работе  $i$ -той дробилки, определяемая для массивных и стеччатых фундаментов по формуле [20 (17 прил. 1)] или по формуле [143 (45), для рамных — по формуле [5 (2 прил. 1)]];  $A_{\phi i}$  — амплитуда (угол поворота), рад, вращательных колебаний

фундамента при работе  $i$ -ой дробилки относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести всей установки, определяемая для массивных и стеччатых фундаментов по формуле

$$A_{\phi i} = \frac{P_{ri} e_i}{K_\phi \sqrt{\left[ 1 - \left( \frac{\omega}{\lambda_\phi} \right)^2 \right]^2 + 4 \xi_\phi^2 \left( \frac{\omega}{\lambda_\phi} \right)^2}}; \quad [146]$$

для рамных фундаментов по формуле [6 (3 прил. 1)], в которой

$$A_{\phi ст} = \frac{P_{ri} e_i}{S_\phi}; \quad [147]$$

$e_i$  — расстояние по горизонтали от центра тяжести всей установки до линии действия силы  $P_{ri}$ ;

$\lambda_\phi$  — круговая частота вращательных колебаний массивного или стеччатого фундамента относительно вертикальной оси, проходящей

через центр тяжести всей установки, определяемая по формуле

$$\lambda_\phi = \sqrt{\frac{K_\phi}{Q_\phi}}; \quad [148]$$

$Q_\phi$  — момент инерции масс всей установки относительно той же оси;  $K_\phi$ ,  $S_\phi$  — обозначения те же, что и в формуле [10 (7 прил. 1)];  $P_{ri}$ ,  $\omega$  — обозначения те же, что и в формуле [143 (45)].

8.12. Максимальная предельно допускаемая амплитуда колебаний фундаментов дробилок принимается равной  $A_{д} = 0,3$  мм. Расчетные значения амплитуд колебаний фундаментов молотковых дробилок не должны превышать максимальных предельно допускаемых величин, приведенных в табл. 14(6) п. 3.19 для первой гармонички.

8.13. Рамные фундаменты дробилок следует рассчитывать по прочности на действие веса всех элементов установки с учетом веса заполнения и силы  $P_d$ , заменяющей динамическое действие машины, в соответствии с указаниями пп. 1.37 и 1.38 главы СНиП II-19-79.

Величину  $P_d$  следует определять по формуле [48 (3)], в которой принимают (при отсутствии данных завода-изготовителя) для конусных и конусных дробилок коэффициент перегрузки  $n = 1,3$ , а коэффициент динамичности  $\eta = 1,2$ ; для молотковых дробилок  $n = 4$ ,  $\eta = 1$ , а нормативное значение динамической нагрузки  $P_{дн}$  устанавливается по заданию на проектирование.

За расчетное значение силы  $P_d$  для молотковых дробилок принимается наибольшее значение из вычисленных по формуле [48 (3)] или по формуле:

$$P_d = n m_m g \omega^2, \quad [149]$$

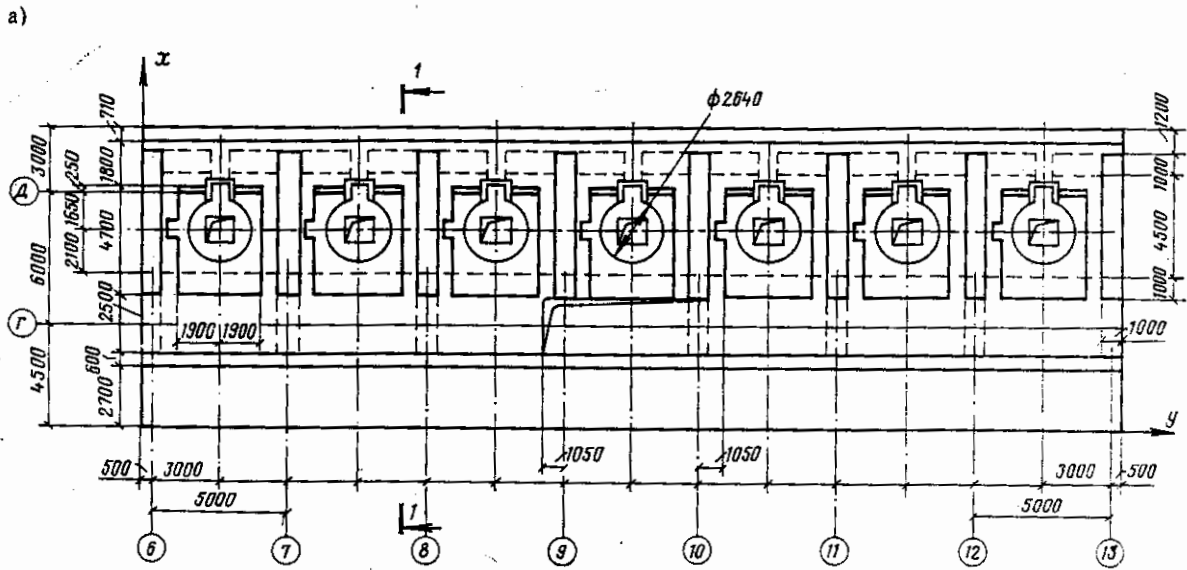
где  $m_m$  — масса молотка;  $g$  — расстояние от оси главного вала дробилки до центра тяжести молотка;  $\omega$  — круговая частота вращения вала, с<sup>-1</sup>;  $n = 4$  — коэффициент перегрузки.

8.14. При проверке по формуле [47 (2)] среднего статического давления  $P_{ст}$  на основание фундаментов дробилок следует принимать значение коэффициента условий работы  $m_0 = 0,8$ , а коэффициента условий работы грунтов основания  $m_1$ ; для водонасыщенных мелких и пылеватых песков, глинистых грунтов текучей консистенции 0,7 и для остальных видов и состояний грунтов — 1.

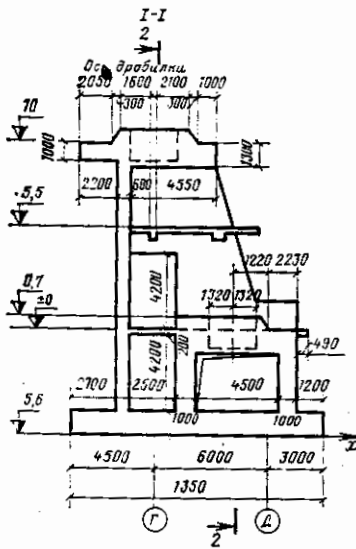
#### ПРИМЕР РАСЧЕТА ФУНДАМЕНТА ПОД ДРОБИЛКИ ТИПА КСД И КМД ПРИ ИХ ГРУППОВОЙ УСТАНОВКЕ

**Исходные данные.** Количество дробилок типа КСД — 7 шт, типа КМД — 7 шт, вес дробилки, включая вес электродвигателя и загрузки  $Q' = 108$  тс, круговая частота вращения конуса  $\omega = 25,4$  с<sup>-1</sup>, горизонтальная составляющая динамической нагрузки для КСД  $P_{дн}^{КСД} = 2,3$  тс, для КМД —  $P_{дн}^{КСД} = 4,2$  тс; электродвигатель асинхронный АЗД-13-52-12.

**Грунтовые условия.** Основанием фундамента служат суглинки с модулем деформации  $E = 3000$  тс/м<sup>2</sup>,  $I_L = 0,7$ ,  $\gamma_{II} = 1,7$  тс/м<sup>3</sup>,  $R_0 = 27$  тс/м<sup>2</sup>.



б,



в)

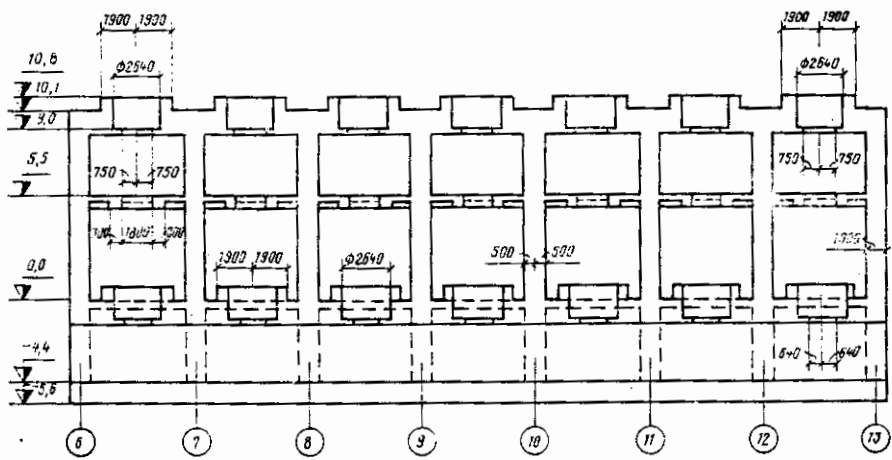


Рис. 15. Габаритные размеры фундамента под дробилки (а — план фундамента; б — поперечный разрез; в — продольный разрез)

Характеристика фундамента. Фундамент стеночатый с двухъярусным расположением дробилок. Основные размеры фундамента со схемой расположения дробилок показаны на рис. 15.

Площадь подошвы фундамента  $F = 580,5 \text{ м}^2$ ; момент инерции подошвы фундамента относительно осей, проходящих через ее центр тяжести, — горизонтальной, параллельной оси  $Oy$ , —  $J = 8816 \text{ м}^4$ , вертикальной  $J_{\psi} = 98262 \text{ м}^4$ .

Характеристики всей установки (машины, фундамента и грунта на его обрезах) определяем в табличной форме (здесь не приводим) аналогично табл. 19 для фундаментов под кузнечные молоты. Вес установки  $Q = 8518 \text{ тс}$ , масса —  $m_n = 869,1 \text{ тс} \cdot \text{с}^2/\text{м}$ ; моменты инерции массы установки относительно оси, проходящей через ее центр тяжести перпендикулярно плоскости колебаний  $\theta = 53009 \text{ тс} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$ , и относительно вертикальной оси, проходящей через ее центр тяжести  $\Theta_{\psi} = 0,164 \cdot 10^9 \text{ тс} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$ . Расстояние от центра тяжести установки до подошвы фундамента  $h_2 = 7,4 \text{ м}$  и до верхней грани фундамента  $h_1 = 8,3 \text{ м}$ .

Определяем упругие и демпфирующие характеристики основания. По формулам [49(4)]—[52(7)] определяем значения коэффици-

$$C_2 = 1,2 \cdot 3000 \left( 1 + \sqrt{\frac{10}{580,5}} \right) = 4073 \text{ тс/м}^3;$$

$$C_x = 0,7 \cdot 4073 = 2851 \text{ тс/м}^2;$$

$$C_{\varphi} = 2 \cdot 4073 = 8146 \text{ тс/м}^3;$$

$$C_{\psi} = 4073 \text{ тс/м}^2.$$

Коэффициенты жесткости основания определяем по формулам [54(9)]—[56(11)]:

$$K_x = 2851 \cdot 580,5 = 1,66 \cdot 10^6 \text{ тс/м};$$

$$K_{\varphi} = 8146 \cdot 8816 = 71,8 \cdot 10^6 \text{ тс} \cdot \text{м};$$

$$K_{\psi} = 4073 \cdot 98262 = 400 \cdot 10^6 \text{ тс} \cdot \text{м}.$$

Коэффициент относительного демпфирования  $\xi_z$  находим по формуле [57(12)]:

$$\xi_z = \frac{0,7}{\sqrt{C_{\varphi}}} = \frac{0,7}{\sqrt{8146}} = 0,183,$$

где  $P_{\text{ср}} = \frac{8518}{580,5} = 14,7 \text{ тс/м}^2$  — среднее давление под подошвой фундамента.

Коэффициенты  $\xi_x$ ,  $\xi_{\varphi}$ ,  $\xi_{\psi}$  вычисляем по формулам [60(14)]—[62(16)]:

$$\xi_x = 0,6 \xi_z = 0,6 \cdot 0,183 = 0,11;$$

$$\xi_{\varphi} = 0,5 \xi_z = 0,5 \cdot 0,183 = 0,091;$$

$$\xi_{\psi} = 0,3 \xi_z = 0,3 \cdot 0,183 = 0,055.$$

Амплитуды горизонтальных колебаний верхней грани фундамента при работе каждой дробилки определяем по приближенной формуле [143(45)]:

$$\beta = \frac{h_2^2 m_n}{0} = \frac{7,4^2 \cdot 869,1}{53009} = 0,9.$$

Круговые частоты колебаний вычисляем по формулам [31(28) прил. 1)] и [32(29) прил. 1)]:

$$\lambda_x = \sqrt{\frac{K_x}{m_n}} = \sqrt{\frac{1,66 \cdot 10^6}{869,1}} = 43,7 \text{ с}^{-1};$$

$$\lambda_{\varphi} = \sqrt{\frac{K_{\varphi}}{\theta_0}} = \sqrt{\frac{71,8 \cdot 10^6}{0,1 \cdot 10^6}} = 26,8 \text{ с}^{-1},$$

где

$$\theta_0 = 0,1 m_n h_2^2 = 53009 \cdot 869,1 \cdot 7,4^2 = 0,1 \cdot 10^6 \text{ тс} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2;$$

$$\bar{K}_{\varphi} = K_{\varphi} - Q h_2 = 71,8 \cdot 10^6 - 8518 \cdot 7,4 = 71,8 \cdot 10^6 \text{ тс} \cdot \text{м}.$$

Определяем величину  $Z$  по формуле [36(33) прил. 1)]:

$$Z = (1 + \beta) \left[ 1 + \left( \frac{\lambda_{\varphi}}{\lambda_x} \right)^2 \right] = (1 + 0,9) \left[ 1 + \left( \frac{26,8}{43,7} \right)^2 \right] = 2,61.$$

Главные собственные частоты колебаний установки определяем из соотношения [35(32) прил. 1)]:

$$\left( \frac{\lambda_{1,2}}{\lambda_x} \right)^2 = \frac{2,61}{2} \mp \sqrt{\left( \frac{2,61}{2} \right)^2 - (1 + 0,9) \left( \frac{2,68}{43,7} \right)^2};$$

$$\left( \frac{\lambda_1}{\lambda_x} \right)^2 = 1,305 - 0,994 = 0,311; \lambda_1 = 24,4 \text{ с}^{-1};$$

$$\left( \frac{\lambda_2}{\lambda_x} \right)^2 = 1,305 + 0,994 = 2,30.$$

Коэффициент  $\eta_1$  определяем по формуле [154(4) прил. 3)]:

$$\eta_1 = 1 - \left( \frac{\lambda_1}{\lambda_x} \right)^2 = 1 - 0,311 = 0,689.$$

Коэффициент  $K_1$  вычисляем по формуле [144(46)]:

$$K_1 = (1 - 0,689)^2 + 0,689^2 \frac{71,8 \cdot 10^6}{1,66 \cdot 10^6 \cdot 7,4^2} = 0,472.$$

По формуле [30(27) прил. 1)] находим коэффициент  $\kappa$  для верхней дробилки:

$$\kappa_{\text{верх}} = \frac{M}{P_{\text{ср}} h_2} = \frac{P_{\text{ср}} h_0}{P_{\text{ср}} h_2} = \frac{10,1}{7,4} = 1,36$$

и для нижней дробилки

$$z_{\text{ниж}} = \frac{M}{r_{\text{ниж}} h_2} = \frac{r_{\text{ниж}} h_{\text{ниж}}}{r_{\text{ниж}} h_2} = \frac{0,3}{7,4} = 0,041,$$

где  $h_0^{\text{верх}}$  и  $h_0^{\text{ниж}}$  — расстояния по вертикали от общего центра тяжести установки до линии действия сил  $r^{\text{верх}}$  и  $r^{\text{ниж}}$  соответственно.

Определим амплитуду горизонтально-вращательных колебаний от воздействия одной верхней дробилки и одной нижней дробилки. Для расчета по формуле [143(45)] произведем предварительные вычисления. Имеем

$$r_1 \frac{h_1}{h_2} + 1 = 0,689 \frac{8,3}{7,4} + 1 = 1,77;$$

$$\sqrt{K_1^2 \left[ 1 - \left( \frac{\omega}{\lambda_1} \right)^2 \right]^2 + 4\xi_x^2 \left[ (1 - r_1)^2 + r_1^2 \frac{\xi_{\Phi}}{\xi_x} \frac{K_{\Phi}}{K_x h_2^2} \right]^2} = \sqrt{0,472^2 \left[ 1 - \left( \frac{25,4}{24,4} \right)^2 \right]^2 + 4 \cdot 0,11^2 \left[ (1 - 0,689)^2 + 0,689^2 \times \right.}$$

$$\left. \frac{0,091 \cdot 71,8 \cdot 10^6}{0,11 \cdot 1,66 \cdot 10^6 \cdot 7,4^2} \right]^2} = 0,0975;$$

$$A_{\text{верх}} = \frac{2,3 \cdot 1,77 (1 + 1,36 \cdot 0,689)}{1,66 \cdot 10^6 \cdot 0,975} = 0,049 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$A_{\text{ниж}} = \frac{4,2 \cdot 1,77 (1 + 0,041 \cdot 0,689)}{1,66 \cdot 10^6 \cdot 0,975} = 0,047 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Крутовую частоту вращательных колебаний относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести установки, вычислим по формуле [148]

$$\lambda_{\Psi} = \sqrt{\frac{K_{\Psi}}{\theta_{\Psi}}} = \sqrt{\frac{400 \cdot 10^6}{0,164 \cdot 10^6}} = 49,4 \text{ с}^{-1}.$$

Определим амплитуду вращательных колебаний по формуле [146] для каждой дробилки верхней и нижней яруса

$$A_{\Psi} = \frac{P_{r_i} e_i}{P_{r_i} e_i T} = P_{r_i} e_i T, \text{ рад.}$$

где значение  $T$  одинаково для всех дробилок и равно

$$T = \frac{400 \cdot 10^6}{\sqrt{\left[ 1 - \left( \frac{25,4}{49,4} \right)^2 \right]^2 + 4 \cdot 0,055^2 \left( \frac{25,4}{49,4} \right)^2}} =$$

$$= 0,34 \cdot 10^{-8} \text{ с}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}.$$

Следовательно, амплитуда горизонтально-вращательных колебаний верхней грани плиты от воздействия  $i$ -ой дробилки равна

$$A_{r_i} = A_{r_i} + A_{\Psi} L_{\text{макс}} = A_{r_i} + P_{r_i} e_i T L_{\text{макс}} = A_{r_i} + P_{r_i} e_i \cdot 0,62 \cdot 10^{-7} \text{ м},$$

где  $L_{\text{макс}} = 18,25 \text{ м}$ .

Приведем таблицу значений амплитуд колебаний верхней грани плиты от  $i$ -той дробилки верхней и нижней ярусов.

$e_i$	18,25	12,25	6,25	0,25	5,75	11,75	17,75
Верхний ярус $P_r = 2,3 \text{ тс}$ , $A_{r_i} = 0,049 \text{ мм}$							
$A_{r_i}$ , мм	0,052	0,051	0,053	0,049	0,050	0,051	0,052
Нижний ярус $P_r = 4,2 \text{ тс}$ , $A_{r_i} = 0,047 \text{ мм}$							
$A_{r_i}$ , мм	0,052	0,050	0,049	0,047	0,049	0,050	0,052

Таблица 26

Амплитуду группового фундамента вычисляем по формуле [66(18)]

$$A_r = k \sqrt{\sum_{i=1}^I A_{r_i}^2} = 1,3 \cdot 0,181 = 0,23 \text{ мм},$$

где  $k$  — коэффициент, равный для асинхронного электродвигателя 1,3;  $I = 14$ .

Полученное значение амплитуды колебаний фундамента не превосходит допустимую величину  $A_d = 0,3 \text{ мм}$ . Следовательно, размеры фундамента подобраны удовлетворительно.

Произведем проверку среднего ступенчатого давления на грунт основания в соответствии с формулой [47(2)]

$$P_{\text{ср}} = \frac{8518}{580,5} = 14,7 \text{ тс/м}^2 < m_0 m_1 R = 0,8 \cdot 1,45,6 = 37 \text{ тс/м}^2,$$

где расчетное давление на основание согласно СНиП II-15-74 (прим. 4, формула 2)

$$R = 27 \left[ 1 + 0,05 \left( \frac{13,5 - 1}{1} \right) \right] + 0,2 \cdot 1,7 (5,6 - 2) = 45,6 \text{ тс/м}^2.$$

## 9. ФУНДАМЕНТЫ МЕЛЬНИЧНЫХ УСТАНОВОК

9.1. Требования настоящего раздела распространяются на проектирование фундаментов мельничных установок с коротким барабаном (стержневых, шаровых, рудно-галечных и др.) и трубчатых.

К установкам с коротким барабаном следует относить машины, у которых соотношение параметров

$$\frac{l}{d} \leq 3, \quad [150]$$

где  $l$  — длина барабана мельницы,  
 $d$  — диаметр барабана.

9.2. В состав задания на проектирование фундаментов мельничных установок кроме материала, перечисленных в п. 14 главы СНиП II-19-79, должны входить следующие данные:

- направление вращения барабанов мельничных установок;
- расстояние от оси вращения барабанов мельничных установок до верхней грани фундамента;
- нормативные значения полного веса корпуса мельничных установок, веса заполнения.

9.3. Фундаменты мельничных установок следует проектировать, как правило, монолитными или сборно-монолитными.

9.4. Фундаменты трубчатых мельниц следует проектировать, как правило, в виде ряда поперечных (по отношению к оси мельницы) П-образных рам, опирающихся на отдельные железобетонные плиты, а мельницы с коротким барабаном — в виде об-щих массивных плит с поперечными стенами или рамами для опирания частей машины.

Для уменьшения уровня вибрации следует объединять поперечные фундаменты под отдельные мельницы общей железобетонной плитой.

Примечания: 1. При применении монолитного железобетона допускается проектировать отдельные опоры трубчатых мельниц в виде поперечных стен на отдельных плитах. 2. При скальных и крупнообломочных грунтах допускается опираться стены, поддерживающие части мельниц с коротким барабаном, на отдельные плиты. 3. Установки дымствода и рекулятора мельниц на разных фундаментах, не связанных жестко между собой, не допускается.

9.5. Армирование фундаментов мельничных установок следует предусматривать в соответствии с требованиями, изложенными в разд. 1 главы СНиП II-19-79; при этом для общего конструктивного армирования массивных и ступенчатых фундаментов следует применять сетки из стальной диаметром 12—16 мм с шагом в обоих направлениях соответственно 200—300 мм.

9.6. Расчет колебаний фундаментов мельничных установок следует производить на действие случайной динамической нагрузки, вызываемой движением заполнителя в барабане.

Нагрузка вызывается перемещением частиц мельчаемого материала и мешочных тел внутри барабана. При этом на барабан действует система импульсов, которые нерегулярны во времени и имеют случайную величину. Совместные действия большого числа импульсов формируют случайную стационарную нагрузку типа

«белого шума», которая через опоры барабана передается на фундамент.

Количественной характеристикой случайной нагрузки служит ее интенсивность  $B$ , определяемая по формуле [152 (2) прил. 3)], нагрузка может приниматься в виде сосредоточенной силы, приложенной в середине длины барабана на уровне оси его вращения перпендикулярно к ней.

Для распространения типов шаровых и стержневых мельниц значение интенсивности  $B$  приведено в табл. 27.

Таблица 27

Тип мельницы	МСЦ		МСЦ		МСЦ		МСЦ		МСЦ	
	2700X X3600	3200X X4500	3600X X5500	4000X X5000	4500X X6000	4800X X4000	4000X X5500	4500X X6000	4000X X5000	
Интенсивность $B$ , тс·с <sup>1/2</sup>	0,305	0,78	1,23	1,48	2,3	0,066	0,095	0,14	0,14	
Тип мельницы	МШР 3600X X5000	МШР 4500X X5000	МШЦ 3200X X4500	МШЦ 3600X X5500	МШЦ 4000X X5500	МШЦ 4000X X5500	МШЦ 4000X X5500	МШЦ 4500X X6000	МШЦ 4500X X6000	
Интенсивность $B$ , тс·с <sup>1/2</sup>	0,08	0,13	0,048	0,075	0,095	0,14	0,14	0,14	0,14	

9.7. Амплитуды горизонтальных колебаний верхней грани массивных и ступенчатых фундаментов мельничных установок, м, от действия случайной динамической нагрузки следует определять по формулам [151 (1) прил. 3)] — [155 (5) прил. 3)].

9.7. (1) прил. 3). Амплитуды горизонтальных колебаний верхней грани массивных и ступенчатых фундаментов мельничных установок  $A_r$ , м, рассчитываемых на случайные динамические нагрузки, следует определять по формуле

$$A_r = \frac{B}{\lambda_x m_n} \sqrt{\frac{\lambda_x}{25x} \left[ \frac{v_1^2}{51} \left( 1 + \frac{h_1}{h_2} \rho_1 \right)^2 + \frac{v_2^2}{52} \left( 1 + \frac{h_1}{h_2} \rho_2 \right)^2 \right]}, \quad [151 (1) \text{ прил. 3)]}$$

где  $B$  — интенсивность случайной нагрузки, тс·с<sup>1/2</sup>, определяемая по формуле:

$$B = a m' \omega d \sqrt{\omega \left[ 1 - \left( \frac{\omega^2 d}{20} \right)^2 \right]}, \quad [152 (2) \text{ прил. 3)]}$$

$$v_{1,2} = \frac{1 + \frac{h_0}{h_2} \rho_{1,2}}{\left( \frac{\lambda_{1,2}}{\lambda_x} \right)^{2/3} \left( 1 + \rho_{1,2}^2 \frac{1}{\beta} \right)}, \quad [153 (3) \text{ прил. 3)]}$$

$$\rho_{1,2} = 1 - \left( \frac{\lambda_{1,2}}{\lambda_x} \right)^2; \quad [154 \text{ (4 прил. 3)}]$$

$$\xi_{1,2} = \frac{\left( \frac{\lambda_{1,2}}{\lambda_x} \right)^4 + \frac{\xi_\varphi}{\xi_x} \left( \frac{\lambda_\varphi}{\lambda_x} \right)^2 \frac{1 + \beta}{\beta} \rho_{1,2}^2}{\left( \frac{\lambda_{1,2}}{\lambda_x} \right)^4 + \left( \frac{\lambda_\varphi}{\lambda_x} \right)^2 \frac{1 + \beta}{\beta} \rho_{1,2}^2}; \quad [155 \text{ (5 прил. 3)}]$$

$h_0$  — расстояние от центра тяжести установки до оси вращения барабана мельницы, м;  
 $m'$  — масса загрузки барабана мельницы, тс·с<sup>2</sup>/м;  
 $\omega$  — круговая частота вращения барабана, с<sup>-1</sup>;  
 $d$  — диаметр барабана, м;  
 $\alpha$  — коэффициент, зависящий от типа машины (мельницы) и принимаемый для стержневых мельниц  $\alpha = 0,015$ , для остальных типов мельниц  $\alpha = 0,001$ .  
 $h_1, h_2$  — расстояния от центра тяжести установки, м, соответственно до верхней грани фундамента и до подошвы фундамента;  
 $\xi_x, \xi_\varphi$  — коэффициенты относительного демпфирования соответственно для горизонтальных и вращательных колебаний, определяемые по формулам [60(14)] и [61(15)];  
 $m_n$  — масса установки, тс·с<sup>2</sup>/м, включающая массу фундамента с засыпкой грунта и массу машины;  
 $\beta = \frac{m_n h_2^2}{\theta}$ ;

$\theta$  — момент инерции массы установки (фундамента с засыпкой грунта на его обрезах и выступах и машины), тс·м·с<sup>2</sup> относительно плоскости колебаний через общий центр тяжести перпендикулярно плоскости колебаний;  
 $\lambda_x, \lambda_\varphi$  — круговые частоты собственных колебаний фундамента, с<sup>-1</sup>, соответственно горизонтальных и вращательных относительно горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести подошвы фундамента, определяемые по формулам [31(28)] и [32(29)];  
 $\lambda_1, \lambda_2$  — первая и вторая собственные частоты установки, с<sup>-1</sup>, определяемые по формулам [35(32)] и [36(33)].  
 Для преданализных расчетов амплитуду горизонтальных колебаний допускается определять по упрощенной формуле

$$A_T = \frac{V \nu_1}{\lambda_x^2 m_n} \left( 1 + \frac{h_1}{h_2} \rho_1 \right) \sqrt{\frac{\lambda_x}{2 \xi_x \xi_1}}. \quad [156]$$

9.8. При групповой установке мельниц на одном фундаменте интенсивность случайной нагрузки  $V$  следует определять по формуле

$$V = \sqrt{\sum_{i=1}^n V_i^2}. \quad [157 \text{ (47)}]$$

где  $V_i$  — интенсивность случайной динамической нагрузки от  $i$ -ой мельницы, определяемая по формуле [152(2 прил. 3)]:

$i$  — число мельниц.

9.9. Амплитуда горизонтальных колебаний рамных фундаментов мельничных установок  $d_r$ , м, от действия случайной нагрузки следует определять по формулам [158(6 прил. 3)] — [160(8 прил. 3)].

9.9. (2 прил. 3). Амплитуда горизонтальных колебаний рамных фундаментов машин (мельниц)  $d_r$ , м, рассчитываемых на случайные динамические нагрузки, следует определять по формуле

$$A_r = A_x + A_\psi l_{\max}, \quad [158 \text{ (6 прил. 3)}]$$

где  $l_{\max}$  — расстояние от центра тяжести верхней части фундамента до оси наиболее удаленного подшипника мельницы, м;  
 $A_x, A_\psi$  — амплитуды соответственно горизонтальных колебаний верхней плиты, м, и вращательных колебаний относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести плиты, рад, определяемые по формулам:

$$A_x = \frac{B}{S_x} \sqrt{\frac{\lambda_x}{2 \xi_x}}; \quad [159 \text{ (7 прил. 3)}]$$

$$A_\psi = \frac{V e}{S_\psi} \sqrt{\frac{\lambda_\psi}{2 \xi_\psi}}, \quad [160 \text{ (8 прил. 3)}]$$

$B$  — интенсивность случайной нагрузки, тс·с<sup>1/2</sup>, определяемая по формуле [152(2 прил. 3)];  
 $e$  — расстояние в мм от центра тяжести верхней части фундамента до середины длины барабана, м;

$S_x, S_\psi$  — коэффициенты жесткости конструкции фундамента соответственно при поступательных (горизонтальных), тс/м, и вращательных, тс·м, колебаниях, определяемые по формулам [9(6 прил. 1)] и [10(7 прил. 1)];  
 $\lambda_x, \lambda_\psi$  — круговые частоты, с<sup>-1</sup>, поступательных (горизонтальных) и вращательных колебаний фундамента относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести верхней плиты, определяемые по формулам [17(14 прил. 1)] и [18(15 прил. 1)];  
 $\xi_x, \xi_\psi$  — коэффициенты относительного демпфирования системы фундамент — грунт, определяемые по формулам [15(12 прил. 1)] и [16(13 прил. 1)].

9.10. Собственная круговая частота колебаний фундаментов мельниц должна отличаться не менее чем на 25% от собственной круговой частоты  $\lambda_n$  круговых колебаний падающего двигателя, определяемой по формуле

$$\lambda_n = \sqrt{\frac{K(\theta_1 + \theta_2)^2}{\theta_1 \theta_2}}. \quad [161 \text{ (48)}]$$

где  $\theta_1$  — момент инерции массы барабана с загрузкой относительно оси вращения барабана, тс·м·с<sup>2</sup>;  
 $\theta_2$  — момент инерции массы ротора электродвигателя относительно его оси вращения, тс·м·с<sup>2</sup>.

$K$  — крутильная жесткость вала, соединяющего ротор двигателя с приводной шестерней, т.с.-м/рад;  
 $i$  — передаточное число зубчатой пары (шестерни и зубчатого венца барабана).  
 Вычисленные параметры, входящих в формулу [161(48)], должны проверяться по следующим приближенным формулам:

$$D_1 = 0,25 m d_a, \quad [162]$$

где  $m$  — масса барабана мельницы с нагрузкой, т.с./м;  
 $d$  — значение то же, что в формуле [150];

$$D_2 = \frac{GDz}{40}, \quad [163]$$

где  $GDz$  — маховый момент электродвигателя, т.с.-м<sup>2</sup>, определяемый по каталогу

$$K = \frac{0,1 G d_a^4}{I_a}, \quad [164]$$

где  $G = 8,1 \cdot 10^9$  тс/м<sup>2</sup> — модуль сдвига стали;  
 $I_a, d_a$  — соответственно длина и диаметр вала, соединяющего электродвигатель с приводной шестерней, м.  
 Значения собственной частоты крутильных колебаний вала электродвигателя для некоторых типов мельниц и соответствующих им типов электродвигателей приведены в табл. 28.

Т а б л и ц а 28

Тип мельницы	МШР 3600×6500	МШЦ 4000×5500	МШР 4500×6000	МШР 3600×5000	МШР 4000×5000
Тип электродвигателя	ДС-260/ УД-32Р	СДС-19- 46-40	СДС-19- 56-40	СДЗ-260- 49-32Р	СДС-19- 46-40
Частота крутильных колебаний вала электродвигателя, с <sup>-1</sup>	20	61,3	57,8	20	61,8

Продолжение табл. 28

Тип мельницы	МШР 4500×5000	МШЦ 4000×5500	МШЦ 4000×5500	МШЦ 4500×6000
Тип электродвигателя	СДС-19-56- 40	СДС-19-56- 48	СДС-19-56- 40	СДС-19-56- 40
Частота крутильных колебаний вала электродвигателя, с <sup>-1</sup>	58	58,6	55	55

Для мельниц, имеющих привод с редуктором, проверку выполнения требований п. 9.10 допускается не производить.

9.11. Максимальная предельно допускаемая амплитуда колебаний фундаментов мельничных установок принимается равной  $d_n = 0,1$  мм.

9.12. Расчет прочности элементов конструкций фундаментов мельниц надлежит производить с учетом действия следующих нагрузок:

расчетного значения веса элементов конструкций и частей мельницы с учетом веса заполнения;

горизонтальной составляющей расчетной динамической нагрузки  $R_n$ , т.с., приложенной к данной опоре и определяемой по формуле [48(3)], в которой значения коэффициентов перегрузки и динамичности принимают соответственно  $n = 1,3$  и  $\eta = 1$ , для мельниц с коротким барабаном  $0,1 Q_m$ , где  $Q_m$  — часть нормативного значения веса мельницы (без мешоцех тел и заполнения), приходящаяся на данную опору, т.с.

9.13. При проверке по формуле [47(2)] среднего статического давления  $R_{cp}$  на основании фундаментов мельничных установок следует принимать значение коэффициента условий работы  $m_0 = 0,8$ , а коэффициента условий работы грунтов  $основания$   $m_1$ : для водонасыщенных мелких и пылеватых песков, глинистых грунтов текучей консистенции — 0,7, для остальных видов и состояний грунтов — 1.

#### ПРИМЕР РАСЧЕТА РАВНОГО ФУНДАМЕНТА ПОД МЕЛЬНИЦУ ТИПА МТР 4000×7500

Исходные данные.

а) Данные о мельнице: масса мельницы с электроприводом  $m^0 = 34,4$  т.с.-с<sup>2</sup>/м; масса загрузки барабана мельницы (масса руды и мешоцех тел)  $m = 11,2$  т.с.-с<sup>2</sup>/м; диаметр барабана мельницы  $d = 4$  м; длина барабана  $l_0 = 7,5$  м; круговая частота вращения барабана  $\omega = 1,87$  с<sup>-1</sup>; масса барабана  $m^* = 25,5$  т.с.-с<sup>2</sup>/м.

б) Данные о приводе: синхронный двигатель типа СДС-19-46-40; маховый момент ротора двигателя типа СДС-19-46-40; число зубчатой пары (шестерни и зубчатого венца барабана)  $i = 8,728$ ; длина промежуточного вала  $l_s = 4$  м; диаметр промежуточного вала  $d_s = 0,36$  м;

Основные размеры фундамента показаны на рис. 16.

Грунтовые условия. Основанием фундамента служат пески мелкие средней плотности сухие с модулем деформации

$$E = 2000 \text{ тс/м}^2; R_0 = 30 \text{ тс/м}^2; \gamma_{II} = 1,6 \text{ тс/м}^2.$$

Для выполнения расчета колебаний определяем следующие характеристики установки (фундамента и машины):

вес фундамента с машинной  $Q = 1832,6$  тс; масса системы, включая чашу массы машины, верхней плиты и 30% массы всех колонн фундамента,  $m_n = 106,5$  тс.-с<sup>2</sup>/м; площадь подошвы фундамента  $F = 143,5$  м<sup>2</sup>; моменты инерции площади подошвы фундамента относительно горизонтальной оси, параллельной оси  $Oy$  и проходящей через ее центр тяжести  $J = 1328$  м<sup>4</sup>, и относительно вертикаль-





$$S_{\psi} = \frac{1}{\frac{1}{10,48 \cdot 10^6} + \frac{1}{4,09 \cdot 10^6}} = 2,94 \cdot 10^6 \text{ тс} \cdot \text{м.}$$

Коэффициент относительного демпфирования  $\xi_z$  определяем по формуле [57(12)]

$$\xi_z = \frac{0,7}{\sqrt{P_{\text{ср}}}} = \frac{0,7}{\sqrt{12,77}} = 0,196,$$

где  $P_{\text{ср}}$  — среднее давление на основание под подошвой фундамента, равное

$$P_{\text{ср}} = \frac{Q}{F} = \frac{1832,6}{143,5} = 12,77 \text{ тс/м}^2.$$

Коэффициенты относительного демпфирования для горизонтальных и вращательных колебаний относительно горизонтальной и вертикальной осей вычисляем по формулам [60(14)]—[62(16)]:

$$\begin{aligned} \xi_x &= 0,6 \cdot 0,196 = 0,118; \\ \xi_y &= 0,5 \cdot 0,196 = 0,098; \\ \xi_{\psi} &= 0,3 \cdot 0,196 = 0,059. \end{aligned}$$

По формулам [15(12) прил. 1)] и [16(13) прил. 1)] определяем  $\xi'_x$  и  $\xi'_y$

$$\begin{aligned} \xi'_x &= 0,0352 \cdot 10^6 \left( 0,118 \frac{1}{0,254 \cdot 10^6} + 0,098 \frac{11,4^2}{6,71 \cdot 10^6} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{0,1}{2 \cdot 0,196 \cdot 10^6} \right) = 0,092; \end{aligned}$$

$$\xi'_y = 2,94 \cdot 10^6 \left( 0,059 \frac{1}{10,48 \cdot 10^6} + \frac{0,1}{2 \cdot 4,09 \cdot 10^6} \right) = 0,052,$$

где  $\gamma = 0,1$  — коэффициент неуравного сопротивления железобетона. Определяем круговые частоты колебаний фундамента по формулам [17(14) прил. 1)], [18(15) прил. 1)]:

$$\lambda_x = \sqrt{\frac{0,0352 \cdot 10^6}{106,5}} = 18,2 \text{ с}^{-1};$$

$$\lambda_{\psi} = \sqrt{\frac{2,94 \cdot 10^6}{2285,7}} = 35,9 \text{ с}^{-1},$$

где

$$\theta_{\psi} = 0,1 \cdot 106,5 \cdot 14,65^2 = 2285,7 \text{ тс} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-2}$$

Момент инерции массы  $m_{\psi}$  относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести верхней плиты, вычисляем по приведенной формуле [19(16) прил. 1)]:

148

Интенсивность случайной нагрузки определяем по формуле [152(2) прил. 3)]

$$\begin{aligned} B &= 0,001 \cdot 11,2 \cdot 1,87 \cdot 4 \sqrt{1,87 \left[ 1 - \left( \frac{1,87^2 \cdot 4}{20} \right)^2 \right]} = \\ &= 0,082 \text{ тс} \cdot \text{с}^{1/2}, \end{aligned}$$

в которой  $\alpha = 0,001$  — для рудногашечной мельницы. Амплитуды горизонтальных и вращательных колебаний верхней плиты определяем по формулам [159(7) прил. 3)] и [160(8) прил. 3)]:

$$\lambda_x = \frac{0,082}{0,0352 \cdot 10^6} \sqrt{\frac{18,2}{2 \cdot 0,092}} = 0,023 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$\lambda_{\psi} = \frac{0,082 \cdot 1,37}{2,94 \cdot 10^6} \sqrt{\frac{35,9}{2 \cdot 0,052}} = 0,71 \cdot 10^{-6} \text{ рад.}$$

Суммарную амплитуду горизонтальных колебаний верхней плиты фундамента вычисляем по формуле [158(6) прил. 3)]

$$\lambda_r = 0,023 \cdot 10^{-3} + 0,71 \cdot 10^{-6} \cdot 6,32 = 0,027 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Полученное значение амплитуды колебаний не превосходит допустимого значения  $\lambda_{\text{д}} = 0,1$  мм. Определяем собственную круговую частоту круглых колебаний вала электродвигателя.

С помощью формул [162]—[164] вычисляем: момент инерции массы барабана с нагрузкой относительно оси вращения барабана

$$\theta_1 = 0,25 \cdot 36,7 \cdot 4^2 = 146,8 \text{ тс} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2,$$

где  $m = 36,7$  тс  $\cdot$  с<sup>2</sup>/м — масса барабана с нагрузкой;

момент инерции массы ротора электродвигателя относительно его оси вращения

$$\theta_2 = \frac{51}{40} = 1,3 \text{ тс} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2;$$

круглую жесткость вала, соединяющую ротор двигателя с приводной шестерней,

$$K = \frac{0,1 \cdot 8,1 \cdot 10^6 \cdot 0,36^4}{4} = 3401,2 \text{ тс} \cdot \text{м},$$

где  $G' = 8,1 \cdot 10^6$  тс/м<sup>2</sup> — модуль сдвига стали.

Собственную круговую частоту круглых колебаний определяем по формуле [161(48)]:

$$\lambda_{\text{в}} = \sqrt{\frac{3401,2 \cdot (146,8 + 1,3 \cdot 8,728^2)}{146,8 \cdot 1,3}} = 66,2 \text{ с}^{-1}.$$

Собственные круговые частоты колебаний фундамента ( $\lambda_{\text{д}} = 18,2$  с<sup>-1</sup> и  $\lambda_{\psi} = 35,9$  с<sup>-1</sup>) отклоняются более чем на 25% от собственной круговой частоты круглых колебаний вала электродвигателя  $\lambda_{\text{в}} = 66,2$  с<sup>-1</sup>.

149