

Значения θ_{np} и $\theta_{0 np}$ при горизонтально-вращательных колебаниях фундамента относительно горизонтальной оси определяем соответственно по формулам [75(24)] и [76(25)]:

$$\theta_{np} = \theta_p + \beta^* \sum_{i=1}^n m_{гсв} r_i^2 = m_p \frac{a^2 + h^2}{12} + \beta^* \sum_{i=1}^n m_{гсв} r_i^2 = 14,2 \frac{5^2 + 1^2}{12} + 0,19 \cdot 0,27 \cdot 45 = 33,1 \text{ тс} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2,$$

$$\theta_{0 np} = \theta_{np} + h_0^2 m_p = 33,1 + 0,8^2 \cdot 14,2 = 42,2 \text{ тс} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2.$$

6. Коэффициент жесткости свайного фундамента при упругом неравномерном сдвиге определяем по формуле [96]

$$K_{фнр} = \frac{K_{хнр}}{n} \sum_{i=1}^n r_i^{-2} = \frac{5,85 \cdot 10^4}{16} \cdot 90 = 33 \cdot 10^4 \text{ тс} \cdot \text{м},$$

где

$$\sum_{i=1}^n r_i^{-2} = 4 (1,06^2 + 3,18^2 + 2 \cdot 2,38^2) = 90 \text{ м}^2.$$

Момент инерции массы свайного фундамента относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести площади подошвы фундамента, определяем по формуле [97]

$$\theta_{фнр} = \theta_{фр} + \beta^* \sum_{i=1}^n m_{гсв} r_i^2 = 14,2 \frac{5^2 + 1^2}{12} + 0,647 \cdot 0,27 \cdot 90 = 75 \text{ тс} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2.$$

7. Коэффициенты децифрирования вертикальных колебаний свайных фундаментов в соответствии с указаниями п. 1.53 принимаем равными $\xi_z = 0,2$, горизонтальных колебаний — $\xi_x = 0,1$, горизонтально-вращательных — $\xi_{\phi} = 0,1$ и крутильных — $\xi_{\psi} = 0,06$.

Особенности проектирования фундаментов машин на вечноммерзлых грунтах

1.54. Фундаменты машин с динамическими нагрузками, возводимые на вечноммерзлых грунтах, следует проектировать в соответствии с требованиями главы СНиП по проектированию оснований и фундаментов на вечноммерзлых грунтах и дополнительных требованиями, наложенными в пп. 1.55—1.59 главы СНиП II-19-79.

Вечноммерзлые грунты оснований фундаментов машин с динамическими нагрузками могут использоваться по принципам I или II в соответствии с главой СНиП II-18-76. При этом могут применяться практически все рекомендуемые способы обеспечения расчетного теплового режима основания.

1.55. Несущую способность оснований фундаментов машин на вечноммерзлых грунтах, используемых в качестве оснований по принципу I, следует определять в соответствии с требованиями главы СНиП по проектированию оснований и фундаментов на вечноммерзлых грунтах с учетом дополнительного коэффициента условий работы $m_{нв}$, принимаемого по табл. 4(1).

Таблица 4 (1)

Коэффициент использования машин по времени	Коэффициент условий работы оснований $m_{нв}$ на вечноммерзлых грунтах, используемых по принципу I
Менее 0,5	0,8
От 0,5 до 0,7	0,7
Свыше 0,7	0,5

Расчет оснований фундаментов машин по первой группе преследыных состояний при использовании принципа I производится по формуле

$$N \leq \frac{m_{нв} \Phi}{k_n}, \quad [98]$$

где N — расчетная нагрузка на основание в наиболее невыгодной комбинации, включающая постоянную и временную (динамическую) нагрузки, определяемые по пп. 1.37—1.39 настоящей главы СНиП; $m_{нв}$ — коэффициент условий работы;

Φ — несущая способность основания, определяемая по пп. 4.8—4.9 или 4.14—4.19 главы СНиП II-18-76; k_n — коэффициент надежности, принимаемый по требованиям п. 4.6 главы СНиП II-18-76.

Коэффициент условий работы $m_{нв}$ учитывает влияние длительности работы машин с динамическими нагрузками на прочностные характеристики вечноммерзлого грунта.

Коэффициенты использования машин по времени, необходимые для выбора коэффициентов условий работы $m_{нв}$, устанавливаются заданием на проектирование и характеризуют продолжительность эксплуатации машин с учетом длительности технологических перерывов.

1.56. Среднее статическое давление $R_{ср}$ на естественное основание и несущую способность оснований свайных фундаментов машин с динамическими нагрузками на вечноммерзлых грунтах, используемых по принципу II, следует определять согласно требованиям соответственно п. 1.36 и п. 1.51 главы СНиП II-19-79.

Несущую способность грунтов оснований одиночной свай с учетом динамических воздействий $\Phi_{д}$ при использовании принципа II следует определять по формуле

$$\Phi_{д} = m_{св} m_{св \Phi}, \quad [99]$$

где $m_{св}$ и $m_{св \Phi}$ — коэффициенты условий работы и условий работы грунтов основания, принимаемые по указаниям п. 1.51; Φ — несущая способность свай в статических условиях, определяемая с учетом негативного (отрицательного) трения в соответствии с требованиями главы СНиП II-18-76.

1.57. Расчет вертикальных и горизонтальных колебаний массивных и стеччатых фундаментов и вертикальных колебаний рамных фундаментов на естественном основании, а также вертикальных колебаний свайных фундаментов машин с вращающимися частями, с кривошипно-шатунными механизмами, дробильных и мельничных установок, возводимых на твердомерзлых грунтах, исползуемых по принципу I, производится не следует.

Расчет горизонтальных колебаний рамных фундаментов указанных типов машин в этих условиях следует производить в соответствии с указаниями прил. 1 и 3 главы СНиП II-19-79.

Согласно требованиям главы СНиП II-18-76 расчеты температуры в основании фундаментов на вечномерзлых грунтах должны обеспечиваться на весь период эксплуатации. Поскольку твердомерзлое состояние грунта в основании обеспечивает его практическую несжимаемость ($\alpha \leq 0,001 \text{ см}^2/\text{кг}$, п. 2.4 главы СНиП II-18-76), расчет колебаний массивных и стеччатых фундаментов в этих условиях производится не требуется.

1.58. Расчет вертикальных колебаний фундаментов (в том числе свайных) машин с импульсными нагрузками в твердомерзлых грунтах, исползуемых по принципу I, а также фундаментов машин всех типов в пластично-мерзлых грунтах следует производить как на немерзлых грунтах в соответствии с требованиями, изложенными в разделе главы СНиП II-19-79 для разных типов машин; при этом коэффициенты жесткости оснований фундаментов следует определять по данным результатов полевых испытаний грунтов.

Полезные испытания грунтов для определения коэффициентов жесткости оснований фундаментов машин на вечномерзлых грунтах проводятся при расчетной температуре грунта, принимаемой в соответствии с требованиями п. 4.10 главы СНиП II-18-76.

Для свайных фундаментов проведение испытаний по определению коэффициентов жесткости в пластично-мерзлых грунтах является обязательным. Испытания производятся по методике, изложенной в прил. 2 настоящего руководства.

Для фундаментов на естественном основании определение коэффициентов жесткости допускается производить, исползуя формулы [49(4)] — [56(11)]. При этом модуль деформации грунта E следует определять по данным полевых или лабораторных испытаний в соответствии с методикой, рекомендуемой нормативными документами по вечномерзлым грунтам.

1.59. Расчет амплитуд горизонтальных колебаний свайных фундаментов машин с периодическими и случайными динамическими нагрузками, возводимых на твердомерзлых грунтах, исползуемых по принципу I, следует производить в соответствии с указаниями пп. 1.35 (1 прил. 1) — 1.35 (4 прил. 1) и пп. 9.7 (1 прил. 3), 9.9 (2 прил. 3). При этом коэффициенты жесткости конструкции фундамента S_x и S_φ следует определять по формулам:

$$S_x = \sum_{i=1}^4 S_i' \quad [100 (27)]$$

$$S_\varphi = \sum_{i=1}^4 S_i' e_i^2 \quad [101 (28)]$$

где $S_i' = \frac{12 E_0 J_i}{h_i^3}$ — коэффициент жесткости i -той сваи с жесткой заделкой в ростверк в горизонтальном направлении, тс/м;

J_i — момент инерции площади поперечного сечения i -той сваи, м⁴;

$h_i = l_0 + H + 3d$ — расчетная длина сваи, м; $0 \leq H \leq H_*$, принимаямая для наиболее неблагоприятного случая при расчете на колебания;

H_* — величина, изменяющаяся в пределах в соответствии с указаниями главы СНиП по проектированию оснований и фундаментов на вечномерзлых грунтах;

d — диаметр или сторона поперечного сечения сваи в направлении действия динамической нагрузки, м;

e_i — расстояние от центра тяжести ростверка до i -ой сваи, м; E_0, ν — то же, что в п. 1.52 главы СНиП II-19-79.

Свайный фундамент в твердомерзлых грунтах, исползуемых по принципу I, может рассматриваться как рамный, стойки которого защемлены в мерзлом грунте на глубине S_d . Расчет амплитуд горизонтальных колебаний такого фундамента производится по тем же формулам, что и для рамного фундамента. Высота расположения нижней грани плиты фундамента над поверхностью грунта h_0 назначается по теплотехническому расчету (для обеспечения расчетного теплового режима в основании) либо из конструктивных соображений.

Толщина слоя сезонного оттаивания H_* определяется по указаниям главы СНиП II-18-76. Значение S определяется опытным путем и принято равным 3.

На пластично-мерзлых грунтах коэффициент жесткости сваи следует определять по результатам испытаний, не акцентируя внимания на глубине защемления свай в мерзлом грунте, подобно тому, как это делается для немерзлых грунтов.

1.60. Расчет колебаний фундаментов машин, возводимых на вечномерзлых грунтах, исползуемых по принципу II, следует производить как на немерзлых грунтах в соответствии с требованиями, изложенными в разделе главы СНиП II-19-79 для разных типов машин.

Коэффициенты упругого равномерного сжатия грунтов основания, упругого неравномерного сжатия и сдвига, а также характеристики демпфирования колебаний устанавливаются для расчетного состояния вечномерзлого грунта, принимаемого по требованиям п. 4.23 главы СНиП II-18-76.

ПРИМЕР РАСЧЕТА ФУНДАМЕНТА ПОД ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ КОМПРЕССОР
НА ВЕЧНОМЕРЗЛОМ ГРУНТЕ

Требуется выполнить расчет фундамента под горизонтальный компрессор марки 2ВГ по следующим исходным данным: число оборотов вала компрессора 167 об/мин; угол заклинивания 90°; амплитуды компонент динамической нагрузки и момента относительно вертикальной оси $P_x = 12,8 \text{ тс}$, $P_y = 0$, $P_z = 0,78 \text{ тс}$; $M_x = 19,2 \text{ тс} \cdot \text{м}$.

Статическая нагрузка от веса машины и фундаментной плиты 243 тс; коэффициент использования компрессора по времени 0,7; Двигатель и компрессор спарены.

Грунтовые условия. С поверхности на глубину 0,5 м залегает слой мелкого песка средней плотности, затем слой супеси толщиной 3 м. Грунт находится в вечномёрзлом состоянии. Распределение расчетных температур вечномёрзлого грунта по глубине показано на рис. 4.

Рис. 4. Геологический разрез с распределением расчетных температур в вечномёрзлом грунте по глубине

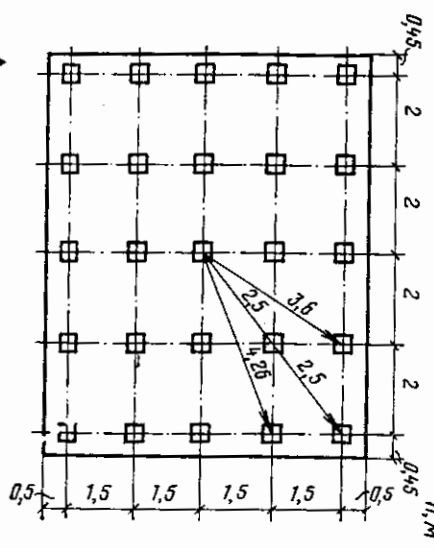
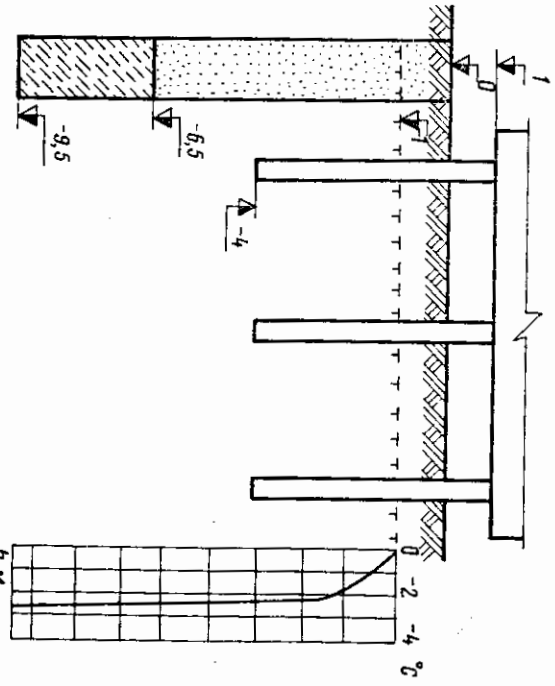


Рис. 5. План свайного фундамента

Используя вечномёрзлый грунт в качестве основания по пункту 1 рассчитаем фундамент из железобетонных свай сечением 40x40 см длиной 5 м из бетона марки 300. Свай жестко заделаны в фундаментную плиту. План фундамента (размеры в м) показан на рис. 5. Число свай принято равным 26.

Решение. Неудачная способность основания свай определяется согласно требованиям п. 4.8 СНиП II-18-76 по формуле

$$\phi = m \left(RF + \sum_{i=1}^l R_{см} F_{см} \right)$$

В соответствии с п. 4.9 главы СНиП II-18-76 принимаем $m = 1,2$, учитывая, что $N/N_1 = 1$,

где $N = N_1 = R_{св} + 2P_2 + 0,3 R_{св} = 243 + 0,78 + 0,3 \cdot 25 \cdot 1,76 = 257$ тс.

(Вес одной сваи $= 0,4 \cdot 0,4 \cdot 5 \cdot 2,2 = 1,76$ тс.)

Принимаем число слоев мёрзлого грунта $j = 8$, тогда по табл. 1 и 3 прил. 6 главы СНиП II-18-76 имеем

Таблица 5

l_i^0	Номер слоя грунта i							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	-0,5	-1,0	-1,5	-1,7	-2,0	-2,1	-2,2	-2,3
$R_{см},$ тс/м ²	8	13	16	18	20	21	21,5	22

$$\sum R_{см} l = 139,5 \text{ тс/м}^2$$

$$R = 135 \text{ тс/м}^2$$

$$F_{см} l = 4 \cdot d \frac{l_{см}}{8} = 4 \cdot 0,4 \cdot \frac{3}{8} = 0,6 \text{ м}^2; \quad l_{см} = 3 \text{ м.}$$

Следовательно,

$$\phi = 1,2 [RF_{св} + F_{см} \sum R_{см} l] = 1,2 (135 \cdot 0,16 + 0,6 \cdot 139,5) = 126.$$

Проверим условие [98] настоящего руководства

$$\frac{m_d \phi}{k_d} = \frac{0,7 \cdot 126}{1,2} = 73,5 \text{ тс.}$$

Значение коэффициента $k_d = 1,2$ принято в соответствии с п. 4.6 СНиП II-18-76.

Нагрузка, приходящаяся на одну сваю, — $257/26 = 10,4$ тс < 73,5 тс.

Расчет по определению амплитуд вынужденных колебаний фундамента выполняем в соответствии с главой СНиП II-19-79 при следующих данных:

Крутовая частота вращения машины (п. 3.16)

$$\omega = 0,105 \pi \omega_6 = 0,105 \cdot 167 = 17 \text{ с}^{-1},$$

площадь фундаментной плиты $F = 8,9 \times 7 = 62,3 \text{ м}^2$,
момент инерции поперечного сечения свая

$$J = \frac{0,4^4}{12} = 0,213 \cdot 10^{-2},$$

жесткость поперечного сечения свая на изгиб

$$E_0 J = 2,9 \cdot 10^6 \cdot 0,213 \cdot 10^{-2} = 0,618 \cdot 10^4 \text{ тс} \cdot \text{м}^2,$$

расчетная высота свая (п. 1.59)

$$h_i = l_0 + H_r + 3d = 1,0 + 1,0 + 1,2 = 3,2 \text{ м},$$

масса системы в соответствии с п. 1.35 (4 прил. 1)

$$\bar{m}_n = 243 \cdot 0,1 + 0,3 \cdot 25 \cdot 1,76 \cdot 0,1 = 25,6 \text{ тс} \cdot \text{с}^2/\text{м}.$$

Определим коэффициенты жесткости фундамента (п. 1.59)

$$S'_i = \frac{12 E_0 J_i}{h_i^3} = \frac{12 \cdot 0,618 \cdot 10^4}{3,2^3} = 2,27 \cdot 10^8 \text{ тс/м};$$

$$S_x = \sum_{i=1}^n S'_i \cdot n = 2,27 \cdot 10^8 \cdot 25 = 56,7 \cdot 10^8 \text{ тс/м};$$

$$S_\psi = \sum_{i=1}^n S'_i e_i^2 = 2,27 \cdot 10^8 [2 (1,5^2 + 2,0^2 + 3,0^2 + 4,0^2) +$$

$$+ 4 (2,5^2 + 5,0^2 + 3,6^2 + 4,26^2)] = 2,27 \cdot 10^8 \cdot 312 = 708 \cdot 10^8 \text{ тс} \cdot \text{м}.$$

Круговые частоты колебаний

$$\lambda_x = \sqrt{\frac{S_x}{m_n}} = \sqrt{\frac{56,7 \cdot 10^8}{25,6}} = 47 \text{ с}^{-1};$$

$$\lambda_\psi = \sqrt{\frac{S_\psi}{Q_\psi}} = \sqrt{\frac{708 \cdot 10^8}{204}} = 59 \text{ с}^{-1},$$

где

$$\bar{m}_n = 0,1 \bar{m}_n l^2 = 0,1 \cdot 25 \cdot 6,8 \cdot 9^2 = 204 \text{ тс} \cdot \text{м}.$$

Горизонтальное перемещение центра тяжести плиты и угол поворота плиты в горизонтальной плоскости при статическом действии силы P_x и момента M_x в соответствии с п. 1.35 (1 прил. 1):

$$A_x^{\text{ст}} = \frac{P_x}{S_x} = \frac{12,8}{56,7 \cdot 10^8} = 0,225 \text{ мм};$$

$$A_\psi^{\text{ст}} = \frac{M_x}{S_\psi} = \frac{19,2}{708 \cdot 10^8} = 2,7 \cdot 10^{-5} \text{ рад}.$$

56

Амплитуда горизонтальных колебаний центра тяжести плиты

$$A_x = \frac{A_x^{\text{ст}}}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\lambda_x^2}\right)^2 + 4 (\xi_x')^2 \frac{\omega^2}{\lambda_x^2}}} = \frac{0,225}{\sqrt{\left(1 - \frac{17^2}{47^2}\right)^2 + 4 \cdot 0,01 \frac{17^2}{47^2}}} = 0,26 \text{ мм}.$$

Амплитуда угла поворота плиты в горизонтальной плоскости

$$A_\psi = \frac{A_\psi^{\text{ст}}}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\lambda_\psi^2}\right)^2 + 4 (\xi_\psi')^2 \frac{\omega^2}{\lambda_\psi^2}}} = \frac{2,7 \cdot 10^{-5}}{\sqrt{\left(1 - \frac{17^2}{59^2}\right)^2 + 4 \cdot 0,025 \frac{17^2}{59^2}}} = 0,29 \cdot 10^{-5} \text{ рад}.$$

Для мерзлого грунта на уровне нижних концов свай коэффициенты относительного демпфирования определены в соответствии с формулами [15 (12 прил. 1)] — [16 (13 прил. 1)], в которых положе $K_x = K_\psi = \infty$ и, следовательно,

$$\xi_x' = \gamma = 0,1 \text{ и } \xi_\psi' = \gamma/2 = 0,05.$$

Амплитуда горизонтально-круговых колебаний плиты

$$A_r = A_x + A_\psi l_{\text{макс}} = 0,26 + 0,29 \cdot 10^{-5} \cdot 4,45 = 0,26 \text{ мм} > 0,2 \text{ мм}.$$

Таким образом, амплитуда колебаний плиты превышает допускаемое значение $A_x = 0,2 \text{ мм}$. С целью ее уменьшения можно или увеличить число свай, или увеличить поперечное сечение свай.

2. ФУНДАМЕНТЫ МАШИН С ВРАЩАЮЩИМИСЯ ЧАСТЯМИ

2.1. Требования настоящего раздела распространяются на проектирование фундаментов следующих видов машин:

- турбомашины (турбоагрегатов мощностью до 135 тыс. кВт, турбокомпрессоров, турбовоздуходувок, турбонасосов);
- электрических машин (мотор-генераторов и синхронных компенсаторов);
- центрифуг;
- центробежных насосов мощностью более 50 кВт;
- дымососов и вентиляторов, устанавливаемых на отдельных фундаментах.

Фундаменты центрифуг, роторы которых, кроме вращательного, совершают возвратно-поступательное движение, проектируют по указаниям настоящего раздела с обязательным поперечным расчетом по указанным разделам 3.

57

Фундаменты под турбоагрегаты мощностью более 135 тыс. кВт проектируются в соответствии с рекомендациями, изложенными в «Инструкции по проектированию фундаментов турбоагрегатов», составленной институтом Теплоэлектронпроект и Всесоюзным научно-исследовательским институтом гидротехники им. В. Е. Велесова. Фундаменты под насосы мощностью менее 50 кВт принимаются по заданию или чертежам заводов-изготовителей и не рассчитываются на прочность, ни на колебания.

2.2. В состав задания на проектирование фундаментов машин, указанных в п. 1.4 этой главы, должны входить:

- а) схема действующих на фундамент нормативных статических нагрузок от неподвижных и вращающихся частей машины (каждого ротора машины) с указанием величин нагрузок и координат точек их приложения;
- б) данные о нормативных значениях нагрузок от момента короткого замыкания генератора и от тяги вакуума в конденсаторе и координаты точек их приложения;
- в) схемы расположения и нормативные нагрузки от вспомогательного оборудования (масло- и воздухоохладителей, масляных баков, насосов, трубопроводов и др.);
- г) схемы площадок, опирающихся на фундамент, и данные о величинах нормативных нагрузок от них;
- д) данные для определения нормативных монтажных нагрузок;
- е) схемы расположения горячих трубопроводов и данные о температуре наружной поверхности их изоляции.

Примечание. Для проектирования фундаментов турбоагрегатов мощностью более 25 тыс. кВт данные об инженерно-геологических условиях участка строительства и физико-механических свойствах грунтов (см. п. 1.4 «ж» главы СНиП II-19-79) должны устанавливаться по результатам инженерных изысканий, выполняемых по заданию организации, разрабатывающей проект фундамента, в котором должны быть указаны координаты и глубина развешенных выработок. При этом особое внимание должно быть уделено непосредственному определению следующих показателей физико-механических свойств грунтов: коэффициента подвижности, показатели консолидации и коэффициента фильтрации глинистых грунтов, модуля деформации.

2.3. Фундаменты машин с вращающимися частями следует проектировать:

- а) рамными, состоящими из ряда поперечных рам, опирающихся на нижнюю плиту или ростверк и связанных поверху продольными балками; вместо продольных балок и поперечных ригелей рам допускается устраивать плиту;
- б) ступичными в виде поперечных или продольных стел, опирающихся на нижнюю плиту и связанных между собой поверху ригелями или плитой;
- в) массивными.

Тип фундамента определяется, прежде всего, условиями компоновки машины. Если она устанавливается на уровне пола первого этажа производственного здания и не имеет вспомогательных устройств, устанавливаемых под ней, а также коммуникаций, подводимых к ней снизу, то фундамент, как правило, проектируют массивным. В остальных случаях рассматривают несколько вариантов и

выбирают наиболее экономичный из них. При этом, если линейные размеры фундаментов превышают 2—3 м, их рекомендуется выложить рамными.

Рамный фундамент, как правило, следует выполнять в сборном или сборно-монолитном железобетоне. Нижняя часть фундамента, опирающаяся на грунт, выполняется в виде монолитной плиты, а при скальных грунтах — в виде сборного балочного ростверка.

Для фундаментов турбоагрегатов мощностью более 25 тыс. кВт применение сборного балочного ростверка допускается только при опирании фундамента на прочное скальное основание.

Колонны рекомендуются выполнять сборными. Верхнее строение в зависимости от условий опирания машины и возможностей изготовления сборных железобетонных конструкций выполняется из сборных продольных и поперечных балок и плит или в монолитном железобетоне.

При выполнении фундамента ступичным или массивным рекомендуется сборно-монолитная конструкция с применением сборных плитных, балочных или дырчатых элементов.

Выбор варианта конструктивного решения фундамента производится на основе технико-экономических сопоставлений.

Размеры фундамента по высоте и в плане рекомендуются назначать минимальными из условий размещения машины, принимая его подшивку на той же отметке, что и подошва фундаментов здания. Увеличение размеров фундамента производится в тех случаях, когда этого требует расчет по деформациям и на колебания.

2.4. При установлении конструктивной схемы рамного фундамента следует предусматривать наиболее возможное упрощение ее, в связи с чем необходимо:

- а) соблюдать симметрию фундамента относительно вертикальной плоскости, совпадающей с осью вала машины (как в отношении общей геометрической схемы, так и по форме элементов);
- б) располагать ригели поперечных рам симметрично по отношению к осам колонн;
- в) как правило, не допускать эксцентричного нагружения ригелей и балок, сводя до минимума величину крутящих моментов относительно их осей;
- г) проектировать верх фундамента без уступов по высоте;
- д) проектировать колонны связанными с поперечными ригелями;
- е) назначать вылеты всех консолей минимально возможных размеров, принимая высоту опорного сечения консоли не менее 0,75 ее вылета;
- ж) уменьшать количество выемок, гнезд и скосов.

Разрабатывая конструктивную схему фундамента, следует учитывать не только требования завода-изготовителя машины и условия компоновки, но и возможность применения унификации элементов и условия производства работ с использованием индустриальных конструкций.

Следует стремиться к тому, чтобы как колонны, так и ригели рамного фундамента имели одинаковые размеры поперечного сечения, а колонны — одинаковую высоту. Колонны целесообразно располагать в местах пересечения осей продольных и поперечных ригелей.

В тех случаях когда высота опорного сечения не менее 0,75 ее вылета, консоль можно не рассчитывать на колебания. При отсту-

лени от этого требования такой расчет является обязательным. Консоли могут быть использованы в качестве несущих элементов площадок обслуживания машины. Опирать на консоли части машины можно лишь при специальном обосновании.

Нижнюю плиту фундамента необходимо отделить от соседних фундаментов задняя и оборудованная сквозным швом. Расстояние между боковыми грядами нижней плиты и соседних фундаментов принимаются по конструктивным соображениям с учетом принятых методов производства работ и других условий, но не менее 100 мм.

Нижнюю плиту фундамента проектируют преимущественно прямоугольной формы в плане. Допускаются уширения плиты в части фундамента, где располагаются наиболее тяжелые элементы машины. Сопряжение участков плиты разной ширины при естественном основании выполняются под углом не более 20° к оси вращения машины. Устройство углов по подошве нижней плиты не рекомендуется.

2.5. Элементы рамных фундаментов следует проектировать как правило, прямоугольного или таврового сечения.

2.6. Стенчатые фундаменты следует проектировать преимущественно с поперечными стенами, расположенными под подшипниками машины, имеющими необходимые отверстия для пропускания коммункаций и размещенными вспомогательного оборудования.

2.7. Элементы верхнего строения фундамента должны быть связаны между собой и с нижней плитой (или с достроеком) жесткими рамными узлами, что должно быть обеспечено соответствующим армированием узлов сопряжений.

2.8. Толщина нижней фундаментной плиты (или ростверка) надлежит предусматривать не менее рабочей высоты сечения колонн поперечных рам (для фундаментов рамного типа) или не менее толщины стен (для стоечатых фундаментов).

Задание на проектирование фундамента может содержать технологические требования, ограничивающие перемещения и деформации фундамента из условий сохранения взаимного положения элементов машины и связанного с ней оборудования для обеспечения их нормальной эксплуатации. Например, для фундаментов турбоагрегатов по технологическим требованиям ограничивается величина относительного прогиба нижней плиты фундамента за четырехлетний эксплуатационный (межремонтный) период.

При наличии таких требований толщина нижней плиты фундамента определяется расчетом по деформациям.

Для фундаментов машин, деформации которых ограничиваются, не допускается использовать в качестве естественных оснований следующие группы:

- пески рыхлые;
 - мелкие и пылеватые пески, подверженные в водонасыщенном состоянии суффозии;
 - глинистые грунты текуче-жидкие;
 - насыщенные и намытые грунты с модулем деформации менее 100 кгс/см²;
 - илы, торфы и заторфованные грунты.
- При ограничении деформаций нижней плиты фундамента к ней предъявляются требования трещиностойкости: образование трещин в нижней плите при сочетании постоянных и монтажных нагрузок не допускается.

Расчет по деформациям следует производить на постоянные нагрузки с коэффициентом перераспределения $\eta=1.0$. Нагрузки могут определяться без учета их перераспределения верхним строением фундамента.

Для фундаментов турбоагрегатов, в тех случаях когда имеются технологические ограничения, величину длительной деформации нижней плиты фундамента на грунтовом основании (изменение прогиба за четырехлетний эксплуатационный период) Δf допускается оценивать как долю χ от расчетной величины полного упругого прогиба f :

$$\Delta f = \chi f$$

[102]

Величина коэффициента χ принимается по табл. 6.

Таблица 6

Вид грунта	Доля полной деформации, приходящаяся на 4-летний период, χ
1. Галечниковый, щебнистый, гравийный, дресвяный грунты. Пески гравелистые, крупные и средней крупности, плотные, независимо от степени влажности	0
2. Пески гравелистые, крупные и средней крупности, средней плотности. Пески мелкие плотные, независимо от степени влажности	0,1
3. Пески мелкие средней плотности, независимо от степени влажности. Пески пылеватые плотные и средней плотности, маловлажные	0,2
4. Пески пылеватые плотные и средней плотности, влажные и водонасыщенные	0,3
5. Непросадочные и ненабухающие: супеси твердые, суглинки и глины твердые и полутвердые	0,4
6. Непросадочные и ненабухающие: супеси пластичные, суглинки и глины тугопластичные, мягкопластичные и текучепластичные	0,5

Значения коэффициента χ характеризуют долю полной деформации фундамента и основания, которая проявляется за первый четырехлетний период эксплуатации машины с момента ее пуска по сле монтажа и до первого капитального ремонта. Для каждого последующего периода величина соответствующей деформации уменьшается.

Расчетную величину полного прогиба фундамента f рекомендуется определять из расчета совместной деформации основания и фундамента с использованием, как правило, расчетной схемы основания в виде упругого линейно-деформированного полупространства, с точечной толщиной и др.

Допускается вводить в расчет только нижнюю плиту и учитывать влияние жесткости верхнего строения рамного фундамента путем уменьшения расчетной величины полного прогиба на 15%. Для протяженных фундаментов допускается рассчитывать кривую нижней плиты по базисной схеме в продольном направлении, совпадающем с направлением оси машины, принимая плиту абсолютно жесткой в поперечном направлении.

При расчете деформирующей жесткости нижней плиты определяют исходя из ее работы на изгиб как сплошного однородного тела по формуле

$$B_{пл} = k_n E_6 J_n,$$

[103]

где k_n — коэффициент, учитывающий влияние кратковременной и длительной ползучести бетона, принимаемый равным 0,6;
 E_6 — начальный модуль упругости бетона при сжатии и растяжении;

J_n — момент инерции приведенного сечения плиты относительно его центра тяжести.

Характеристики основания — расчетная толщина линейно-деформируемого слоя (глубина сжимаемой толщи), модуль деформации и коэффициент Пуассона — определяются в соответствии с указаниями главы СНиП II-15-74. В случаях ограничения деформирующей способности и при наличии в основании мягкопластичных и текуче-пластичных глинистых грунтов, а также песков мелких и пылеватых водонасыщенных при расчете деформирующей нижней плиты фундамента в величину расчетного модуля деформации грунтов основания вводится коэффициент условий работы грунтов основания $m_1 = 0,7$, учитывающий возможность возникновения длительных деформаций при действии динамических нагрузок.

2.9. Армирование фундаментов должно производиться в соответствии с требованиями пп. 1.22—1.27 главы СНиП II-19-79. Для общедо армирования массивных и ступенчатых фундаментов следует применять сетки из стержней диаметром 12—16 мм, с шагом в обоих направлениях соответственно 200—300 мм.

2.10. На нижней плите (или ростверке) фундаментов машин, перечисленных в п. 2.1 главы СНиП II-19-79, допускается опирать колонны обслуживающих площадок и перекрытия над подвалом.

В случае устройства под всем машинным залом общей фундаментной плиты допускается непосредственно на этой плите возводить рамные фундаменты машин.

Элементы верхнего строения фундаментов не допускается связывать с элементами и конструктивными заданиями.

Примечание. В виде исключения на элементы верхнего строения фундаментов машин допускается опирать кладные участки перекрытия и площадки для обслуживания машин. В этом случае под опоры балок перекрытия и площадки необходимо предусматривать прокладку из нескольких слоев рубероида, фторопласта и других подобных изолирующих материалов.

Если рамные фундаменты машин возводятся на плите, устройной под всем машинным залом, то их колонны рекомендуется выподнять достаточно глубокими с тем, чтобы они могли рассматриваться как тонкие стержни.

Кладные участки перекрытий и площадки для обслуживания машин, опираемые на верхние строения фундаментов, должны рассматриваться на колебания. Частоты собственных колебаний этих конструкций должны отличаться от рабочего числа оборотов машины, с фундаментом которой они связаны, не менее чем на 50%. Расчет следует проводить для нескольких случаев в зависимости от наличия на указанных конструкциях временной нагрузки и без нее. Расчет колебаний производится в соответствии с рекомендациями

вм «Инструкции по расчету несущих конструкций промышленных зданий и сооружений на динамические нагрузки» (М., Стройиздат, 1970).

2.11. При проверке по формуле [47(2)] среднего статического давления $P_{ср}$ на основание фундамента машины с вращающимися частями следует принимать значение коэффициента условий работы $m_0 = 0,8$, а коэффициента условий работы грунтов основания m_1 для мелких и пылеватых водонасыщенных песков и глинистых грунтов текучей консистенции 0,7 и для всех остальных видов и состояний грунтов 1.

Среднее статическое давление на основании определяется от основного сочетания нагрузок: от веса оборудования и его запорения в рабочих условиях, собственного веса фундамента, засыпки на его обрезах, веса перекрытий, которые опираются на нижнюю плиту фундамента. При определении расчетных нагрузок коэффициенты перераспределения принимаются равными $m = 1,2$ для нагрузок от оборудования и $m = 1,1$ для нагрузок от собственного веса строительных конструкций и засыпки.

2.12. Расчет прочности элементов конструкций рамных фундаментов следует производить на действие статических и динамических расчетных нагрузок в соответствии с указаниями пп. 1.37 и 1.38 главы СНиП II-19-79.

При расчете прочности элементов фундаментов на эквивалентные статические нагрузки, заменяющие динамическое воздействие движущихся частей машины, внутренние усилия в элементах фундамента определяются статическим расчетом. Для особо ответственных рамных фундаментов внутренне динамические усилия в элементах пространственной рамы рекомендуется определять на основе динамического расчета рамной конструкции фундамента.

Расчет прочности железобетонных элементов рамного фундамента выполняется в соответствии с указаниями главы СНиП II-21-75. Конструкция фундамента должна удовлетворять требованиям расчета на несущую способность, а также по трещиностойкости в зависимости от условий их работы и вида арматуры, а также величины предельно допустимой ширины раскрытия трещин.

Усилие в элементах верхнего строения рамных фундаментов для расчета их несущей способности и трещиностойкости рекомендуется определять, принимая расчетную схему фундамента в виде пространственной рамы. В этом случае колонны считаются заделанными снизу в уровне верхней грани нижней плиты. Участки пересечения элементов рамы рекомендуется моделировать в расчетной схеме как жесткие вставки, длина которых принимается от точки пересечения осей элементов до грани соответствующего элемента.

Определение усилий допускается также выполнять путем расчленения пространственной расчетной схемы на плоские и линейные элементы.

Расчет сечений железобетонных элементов фундамента по несущей способности и раскрытию трещин на действие компонентов усилий, полученных из расчета пространственной рамы, рекомендуется выполнять раздельно для каждого из напряженных состояний, предусмотренных главой СНиП II-21-75.

Коэффициент условий работы бетона при расчете нижней плиты и элементов верхнего строения рамного фундамента для всех сочетаний нагрузок, кроме тех, в которых учитываются сейсмические воздействия, принимается $m_0 = 1$.

2.13. При вычислении расчетной динамической нагрузки R_d по формуле [48(3)] величину коэффициента перегрузки n следует принимать $n=4$ для всех машин, кроме машин, у которых имеются также возвратно-поступательно движущиеся массы; для последних следует принимать $n=1,3$.

Указанные коэффициенты перегрузки учитываются в расчетах несущей способности фундамента. В расчет величины раскрытия трещин в элементах рамных фундаментов вводится значение расчетной динамической нагрузки R_d с коэффициентом перегрузки $n=2$ для всех машин, кроме тех, у которых имеются также возвратно-поступательно движущиеся массы; для последних принимается $n=1,15$.

2.14. Величину коэффициента динамичности η в формуле [48(3)] для рамных фундаментов всех машин, указанных в п. 2.1 главы СНиП II-19-79, следует принимать по табл. 7(2).

Таблица 7 (2)

Число оборотов машины $n_{об}$ в 1 мин	Коэффициент динамичности η для нагрузок	
	вертикальных	горизонтальных
Свыше 1500	10	2
От 1500 до 500	6	2
Менее 500	3	2

Примечание. Для турбомашин мощностью более 25 тыс. кВт величину коэффициента η следует уменьшить в 2 раза.

Значения коэффициента динамичности η , приведенные в табл. 7(2), определены исходя из результатов многовариантных динамических расчетов различных рамных фундаментов машин с учетом соотношения частот собственных колебаний фундаментов и возмущающих сил, создаваемых машиной, а также с учетом поглощения энергии колебаний в железобетоне фундамента и грунте основания.

Коэффициент динамичности η используется в расчете прочности для определения расчетной статической нагрузки, эквивалентной динамической нагрузке от машины.

Значения коэффициента η , приведенные в табл. 7(2), учитывают, что действительная динамическая нагрузка от машины является закономерной и многократно повторяющейся. В связи с этим расчет элементов рамных фундаментов на выносливость выполнять не требуется.

В тех случаях когда выполняется динамический расчет фундамента с определением динамических усилий в его элементах, обследование конструкции фундамента от установочного разгушения достигается путем умножения величин возмущающих сил на $k_{уст}=2$ или путем выполнения расчета на выносливость.

2.15. Величины нормативных динамических нагрузок (вертикальных R_n^v и горизонтальных R_n^h), т.е. от машин с вращающимися частями следует принимать по данным задания на проектирование, а при отсутствии этих данных равными:

$$R_n^v = R_n^h = \mu \sum_{i=1}^s Q_i, \quad [104 (29)]$$

где Q_i — вес каждого ротора машины, тс;
 μ — коэффициент пропорциональности, устанавливаемый по табл. 8(3).

Таблица 8 (3)

Вид машины	Коэффициент пропорциональности μ
Турбомашинные электрические машины с числом оборотов $n_{об}$ в 1 мин: свыше 750 от 750 до 500 менее 500	0,2 0,15 0,1
Центрифуги (d — диаметр ротора, м)	$\left(\frac{n_{об}}{1000}\right)^2 d$
Центробежные насосы	0,15
Дымососы и вентиляторы	$0,8 \left(\frac{n_{об}}{1000}\right)^2$, но не менее 0,2

2.16. Расчетные динамические нагрузки от машин, соответствующие максимальному динамическому воздействию машины на фундамент, следует принимать сосредоточенными и приложенными к элементам, поддерживающим подшипники (ригели, бабки) на уровне осей этих элементов.

Динамические нагрузки от машины передаются на фундамент по площадкам опирая подшипников или корпусов машины, в которые встроены подшипники. Вертикальная составляющая динамической нагрузки принимается действующей по вертикальной оси подшипника или, если ось подшипника значительно смещена от опорной площадки, то по центру последней.

Горизонтальная составляющая динамической нагрузки вне зависимости от высоты расположения оси вращения ротора машины принимается, как правило, действующей на фундаменте на уровне осей ригелей и бабок элементов фундамента, поддерживающих подшипники или корпуса машины, в которые они встроены.

В тех случаях когда размеры опорной площадки в направлении действия силы значительно меньше пролета поперечного ригеля, поперечная горизонтальная составляющая динамической силы принимается на уровне оси вращения машины.

2.17. Для фундаментов турбомашин величину расчетной динамической нагрузки в продольном горизонтальном направлении следует принимать равной 0,5 величины той же нагрузки в поперечном горизонтальном направлении; для остальных машин с вращающимися частями величину продольной нагрузки следует принимать равной нулю.

2.18. Расчетные нагрузки на фундаменты турбомашин, соответствующие моменту короткого замыкания M_k и тяги вакуума в конденсаторе P_v , следует принимать равными нормативным величинам, указанным в задании на проектирование, с коэффициентами перегрузки n и динамичности η , равными при расчете на действие момента короткого замыкания $n=1$ и $\eta=2$, а при расчете на действие тяги вакуума в конденсаторе $n=1,2$ и $\eta=1$.

Расчетное усилие от тяги вакуума в конденсаторе P_v , возникающее только при гибком присоединении конденсатора к турбине, следует определять по формуле

$$P_v = 10^4 a, \quad [105 (30)]$$

где a — площадь поперечного сечения соединительной торловой конденсатора с турбиной, м²;

10 — усилие тяги вакуума на 1 м² сечения трубопровода, тс/м².
В тех случаях, когда в задании на проектирование вместо величин момента короткого замыкания приводятся коэффициент кратности вращающегося момента при коротком замыкании $k_{\text{кз}}$, нормативное значение момента короткого замыкания M_k (тсм) определяется по формуле:

$$M_k = 0,975 \frac{N}{n_p} k_{\text{кз}}, \quad [106]$$

где N — номинальная мощность машины, кВт;

n_p — рабочая скорость вращения машины, об/мин.

При полном отсутствии в задании на проектирование данных о моменте короткого замыкания нормативная величина M_k определяется по формуле

$$M_k = \frac{10 N}{n_p}, \quad [107]$$

Расчетная статическая нагрузка, эквивалентная динамическому действию момента короткого замыкания, определяется умножением нормативного значения M_k на коэффициент динамичности $\eta=2$ и коэффициент перегрузки $n=1$.

От действия момента короткого замыкания к фундаменту прикладываются вертикальные силы, определяемые делением величины момента M_k на плечо, равное расстоянию между осями анкерных болтов (или площадок опирания) машины по направлению действия короткого замыкания. Следует учитывать, что вертикальные силы короткого замыкания действуют как вверх, так и вниз.

Машины, которые эксплуатируются в различных температурных режимах, передают на фундамент горизонтальные силы и крутящие моменты, возникающие в результате тепловых деформаций машин. Эти нагрузки приводятся в задании на проектирование и относятся к временным длительным статическим нагрузкам.

Если в задании на проектирование дана величина аварийной нагрузки, например, для турбомашин нагрузка при вылете лопаток P_a , то в этом случае в каждой из точек приложения нагрузок учитывается только одна (большая) из нагрузок: P_a или P_k . При этом для нагрузки P_a величина коэффициента перегрузки принимается $n=1$, а коэффициента динамичности η согласно табл. 7(2).

2.19. При определении расчетных значений усилий в элементах фундаментов машин с вращающимися частями в каждое отдельное сочетание следует включать только одну из нагрузок, соответствующую динамическому воздействию машин: вертикальную (действующую вниз) или горизонтальную.

В расчете фундаментов под турбомашину в любое из этих сочетаний следует вводить дополнительно тягу вакуума в конденсаторе.

Сочетание, в которое входит момент короткого замыкания M_k , является особым.

Нагрузки, соответствующие динамическому воздействию машин, относятся к категории кратковременных.

Рамные фундаменты машин с вращающимися частями рассчитываются на два вида особых сочетаний нагрузок:

- а) первое, в которое входят особые нагрузки при коротком замыкании в электрической машине или другие аварийные нагрузки P_a , которые указываются в задании на проектирование (нагрузки, вызываемые резкими нарушениями технологического процесса, временной неисправностью или поломкой оборудования);
- б) второе, в которое входят сейсмические воздействия.

Динамические нагрузки, создаваемые машинами и определяемые по формуле [48(3)], в особое сочетание нагрузок, в которое входят сейсмические воздействия, не включаются, а в особые сочетания, в которые входят аварийные нагрузки, учитываются только в тех точках, где аварийные нагрузки не заданы.

При расчете фундаментов машин на особое сочетание нагрузок расчетные величины кратковременных нагрузок или соответствующих им усилий должны умножаться на коэффициент сочетаний $\eta_s=0,8$, кроме случаев, оговоренных в нормах проектирования зданий и сооружений в сейсмических районах.

Примечание. При проектировании фундаментов особо ответственных машин, к которым предъявляется требование сейсмостойкости, параметры сейсмических колебаний фундамента на уровне опирания машины определяются динамическим расчетом с использованием акселерограмм.

2.20. Монтажную нормативную нагрузку на верхней плите фундамента следует принимать по заданию на проектирование, но не менее 2 тсм²; коэффициент перегрузки для нее следует принимать $n=1,2$ и коэффициент динамичности $\eta=1$.

Нагрузки при гидравлических испытаниях машин, которые указываются в задании на проектирование, следует относить к монтажным нагрузкам и коэффициент перегрузки принимать $n=1,1$.

Монтажные нагрузки учитываются в сочетании с постоянными и сейсмическими нагрузками. В сочетаниях, в которые входят динамические нагрузки от машин, монтажные нагрузки не учитываются.

В отдельных случаях при реконструкции действующих предприятий разрешается снижать величину монтажной нагрузки на верхней плите фундамента, принимая ее по заданию на проектирование.

но не менее 1 тс/м^2 , о чем должно быть указано в рабочих чертежах и написано на фундаменте.

2.21. Для фундаментов машин с вращающимися частями с числом оборотов в 1 мин больше 1000 расчет колебаний допускается не производить.

2.22. Расчет колебаний фундаментов всех видов машин с вращающимися частями сводится к определению максимальной амплитуды горизонтальных (поперечных) колебаний верхней плиты (для рамных фундаментов) или верхней грани фундамента (для массивных и ступчатых фундаментов); расчет следует производить в соответствии с требованиями пп. 1.35 (1 прил. 1) — 1.35 (9 прил. 1).

Расчет амплитуд вертикальных колебаний, как правило, не производится.

2.23. При расчетах горизонтальных колебаний (см. п. 2.22 главы СНиП II-17-79) величины расчетных динамических нагрузок P_r , т.е. следует определять в соответствии с требованиями пп. 1.35 и 2.15 главы СНиП II-19-79.

2.24. Расчетные значения амплитуд колебаний должны быть не более максимальных предельно допускаемых, установленных в задании на проектирование, а при их отсутствии — по табл. 9(4).

Т а б л и ц а 9 (4)

Число оборотов машины n , об в 1 мин	Максимальные предельно допускаемые амплитуды колебаний A , мм
От 1000 до 750	0,1
Менее 750 до 500	0,15
Менее 500	0,2

Задание на проектирование, исходя из технологических требований, может ограничивать значения максимальных предельно допускаемых амплитуд колебаний величинами более низкими, чем приведенные в табл. 9(4).

В этом случае рекомендуется выполнять более детальный расчет фундамента на колебания как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях с учетом поглощения колебаний в конструкциях фундамента и оснований.

Для массивных и ступчатых фундаментов выполняется расчет вынужденных колебаний на грунтовом основании. При этом характеристики, определяющие упругие свойства и демпфирование грунтового основания при колебаниях, следует принимать по данным полевых испытаний.

Для рамных фундаментов выполняется расчет вынужденных колебаний пространственной рамы. Расчетная схема принимается в виде стержневой системы с распределенными или сосредоточенными массами.

Расчет выполняется с учетом рекомендаций нормативных документов по проектированию конструкций, испытывающих динамические воздействия.

ПРИМЕР РАСЧЕТА ФУНДАМЕНТА ПОД МАШИНЫ С ВРАЩАЮЩИМИСЯ ЧАСТЯМИ (РЕЗЕРВНЫЙ ВОЗБУДИТЕЛЬ)

Исходные данные

Резервный возбудитель электростанции состоит из расположенных на одном валу генератора постоянного тока и электродвигателя. Характеристика машины приведена в табл. 10.

Т а б л и ц а 10

Наименование	Генератор	Двигатель
Тип	ПТС-3000-750УЧ	ДАЗ-1818-8УЧ
Мощность N , кВт (номинальная/форсировочная)	1600/4100	2000/5600
Число оборотов, n , об/мин	745/746	745/746
Вес вращающихся частей, Q , кгс	7000	6700

Схема расположения и величины статических нагрузок от машины в соответствии с заводским заданием приведены на табл. 6) ном чертеже фундамента (рис. 6).

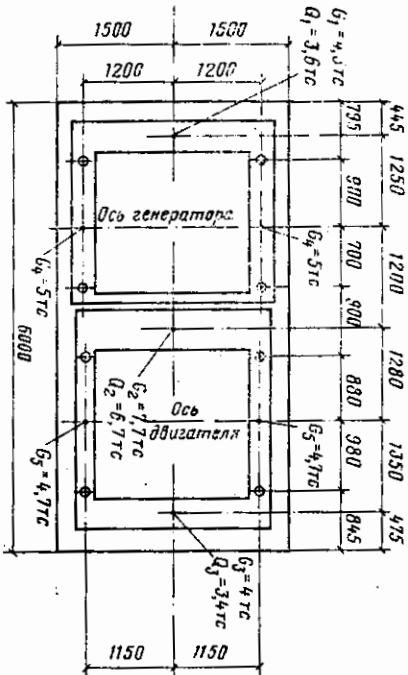


Рис. 6. Фундамент резервного возбудителя (павн со схемой расположения статических нагрузок)

В основании фундамента залегает суглинистая твердая, податливая и тугоплавкая глина, подстилаемая плотными пылеватыми песками. Средний модуль деформации грунтового основания $E = 350 \text{ кгс/см}^2$. Расчетное давление на основании $R = 4,2 \text{ кгс/см}^2$.

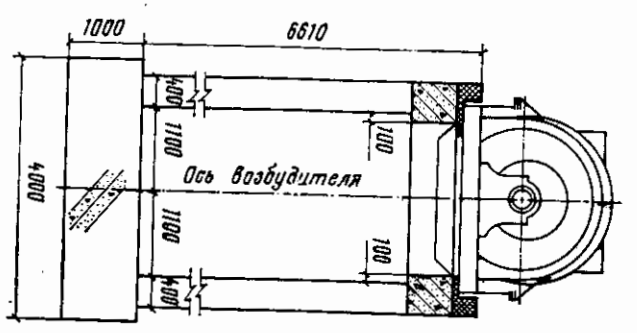
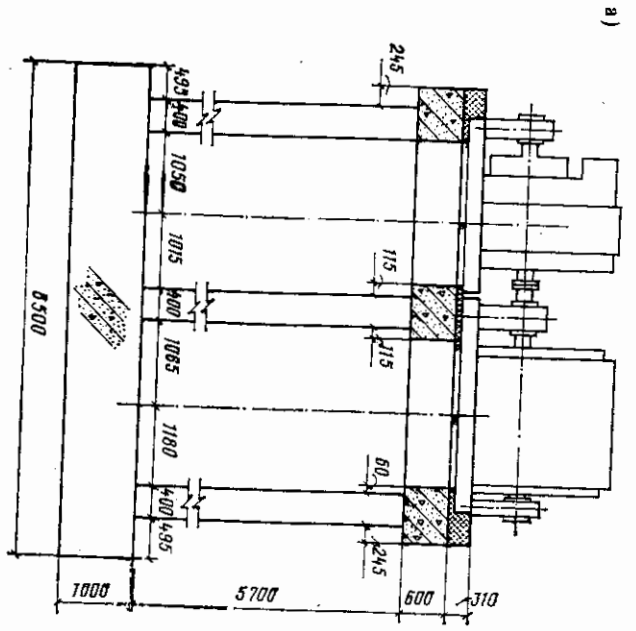


Рис. 7. Фундамент резервного возбудителя
(а — продольный разрез, б — поперечный разрез)

Выбор конструкции и размеров фундаментов

Габаритные размеры фундамента (длина 6,5 м, ширина 4 м, высота от верха нижней плиты 6,61 м) принимаются исходя из габаритов и компоновки оборудования, приведенных в технологическом задании на проектирование.

Конструкция фундамента принимается рамной, материал — железобетон марки М 300. Колонны фундамента выполняются сборными из унифицированных элементов сечением 40×40 см и длиной 5,3 м, нижняя плита и верхние продольные и поперечные бабки фундамента выполняются в монолитном железобетоне.

Размеры нижней плиты фундамента принимаются по условиям компоновки: длина — 6,5 м, ширина — 4 м, толщина — 1 м. Продольный и поперечный разрезы фундамента показаны на рис. 7 (а, б).

Вычисление нагрузок

Нагрузки от оборудования принимаются по заданию на проектирование. Размещение и величины статических нагрузок от веса неподвижных G_i и вращающихся Q_i частей приведены на рис. 6 и в табл. 11.

В табл. 11 приведены нагрузки на поперечные рамы фундамента от веса конструкций и оборудования, в табл. 12 — характеристики сечений элементов фундамента, необходимые для расчета колонн фундамента и расчета его элементов на прочность.

Расчетные динамические нагрузки для расчета фундамента на колебания P_k (возмущающие силы) определяются в соответствии с указаниями пп. 1.35 и 2.15 (формула [104 (29)]):

$$P_k = n P_n;$$

$$P_n^s = P_n^r = \mu \sum_{i=1}^s Q_i;$$

$$n = 1; \quad \mu = 0,15;$$

$$P_1^n = 0,15 \cdot 3,6 = 0,54 \text{ тс}, \quad P_{k1} = 1,0 \cdot 54 = 0,54 \text{ тс},$$

$$P_2^n = 0,15 \cdot 6,7 = 1 \text{ тс}, \quad P_{k2} = 1,1 \cdot 1 = 1 \text{ тс},$$

$$P_3^n = 0,15 \cdot 3,4 = 0,51 \text{ тс}, \quad P_{k3} = 1,0 \cdot 51 = 0,51 \text{ тс},$$

$$P_r = \sum P_k = 2,05 \text{ тс}.$$

Расчетная динамическая нагрузка для расчета фундамента на прочность P_n (эквивалентная статическая нагрузка, замещающая динамическое воздействие машины) определяется по формуле [48(3)], пп. 1.38, 2.13, 2.14

$$P_n = n \eta P_n^r; \quad \eta_a = 6; \quad \eta_r = 2; \quad n = 4.$$

Вертикальные нагрузки: Горизонтальные нагрузки:

$$P_n^{v1} = 4 \cdot 6 \cdot 0,54 = 13 \text{ тс}, \quad P_n^{r1} = 4 \cdot 2 \cdot 0,54 = 4,3 \text{ тс},$$

$$P_n^{v2} = 4 \cdot 6 \cdot 1 = 24 \text{ тс}, \quad P_n^{r2} = 4 \cdot 2 \cdot 1 = 8 \text{ тс},$$

$$P_n^{v3} = 4 \cdot 6 \cdot 0,51 = 12,2 \text{ тс}, \quad P_n^{r3} = 4 \cdot 2 \cdot 0,51 = 4,1 \text{ тс}.$$

Таблица 11

Поперечная рама	Элемент	Нормативные нагрузки, тс						Расчетные нагрузки, тс			
		Вес конструкций			Вес оборудования		Всего	Конструкция $\lambda = 1,1$	Оборудование $\lambda = 1,2$	Всего	
		Сборная часть	Набетонка	Всего	Вращающиеся части	Неподвижные части					
1	Ригель	2,4	0,6	3	3,6	4,5	11,1		3,3	9,7	
	Продольные балки	1,22·2	0,35·2	3,2	—	0,5·5·2=5 =5	8,2	23,9	3,5	6	27,6
	Колонны	2,3·2	—	4,6	—	—	4,6		5,1	—	—
2	Ригель	1,86	0,1	2	6,7	7,7	16,4		2,2	17,3	—
	Продольные балки	1,98·2	0,54·2	4,9	—	0,5 (5,+ +4,7)·2= =9,7	14,6	35,6	5,4	11,6	41,6
	Колонны	2,3·2	—	4,6	—	—	4,6		5,1	—	—
3	Ригель	2,1	0,6	2,7	3,4	4	10,1		3	8,9	—
	Продольные балки	1,33·2	0,36·2	3,4	—	0,5·4,7·2= =4,7	8,1	22,8	3,7	5,6	26,2
	Колонны	2,3·2	—	4,6	—	—	4,6		5,1	—	—

Таблица 12

Поперечная рама	Элемент	Длина, м	Поперечное сечение			k_i	S_i , тс/м	e_i , м	$S_i e_i^2$, тс·м
			Размеры, м	Площадь F , м ²	Момент инерции J , м ⁴				
1	Ригель	2	0,645×0,6	0,48	0,0116				
	Продольные балки	1,62	0,5×0,6	0,3	—	14,2	586	2,5	3660
	Колонны	5,7	0,4×0,4	0,16	0,0021				
2	Ригель	2	0,63×0,6	0,37	0,0113				
	Продольные балки	2,64	0,5×0,6	0,3	—	13,8	585	0,03	0,5
	Колонны	5,7	0,4×0,4	0,16	0,0021				
3	Ригель	2	0,705×0,6	0,42	0,0127				
	Продольные балки	1,74	0,5×0,6	0,3	—	15,5	588	2,61	4005
	Колонны	5,7	0,4×0,4	0,16	0,0021				
								$S_x^0 =$ =1760	$S_\psi^0 =$ =7665

Нагрузки от короткого замыкания.
В связи с отсутствием в задании на проектирование данных о моменте короткого замыкания нормативная величина M_k определяется по формуле [107].

$$M_k^n = \frac{10 N}{\eta_p}$$

В расчете учитывается номинальное значение мощности машины. По генератору:

$$M_k^n = \frac{10 \cdot 1600}{745} = 21,5 \text{ тс}\cdot\text{м}; \quad n = 1; \quad \eta = 2;$$

$$M_k = 1 \cdot 2 \cdot 21,5 = 43 \text{ тс}\cdot\text{м}.$$

Вертикальная нагрузка $N_k = M_k/f$, где f — расстояние между центрами подшипников

$$N_k = \frac{43}{2,4} = 17,9 \text{ тс}.$$

По электродвигателю:

$$M_k^n = \frac{10 \cdot 2000}{745} = 26,9 \text{ тс}\cdot\text{м};$$

$$M_k = 1 \cdot 2 \cdot 26,9 = 53,8 \text{ тс}\cdot\text{м};$$

$$N_k = \frac{53,8}{2,3} = 23,4 \text{ тс}.$$

Характеристики подошвы фундамента и центрирование нагрузок на основание

Площадь подошвы $F = 6,5 \times 4 = 26 \text{ м}^2$.

Моменты инерции подошвы:

$$J = J_y = \frac{6,5 \cdot 4^3}{12} = 34,7 \text{ м}^4;$$

относительно поперечной оси

$$J_x = \frac{4 \cdot 6,5^3}{12} = 91,5 \text{ м}^4;$$

относительно вертикальной оси (полярный)

$$J_\phi = 34,7 + 91,5 = 126,2 \text{ м}^4.$$

Суммарная нагрузка на основание по подошве фундамента (вес машины, верхних балок фундамента, полный вес колонн и нижней плиты):

$$\Sigma G_n = 23,9 + 35,6 + 22,8 + 6,5 \cdot 4 \cdot 1 \cdot 2,5 = 82,8 + 65 = 147,3 \text{ тс}.$$

Среднее статическое давление на основание фундамента:

$$p_{\text{ср}} = \frac{\Sigma G_n}{F} = \frac{147,3}{26} = 5,7 \text{ тс/м}^2;$$

$$p_{\text{ср}} < m_0 m_1 R = 0,8 \cdot 1 \cdot 42 = 33,6 \text{ тс/м}^2.$$

Положение общего центра тяжести машины и фундамента

$$y_{\text{ср}}^0 = \frac{23,9 \cdot 0,695 + 35,6 \cdot 3,16 + 22,8 \cdot 5,805 + 65 \cdot 0,3 \cdot 25}{147,3} = 3,22 \text{ м}.$$

Эксцентриситет общего центра тяжести машины и фундамента и центра тяжести площади подошвы фундамента составляют:

$$\Delta y = 3,25 - 3,22 = 0,03 \text{ м};$$

$$\frac{\Delta y}{L} \cdot 100 = \frac{0,03}{6,5} \cdot 100 = 0,46 \text{ \%}.$$

Относительный эксцентриситет меньше предельной нормативной величины 5%.

Определение динамических характеристик основания

Коэффициенты упругого равномерного сжатия в связи с отсутствием экспериментальных данных определяем по формулам [49(4)]—[52(7)]:

$$C_z = b_0 E \left(1 + \sqrt{\frac{F_0}{F}} \right) = 1,2 \cdot 3500 \left(1 + \sqrt{\frac{10}{26}} \right) = 6800 \text{ тс/м}^2;$$

$$C_\phi = 2 C_z = 2 \cdot 6800 = 13600 \text{ тс/м}^2;$$

$$C_x = 0,7 C_z = 0,7 \cdot 6800 = 4760 \text{ тс/м}^2;$$

$$C_\psi = C_z = 6800 \text{ тс/м}^2.$$

Коэффициенты жесткости основания определяются по формулам [53(8)]—[56(11)]:

$$K_z = C_z F = 6800 \cdot 26 = 177 \cdot 10^3 \text{ тс/м};$$

$$K_\phi = C_\phi J = 13600 \cdot 34,7 = 472 \cdot 10^3 \text{ тс}\cdot\text{м};$$

$$K_x = C_x F = 4760 \cdot 26 = 124 \cdot 10^3 \text{ тс}\cdot\text{м};$$

$$K_\psi = C_\psi J_\psi = 6800 \cdot 126,2 = 859 \cdot 10^3 \text{ тс}\cdot\text{м}.$$

Коэффициенты относительного демпфирования для установившихся (гармонических) вертикальных, горизонтальных и вращательных колебаний определяются по формулам [57(12)], [60(14)]—[62(16)]:

$$\xi_z = \frac{0,7}{\sqrt{p_{\text{ср}}}} = \frac{0,7}{\sqrt{5,7}} = 0,29;$$

$$\xi_x = 0,6 \xi_z = 0,6 \cdot 0,29 = 0,174;$$

$$\xi_\phi = 0,5 \xi_z = 0,5 \cdot 0,29 = 0,145;$$

$$\xi_\psi = 0,3 \xi_z = 0,3 \cdot 0,29 = 0,087.$$

Определение геометрических характеристик и коэффициентов жесткости конструкций фундамента

Расчетная высота колонны

$$h_2 = 5,7 + 0,3 = 6 \text{ м.}$$

Расчетный пролет ригелей

$$l_1 = 0,9 \cdot 2,6 = 2,34 \text{ м.}$$

Высота фундамента от верхней грани нижней плиты до уровня опирания машины

$$h = 5,7 + 0,6 = 6,3 \text{ м.}$$

Положение центра тяжести верхней плиты фундамента вычисляется при учете нагрузок от поперечных рам и $1/3$ веса колонны

$$G_1^H = 23,9 - \frac{2,4,6}{3} = 20,8 \text{ тс;}$$

$$G_2^H = 35,6 - \frac{2,4,6}{3} = 32,6 \text{ тс;}$$

$$G_3^H = 23,3 - \frac{2,4,6}{3} = 20,2 \text{ тс;}$$

$$\Sigma G_i^H = 20,8 + 32,6 + 20,2 = 73,6 \text{ тс;}$$

$$y_1 = 0,445 \text{ м;}$$

$$y_2 = 2,91 \text{ м;}$$

$$y_3 = 5,555 \text{ м;}$$

$$y_{д.г.} = \frac{20,8 \cdot 0,445 + 32,6 \cdot 2,91 + 20,2 \cdot 5,555}{73,6} = 2,94 \text{ м.}$$

$$e_1 = 2,94 - 0,445 = 2,5 \text{ м;}$$

$$e_2 = 2,94 - 2,91 = 0,03 \text{ м;}$$

$$e_3 = 2,94 - 5,555 = -2,61 \text{ м.}$$

Расстояния до осей крайних подшипников

$$e_{п1} = 2,94 - 0,445 = 2,5 \text{ м;}$$

$$e_{п2} = 2,94 - 5,525 = -2,585 \text{ м;}$$

$$l_{макс} = e_{п1} = 2,585 \text{ м.}$$

Величины коэффициентов жесткости поперечных рам фундамента определяются по формулам [11 (8 прил. 1)]—[14 (11 прил. 1)]. Результаты расчета (значения S_x, S_x^0, S_ψ) приведены в таблице 12.

Коэффициенты жесткости конструкции фундамента

$$S_x = \frac{1}{\frac{1}{K_x} + \frac{h^2}{K_\phi} + \frac{1}{S_x^0}} = \frac{1}{\frac{1}{124 \cdot 10^3} + \frac{6,3^2}{472 \cdot 10^3} + \frac{1}{1,76 \cdot 10^3}} = 1520 \text{ тс/м;}$$

$$S_\psi = \frac{1}{\frac{1}{K_\psi} + \frac{1}{S_\psi^0}} = \frac{1}{\frac{1}{859 \cdot 10^3} + \frac{1}{7,67 \cdot 10^3}} = 7600 \text{ тс.м.}$$

Коэффициенты относительного демпфирования определяются по формулам [15 (12 прил. 1)] и [16 (13 прил. 1)].

$$\xi_x' = 1520 \left(0,174 \frac{1}{124 \cdot 10^3} + 0,145 \frac{6,3^2}{472 \cdot 10^3} + \frac{0,1}{2,1 \cdot 76 \cdot 10^3} \right) = 0,064;$$

$$\xi_\psi' = 7600 \left(0,087 \frac{1}{859 \cdot 10^3} + \frac{0,1}{2,7 \cdot 67 \cdot 10^3} \right) = 0,05.$$

Расчет колебаний фундамента

Определение собственных частот колебаний фундамента

Вычисляем массу системы агрегат—фундамент и момент инерции этой массы относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести верхней плиты:

$$\bar{m}_H = \frac{\Sigma G_i^H}{g} = \frac{73,6}{9,81} = 7,5 \text{ тс.с}^2/\text{м;}$$

$$\bar{J}_H = 0,1 \cdot 7,5 \cdot 6^2 = 27 \text{ тс.м.с}^2.$$

Круговые частоты колебаний фундамента

$$\lambda_x = \sqrt{\frac{1520}{7,5}} = 14,3 \text{ с}^{-1};$$

$$\lambda_\psi = \sqrt{\frac{7600}{27}} = 16,8 \text{ с}^{-1}.$$

Круговая частота вращения машины

$$\omega = 0,105 \cdot 745 = 78 \text{ с}^{-1}$$

Определение амплитуд горизонтально-крутильных колебаний верхней плиты фундамента выполним по формулам [4 (1 прил. 1)]—[8 (5 прил. 1)]:

$$A_x^{ст} = \frac{P_r}{S_x} = \frac{2,05}{1520} = 1,35 \cdot 10^{-3} \text{ м;}$$

$$A_\psi^{ст} = \frac{P_r \cdot l_{макс}}{2 S_\psi} = \frac{2,05 \cdot 2,585}{2 \cdot 7600} = 0,35 \cdot 10^{-3} \text{ рад.}$$

Амплитуда горизонтальных колебаний центра тяжести верхней плиты

$$A_x = \frac{1,35 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{\left(1 - \frac{78^2}{14,3^2}\right)^2 + 4 \cdot 0,064^2}} = 47 \cdot 10^{-6} \text{ м.}$$

Амплитуда (угол поворота) вращательных колебаний верхней плиты

$$A_\phi = \frac{0,35 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{\left(1 - \frac{78^2}{16,8^2}\right)^2 + 4 \cdot 0,052^2}} = 17 \cdot 10^6 \text{ рад.}$$

Амплитуда горизонтально-криволинейных колебаний верхней плиты фундамента

$$A_r = A_x + A_\phi \text{ макс} = 47 \cdot 10^{-6} + 17 \cdot 10^{-6} = 91 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 0,091 \text{ мм} < A_d = 0,15 \text{ мм.}$$

Проверка на прочность отдельных элементов фундамента производится в соответствии с «Инструкцией по расчету несущих конструкций промышленных зданий и сооружений на динамические нагрузки», М., Стройиздат, 1970; при этом следует использовать данные табл. 11 и 12 настоящего Руководства.

3. ФУНДАМЕНТЫ МАШИН С КРИВОШИПНО-ШАТУННЫМИ МЕХАНИЗМАМИ

3.1. Требования настоящего раздела распространяются на проектирование фундаментов машин с кривошипно-шатунными механизмами мощностью более 50 кВт, имеющих неравношеренные силы и моменты, в том числе, дизелей, поршневых компрессоров, мотор-компрессоров, лесопильных рам, локомотивных и т. п. машин.

Возмущающими нагрузками, вызывающими вынужденные колебания фундаментов машин с кривошипно-шатунными механизмами являются неравношеренные силы и моменты сил инерции вращающихся и поступательно-движущихся частей кривошипно-шатунного механизма (кривошипа, шатуна, штока, поршня), зависящие от частоты вращения вала машины.

Машины, в частности компрессоры, имеющие уравновешенные силы инерции (опозитивные динамическому расчету не подлежат и требования СНиП II-19-79 на них не распространяются).

3.2. В состав задания на проектирование фундаментов машин, указанных в п. 3.1 главы СНиП II-19-79, кроме материалов, перечисленных в п. 1.4 этой главы, должны входить следующие данные:

а) нормативные значения равнодействующих неравношеренных (возмущающих) сил и моментов первой и второй гармоник от всех цилиндров машины (см. п. 3.17 главы СНиП II-19-79), места приложения сил и плоскости действия моментов;

в случае их отсутствия — все необходимые данные для их определения;

б) расстояние от оси главного вала машины до верхней грани фундамента;

в) характеристика привода (синхронный, асинхронный электродвигатель и т. п.).

Как правило, нормативные значения динамических нагрузок от машин с кривошипно-шатунными механизмами задаются заводскими — изготовителями машин и включены в задание на проектирование. При отсутствии этих данных в задании на проектирование или в случае необходимости их уточнения, значения возмущающих сил и их моментов могут быть определены расчетом.

Возмущающие нагрузки, действующие на фундаменты многоцилиндровых машин с кривошипно-шатунными механизмами, определяются геометрической суммой возмущающих сил, развиваемых каждым цилиндром, и их моментов, зависящих от расположения машины на фундаменте.

Составляющие возмущающих сил первых двух гармоник для каждого цилиндра в плоскости действия кривошипно-шатунного механизма Q_i (по направлению скольжения поршня) в P_i (перпендикулярно этому направлению) определяются по формулам:

$$Q_i = R_0 \omega^2 [(m_{ai} + m_{si}) \cos(\omega t + \beta_i) + m_{vi} \sin(\omega t + \beta_i)]; \quad [108]$$

$$P_i = R_0 \omega^2 m_{vi} \sin(\omega t + \beta_i), \quad [109]$$

где i — номер цилиндра;

ω — круговая частота вращения главного вала машины, с⁻¹;

t — время, с;

β_i — угол заклинивания i -го цилиндра (угол между кривошипом первого цилиндра и кривошипом рассматриваемого i -го цилиндра), рад.;

$$Q_i = \frac{R_0}{L_0};$$

R_0 — радиус кривошипа, м;

L_0 — длина шатуна, м;

m_{ai} , m_{vi} — массы частей кривошипно-шатунного механизма, тс·с²/м, приведенные соответственно к пальцу кривошипа и крейкопфу, определяемые по формулам

$$m_a = \frac{1}{g} \left[\frac{R_1}{R_0} G_1 + \left(1 - \frac{L_1}{L_0}\right) G_2 - \frac{R_2}{R_0} G_n \right]; \quad [110]$$

$$m_v = \frac{1}{g} \left(G_2 + \frac{L_1}{L_0} G_3 \right); \quad [111]$$

R_1 — расстояние от оси вращения до центра тяжести кривошипа, м;

G_1 — вес кривошипа, тс;

L_1 — расстояние от центра тяжести шатуна до пальца кривошипа, м;

G_2 — вес шатуна, тс;

R_2 — расстояние от центра тяжести противовеса до оси вращения, м;

G_3 — вес противовеса, тс;

G_n — вес противовеса, тс.

G_2 — вес возвратно-посуплятельно движущихся частей (поршня, штока, крейкокофа), тс

В многоцилиндровой машине суммарные составляющие вращающихся сил при линейном горизонтальном расположении цилиндров $P_{x,2}^r$ и линейном вертикальном расположении цилиндров $P_{x,2}^v$ и соответственно их моменты, приведенные к точке, отпосредственно которой вращается кривошип первого цилиндра, определяются по формулам:

$$P_x^r = P_x^v = R_0 \omega^2 \sum_{l=1}^n [(m_{al} + m_{vl}) \cos(\omega t + \beta_l) + \alpha_l m_{vl} \cos 2(\omega t + \beta_l)]; \quad [112]$$

$$P_z^r = P_z^v = R_0 \omega^2 \sum_{l=1}^n m_{al} \sin(\omega t + \beta_l); \quad [113]$$

$$M_x^r = M_x^v = R_0 \omega^2 \sum_{l=2}^n [(m_{al} + m_{vl}) \cos(\omega t + \beta_l) + \alpha_l m_{vl} \cos 2(\omega t + \beta_l)] l_l; \quad [114]$$

$$M_z^r = M_z^v = R_0 \omega^2 \sum_{l=2}^n m_{al} \sin(\omega t + \beta_l) l_l. \quad [115]$$

где l — число цилиндров;
 l_i — расстояние от оси i -го цилиндра до оси первого цилиндра;
 M_x — момент вращающихся сил относительно вертикальной оси;
 M_z — момент вращающихся сил относительно горизонтальной оси, перпендикулярной оси главного вала машины.

Примечание. За ось y принята ось главного вала машины, оси z и x — соответственно вертикальная и горизонтальная оси, перпендикулярные оси главного вала. При угловом расположении цилиндров суммарные составляющие вращающихся сил и их моментов определяются по формулам:

$$P_x = \sum_{l=1}^n P_{lx} = R_0 \omega^2 \sum_{l=1}^n [(m_{al} + m_{vl}) \cos(\omega t + \beta_l - \varphi_l) + \alpha_l m_{vl} \cos 2(\omega t + \beta_l - \varphi_l)] \sin \varphi_l - R_0 \omega^2 \sum_{l=1}^n m_{al} \sin(\omega t + \beta_l - \varphi_l) \cos \varphi_l; \quad [116]$$

$$P_z = \sum_{l=1}^n P_{lz} = R_0 \omega^2 \sum_{l=1}^n [(m_{al} + m_{vl}) \cos(\omega t + \beta_l - \varphi_l) + \alpha_l m_{vl} \cos 2(\omega t + \beta_l - \varphi_l)] \cos \varphi_l + R_0 \omega^2 \sum_{l=1}^n m_{al} \sin(\omega t + \beta_l - \varphi_l) \sin \varphi_l; \quad [117]$$

$$M_x = \sum_{l=2}^n P_{lx} l_l; \quad [118]$$

$$M_z = \sum_{l=2}^n P_{lz} l_l. \quad [119]$$

где φ_l — угол между осью i -го цилиндра и вертикалью. Остальные обозначения те же, что и в формулах [108]—[115].

Примечание. При проектировании фундамента следует иметь в виду, что в формулах [112]—[119] вращающиеся силы и моменты приведены к точке, относительно которой вращается кривошип первого цилиндра, а не к центру тяжести установки (фундамента и машины).

3.3. Фундаменты машин с кривошипно-шатунными механизмами следует проектировать массивными или стеччатыми, а в отдельных случаях для машин с вертикально расположенными кривошипно-шатунными механизмами допускается также предусматривать устройство рамных фундаментов.

Массивные фундаменты применяют преимущественно под машины, устанавливаемые на уровне пола первого этажа (фундаменты применять под машины, устанавливаемые на перекрытии над полом (фундаменты подвального типа)). Стенчатые фундаменты рекомендуются для машин, устанавливаемых на уровне пола первого этажа (фундаменты применять под машины, устанавливаемые на перекрытии над полом).

3.4. Массивные фундаменты следует проектировать в виде сплошного, конструктивно армированного бетонного массива с необходимыми прямыми, колодцами и отверстиями для размещения частей машины, оборудования и коммуникаций.

Для некоторых типов машин с кривошипно-шатунными механизмами, в частности компрессоров, массивные фундаменты бесподвального типа могут быть выполнены в виде плит толщиной 0,5—0,8 м. Толщина плиты определяется главным образом глубиной заделки фундаментных болтов. Под машины с кривошипно-шатунными механизмами рекомендуется применять сборные или сборно-монолитные массивные фундаменты плитного или блочного типов, в том числе из унифицированных лярчатых блоков.

При армировании на заводе — изготовителе компрессоров с электродвигателями применяемые для этой цели сборные железобетонные опорные плиты должны учитываться в расчете как верхняя часть фундамента.

В случае размещения таких компрессорных агрегатов внутри промышленных зданий при обособлении расчетом допускается их установка на подстилающие слои типовых полов. При этом в расчете амплитуд колебаний должна учитываться масса подстилающего слоя пола как под опорной плитой, так и прилегающей зоной на расстоянии 0,5 м от краев плиты.

Крепление железобетонной опорной плиты к подстилающему слою пола должно осуществляться в соответствии с ГОСТ 24379.0—80 и ГОСТ 24379.1—80 фундаментными болтами, допускающими глубину заделки в бетон менее 15 диаметров болта (конические болты, болты на эпоксидном клее и др.).

Примечание. В случае установки армированного обрешивания на рампный фундамент железобетонную опорную плиту следует учитывать в расчете как верхнюю обвязочную плиту фундамента.

3.5. Стенчатые фундаменты надлежит проектировать из следующих элементов: нижней горизонтальной плиты, продольных и поперечных стен и верхней горизонтальной железобетонной плиты (или рамы), на которой устанавливаются и крепятся машины. Конструкция верхней железобетонной плиты (рамы) фундамента должна быть надежно связана со стенами и обеспечить общую жесткость фундамента в горизонтальной плоскости. Размеры конструктивных элементов стенчатых фундаментов назначаются с учетом требований, содержащихся в заданиях на проектирование и в соответствии с данными, приведенными в табл. 13(5).

Т а б л и ц а 13 (5)

Нормируемый размер элементов фундамента	Ориентировочные размеры элементов стенчатых фундаментов, м
Толщина стен, $d_{ст}$	от 0,6 и более
Толщина нижней фундаментной плиты $d_{пл}$	от $d_{ст}$ и более
Вылет консольных участков нижней фундаментной плиты	от 2,5 дм и менее
Вылет консольных участков верхней плиты	от 2 и менее
Толщина верхней плиты фундамента	от 0,1 и более

В связи с тем, что машины с кривошипно-шатунными механизмами являются, в основном, низкочастотными, для них применяются, как правило, фундаменты с дорезонансным режимом колебаний, для которых частоты собственных колебаний превышают наивысшую частоту возмущающих сил. При выборе размеров конструктивных элементов фундаментов следует учитывать, что собственная частота колебаний фундамента может быть увеличена путем увеличения площади подошвы и уменьшения массы фундамента.

3.6. Армирование фундаментов машин с кривошипно-шатунными механизмами следует производить в соответствии с требованиями пп. 1.22—1.27 главы СНиП II-19-79.

Массивные фундаменты объемом более 20 м³, кроме того, следует конструктивно армировать по наружным боковым трещинам фундамента. Армирование производится сетками с квадратными ячейками 300—400 мм из стержней диаметром соответственно 12—16 мм в зависимости от размеров фундамента. Массивные фундаменты литного типа независимо от их объема должны иметь конструктивное армирование по подошве и верхней грани фундамента горизонтальными сетками, такими же как для фундаментов объемом более 20 м³.

3.7. Нижнюю фундаментную плиту стенчатых фундаментов следует армировать верхней и нижней сетками с квадратными ячейками 300—400 мм из стержней диаметром

соответственно 12—16 мм; площадь сечения арматуры надлежит проектировать в расчете по прочности.

3.8. Стены армируют по вертикальным трещинам арматурными сетками с размерами ячеек 300—400 мм, причем вертикальные стержни сеток назначают диаметром соответственно 12—16 мм, а горизонтальные — диаметром 10—12 мм. Сетки следует связывать между собой поперечными стержнями диаметром 10—12 мм соответственно через 600—800 мм по высоте и длине стены.

3.9. На фундаментах машин допускается свободно опирать отдельные площадки и стойки, а также владные участки перекрытий (между смежными фундаментами), не соединенные с конструкциями здания.

Примечание. Опираемые отдельные элементы конструкций здания на фундаменты машин допускается только в виде исключения при наличии специального обоснования, что это не ухудшит условий работы фундамента машины и конструкций здания.

Опираемые стоек отдельных площадок на фундаменты машин, допускается, в основном, при горизонтально действующих динамических нагрузках на фундамент. В случае необходимости опирания на фундаменты машины элементов конструкций здания должны производиться их расчеты на колебания в соответствии с «Методикой» по расчету несущих конструкций промышленных зданий и сооружений на динамические нагрузки» (М. Стройиздат, 1970).

3.10. При ограниченных размерах площади основания допускается предусматривать установку нескольких однотипных машин на общей фундаментной плите толщиной не менее 600 мм. Участки плиты между смежными фундаментами следует армировать понизу и поперку; количество этой арматуры следует принимать из расчета минимального процента армирования для железобетонных конструкций в соответствии с требованиями главы СНиП по проектированию бетонных и железобетонных конструкций.

Устройство общей фундаментной плиты, обладающей значительной жесткостью в горизонтальном направлении, превосходящей суммарную жесткость отдельных фундаментов, приводит к уменьшению амплитуд колебаний фундаментов машин с горизонтальными возмущающими нагрузками, работающих в дорезонансном режиме. Для фундаментов машин с вертикальными возмущающими нагрузками применение общей плиты, ввиду ее малой жесткости в вертикальном направлении, может быть не эффективным.

3.11. Для массивных и стенчатых фундаментов машин с кривошипно-шатунными механизмами необходимо производить расчет амплитуды вынужденных колебаний A и проверку среднего статического давления на основание $P_{ср}$ в соответствии с требованиями пп. 1.34-1.36 СНиП II-19-79, для рамных фундаментов тех же машин должен производиться, кроме того, расчет прочности элементов верхнего строения фундамента (ригелей, жолобов, плит).

3.12. При проверке по формуле [47(2)] среднего статического давления $P_{ср}$ на основание следует принимать значение коэффициента условий работы $m_0=1$, а коэффициент условий

работы грунтов основания m_1 : для мелких и пылеватых водонасыщенных песков и глинистых грунтов текучей консистенции 0,6 и для остальных видов и состояний грунтов 1.

3.13. Расчет прочности элементов конструкций рамного фундамента следует производить с учетом требований пп. 1.37 и 1.38 главы СНиП II-19-79, причем в формуле [48 (3)] следует принимать:

R_m — нормативную величину динамической нагрузки, соответствующей наибольшей амплитуде первой или второй гармоники возмущающих нагрузок машины, устанавливаемой в задании на проектирование;

$l=2$ — коэффициент перерузки;

$\eta=1$ — коэффициент динамичности для первой и второй гармоник возмущающих сил.

3.14. При определении амплитуды колебаний фундаментов горизонтальных машин расчет допускается ограничивать только вычислением амплитуды колебаний в направлении, параллельном скольжению поршней, и не учитывать влияние вертикальной составляющей возмущающих сил.

При расчете амплитуд колебаний фундаментов вертикальных машин допускается:

а) расчет амплитуд горизонтальных колебаний ограничить только для направления, перпендикулярного главному валу машины;

б) расчет амплитуды вертикальных колебаний производить только с учетом влияния вертикальной составляющей возмущающих сил.

Для фундаментов машин с угловым расположением цилиндров расчет амплитуды вынужденных колебаний следует производить с учетом как вертикальной, так и горизонтальной составляющей возмущающих сил и моментов машины для плоскости фундамента, перпендикулярной главному валу машины.

Многоцилиндровые машины с кривошипно-шатунными механизмами с числом цилиндров три и более являются практически уравновешенными и поэтому динамический расчет фундамента для них не производится.

В некоторых случаях при расчете высоких фундаментов вертикальных машин с кривошипно-шатунными механизмами (например, фундаментов лесопильных рам) рекомендуется проводить проверку на резонанс в направлении, перпендикулярном оси кривошипа.

3.15. Расчет колебаний фундаментов машин с кривошипно-шатунными механизмами следует производить в соответствии с требованиями пп. 1.35 (1 прил. 1) — 1.35 (9 прил. 1), причем величины нормативных возмущающих сил первой или второй гармоники следует принимать по заданию на проектирование.

Для машин с числом оборотов менее 500 об/мин при отклонении длины фундамента к его высоте больше 3, для вычисления амплитуд горизонтальных колебаний A_x допускается пользоваться приближенной формулой аналогичной [39 (36 прил. 1)], в которой R_x , K_x , A_x , ξ заменяются соответственно на R_x , K_x , A_x , ξ .

При проектировании фундаментов низкооборотных машин с кривошипно-шатунными механизмами подбор их размеров про-

изводятся таким образом, чтобы их собственная частота находилась значительно выше рабочих частот машины.

3.16. Если из двух гармоник возмущающих сил и моментов одна составляет менее 20% другой и ее частота отстает более чем на 25% от собственной частоты колебаний фундамента, то при расчете амплитуд вынужденных колебаний ее не учитывают. В остальных случаях расчет амплитуд следует производить для каждой из первых двух гармоник возмущающих сил и моментов.

3.17. Для второй гармоники возмущающих сил и моментов величины амплитуд горизонтальных и вертикальных колебаний A_x и A_y следует определять по тем же формулам, что и для первой гармоники, заменив в формулах значение круговой частоты вращения машины ω на 2ω .

3.18. При групповой установке фундаментов машин амплитуды колебаний определяют в соответствии с требованиями п. 1.46 главы СНиП II-19-79.

3.19. Расчетные значения амплитуд колебаний фундамента для каждой гармоники не должны превышать максимальных предельно допускаемых величин, приведенных в табл. 14 (6).

Таблица 14 (6)

Число оборотов машины n , об в 1 мин	Максимальные предельно допускаемые амплитуды колебаний A , мм, для гармоники колебаний	
	первой	второй
Более 600	0,1	0,05
От 600 до 400	0,1—0,15	0,07
От 400 до 200	0,15—0,25	0,1
Менее 200	0,25 (0,3)*	0,15

* Для фундаментов высотой более 5 м

Для уменьшения амплитуд колебаний фундамента низкооборотных машин с кривошипно-шатунными механизмами могут быть использованы следующие мероприятия:

увеличение жесткости основания фундамента путем увеличения его площади в направлении действия горизонтальной нагрузки, устройства свайного фундамента (при вертикальных нагрузках), химического закрепления грунта, устройства подушки из более жесткого грунта;

устройства обшего фундамента под несколько машин, устройства присоединенных плит, жестко или упруго связанных с фундаментом, соединение фундамента машины с бетонной подготовкой пола и пр.

При необходимости ограничить распространение колебаний от компрессорного агрегата, смонтированного на железобетонной опорной плите, в подстилающем слое пола, на который она устанавли-

ваются, должны устраиваться деформационный шов шириной 2—3 см на всю толщину пола на расстоянии 1 м от грани опорной плиты.

ПРИМЕР РАСЧЕТА ФУНДАМЕНТОВ ПОД МАШИНЫ С КРИВОШИПНО-ШАТУНЫМИ МЕХАНИЗМАМИ (ЛЕСОПИЛЬНЫХ РАМ) С УЧЕТОМ ИХ ГРУППОВОЙ РАБОТЫ

Расчет фундамента одиночной лесопильной рамы на колебания.

Исходные данные: число оборотов коленчатого вала $n_{об} = 320$ об/мин; габариты лесопильной рамы, мм, (длина 2250, ширина 2825, высота 4400); тип привода асинхронный; расстояние от коленчатого вала до верхней грани фундамента 275 мм; вес лесопильной рамы с главным приводом $Q_{гв} = 14,5$ тс; нормативные величины динамических нагрузок, соответствующих наибольшей амплитуде первой и второй гармоник возмущающих нагрузок машины (по заданию завода):

$$P_{II}^n = 20,8 \text{ тс}; \quad P_{II}^x = 3,56 \text{ тс}; \quad P_x^n = 3,9 \text{ тс}.$$

Расчетные значения динамических нагрузок $P = P_{II}^n$, где $n = 1$.

Допустимые амплитуды колебаний верхней грани фундамента в соответствии с табл. 14(6) приняты независимо от направления и составляют для первой гармоники возмущающих сил $\Delta a_1 = 0,19$ мм и для второй — $\Delta a_2 = 0,1$ мм.

План и разрез фундамента приведены на рис. 8.

Грунтовые условия. В основании фундамента на глубину 7 м залегают пески мелкие средней плотности водонасыщенные со следующими характеристиками:

$$\gamma = 1,94 \text{ тс/м}^3, \quad e = 0,66, \quad \varphi^n = 31^\circ, \quad c^n = 0,2 \text{ тс/м}^2, \quad E = 2700 \text{ тс/см}^2$$

(прочностные и деформационные характеристики приняты по табл. 1 Прил. 2 СНиП II-15-74).

Глубину заложения фундамента в соответствии с конструктивными требованиями принимаем 1,6 м от поверхности пола.

В соответствии с расположением соседних фундаментов под каркас здания и с учетом направления действия горизонтальных нагрузок принимаем ориентировочные размеры подошвы фундамента $4,5 \times 9$ м $= 40,5$ м². Остальные размеры показаны на рис. 8. Вес фундамента и машины с засылкой грунта

$$Q = 205,3 \text{ тс}.$$

В соответствии с п. 1.36 величину среднего давления на основание проверим по формуле [47(2)], в которой для кривошипно-шатунных механизмов при наличии мелких водонасыщенных песков $m_0 = 1$ и $m_1 = 0,6$.

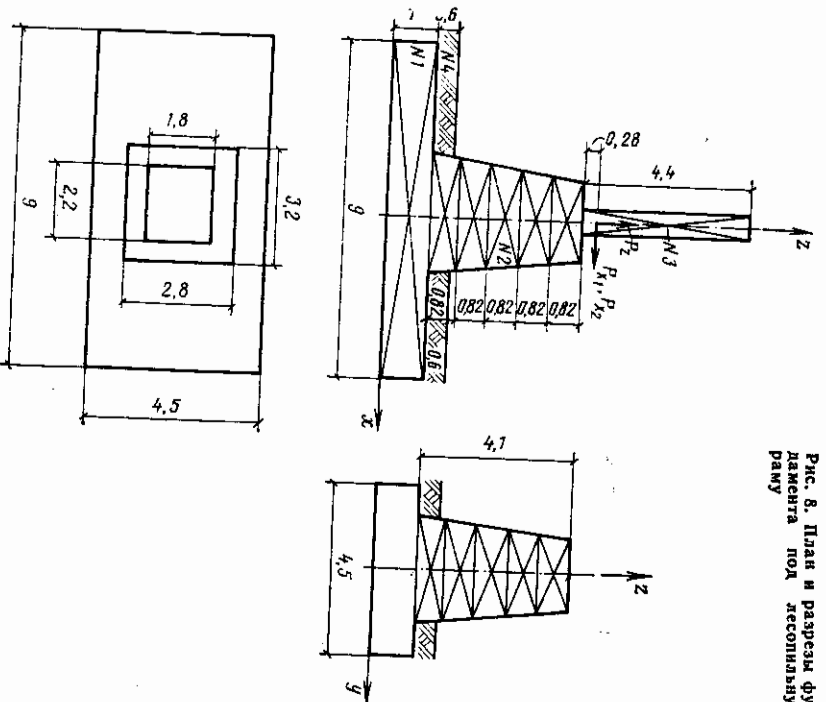


Рис. 8. План и разрез фундамента под лесопильную раму

Величина расчетного давления на основание R определяется по формуле (1) приложения 4 СНиП II-15-74:

$$R = R_0 \left[1 + k_1 \frac{(b-b_1)}{b_1} \right] \left(\frac{h+k_1}{2h_1} \right) = 20 \left[1 + 0,125 \left(\frac{4,5-1}{1} \right) \right] \left(\frac{1,6+2}{2 \cdot 2,2} \right) = 26 \text{ тс/м}^2;$$

$$m_0 m_1 R = 1 \cdot 0,6 \cdot 26 = 15,6 \text{ тс/м}^2.$$

В соответствии с табл. 1 прил. СНиП II-15-74 принято $R_0 = 20$ тс/м² и $k_1 = 0,125$. Следовательно

$$P_{ср} = \frac{205,3}{40,5} = 5,07 \text{ тс/м}^2 < 15,6 \text{ тс/м}^2.$$

Упругие характеристики естественного основания. При отступлении экспериментальных данных значение коэффициента упругого равномерного сжатия C_z определяется по формуле [49(4)], в которой для песков $\nu_0 = 1$, тогда

$$C_z = 1.2700 \left(1 + \sqrt{\frac{10}{40,5}} \right) = 4042 \text{ тс/м}^2.$$

Коэффициенты упругого неравномерного сжатия C_φ и упругого равномерного сдвига C_x принимаются равными:

$$C_\varphi = 2C_z = 8084 \text{ тс/м}^2;$$

$$C_x = 0,7C_z = 2829 \text{ тс/м}^2.$$

Коэффициент жесткости основания фундамента при вертикальных колебаниях вычисляем по формуле

$$K_z = C_z F = 4042 \cdot 40,5 = 163700 \text{ тс/м.}$$

Круговая частота собственных вертикальных колебаний

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{K_z g}{Q}} = \sqrt{\frac{163700 \cdot 9,81}{205,3}} = 88,4 \text{ с}^{-1}.$$

Коэффициент относительного деформирования согласно п. 1.44:

$$\xi_z = \frac{0,7}{\sqrt{P_{cp}}} = \frac{0,7}{\sqrt{5,0^2}} = 0,311;$$

$$\xi_\varphi = 0,5 \xi_z = 0,156; \quad \xi_x = 0,6 \xi_z = 0,187.$$

Амплитуду вертикальных колебаний фундамента по первой гармонике определяем по формуле [39 (36 прил. 1)]

$$A_{z1} = \frac{163700}{20,8} \sqrt{\left[1 - \left(\frac{33,5}{88,4} \right)^2 \right]^2 + 4 \cdot 0,311^2 \left(\frac{33,5}{88,4} \right)^2} = 14,3 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Амплитуду вертикальных колебаний фундамента по второй гармонике определяем по той же формуле, но при $\omega = 2 \cdot 33,5 = 67 \text{ с}^{-1}$

$$A_{z11} = \frac{163700}{3,56} \sqrt{\left[1 - \left(\frac{67}{88,4} \right)^2 \right]^2 + 4 \cdot 0,311^2 \left(\frac{67}{88,4} \right)^2} = 3,4 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Следовательно амплитуды вертикальных колебаний фундамента для первой и второй гармоник меньше допустимых

$$[A_{z1} = 0,143 \text{ мм} < 0,19 \text{ мм} \text{ и } A_{z11} = 0,034 \text{ мм} < 0,1 \text{ мм.}]$$

Расчет горизонтально-вращательных колебаний фундамента производится по формуле [20(17 прил. 1)]. Для этого предва-

тельно производим ряд вспомогательных вычислений, необходимых для определения массы установки (фундамента, машины, засыпки грунта), расстояния от центра тяжести установки до подошвы фундамента и момента инерции установки относительно горизонтальной оси OY , проходящей через общий центр тяжести установки. Результаты вычисления приведены в табл. 15.

При этом расстояние от центра тяжести лесопильной рамы до верхнего обреза фундамента и моменты инерции ее массы относительно осей, проходящих через ее центр тяжести вычислялись по формулам:

$$Z_{н.р} = 0,28L_{н.р} = 0,28 \cdot 4,4 = 1,23 \text{ м};$$

$$\theta_{н.р} = \theta_{х.н.р} = \frac{Q_n \cdot L_{н.р}^2}{9g} = \frac{14,5 \cdot 4,4^2}{9 \cdot 9,81} = 3,18 \text{ тс} \cdot \text{с} \cdot \text{м},$$

где $L_{н.р}$ — высота лесопильной рамы, м.
(А. А. Санников, «Вибрации зданий и фундаментов лесопильных рам», М., изд-во «Лесная промышленность», 1966 г.).

Все вычисления выполнены при разбивке фундамента на ряд отдельных элементов (см. рис. 8) принимаемых прямоугольными (неровности и выемки в фундаменте не учитываются).

Для вычисления данных, относящихся к части фундамента над плитой, могут быть использованы точные формулы, однако разбивка на прямоугольные элементы дает достаточно точные результаты.

По данным табл. 15, масса установки $m_n = 20,98 \text{ тс} \cdot \text{с}^2/\text{м}$, положение центра тяжести установки (оси координат показаны на рис. 8)

$$h_n = \frac{\sum m_i z_i}{\sum m_i} = \frac{36,19}{20,98} \approx 1,7 \text{ м};$$

Момент инерции массы всей установки относительно осей, проходящей через общий центр тяжести установки $\Theta = 103,11 + 62,16 = 165,27 \text{ тс} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}$. Момент инерции массы всей установки относительно оси, проходящей через центр тяжести подошвы фундамента

$$\Theta_0 = \Theta + m_n h_n^2 = 165,27 + 20,98 \cdot 1,7^2 = 225,9 \text{ тс} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^4.$$

Коэффициенты жесткости основания:

$$K_x = C_x F = 2829 \cdot 40,5 = 1146,10^4 \text{ тс/м};$$

при упругом равномерном сдвиге

$$K_\varphi = C_\varphi J = 8084 \cdot 273,4 = 221 \cdot 10^4 \text{ тс} \cdot \text{м} \approx \bar{K}_\varphi,$$

при упругом неравномерном сжатии

$$J = \frac{4,5 \cdot 9^3}{12} = 273,4 \text{ м}^4.$$

где J — момент инерции площади подошвы фундамента

Таблица 15

Элементы	Размеры элементов, м			Масса m_i , тс·с ² /м	Координаты центров тяжести элементов относительно осей x, y, z , м			Статические моменты масс элементов относительно осей x, y, z , тс·с ²			Момент инерции массы элементов относительно осей y_i , проходящих через центры тяжести элементов, тс·м·с ²	Координаты центров тяжести элементов относительно осей, проходящих через центр тяжести всей установки, м		Моменты инерции массы элементов относительно осей y_0 , проходящей через центр тяжести всей установки, тс·м·с ²
	№	a_x	a_y		a_z	$\frac{a_x a_y \times}{\times a \frac{y}{29,81}}$	x_i	y_i	z_i	$m_i x_i$		$m_i y_i$	$m_i z_i$	
1, низ фундамента	9	4,5	1	9,91	0	0	0,5	0	0	4,96	67,79	0	1,2	14,27
2, верх фундамента	3,1	2,7	0,82	1,68	0	0	1,41	0	0	2,37	1,44	0	0,29	0,14
	2,9	2,5	0,82	1,45	0	0	2,23	0	0	3,23	1,1	0	0,53	0,41
	2,7	2,3	0,82	1,25	0	0	3,05	0	0	3,81	0,83	0	1,35	2,28
	2,5	2,1	0,82	1,05	0	0	3,87	0	0	4,06	0,61	0	2,17	4,94
	2,3	1,9	0,82	0,88	0	0	4,69	0	0	4,13	0,44	0	2,99	7,87
3, лесопильная рама	—	—	—	1,48	0	0	6,33	0	0	9,37	3,18	0	4,63	31,73
4, грунт	9	4,5	0,6	4,21	0	0	1,3	0	0	5,47	28,54	0	0,4	0,67
	3,2	2,8	0,6	-0,93	0	0	1,3	0	0	-1,21	-0,82	0	0,4	-0,15
Σ	—	—	—	20,98	—	—	—	—	—	36,19	103,11	—	—	62,16

При расчете принято: объемный вес бетона $\gamma=2,4$ тс/м³; объемный вес грунта $\gamma=1,7$ тс/м³.

Круговые частоты горизонтальных и вращательных колебаний относительно горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести подошвы фундамента перпендикулярно плоскости колебаний.

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{K_y}{m_n}} = \sqrt{\frac{1146 \cdot 10^3}{20,98}} = 73,9 \text{ с}^{-1};$$

$$\lambda_{\varphi} = \sqrt{\frac{K_{\varphi}}{\theta_0}} = \sqrt{\frac{221 \cdot 10^4}{225,9}} = 98,9 \text{ с}^{-1}.$$

Вычисляем параметры, входящие в формулу [20 (17 прил. 1)], по формулам [21 (18 прил. 1)] и [30 (27 прил. 1)]:

$$\beta = \frac{h^2 m_n}{\theta} = \frac{1,7^2 \cdot 20,98}{165,27} = 0,367;$$

$$\alpha = \frac{P_x h_p}{P_x h_2} = \frac{3,9 \cdot 3,68}{3,9 \cdot 1,7} = 2,16,$$

где h_p — расстояние от линии действия силы P_x до центра тяжести установки;

$$h_p = 5,1 + 0,28 - 1,7 = 3,68 \text{ м};$$

$$S_1 = (1 + 0,367) \left(\frac{98,9}{73,9} \right)^2 + 0,367 (1 + 2,16) - \left(\frac{33,5}{73,9} \right)^2 = 3,4;$$

$$S_2 = (1 + 0,367) \frac{98,9}{73,9} \cdot \frac{0,156}{0,187} + 0,367 (1 + 2,16) = 2,69;$$

$$S_3 = 1 + 2,16 \left[1 - \left(\frac{33,5}{73,9} \right)^2 \right] = 2,72;$$

$$S_4 = 3,16;$$

$$\Psi_1 = 3,4 + 0,367 \frac{5,1 - 1,7}{1,7} = 2,72 = 5,4;$$

$$\Psi_2 = 2,69 + 0,367 \frac{5,1 - 1,7}{1,7} = 3,16 = 5,01;$$

$$\Omega_1 = \left(\frac{33,5}{73,9} \right)^4 + (1 + 0,367) \left\{ \left(\frac{98,9}{73,9} \right)^2 - \right.$$

$$\left. - \left(\frac{33,5}{73,9} \right)^2 \left[1 + \left(\frac{98,9}{73,9} \right)^2 + 4 \cdot 0,187 \cdot 0,156 \frac{98,9}{73,9} \right] \right\} = 1,64;$$

$$\Omega_2 = (1 + 0,367) \left\{ \left(\frac{98,9}{73,9} \right)^2 + \frac{98,9}{73,9} \cdot \frac{0,156}{0,187} - \right.$$

$$\left. - \left(\frac{33,5}{73,9} \right)^2 \left[1 + \frac{98,9}{73,9} \cdot \frac{0,156}{0,187} \right] \right\} = 3,36.$$

Амплитуда горизонтально-вращательных колебаний верхней грани фундамента в направлении действия возмущающей силы (формула [20 (17 прил. 1)])

$$A_r = \frac{3,9}{1146 \cdot 10^3} \sqrt{5,4^2 + 4 \cdot 0,187^2 \left(\frac{33,5}{73,9} \right)^2} \cdot 5,01^2 = 1,64^2 + 4 \cdot 0,187^2 \left(\frac{33,5}{73,9} \right)^2 \cdot 3,36^2 = 1,07 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0,107 \text{ мм.}$$

Следовательно

$$A_r < A_d = 0,19 \text{ мм.}$$

Расчет фундаментов лесопильных рам на колебании с учетом групповой установки

План расположения фундаментов под 3 лесопильные рамы показан на рис. 9. По конструкции все фундаменты лесорам одинаковы.

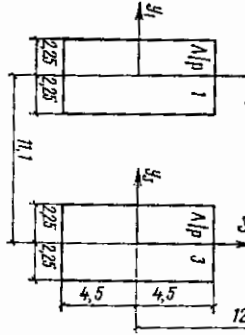


Рис. 9. План расположения фундаментов под три лесопильные рамы

1. Вертикальные колебания фундаментов по I гармонике. Амплитуда колебаний фундамента — применена от кинематического возбуждения определяем по формуле [67]

$$A_B = \sqrt{\frac{1 + 4 \xi_z^2 \left(\frac{\omega}{\lambda_z} \right)^2}{\left(1 - \frac{\omega^2}{\lambda_z^2} \right)^2 + 4 \xi_z^2 \left(\frac{\omega}{\lambda_z} \right)^2}} A_{B \text{ пер}} = \eta_B A_{B \text{ пер}}$$

где η_B — коэффициент динамичности при кинематическом возбуждении, а $A_{B \text{ пер}}$ определяется по формуле [68(19)], в которой

$$r_0 = \sqrt{\frac{40,5}{3,14}} = 3,59 \text{ м} \approx 3,6 \text{ м}; \quad A_0 = A_{z1} = 0,143 \text{ мм,}$$

$$A_{B \text{ пер}} = \sqrt{\frac{1 + 4 \cdot 0,311^2 \left(\frac{33,5}{88,4} \right)^2}{\left(1 - \frac{33,5^2}{88,4^2} \right)^2 + 4 \cdot 0,311^2 \left(\frac{33,5}{88,4} \right)^2}} \approx 1,16.$$

Для удобства расчетов формулу для определения A_B представим в виде

$$A_B = \eta_B A_0 K (b),$$

$K(b)$ берем по рис. 1. Дальнейшие расчеты проводим в табличной форме (табл. 16). В таблице A_0 означают амплитуды колебаний каждого фундамента лесорам от ее работы и от колебаний соседних фундаментов.

Согласно расчетам, максимально возможная амплитуда вертикальных колебаний фундаментов лесорам составляет 0,245 мм, что не превышает значения допустимой величины, равной (с учетом указаний п. 1.46) $A_{d1} = 1,3 \cdot 0,19 = 0,247$ мм.

2. Вертикальные колебания фундаментов по II гармонике. Расчет ведется по тем же формулам, что и предыдущий, заменяя величину $\omega = 33,5 \text{ с}^{-1}$ на $2\omega = 67 \text{ с}^{-1}$. Тогда

$$\eta_B = \sqrt{\frac{1 + 4 \cdot 0,311^2 \left(\frac{67}{88,4} \right)^2}{\left[1 - \left(\frac{67}{88,4} \right)^2 \right]^2 + 4 \cdot 0,311^2 \left(\frac{67}{88,4} \right)^2}} = 1,74.$$

Результаты дальнейших расчетов сведены в табл. 16.

Максимальная амплитуда колебаний по второй гармонике, составляющая 0,072 мм, также не превышает допустимого значения

$$A_{d11} = 1,3 \cdot 0,1 = 0,13 \text{ мм.}$$

3. Горизонтальные колебания фундамента с учетом групповой установки машины.

Расчет производится в том же порядке, как и при вертикальных колебаниях. При этом учитывается, что в формуле [68(19)] значение амплитуды A_0 соответствует колебаниям фундамента-источника в уровне его подошвы. Поэтому величину A_0 находим по формулам [20 (17 прил. 1)] — [30 (27 прил. 1)] и заменяя h_1 на $-h_2$. Тогда

$$\Psi_1^2 = S_1 + \beta \frac{-h_2}{h_2} \quad S_2 = 3,4 + 0,367 (-1) \sqrt{2,72} = 2,4,$$

$$\Psi_2^2 = S_2 + \beta \frac{-h_2}{h_2} \quad S_4 = 2,69 + 0,367 (-1) \cdot 3,16 = 1,53$$

и амплитуда горизонтальных колебаний подошвы фундамента-источника

$$A_{\text{п}} = \frac{P_x}{K_x} \sqrt{\frac{(\Psi_1^2)^2 + 4 \xi_x^2 \left(\frac{\omega}{\lambda_x} \right)^2 (\Psi_2^2)^2}{\Omega_1^2 + 4 \xi_x^2 \left(\frac{\omega}{\lambda_x} \right)^2 \Omega_2^2}}$$

Таблица 16

Источник колебаний лесопильной рамы	Фундамент — приемник колебаний														
	л/р № 1					л/р № 2					л/р № 3				
	г, м	δ	K (δ)	η _в ^{пер}	A _в , мм	г, м	δ	K (δ)	η _в ^{пер}	A _в , мм	г, м	δ	K (δ)	η _в ^{пер}	A _в , мм
л/р № 1	—	—	—	—	$\frac{0,143^*}{0,034}$	12,2	3,33	0,31	$\frac{1,16}{1,74}$	$\frac{0,051}{0,018}$	11,1	3,06	0,33	$\frac{1,16}{1,74}$	$\frac{0,055}{0,020}$
л/р № 2	12	3,33	0,31	$\frac{1,16}{1,74}$	$\frac{0,051}{0,018}$	—	—	—	—	$\frac{0,143}{0,034}$	14,1	3,91	0,28	$\frac{1,16}{1,74}$	$\frac{0,046}{0,017}$
л/р № 3	11,1	3,08	0,33	$\frac{1,16}{1,74}$	$\frac{0,055}{0,020}$	14,1	3,91	0,28	$\frac{1,16}{1,74}$	$\frac{0,046}{0,017}$	—	—	—	—	$\frac{0,143}{0,034}$
Одновременная работа всех лесорам	—	—	—	—	$\frac{0,245}{0,072}$	—	—	—	—	$\frac{0,240}{0,069}$	—	—	—	—	$\frac{0,244}{0,071}$

* В числителе приводятся значения амплитуд колебаний, относящихся к первой гармонике возмущающих сил, а в знаменателе — ко второй.

$$= \frac{3,9}{1146 \cdot 10^3} \sqrt{(2,4)^2 + 4 \cdot 0,187^2 \left(\frac{33,5}{73,9}\right)^2 (1,53)^2} = 1,64^2 + 4 \cdot 0,187^2 \left(\frac{33,5}{73,9}\right)^2 \cdot 3,36^2 = 0,47 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0,047 \text{ мм.}$$

Коэффициент динамичности при кинематическом воздействии от горизонтальных динамических нагрузок равен

$$\eta_{\text{пер}} = \sqrt{1 + 4 \cdot 0,187^2 \left(\frac{33,5}{73,9}\right)^2} = 1,24.$$

Результаты последующих расчетов сведены в табл. 17. Как следует из данных табл. 17, наибольшие горизонтальные колебания с учетом групповой работы машин получены для фундамента лесорамы № 1. По абсолютной величине они составляют 0,144 мм, что ниже допустимой величины, равной A_д = 0,247 мм. Проведем оценку амплитуды дополнительных горизонтальных колебаний верхней грани фундамента Δx_φ из-за его поворота за счет разности амплитуд колебаний по его длине, вызванной работой соседних фундаментов.

$$\Delta x_{\phi} = \Delta \eta_{\text{пер}} h = \eta_{\text{пер}} A_0 \frac{K(\delta_1) - K(\delta_2)}{l} h,$$

l и h — длина и высота фундамента-приемника, A₀ — амплитуда вертикальных колебаний фундамента-источника

$$\eta_{\text{пер}} = \sqrt{\frac{1 + 4 \xi_{\text{ф}}^2 \left(\frac{\omega}{\lambda_{\text{ф}}}\right)^2}{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\lambda_{\text{ф}}}\right)^2\right]^2 + 4 \xi_{\text{ф}}^2 \left(\frac{\omega}{\lambda_{\text{ф}}}\right)^2}} = \sqrt{\frac{1 + 4 \cdot 0,156^2 \left(\frac{33,5}{98,9}\right)^2}{\left[1 - \left(\frac{33,5}{98,9}\right)^2\right]^2 + 4 \cdot 0,156^2 \left(\frac{33,5}{98,9}\right)^2}} = 1,13.$$

Суммарное значение разности K(δ₁) — K(δ₂) от двух соседних фундаментов не превышает значения 0,2 при минимальном и максимальном расстояниях до центра фундамента-приемника равных 9,5 и 19 м. Следовательно,

$$\Delta x_{\phi} = \frac{1,13 \cdot 0,143 \cdot 0,2 \cdot 5,1}{9} = 0,018 \text{ мм.}$$

Общее значение амплитуды верхней грани фундамента

$$A_r = 0,144 + 0,018 = 0,162 \text{ мм} < A_d = 0,247 \text{ мм.}$$

Таблица 17

Источник колебаний лесопильной рамы	Фундамент — приемник колебаний														
	л/р № 1					л/р № 2					л/р № 3				
	г, м	δ	K (δ)	η _г	A _г , мм	г	δ	K (δ)	η _г	A _г , мм	г	δ	K (δ)	η _г	A _г , мм
л/р № 1	—	—	—	—	0,107	12,2	3,33	0,31	1,24	0,018	11,1	3,06	0,33	1,24	0,019
л/р № 2	12,0	3,33	0,31	1,24	0,018	—	—	—	—	0,107	14,1	3,91	0,28	1,24	0,016
л/р № 3	11,1	3,08	0,33	1,24	0,019	14,1	3,91	0,28	1,24	0,016	—	—	—	—	0,107
Одновременная работа всех лесорам	—	—	—	—	0,144	—	—	—	—	0,141	—	—	—	—	0,142

4. ФУНДАМЕНТЫ КУЗНЕЧНЫХ МОЛОТОВ

4.1. Требования настоящего раздела распространяются на проектирование фундаментов кузнечных (ковочных и штамповочных) молотов.

4.2. В состав задания на проектирование фундаментов кузнечных молотов, кроме материалов, перечисленных в п. 1.4 главы СНиП II-19-79, должны входить следующие данные:

а) чертежи габаритов молота с указанием типа молота (штамповочный, ковочный), его марки и наименования завода-поставщика;

б) нормативное значение номинального и действительного (с учетом веса верхней половинки штампа) веса падающих частей;

в) нормативное значение веса шайбы и станины;

г) размеры подошвы шайбы и отметки ее относительно пола цеха, а также размеры опорной плиты станины;

д) размеры в плане, толщина и материалы подошвотной прокладки;

е) рабочая высота падения ударяющих частей молота;

ж) величина внутреннего диаметра цилиндра и рабочее давление пара или воздуха (или энергия удара).

4.3. Для устройства деревянных подошвотных прокладок следует предусматривать применение брусков из дуба; при отсутствии дуба для молотов с весом падающих частей до 1 тс подошвотную прокладку допускается изготовлять из лиственных или сосны.

Деревянные прокладки следует предусматривать из пиломатериалов 1-го сорта по ГОСТ 2695-71 «Пиломатериалы лиственных пород» и по ГОСТ 8486-66 «Пиломатериалы хвойных пород».

4.4. Фундаменты молотов следует проектировать в виде жестких плит или монолитных блоков. Для молотов с весом падающих частей до 3 тс включительно допускается устройство одного общего фундамента под несколько молотов при их расположении в линию. При этом толщину боковых стен подошвотных приямков следует принимать на 30% большей, чем у фундаментов под один молот.

Фундаменты кузнечных молотов выполняются как по индвидуальным, так и по типовым проектам, разработанным для молотов с весом падающих частей до 5 тс включительно. При этом предпочтительным является использование типовых проектов.

При проектировании общего фундамента под несколько молотов расстояние между молотами, располагаемыми в линию, рекомендуется выбирать минимальным из условий обслуживания и ремонта молотов, а также требований технологического процесса.

При установке на одном фундаменте более четырех молотов ряд, последние следует размещать так, чтобы центры тяжести молотов находились в наибольшей главной плоскости инерции фундамента и молота и были расположены симметрично относительно центра фундамента. В этом случае фундамент рассчитывается как балку на упругом основании.

4.5. Толщина подошвотной части фундамента должна быть не менее указанной в табл. 18(7).

Таблица 18 (7)

Нормативное значение номинального веса падающей части молота Q_0 , тс	Голщина подшаблотной части фундамента, м, не менее	Количество арматурных сеток в верхней части фундамента
$Q_0 \leq 1$	1	2
$1 < Q_0 \leq 2$	1,25	3
$2 < Q_0 \leq 4$	1,75	3
$4 < Q_0 \leq 6$	2,25	4
$6 < Q_0 \leq 10$	2,6	5
$Q_0 > 10$	Более 3	Более 5

4.6. Фундаменты кузнечных молотов должны иметь конструктивное армирование в соответствии с требованиями пп. 1.22—1.26 главы СНиП II-19-79.

Верхнюю часть фундамента, примыкающую к подшаблотной прокладке, следует армировать горизонтальными сетками с квадратными ячейками размером 100 мм из стержней диаметром 10—12 мм; сетки следует располагать рядами с расстоянием между ними по вертикали 100—120 мм в количестве, принятом по табл. 18(7) и зависящем от веса падающей части молота. Верхнюю сетку следует укладывать на расстоянии 30 мм от поверхности фундамента, примыкающей к подшаблотной прокладке. В проекте следует предусматривать, как правило, увеличение сеток в объеме арматурные каркасы с последующей установкой готовых каркасов на место перед бетонированием фундамента.

У подшвы фундамента необходимо предусматривать укладку нижней горизонтальной арматурной сетки с квадратными ячейками, имеющими размеры сторон 100—200 мм, из стержней диаметром соответственно 16—20 мм.

Часть фундамента ковочных молотов, расположенную под подошвой станины молота, следует армировать горизонтальной сеткой с квадратными ячейками, имеющими размеры сторон 200—300 мм, из стержней диаметром соответственно 12—16 мм. Аналогичные арматурные сетки следует устанавливать у праней выемки для шабота всех видов кузнечных молотов, причем вертикальные стержни этих сеток необходимо доводить до подошвы фундамента.

4.7. Укладку деревянных брусков подшаблотной прокладки следует предусматривать из одного или нескольких штов. Толщину каждого шта следует принимать не менее 100 мм. Болты, стягивающие брусья подшаблотной прокладки, следует располагать в шите через 0,5—1 м. При устройстве прокладки из нескольких штов последние следует укладывать крест-накрест. Устройство подшаблотной прокладки способствует предотвращению поврежденный фундамента при ударах и равномерному распределению нагрузки. Толщину подшаблотной прокладки следует назначать из условия, чтобы напряжения в ней не превышали допустимого уровня.

4.8. Вес и площадь подошвы фундамента следует подбирать с учетом требований пп. 1.34—1.36 главы СНиП II-19-79, при этом для определения среднего статического давления на основание $P_{ср}$ в качестве нормативных статических нагрузок сле-

дует принимать вес фундамента и грунта, расположенного на его обрезах, станины, падающей части, шабота и подшаблотной прокладки.

В случае устройства обшей плиты под несколько молотов ориентировочные величины площади подошвы F и веса $G_{ф}$ фундамента определяют как $F = nF_1$ и $G_{ф} = nG_1$, где n — число молотов на фундаменте, а F_1 , G_1 — площадь подошвы и вес фундамента под один молот соответствующей мощности.

При выбранной площади подошвы фундамента рекомендуется увеличивать его длину, что способствует уменьшению амплитуд колебаний фундамента.

4.9. При проверке по формуле [47 (2)] среднего статического давления $P_{ср}$ на основание следует принимать значение коэффициента условий работы $m_0 = 0,5$, а коэффициент условия работы грунта основания для молотов с весом падающих частей более 1 тс и для малогабаритных и влажных мелких и пылеватых песков, водонасыщенных крупных и средней крупности песков, глинистых грунтов текучей консистенции $m_1 = 0,7$; для остальных видов и состояний грунтов, также при весе падающих частей молота менее 1 тс — $m_1 = 1$.

4.10. Амплитуды вертикальных колебаний фундаментов молотов A_v , м, следует определять по формуле [123 (1) прил. 2)], п. 4.10 (1) прил. 2), в которой Q_0 — расчетное значение веса падающих частей молота, тс; Q — расчетное значение общего веса фундамента, шабота, станины и засыпки грунта, расположенного на обрезах фундамента, тс, а V — скорость падающих частей молота в начале удара, м/с, принимаемая по данным завода-изготовителя или, при отсутствии таких данных, определяемая по формулам:

а) для молотов свободно падающих (фрикционных и одностороннего действия) $V = 0,9 \sqrt{2gh}$; [120 (31)]

б) для молотов двойного действия

$$V = 0,65 \sqrt{2gh \frac{pf + Q_0}{Q_0}} \quad [121 (32)]$$

или

$$V = \sqrt{\frac{2E_{ш}g}{Q_0}} \quad [122 (33)]$$

где h — рабочая высота падения ударяющих частей молота, м; f — площадь поршня в цилиндре, м²;

p — среднее давление пара или воздуха, тс/м²;

$E_{ш}$ — энергия удара, тс·м;

$g = 9,81$ м/с² — ускорение силы тяжести.

Коэффициент восстановления скорости удара e в формуле [123 (1) прил. 2)] следует принимать: для молотов штамповочных $e = 0,5$ (при штамповке стальных изделий) и $e = 0$ (при штамповке изделий из цветного металла); для ковочных молотов $e = 0,25$.