

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(СИБСТРИН)

**Кафедра инженерной
геологии, оснований
и фундаментов**

**РАСЧЕТ ОСНОВАНИЯ
И ФУНДАМЕНТА
МАШИНЫ С ДИНАМИЧЕСКИМИ
НАГРУЗКАМИ
(ДИЗЕЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР)**

Методические указания
по специальному курсу «Основания и фундаменты машин с
динамическими нагрузками» (КП, расчётное упражнение)
для студентов всех форм обучения
направления подготовки 08.00.00 «Строительство»

НОВОСИБИРСК 2026

Методические указания разработаны канд. техн. наук, зав. кафедрой инженерной геологии, оснований и фундаментов С.В. Линовским и ст. преподавателем Т.А. Якушкиной с использованием указаний «Расчёт основания и фундамента под машину» (авторы: О.А. Колесников, С.В. Линовский, НГАСУ (Сибстрин), 2008) на основании современных строительных норм.

Материалы опубликованы на странице кафедры ИГОФ сайта университета (www.sibstrin.ru) на правах рукописи. После апробации настоящих методических указаний при выполнении курсового проекта и практических работ предполагается их официальное издание через редакционно-издательский отдел (РИО) вуза.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение надежности и экономичности конструкций фундаментов под машины остаётся актуальной проблемой в связи с увеличивающейся мощностью создаваемых механизмов, в том числе чувствительным к вибрациям, повышением требований к их надежности. Одновременно с этим необходимо соответствовать строгим экологическим нормативам, направленным на преодоление вредных последствий, возникающих в результате значительных колебаний, распространяющихся от машин и отрицательно сказывающихся на жизни и деятельности человека.

Важным фактором в решении указанной проблемы является достоверный прогноз ожидаемых колебаний машины и фундамента на стадии проектирования элементов системы «машина – фундамент – основание».

Настоящие методические указания призваны познакомить студентов с алгоритмом проектирования фундамента под машину с динамическими нагрузками и способствовать выполнению расчета такой конструкции под один из видов механизмов.

Методические указания разработаны для выполнения курсового проекта и расчетного упражнения в рамках специального курса «Основания и фундаменты машин с динамическими нагрузками» в соответствии с современными нормами [1].

1 СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА И ЕГО ОФОРМЛЕНИЕ

Курсовой проект оформляется в виде расчетно - пояснительной записки на листах формата А4 (210х297 мм) и графической части на листах формата А3 (297х420 мм) и А4, включаемой в состав пояснительной записки в качестве приложения.

Расчетно-пояснительная записка должна содержать исходные данные о машине, инженерно-геологических условиях строительной площадки, фундаменте, а также все расчеты и пояснения к ним, обоснование принимаемых решений в последовательности, предусмотренной данными методическими указаниями.

В начале помещается титульный лист, затем оглавление (содержание), задание на проектирование, расчеты, в конце – список использованной литературы и приложения (при наличии). Образец титульного листа записки приведен в Приложении А. Текстовый материал должен быть предельно сжатым. Все расчеты должны выполняться с использованием Международной системы единиц (СИ).

Расчеты обязательно должны содержать эскизы и расчетные схемы с необходимыми размерами. Страницы записки должны быть пронумерованы (страница 1 – оглавление), эскизы и расчетные схемы также иметь нумерацию и заголовки.

При использовании любой информации из нормативно-справочной литературы следует делать соответствующие ссылки.

Записка представляется на защиту в сброшюрованном виде.

2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Исходные данные состоят из четырех блоков:

1. Сведения об инженерно-геологических условиях строительной площадки.
2. Данные о фундаменте машины.
3. Данные о фундаментах промышленного корпуса.
4. Сведения об устанавливаемой на фундамент машине.

Исходные данные по указанным выше блокам выдаются преподавателем в задании на выполнение курсового проекта индивидуально для каждого студента.

3 РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТА ПОД ДИЗЕЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР

Расчет рекомендуется выполнять в последовательности:

1. Определение динамической нагрузки на фундамент.

2. Определение глубины заложения и высоты фундамента.
 3. Определение размеров обреза и минимальных размеров подошвы фундамента.
 4. Проверка совпадения линии действия равнодействующей статических нагрузок от веса машины и центра тяжести подошвы фундамента.
 5. Проверка совпадения значений среднего статического давления под подошвой фундамента и расчетного сопротивления грунта. Расчет совместных деформаций основания и фундамента (при наличии в задании на проектирование технологических требований по ограничению перемещений и деформаций фундамента).
 6. Расчет амплитуд колебаний фундамента или отдельных его элементов.
 7. При необходимости дополнительные расчеты, связанные с определением влияния проектируемого фундамента под машину на поведение других конструкций здания (фундамент каркаса, колонны, фермы и т.д.).
 8. Расчет прочности и армирование фундамента.
- Ниже приводятся рекомендации по выполнению отдельных этапов расчета.

3.1 ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ НА ФУНДАМЕНТ

Динамические нагрузки F_d (кН) от движущихся частей машины определяются согласно [1, п.5.2.21]:

1. При расчете колебаний по формуле:

$$F_d = \gamma_f F_n, \quad (1)$$

где γ_f – коэффициент надежности по нагрузке ($\gamma_f=1$);

F_n – нормативная динамическая нагрузка, кН, соответствующая нормальному эксплуатационному режиму работы машины и принимаемая по заданию на проектирование; при отсутствии сведений о нагрузке определяется по [1, п.7.1.7, ф.103]:

$$F_{n,v}=F_{n,h}=\mu\sum_{i=1}^s G_i, \quad (2)$$

где $F_{n,v}$, $F_{n,h}$ – нормативные вертикальные и горизонтальные динамические нагрузки от вращающихся частей машины, кН;

μ – коэффициент, принимаемый по [1, табл.9];

G_i – вес каждого ротора машины, кН;

S – число роторов;

или по формуле:

$$F_{n,v}=F_{n,h}=m_0 r \omega^2, \quad (3)$$

где m_0 – масса вращающихся частей машины (ротора), т;

r – эксцентриситет массы т, м;

ω – угловая частота вращения частей машины, с⁻¹;

$$\omega = \frac{2\pi}{60} \cdot n_r \approx 0,105 \cdot n_r, \quad (4)$$

где n_r – частота вращения частей машины, об/мин.

2. При расчете прочности фундамента или его элементов по формуле [1, п.5.2.21]:

$$F_d = \gamma_f F_n \eta, \quad (5)$$

где γ_f – коэффициент надежности по нагрузке, принимаемый по [1, табл.3];

η – коэффициент динамичности, принимаемый по [1, табл.3];

$F_n = F_{n,v} = F_{n,h}$ – тоже, что в формулах (2 и 3).

Общая динамическая нагрузка на фундамент (от дизельного двигателя и генератора, от нескольких двигателей и генераторов и т.п.) определяется как сумма составляющих нагрузок:

– при расчёте колебаний

$$\begin{aligned} F_{d,v} &= \gamma_f (F_{n,v,g} + F_{n,v,m}), \\ F_{d,h} &= \gamma_f (F_{n,h,g} + F_{n,h,m}), \end{aligned} \quad (6)$$

где $F_{n,v,g}$, $F_{n,v,m}$, $F_{n,h,g}$, $F_{n,h,m}$ – нормативные вертикальные и горизонтальные нагрузки от генератора и двигателя, соответственно, кН;

– при расчёте прочности

$$F_{d,v} = F_{d,h} = \gamma_f \eta F_{n,v} \text{ (или } F_{n,h} \text{)}. \quad (7)$$

3.2 ГЛУБИНА ЗАЛОЖЕНИЯ И ВЫСОТА ФУНДАМЕНТА

Глубину заложения (d) и высоту фундамента (H) машины (рис. 1) следует назначать в зависимости от:

1) конструкции фундамента, глубины заложения расположенных рядом с фундаментом каналов, примысков, фундаментов зданий, установок, глубины заделки анкерных болтов и геометрических размеров выемок в теле фундамента с учетом требований [1, п.5.2.10];

2) инженерно-геологических условий строительной площадки; в случае установки машин вне зданий на открытых площадках или в зданиях с неотапливаемыми помещениями надлежит учитывать глубину сезонного промерзания грунта в соответствии с [2].

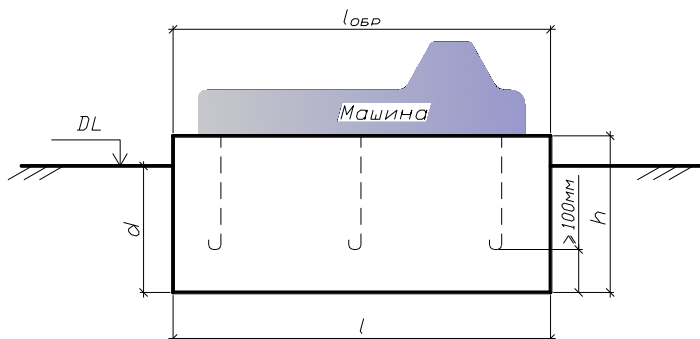


Рисунок 1.

В связи с тем, что статические давления от фундаментов машины, как правило, незначительны, глубина заложения фундамента в большинстве случаев назначается не из грунтовых условий, а по конструктивным соображениям в зависимости от типа машины и конструкции фундамента, его минимальной высоты, назначаемой в соответствии с [1, п. 5.2.10].

При устройстве фундаментов машин вблизи фундаментов зданий или соседних установок следует учитывать рекоменда-

ции [2] о допустимой разности отметок заложения фундаментов здания и машины с целью исключения их неблагоприятного взаимного влияния.

Передача вибраций, вызываемых работой машин, близко расположенным зданиям практически не зависит от взаимного по высоте расположения подошвы фундамента машины и фундаментов зданий. Поэтому при выборе глубины заложения фундамента машины этот фактор не учитывается.

Высоту фундаментов машин (см. рис. 1) следует назначать минимальной по условиям размещения в них технологических выемок и шахт, а также надежной заделки фундаментных болтов с учетом рекомендаций [1, п. 5.2.13].

Если по местным грунтовым условиям или по условиям размещения фундамента глубина его заложения значительно превышает указанную минимальную высоту фундамента, рекомендуется в целях экономии бетона предусматривать устройство под фундаментом подушки из тщательно уплотненного песчаного или крупнообломочного грунта, или глинистого грунта при наличии просадочных грунтов.

При использовании инвентарной опалубки для устройства железобетонного (бетонного) фундамента его высота назначается кратной модульному размеру 0,15 м.

3.3 РАЗМЕРЫ ОБРЕЗА И МИНИМАЛЬНО ВОЗМОЖНЫЕ РАЗМЕРЫ ПОДОШВЫ ФУНДАМЕНТА

В первом приближении размеры подошвы фундамента могут быть приняты равными размерам его обреза (рис. 2):

$$l=l_{обр}, b=b_{обр}. \quad (8)$$

При этом размеры обреза фундамента должны превышать габаритные размеры опорной части машины (в плане) не менее чем на 100 мм и быть кратными 0,30 м (учет модульного размера опалубки).

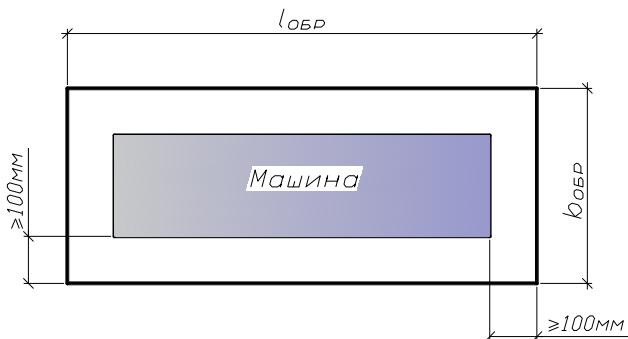


Рисунок 2.

3.4 ПРОВЕРКА УСЛОВИЯ СОВПАДЕНИЯ ЛИНИИ ДЕЙСТВИЯ РАВНОДЕЙСТВУЮЩЕЙ СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ ПЛОЩАДИ ПОДОШВЫ ФУНДАМЕНТА

При проектировании фундаментов машин на естественном основании следует стремиться к совмещению на одной вертикали центра тяжести площади подошвы фундамента и линии действия равнодействующей статических нагрузок от веса машины, фундамента и грунта на обрезах и выступах фундамента.

Эксцентриситеты e_x и e_y по соответствующим размерам подошвы фундамента (рис.3) не должны превышать требований [1, п.5.2.7]:

- 3% для грунтов с расчетным сопротивлением $R_0 \leq 150$ кПа;
- 5% для грунтов с расчетным сопротивлением $R_0 > 150$ кПа.

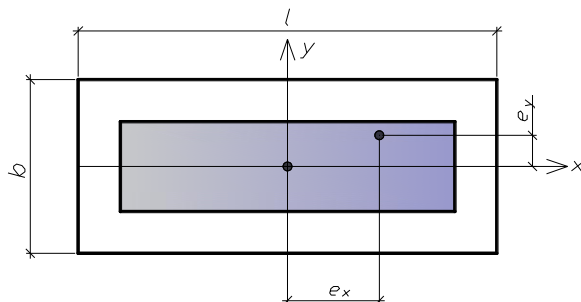


Рисунок 3.

Значение R_0 (табличное расчетное сопротивление грунта основания) следует определять по [2, прил.Б].

В случае несоблюдения условия [1, п.5.2.7] необходимо выполнить корректировку размеров подошвы фундамента с целью уменьшения указанных эксцентриситетов.

3.5 ПРОВЕРКА СООТНОШЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ СТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ ПОД ПОДОШВОЙ ФУНДАМЕНТА И РАСЧЁТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА. РАСЧЁТ СОВМЕСТНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТА

Проверка соотношения значений статического давления под подошвой фундамента, расположенного на естественном основании, и расчетного сопротивления грунта производится для всех типов машин, предусмотренных [1, п.5.2.19, табл.2].

Среднее статическое давление на основание фундамента p от действующих нагрузок (веса машины и фундамента с грунтом на его обрезах), кПа, должно удовлетворять условию [1, п.5.2.19]:

$$p \leq \gamma_{c0} \gamma_{c1} R, \quad (9)$$

где γ_{c0} – коэффициент условий работы, учитывающий характер динамических нагрузок и ответственность машин, принимаемый по [1, табл. 2];

γ_{cl} – коэффициент условий работы грунтов основания, учитывающий возможность возникновения длительных деформаций при динамических нагрузках, принимаемый по [1, п.5.2.19];

R – расчетное сопротивление грунта основания, определяемое в соответствии с требованиями [2, п.5.6.7] с учетом размеров подошвы и глубины заложения фундамента, полученных ранее, кПа.

В связи с тем, что фундаменты машин, рассматриваемые в [1], как правило, являются жесткими и величина эксцентриситета в распределении веса фундамента и установки ограничена значениями, указанными в [1, п.5.2.7], проверка условия [1, п.5.2.19] может производиться как при равномерном распределении давлений под подошвой фундамента (за исключением случаев, оговоренных в задании на проектировании).

В расчете по формуле (9) учитываются только статические нагрузки (вес фундамента, машины и засыпки грунта на обрезах фундамента). Влияние динамической нагрузки учтено коэффициентом условий работы γ_{c0} .

Введение коэффициента γ_{cl} направлено на предотвращение развития длительных осадок фундаментов машин в результате виброползучести и виброразжижения слабых водонасыщенных грунтов. Значения коэффициента γ_{cl} установлены на основании специальных экспериментальных исследований и могут быть приняты, как отмечено выше, по рекомендациям [1, п. 5.2.19]. Для фундаментов ответственных объектов, чувствительных к неравномерным осадкам, значения коэффициента γ_{cl} рекомендуется определять опытным путем.

Статический расчет совместных деформаций основания и фундамента (осадка, крен и т.д.) следует выполнять при наличии в задании на проектирование технологических требований, ограничивающих перемещения и деформации фундамента. Расчет выполняется в соответствии с [2, 3] до удовлетворения условия $s \leq s_u$ (где s — совместная деформация основания и фундамента определяемая расчетом; s_u — предельное значение совместной деформации основания и фундамента, определяемая технологическими требованиями).

Расчёт совместной осадки основания и фундамента (s) выполняется исходя условия [2, п.5.6.5]:

$$s \leq s_u, \quad (10)$$

где s – совместная осадка основания и фундамента, определяемая расчётом по методу послойного суммирования [2, п.5.6.31], см;

s_u – предельно допустимая осадка, принимаемая по заданию на проектирование или [2, прил. Г], см.

При расчёте осадки s промежуточные значения напряжений в грунте рекомендуется определять в табличной форме (см. Приложение Б), сопровождая вычисления графической схемой представления этих напряжений.

Расчёт крена фундамента (i) выполняется из условия:

$$i \leq i_u, \quad (11)$$

где i – крен фундамента при действии внецентренной нагрузки, вычисляемый по [2, п.5.6.44], д.е.;

i_u – предельно допустимый крен, принимаемый по заданию на проектирование или [2, прил. Г], д.е.

При невыполнении любого из условий $p \leq \gamma_{c0} \gamma_{c1} R$, $s \leq s_u$ или $i \leq i_u$ необходимо:

1) увеличить площадь подошвы фундамента;

2) увеличить глубину его заложения;

3) предусмотреть мероприятия по улучшению строительных свойств грунтов основания.

На этом этапе расчета в конструктивной схеме фундамента возможно появление уступов (при увеличении размеров подошвы фундамента). Их размеры назначаются по общим правилам создания монолитных железобетонных конструкций. При любых изменениях размеров подошвы фундамента следует выполнять ранее осуществленные проверки.

3.6 РАСЧЕТ АМПЛИТУД КОЛЕБАНИЙ ФУНДАМЕНТА

Расчет производится в соответствии с [1] и является определяющим при проектировании фундаментов машин с динамическими нагрузками.

Амплитуды вынужденных и свободных колебаний фундамента или отдельных его элементов следует определять в зависимости от типа машины, устанавливаемого на нём. Определение амплитуд колебаний фундаментов машин с вращающимися частями, к которым относится, в частности, дизельный генератор, производится, как правило, отдельно по направлениям и соответствующим частотам колебаний.

Амплитуды колебаний должны удовлетворять условию [1, п 6.1.1]:

$$a \leq a_u, \quad (12)$$

где a – наибольшая амплитуда колебаний фундамента, определяемая расчетом;

a_u – предельно допустимая амплитуда колебаний фундамента, устанавливаемая заданием на проектирование или принимаемая согласно [1, п. 6.1.1].

В соответствии с [1, п. 6.1.1, табл.5] предельно допустимые амплитуды колебаний для машин с вращающимися частями нормируются для двух взаимно перпендикулярных направлений (горизонтального и вертикального).

Горизонтальные колебания

Амплитуды горизонтальных колебаний верхней грани массивных фундаментов относительно горизонтальной оси a_h , м, следует определять по формуле [1, п. 6.2.5, ф. 36]:

$$a_h = \frac{F_h}{K_x} \cdot \sqrt{\frac{\psi_1^2 + 4 \cdot \xi_x^2 \cdot \left(\frac{\omega}{\lambda_x}\right)^2 \cdot \psi_2^2}{\Omega_1^2 + 4 \cdot \xi_x^2 \cdot \left(\frac{\omega}{\lambda_x}\right)^2 \cdot \Omega_2^2}}, \quad (13)$$

где F_h - расчетная горизонтальная составляющая возмущающих сил машины, кН, определяемая по соответствующим разделам с учетом указаний [1, п.5.2.21];

K_x - коэффициент жесткости основания при упругом равномерном сдвиге, кН/м, определяемый согласно [1, п.6.1.4] по формуле:

$$K_x = C_x A, \quad (14)$$

где A - площадь подошвы фундамента, м²;

C_x - коэффициент упругого равномерного сдвига, кН/м³ [1, п.6.1.3];

$$C_x = 0,7 C_z, \quad (15)$$

где C_z - коэффициент упругого равномерного сжатия, кН/м³ [1, п.6.1.2];

$$C_z = b_0 E \left(1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{A}} \right), \quad (16)$$

где b_0 - коэффициент, м⁻¹, принимаемый согласно [1, п.6.1.2];
 E - модуль деформации грунта под подошвой фундамента, кПа;
 $A_{10} = 10 \text{ м}^2$;

$$\psi_1 = S_1; \quad (17)$$

$$S_1 = (1 + \beta) \left(\frac{\lambda_\varphi}{\lambda_x} \right)^2 + \beta (1 + \chi) \left(\frac{\omega}{\lambda_x} \right)^2, \quad (18)$$

где
$$\beta = \frac{h_2^2 \cdot m}{\theta_\varphi}, \quad (19)$$

здесь h_2 - расстояния от общего центра тяжести установки до подошвы фундамента, м;

m - масса всей установки (фундамента с засыпкой грунта на его обрезах и выступах и машины), т;

θ_φ - момент инерции массы всей установки (фундамента с засыпкой грунта на его обрезах и выступах и машины) относительно оси, проходящей через общий центр тяжести перпендикулярно плоскости колебаний, т·м²;

λ_x, λ_y - угловые частоты колебаний фундамента, с⁻¹, соответственно горизонтальных и вращательных относительно горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести подошвы фундамента перпендикулярно плоскости колебаний, определяемые по формулам:

$$\lambda_x = \sqrt{\frac{K_x}{m}}, \quad (20)$$

$$\lambda_\varphi = \sqrt{\frac{K_\varphi}{\theta_{\varphi 0}}}, \quad (21)$$

где
$$\overline{K_\varphi} = K_\varphi - mgh_2, \quad (22)$$

K_φ – коэффициент жесткости основания при упругом неравномерном сжатии, кН/м, определяемый согласно [1, п.6.6.3] по формуле:

$$K_\varphi = C_\varphi I_\varphi, \quad (23)$$

где I_φ – момент инерции площади подошвы фундамента относительно горизонтальной оси, перпендикулярной плоскости колебаний, м⁴;

C_φ – коэффициент упругого неравномерного сжатия, кН/м³;

$$C_\varphi = 2C_z, \quad (24)$$

$\theta_{\varphi 0}$ – момент инерции массы всей установки относительно оси, проходящей через центр тяжести подошвы фундамента перпендикулярно плоскости колебаний, т·м², определяется по формуле:

$$\theta_{\varphi 0} = \theta_\varphi + mh_2^2, \quad (25)$$

$$\chi = \frac{M}{F_h \cdot h_2}, \quad (26)$$

где M – расчетное значение возмущающего момента, кН·м, равного сумме моментов от горизонтальных составляющих возмущающих сил при приведении их к оси, проходящей через центр тяжести установки перпендикулярно плоскости колебаний, и возмущающему моменту машины. При действии только горизонтальных составляющих возмущающих сил, определяется по формуле:

$$M = F_h (h_d + h_1), \quad (27)$$

где h_1 – расстояния от общего центра тяжести установки до верхней грани фундамента, м;

h_d – расстояние от верхней грани фундамента до точки приложения динамических нагрузок;

$$\psi_2 = S_2; \quad (28)$$

$$S_2 = (1 + \beta) \frac{\lambda_\varphi \xi_\varphi}{\lambda_x \xi_x} + \beta(1 + \chi), \quad (29)$$

$$\text{где} \quad \xi_x = 0,6 \cdot \xi_z; \quad (30)$$

$$\xi_\varphi = 0,5 \cdot \xi_z, \quad (31)$$

здесь ξ_z - относительное демпфирование при вертикальных колебаниях фундамента, определяемое согласно указаниям [1, п.6.1.5] по формуле:

$$\xi_z = \frac{2}{\sqrt{p}}; \quad (32)$$

$$\Omega_1 = \left(\frac{\omega}{\lambda_x} \right)^4 + (1 + \beta) \cdot \left\{ \left(\frac{\lambda_\varphi}{\lambda_x} \right)^2 - \left(\frac{\omega}{\lambda_x} \right)^2 \cdot \left[1 + \left(\frac{\lambda_\varphi}{\lambda_x} \right)^2 + 4 \cdot \xi_x \cdot \xi_\varphi \cdot \frac{\lambda_\varphi}{\lambda_x} \right] \right\}; \quad (33)$$

$$\Omega_2 = (1 + \beta) \cdot \left\{ \left(\frac{\lambda_\varphi}{\lambda_x} \right)^2 + \frac{\lambda_\varphi}{\lambda_x} \cdot \frac{\xi_\varphi}{\xi_x} - \left(\frac{\omega}{\lambda_x} \right)^2 \cdot \left(1 + \frac{\lambda_\varphi}{\lambda_x} \cdot \frac{\xi_\varphi}{\xi_x} \right) \right\}. \quad (34)$$

Вертикальные колебания

Амплитуды вертикальных колебаний массивных фундаментов a_v , м, с учетом вращения относительно горизонтальной оси, перпендикулярной плоскости колебаний, следует определять по формуле [1, п.6.3.2]:

$$a_v = a_z + a_z', \quad (35)$$

$$\text{где} \quad a_z = \frac{F_v}{K_z \cdot \sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\lambda_z} \right)^2 \right]^2 + 4 \cdot \xi_z^2 \cdot \left(\frac{\omega}{\lambda_z} \right)^2}}, \quad (36)$$

$$a_z' = a_\varphi \cdot l_f, \quad (37)$$

F_v – расчетная вертикальная составляющая возмущающих сил машины, кН, определяемая по соответствующим разделам с учетом указаний [1, п.5.2.21];

K_z – коэффициент жесткости основания, кН/м, определяемый согласно указаниям [1, п. 6.1.4] по формуле:

$$K_z = C_z A, \quad (38)$$

λ_z – угловая частота собственных вертикальных колебаний фундамента, с^{-1} , определяемая по формуле:

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{K_z}{m}}; \quad (39)$$

a_z' – амплитуда вертикальной составляющей вращательных колебаний фундамента;

l_f – расстояние от вертикальной оси, проходящей через центр тяжести установки, до края верхней грани фундамента в направлении действия сил и моментов, м;

a_φ – амплитуда вращательных колебаний верхней грани фундамента относительно горизонтальной оси, рад; определяемая по формуле [1, п.6.2.5, п. 6.2.7]:

$$a_\varphi = \frac{F_h}{K_x} \cdot \sqrt{\frac{\psi_1^2 + 4 \cdot \varepsilon_x^2 \cdot \left(\frac{\omega}{\lambda_x}\right)^2 \cdot \psi_2^2}{\Omega_1^2 + 4 \cdot \varepsilon_x^2 \cdot \left(\frac{\omega}{\lambda_x}\right)^2 \cdot \Omega_2^2}}, \quad (40)$$

где

$$\psi_1 = \beta \cdot \frac{1}{h_2} \cdot S_3; \quad (41)$$

$$\psi_2 = \frac{1}{h_2} \cdot S_4; \quad (42)$$

$$S_3 = 1 + \chi \cdot \left[1 - \left(\frac{\omega}{\lambda_x} \right)^2 \right]; \quad (65)$$

$$S_4 = 1 + \chi. \quad (43)$$

3.7 ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНИЯ УСЛОВИЯ $a \leq a_u$

Проверка выполнения условия [1, п. 6.1.1] для горизонтальных и вертикальных колебаний:

$$a_h \leq a_{u,h}; \quad (45)$$

$$a_v \leq a_{u,v},$$

где a_h, a_v – расчётные амплитуды горизонтальных и вертикальных колебаний соответственно;

$a_{u,h}$, $a_{u,v}$ – предельно допустимые амплитуды колебаний в горизонтальном и вертикальном направлении [1, п. 6.1.1, табл.5] соответственно.

При невыполнении условий (45) необходимо увеличить размеры фундамента или предусмотреть мероприятия по улучшению строительных свойств грунтового основания. Расчёты необходимо повторить.

3.8 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЕКТИРУЕМОГО ФУНДАМЕНТА ПОД ДИЗЕЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР НА СУЩЕСТВУЮЩИЙ ФУНДАМЕНТ КАРКАСА ЗДАНИЯ

Расчет оснований по деформациям производится исходя из условия [2, п.5.6.5]:

$$s_{ad} \leq s_{ad,u}^{max}, \quad (46)$$

где s_{ad} –дополнительная осадка основания существующего фундамента каркаса здания, см;

$s_{ad,u}^{max}$ –предельная дополнительная осадка основания фундамента, см.

$$s_{ad} = \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zp,\alpha,i} h_i}{E_i}, \quad (47)$$

где β – безразмерный коэффициент, равный 0,8;

$\sigma_{zp,\alpha,i}$ – среднее значение вертикального нормального напряжения (далее - вертикальное напряжение) от внешней нагрузки в i -ом слое грунта по вертикали, проходящей через рассматриваемую точку (например, точка А), кПа;

h_i – толщина i -го слоя грунта, см, принимаемая не более 0,4 ширины подошвы фундамента;

E_i – модуль деформации i -го слоя грунта по ветви первичного нагружения, кПа;

n – число слоев, на которые разбита сжимаемая толща основания.

Для расчета дополнительных напряжений под подошвой существующего фундамента каркаса здания применяется метод угловых точек по [2].

Вертикальные напряжения от внешней нагрузки на глубине z от подошвы фундамента каркаса здания $\sigma_{zp,c}$, кПа, по вертикали, проходящей через угловую точку прямоугольного фундамента, вычисляют по формуле [2, п.5.6.36, ф.5.20]:

$$\sigma_{zp,c} = \frac{\alpha P}{4}, \quad (48)$$

где α – коэффициент, принимаемый по [2, табл.5.8] при $\xi = z/b$;

P – среднее давление под подошвой проектируемого фундамента, кПа.

Следует иметь в виду, что вертикальные напряжения $\sigma_{zp,a}$, кПа на глубине от подошвы фундамента по вертикали, проходящей через выбранную точку А (в пределах или за пределами рассматриваемого фундамента с давлением по подошве, равным P) вычисляют алгебраическим суммированием напряжений $\sigma_{zp,ci}$, кПа, в угловых точках четырех фиктивных фундамента (рис. 4) по формуле [2, п.5.6.37]:

$$\sigma_{zp,a} = \sum_{i=1}^4 \sigma_{zp,ci}, \quad (49)$$

$$\sigma_{zp,a} = P(K_1 + K_2 - K_3 - K_4) = P \left(\frac{\alpha_1}{4} + \frac{\alpha_2}{4} - \frac{\alpha_3}{4} - \frac{\alpha_4}{4} \right). \quad (50)$$

Коэффициенты α_i определяются для следующих прямоугольников (рис. 4):

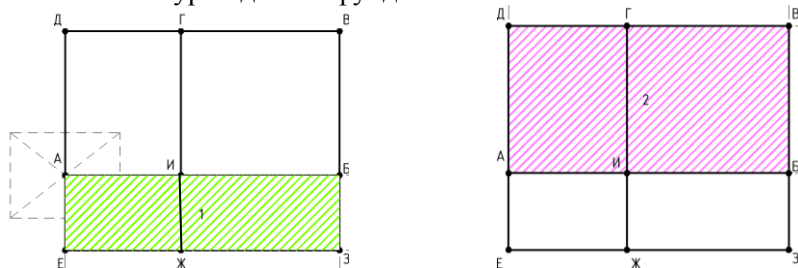
$\alpha_1 \rightarrow \text{АЕЗБ}$;

$\alpha_2 \rightarrow \text{АБВД}$;

$\alpha_3 \rightarrow \text{АЕЖИ}$;

$\alpha_4 \rightarrow \text{АИГД}$.

На рис. 4: А – центр подошвы фундамента каркаса здания;
ЖЗВГ – контур подошвы фундамента машины.



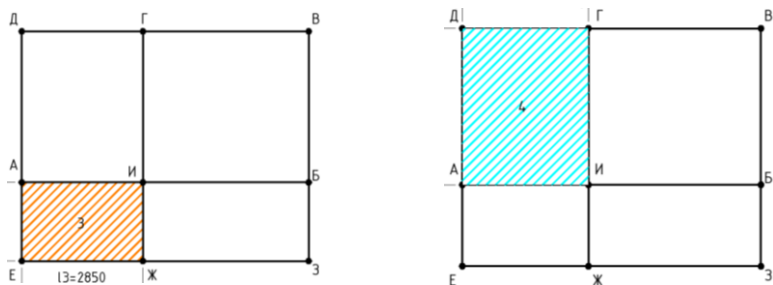


Рисунок 4.

Определение напряжений под подошвой фундамента для построения эпюры их распределения и расчёта дополнительной осадки каркаса здания рекомендуется выполнять в табличной форме (Приложение В).

Дополнительная осадка основания и фундамента каркаса здания определяется методом послойного суммирования с использованием формулы (47) настоящих указаний.

3.9 АРМИРОВАНИЕ ФУНДАМЕНТА

Армирование массивного фундамента под дизельгенератор выполняется конструктивно, и предусматривает общее армирование по подошве и местное армирование под станиной машины согласно [1, п.5.2.14].

Армирование подошвы производится сеткой, диаметр арматуры зависит от размеров подошвы фундамента, шаг стержней – 200 мм.

Армирование под опорной рамой производится сеткой с диаметром арматуры в зависимости от диаметра анкерных болтов, крепящих машину к фундаменту, согласно [1, п.5.2.14, табл.1], шаг стержней – 200 мм.

Рекомендуется предусматривать конструктивные сетки, расположенные у всех граней фундамента и всех граней выемки

для сбора отработанного масла в соответствии с указаниями [4] (диаметр арматуры 12 мм, шаг стержней – 300 мм).

Толщина защитного слоя бетона принимается согласно [4, п.10.3.2] – минимальная 20-40 мм в зависимости от условий эксплуатации конструкции.

В завершении настоящего подраздела осуществляется конструирование арматурных сеток и выполняется графическая часть проекта.

3.10 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТА

Графическая часть выполняется на листах формата А3 и/или А4 (для отдельных изделий) и размещается в качестве приложения к пояснительной записке курсового проекта. Чертежи должны быть выполнены на листах, снабженных рамкой и штампом. В состав графической части входят: схема размещения фундаментов (фрагмент плана) в масштабе 1:100, необходимые разрезы и виды (рекомендуемые масштабы 1:50, 1:75), общая схема армирования фундамента под машину с необходимыми разрезами, чертежи изделий, узлы и спецификации.

Для оформления графической части рекомендуется использовать методические указания кафедры [5] и Приложение Г настоящей методической разработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 26.13330.2012 Фундаменты машин с динамическими нагрузками. Актуализированная редакция СНиП 2.02.05-87. М., Минрегион России, 2011.
2. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция. СНиП 2.02.01 - 83*. М., Минстрой России, 2016.
3. МУ «Расчет основания и фундамента под машину» Методические указания и задания для выполнения практических работ по специальному курсу «Фундаменты машин с динамическими нагрузками» для студентов специальности 270102 «ПГС», 2008.
4. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. М., Минстрой России, 2018.
5. Методические указания «Выполнение графической документации курсового проекта», НГАСУ, 2001.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Кафедра инженерной геологии,
оснований и фундаментов

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ
на тему «Основания и фундамент под машину с
динамическими нагрузками»

КП.ИГОФ.ХХ-№ группы

Выполнил студент группы _____

(И. О. Фамилия)

Проверил _____

(И. О. Фамилия)

Новосибирск 20 ____

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

***Рекомендуемая табличная форма для расчета
напряжений в основании фундамента (для расчета
совместной осадки основания и фундамента)***

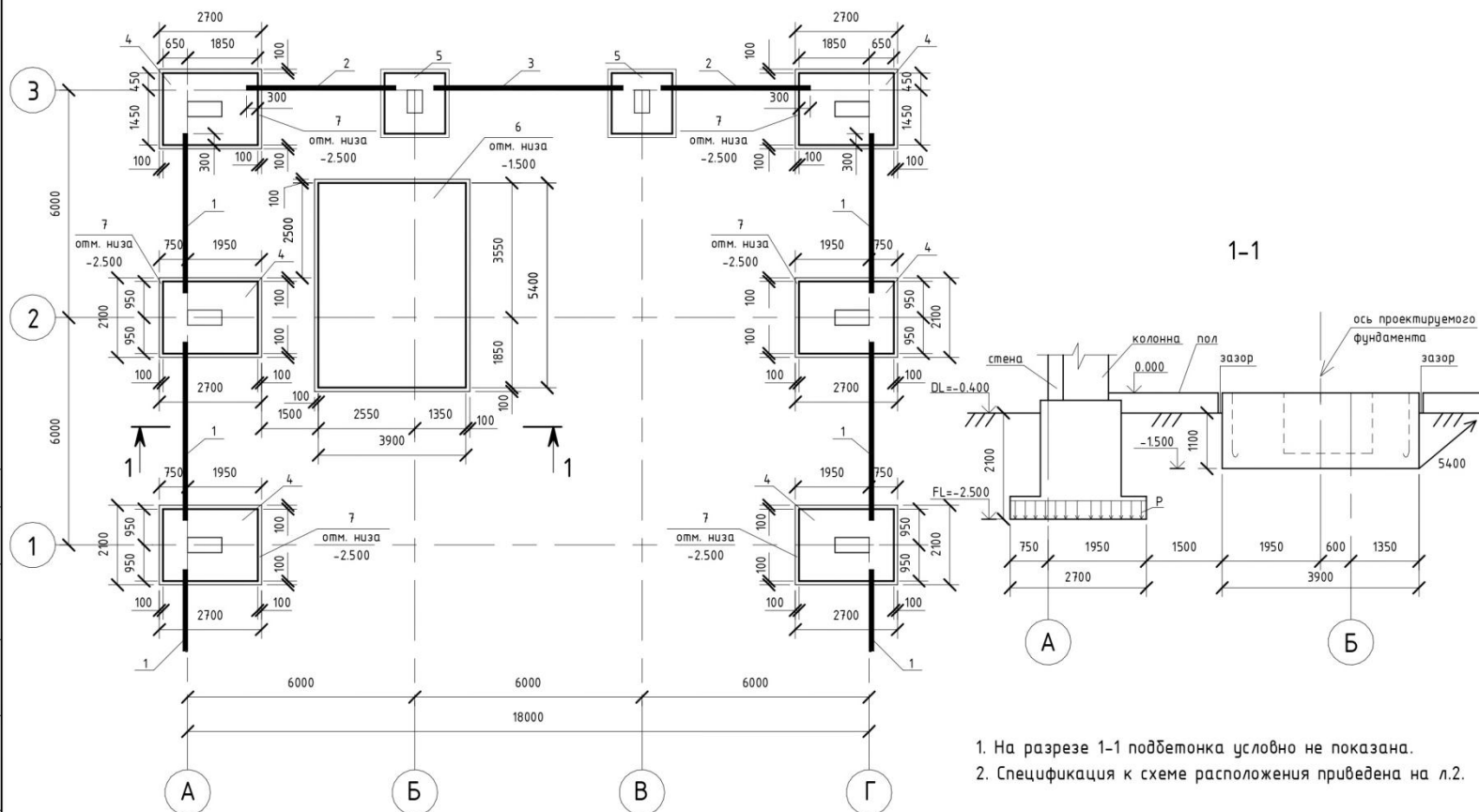
№ точки	$Z_i, \text{ м}$	$\xi = 2z_i/b$	$\xi_1 = 2z_i/b_k$	α_i	α_{1i}	$\sigma_{zg_i},$ кПа	$\sigma_{zp1_i},$ кПа	$\sigma_{z\gamma_i},$ кПа	$\sigma_{zp1_i}^{cp},$ кПа	$\sigma_{z\gamma_i}^{cp},$ кПа	0,5 (или 0,2) $\sigma_{zg_i},$ кПа	$E_i,$ кПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Результаты определения напряжений в грунтовом основании фундамента каркаса здания от давления под подошвой фундамента машины

№ точ- ки	z _i , м	Размеры условных фундаментов								ΣK _{c_i}	σ _{zp,a} , кПа	σ _{zp} , кПа	σ _{zp,a} + +σ _{zp} , кПа	(σ _{zp,a} + +σ _{zp}) ^{ср} , кПа	σ _{zg} , кПа	0,5 σ _{zg} , кПа
		b _{c1} =		b _{c2} =		b _{c3} =		b _{c4} =								
		l _{c1} / b _{c1} =		l _{c2} / b _{c2} =		l _{c3} / b _{c3} =		l _{c4} / b _{c4} =								
		ξ ₁ = z _i / b _{c1}	K _{c1} = α _i / 4	ξ ₂ = z _i / b _{c2}	K _{c2} = α _i / 4	ξ ₃ = z _i / b _{c3}	K _{c3} = α _i / 4	ξ ₄ = z _i / b _{c4}	K _{c4} = α _i / 4							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18

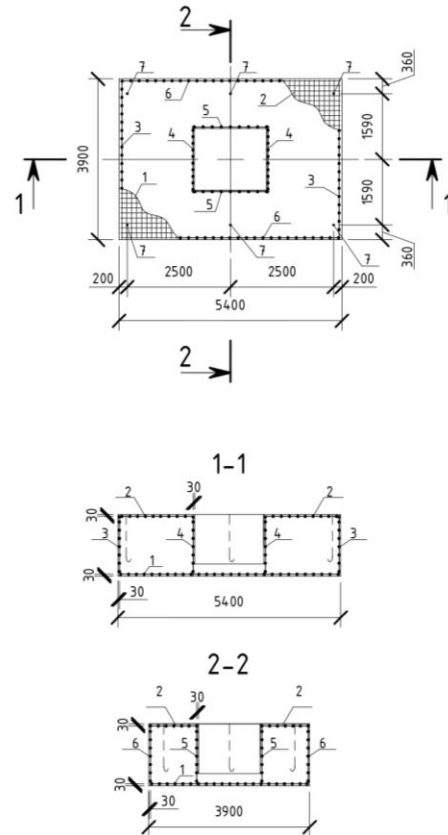
Схема расположения фундаментных конструкций



1. На разрезе 1-1 подбетонка условно не показана.
2. Спецификация к схеме расположения приведена на л.2.

						КП.ИГОФ.ХХ-1-АС			
						Наименование объекта			
Изм.	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Производственное здание	Стация	Лист	Листов
Разработал							Р	1	2
Проверил						Схема расположения фундаментных конструкций. Разрез.	НГАСУ (Сибстрин) гр.		

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Согласовано		



Поз.	Обозначения	Наименование	Кол.	Масса ед., кг	Приме- чание
<u>Монолитные конструкции</u>					
4	КПИГОФ.ХХ-1-АС	Фундамент Ф1	1		7,37м³
6	КПИГОФ.ХХ-1-АС	Фундамент под машину ФМ-1	1		31,59м³
****	КПИГОФ.ХХ-1-АС				
<u>Сборные конструкции</u>					
1	ГОСТ 28737-2016	Фундаментная балка 2БФ45	1	750	

<u>Материалы</u>					
	ГОСТ 26633-2015	Бетон В15			38,96м³

Поз.	Обозначения	Наименование	Кол.	Масса ед, кг	Приме- чание
<u>Арматурные изделия</u>					
1	КПИГОФ.ХХ-1-АС И	Сетка С1	1	190,28	
<u>Материалы</u>					
	ГОСТ 26633-2015	Бетон В15			31,59м³

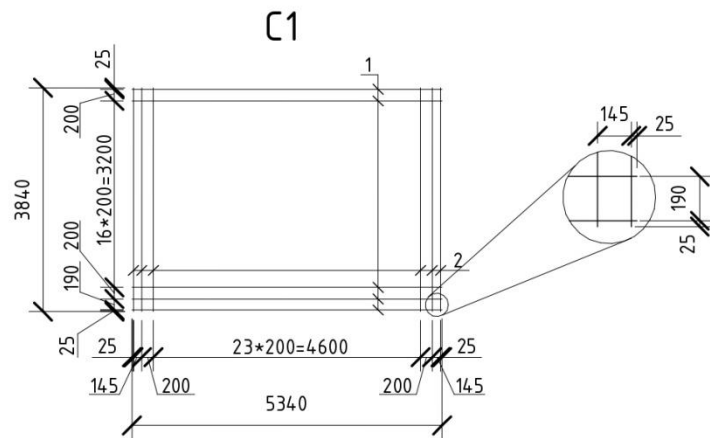
1. Данный лист см. с л.1.
2. Сетки, поддерживающие анкеры, условно не показаны.

						КП.ИГОФ.ХХ-1-АС			
						Наименование объекта			
Изм.	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Производственное здание	Стадия	Лист	Листов
Разработал							Р	2	
Проверил						План армирования фундамента. Разрез 1-1, 2-2.	НГАСУ (Сибдстрин), гр.		

Согласовано			

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	

						КП.ИГОФ.ХХ-1-АС.И-С1			
						Сетка С1	Стадия	Масса	Масштаб
Изм.	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		Р	190,28	1:50
Разработал							Лист	Листов 1	
Проверил							НГАСУ (Сибстрин)		
							зр.		



Поз.	Наименование	Кол.	Масса 1 детали, кг
1	Ø12 А400, l=5340, ГОСТ5781-82	20	4,74
2	Ø12 А400, l=3840, ГОСТ5781-82	28	3,41

Составители

Станислав Викторович Линовский
Татьяна Аскольдовна Якушкина

**РАСЧЕТ ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТА
МАШИНЫ С ДИНАМИЧЕСКИМИ НАГРУЗКАМИ
(ДИЗЕЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР)**

Методические указания
по специальному курсу «Основания и фундаменты машин с
динамическими нагрузками» (КП, расчётное упражнение)
для студентов всех форм обучения
направления подготовки 08.00.00 «Строительство»

Корректор А.И. Боева

Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
630008, Новосибирск, ул. Ленинградская, 113
