

12851
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ОСНОВАНИЙ
И ПОДЪЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ ИМ. И. М. ПЕРСЕВАНОВА
(НИИОСП ИМ. И. М. ПЕРСЕВАНОВА) ГОССТРОЙ СССР

РУКОВОДСТВО

ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ
ФУНДАМЕНТОВ МАШИН
С ДИНАМИЧЕСКИМИ
НАГРУЗКАМИ



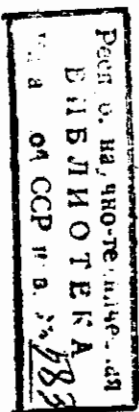
МОСКВА СТРОИИЗДАТ 1982

Рекомендовано к изданию решением секции Ученого совета «Основания и фундаменты» и «Механика грунтов» НИИОСП им. Н. М. Герсеванова.

Руководство по проектированию фундаментов машин с динамическими нагрузками/НИИОСП им. Н. М. Герсеванова. — М.: Стройиздат, 1982. — 207 с.

Составлено к главе СНиП II-19-79 «Фундаменты машин с динамическими нагрузками» и содержит рекомендации по деталям, детализирующие эти нормы проектирования по вопросам определения динамических характеристик грунтов, расчета колебаний фундаментов различных типов машин и оборудования с динамическими нагрузками и пр.

Для инженерно-технических работников проектных организаций.
Табл. 38, ил. 30.



Р 3202000000—546 Инструкт.-нормат., 11 вып. — 57—81
047(01)—82

© Стройиздат, 1982

ПРЕДИСЛОВИЕ

Руководство по проектированию фундаментов машин с динамическими нагрузками подготовлено к главе СНиП II-19-79 и дает пояснения к отдельным его пунктам.

Руководство разработано лабораторией динамики грунтов НИИ оснований и подземных сооружений им. Н. М. Герсеванова Госстроя СССР при участии Донецкого Промстройинипроекта, института Ленинградский Промстройпроект, Харьковского Промстройинипроекта, ЦНИИпромаздания, НИИЖБА, ЦНИИСКА им. В. А. Кучеренко Госстроя СССР, ВНИИГА им. Б. Е. Веденеева, Ленинградского отделения института Теплоэлектропроект Минэнерго СССР, ДИСИ Минвуза Украинской ССР, Красноярского Промстройинипроекта Минтяжстроя СССР, института Фундаментпроект и его Ленинградского отделения Минмонтажспецстроя СССР, института Гипромез Минчермета СССР и ЭНИМСа Минстанкопрома.

Руководство составили: разд. 1 «Общие положения» — д-р техн. наук В. А. Мильнер, кандидаты техн. наук О. Я. Шектер, М. Н. Голубцова, Ю. В. Монголов, В. М. Шевич (НИИОСП); д-р техн. наук О. А. Савинов (ВНИИГ им. Веденеева); канд. техн. наук С. И. Грыб, инж. А. К. Косицкий (Красноярский ПСНИИП); разд. 2 «Фундаменты машин с вращающимися частями» — канд. техн. наук Г. Г. Аграповский (ВНИИГ им. Веденеева); инженеры И. С. Литвин, Е. Г. Вабский (ЛОТЭП); разд. 3 «Фундаменты машин с кривошипно-шатунными механизмами» — кандидаты техн. наук О. Я. Шектер, М. Н. Голубцова (НИИОСП); инж. С. К. Лапин (ЛО Фундаментпроект); разд. 4 «Фундаменты кузнечных молотов» — кандидаты техн. наук О. Я. Шектер, М. Н. Голубцова (НИИОСП); канд. техн. наук Н. С. Швец (ДИСИ); инж. А. Е. Курган (Фундаментпроект); разд. 5 «Фундаменты формовочных машин литейного производства» — канд. техн. наук Н. С. Швец (ДИСИ); разд. 6 «Фундаменты формовочных машин для производства сборного железобетона» — д-р техн. наук О. А. Савинов (ВНИИГ им. Веденеева); разд. 7 «Фундаменты оборудования колловых бойных площадок» — канд. техн. наук М. Р. Свинкин (Харьковский ПСНИИП); разд. 8 «Фундаменты дробилок» — инж. Б. К.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Область распространения норм

1.1. Нормы настоящей главы должны соблюдаться при проектировании фундаментов машин с динамическими нагрузками, в том числе фундаментов машин с вращающимися частями, машин с криповинно-шатунными механизмами, кузнечных молотов, формовочных машин для литейного производства, формовочных машин для производства сорного железобетона, копировочного оборудования бойных площадок, дробильного оборудования, мельничных установок, пресосного оборудования, прокатного оборудования, металлорежущих станков и вращающихся печей.

В руководстве приведены рекомендации по расчету и проектированию ненитроизолированных фундаментов машин и оборудования с динамическими нагрузками эксплуатационного характера, вызываемыми действием неравномерных сил и моментов, возникающих при возвратно-поступательном, вращательном и т. п. движении масс, ударов движущихся или падающих частей машины, а также фундаментов машин и оборудования, чувствительного к вибрациям, колебания которых вызывают вследствие распространения волн в грунте от фундаментов — источников колебаний.

1.2. При наличии в проектируемом здании коммуникаций, примыкающих к фундаментам машин с динамическими нагрузками или проходящих вблизи них, а также при расположении вблизи фундаментов сосудов под давлением налжежит учитывать требования соответствующих нормативных документов по проектированию, устройству и эксплуатации этих коммуникаций, а при наличии трубопроводов, транспортирующих горючие, токсичные и сжиженные газы и жидкости, или сосудов под давлением — также требования соответствующих правил Госгортехнадзора СССР по устройству и безопасной эксплуатации таких трубопроводов и сосудов под давлением.

Проектирование фундаментов машин с динамическими нагрузками при наличии указанных в п. 1.2 коммуникаций и трубопроводов должно производиться с учетом требований следующих нормативных документов:

СНиП III-31-78* «Технологическое оборудование. Основные положения»;

ПУТ-69, «Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов для горючих, токсичных и сжиженных газов»;

«Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением», М., Госгортехнадзор СССР, 1970.

«Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды» М., Госгортехнадзор СССР, 1970.

1.3. Фундаменты машин с динамическими нагрузками, предназначенные для строительства в особых природно-климатических и технологических условиях, в том числе в районах Северной строительной-климатической зоны, на просадочных, набухающих, насыпных и заторфованных грунтах, в сейсмических районах, на подрабатываемых территориях, на геологически неустойчивых площадках (на которых имеются ялы могут возникнуть оползни, карсты, сели), на предпрятиях с систематическим воздействием повышенных (более 50°С) технологических температур, агрессивных сред и в других особых условиях, над-

Александров (Ленинградский ПСП); разд. 9 «Фундаменты мельничных установок» — канд. техн. наук В. М. Патецкий, инж. И. Н. Файнберг (Ленинградский ПСП); инж. А. Я. Жучкова (Харьковский ПСНИИП); разд. 10 «Фундаменты пресосов» — инженер И. И. Файнберг, И. И. Талаева (Ленинградский ПСП); разд. 12 «Фундаменты металлорежущих станков» — д-р техн. наук В. В. Каминская (ЭНИМС); разд. 13 «Фундаменты вращающихся печей» — канд. техн. наук В. М. Патецкий, инженер Д. А. Акимов, Б. К. Александров (Ленинградский ПСП); прил. 1 «Методика определения упругих и демпфирующих характеристик естественного основания по результатам экспериментов» — д-р техн. наук В. А. Ильичев, кандидаты техн. наук О. Я. Шехтер, М. Н. Голубова, В. Г. Таранов (НИИОСП); канд. техн. наук В. М. Патецкий, инж. Б. К. Александров (Ленинградский ПСП); инж. Д. П. Волков (Донецкий ПСНИИП); прил. 2 «Методика полевых испытаний свай динамическими нагрузками» — кандидаты техн. наук Ю. В. Монголов, В. М. Шавин (НИИОСП); прил. 3 «Методика прогнозирования колебаний грунта на основе экспериментальных исследований» — канд. техн. наук М. Р. Свинкин (Харьковский ПСНИИП).

Руководство разработано под общей редакцией докторов технических наук В. А. Ильичева, Д. Д. Баркана, кандидатов технических наук О. Я. Шехтер, М. Н. Голубовой.

В Руководстве приведен текст главы СНиП II-19-79, выделенный слова вертикальной чертой.

лежит проектировать с учетом требований, предъявляемых со-ответствующими нормативными документами к проектированию и строительству зданий и сооружений в этих условиях.

При проектировании фундаментов машин с динамическими на-гружками следует учитывать требования следующих нормативных документов:

СНиП II-15-74 «Основания зданий и сооружений»; СНиП II-18-76 «Основания и фундаменты на неглубоких грунтах»; СНиП II-8-78 «Здания и сооружения на подрабатываемых тер-риториях»; СНиП II-7-81 «Строительство в сейсмических рай-онах. Нормы проектирования»; СНиП II-28-73* «Защита строи-тельных конструкций от коррозии. Нормы проектирования»; СН-475-75 «Инструкции по проектированию оснований зданий и сооружений, возводимых на заторфованных территориях»; СН-482-76 «Инструж-ция по проектированию бетонных и железобетонных конструкций, предназначенных для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур».

Состав задания на проектирование фундаментов

1.4. Задание на проектирование фундаментов машин с ди-намическими нагрузками в дополнение к общим данным по оборудованию, предусмотренным Инструкцией по разработке проектов и смет для промышленного строительства, должно со-держат:

а) техническую характеристику машины (наименование, тип, число оборотов в минуту, мощность, общий вес и вес движу-щихся частей, скорость вращающихся частей и т. п.);

б) данные о величинах, местах приложения и направлениях действия статических нагрузок, а также об амплитуде, часо-тах, фазах, местах приложения и направленных действия дина-мических нагрузок, в том числе усилит, действующих на рас-четные (силовые) фундаментные болты;

в) данные о предельно допускаемых деформациях фунда-ментов и их оснований (осадка, крен, прогиб фундамента и его элементов, амплитуда колебаний и др.), если такие отражение вызываются условиями технологии производства или работы машины (оборудования);

г) требования к условиям размещения машины (оборудо-вания) на фундаментах: отдельные фундаменты под каждую машину (атриعات) или групповая их установка на общем фунда-менте;

д) чертежи габаритов фундамента в пределах расположения машины, элементов ее крепления, а также вспомогательного обо-рудования и коммуникаций с указанием расположения и размеров выемок, каналов и отверстий (для фундаментных болтов, заклад-ных труб и других деталей, необходимых для подвода электро-энергии, воды, пара, воздуха, смазки и т. п.), размеров подлинки и пр., чертежи расположения фундаментных болтов с указанием их типа и диаметра, закладных деталей, оборотов и т. п.;

е) чертежи всех коммуникаций, примыкающих к фундамен-там машин и проходящих через них;

ж) данные об инженерно-геологических условиях участка строительства и физико-механических свойствах грунтов основа-ния на глубину сжимаемой толщи, определяемой в соответствии с

требованиями главы СНиП по проектированию оснований зда-ний и сооружений;

з) данные о привязке проектируемого фундамента к конст-рукциям здания (сооружения), в частности к его фундаментам, данные об особенностях здания (сооружения), в том числе о виде и расположении помещений в нем оборудовании и ком-муникаций;

и) специальные требования к защите фундамента и его элементов от грунтовых вод, агрессивного воздействия смазоч-ных материалов и воздействия высоких, а также низких (от-рицательных) температур;

к) размеры и данные о расположении и материале футе-ровок участков фундамента, подверженных воздействию высо-ких температур;

л) данные об использовании машин по времени для фун-дамента, строящегося на всеповерхностных грунтах основания.

Кроме перечисленных выше данных, включаемых в состав задания на проектирование, в соответствующих разделах гла-вы СНиП II-19-79 приведены также дополнительные данные к заданию на проектирование, вытекающие из специфики каждого вида машин.

Задание на проектирование по пп. «а»—«в», «д», «и»—«л» составляется, как правило, на основании паспортных данных, пред-ставляемых заводами—поставщиками машин.

При отсутствии паспортных данных по п. 1.4.6* определение динамических нагрузок может быть проведено расчетом в со-ответствии с «Инструкцией по определению динамических нагрузок от машин, устанавливаемых на перекрытиях промышленных зда-ний» (М., Стройиздат, 1966) или по рекомендациям, приведенным в отдельных разделах настоящего руководства.

В целях облегчения конструкторский фундаментов данные, пред-ставляемые заводом-поставщиком по условиям размещения и креп-ления машин, размерам и расположению выемок, каналов и отвер-стий, закладных деталей и анкеровских креплений, могут быть заме-нены проектной организацией по согласованию с заводом-поставщи-ком.

Инженерно-геологические изыскания на площадке строитель-ства должны проводиться в соответствии с требованиями главы СНиП II-9-78 по инженерным изысканиям для строительства и «Инструкции по инженерным изысканиям для промышленного стро-ительства» СН 225-79. При этом результаты инженерно-геологиче-ских исследований должны содержать данные, необходимые для решения вопросов об определении глубины заложения и размеров подошвы фундаментов под машины, выбора типа основания, а в случае необходимости, выбора мероприятий по улучшению свойств грунтов основания, а также данные о физико-механических свой-ствах грунтов, необходимые для определения их упругих и демп-фирующих характеристик и оценки возможности возникновения динамических осадок фундаментов в результате действия вибраций. В случае необходимости при наличии сложных грунтовых условий или при проектировании ответственных объектов в объем инженер-но-геологических исследований должны включаться опытные рабо-ты по определению характеристик жесткости и демпфирования грунтов основания на конкретной строительной площадке.

В случае устройства свайных фундаментов инженерно-геоло-гические исследования должны выполняться в соответствии с тре-

бованиями главы СНиП II-17-77 «Свайные фундаменты».

При устройстве несущих свай в слабых водоосященных песчаных и глинистых грунтах в объем извлечения должны быть включены также испытания свай с целью определения их несущей способности при динамических нагрузках.

Материалы фундаментов

1.5. Фундаменты машин с динамическими нагрузками следует проектировать бетонными или железобетонными монолитными и сборно-монолитными, а при соответствующем обосновании — сборными.

Монолитные фундаменты предусматривать под все виды машин с динамическими нагрузками, а сборно-монолитные (или сборные) — главным образом под машины периодического действия (с вращающимися частями, с кривошипно-шатунными механизмами и др.); устройство сборно-монолитных и сборных фундаментов под машины с ударными (импульсными) нагрузками, как правило, не допускается.

В качестве материала для возведения фундаментов машин с динамическими нагрузками, как правило, применяется железобетон. Неармированный бетон применяется в отдельных случаях для фундаментов небольших размеров, выполняемых в виде сплошных блоков под машины малой мощности с незначительными динамическими нагрузками, а также фундаментов стоек весом до 30 тс. Тип фундамента по способу изготовления выбирается исходя из технико-экономической целесообразности для конкретных условий строительства с учетом максимального снижения материалоемкости, трудоемкости и стоимости строительства.

Сборный железобетон для устройства фундаментов машин целесообразно применять при возведении на одной площадке большого количества однотипных фундаментов или фундаментов, состоящих из отдельных элементов, позволяющих применение унифицированных блоков; кроме того, применение сборных и сборно-монолитных фундаментов целесообразно ввиду сокращения сроков их возведения, уменьшения объема работ по изготовлению опалубки и пр.

При назначении размеров и веса сборных элементов сборно-монолитных и сборных фундаментов учитываются возможности заводов или полигонов — поставщиков сборного железобетона, условия транспортирования и грузоподъемность монтажных механизмов.

1.6. Проектная марка бетона по прочности на сжатие для монолитных и сборно-монолитных фундаментов должна быть не ниже М 150, а сборных — не ниже М 200. Для неармированных фундаментов стоек допускается бетон марки М 100. В случае одновременного воздействия на фундамента динамической нагрузки и повышенных технологических температур марка бетона должна быть не ниже М 200.

Проектная марка бетона по морозостойкости должна быть не ниже Мрз 50, если по условиям, указанным в задании на проектирование, не предусмотрены более высокие требования к бетону по морозостойкости.

Проектная марка бетона по морозостойкости назначается для фундаментов машин, подвергшихся постоянному или эпизоди-

ческому воздействию отрицательных температур наружного воздуха.

Проектная марка бетона для замоноличивания стыков элементов сборных железобетонных фундаментов по прочности на сжатие и по морозостойкости должна быть не ниже принятой для стальных элементов.

Фундаменты машин, работающие в условиях повышенных и высоких технологических температур, не превышающих 300°С, следует, как правило, предусматривать из обычного бетона, для температур свыше 300°С — из жаростойкого бетона в соответствии с «Инструкцией по проектированию бетонных и железобетонных конструкций, предназначенных для работ в условиях воздействия повышенных и высоких температур» СН 482-76.

1.7. Арматурная сталь, а также фасонный, листовый и другие виды проката, применяемые для армирования фундаментов, для закладных и соединительных деталей, а также монтажных (подъемных) петель сборных элементов, должны назначаться в соответствии с требованиями главы СНиП по проектированию бетонных и железобетонных конструкций, а в части фасонного, листового и других видов проката — главы СНиП по проектированию стальных конструкций. При этом должны учитываться температурные и технологические условия эксплуатации и характер действующих нагрузок и воздействий.

Арматурная и прокатная сталь, применяемая для фундаментов, работающих в условиях повышенных и высоких температур, должна назначаться с учетом предела допустимой температуры в соответствии с табл. 17 СН 482-76.

Общие требования к проектированию фундаментов

1.8. Фундаменты машин с динамическими нагрузками должны удовлетворять условиям прочности, устойчивости и экономичности, а также требованиям санитарных норм в части уровня предельно допустимых вибраций для обслуживающего персонала.

Колесания фундаментов не должны оказывать вредного влияния на технологические процессы, оборудование и приборы, расположенные на фундаменте или вне его, а также на находящиеся вблизи конструкции зданий и сооружений.

Влияние колебаний на людей учитывается при проектировании фундаментов машин, если на этих фундаментах расположены рабочие места. При этом учитывается длительность пребывания людей на фундаменте.

Предельно допускаемые вибрации (перемещения, скорости, ускорения) для обслуживающего персонала должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.012—78, а также требованиям «Санитарных норм проектирования промышленных предприятий» СН 245-71. Влияние колебаний фундаментов машин на технологические процессы, машины и оборудование, устанавливаемое на них, определяется допускаемыми амплитудами (перемещениями, скоростями или ускорениями), значения которых в необходимых случаях задаются технологами и содержатся в задании на проектирование.

1.9. При составлении планов размещения оборудования машины с динамическими нагрузками следует располагать на мак-

симально возможном расстоянии от объектов, чувствительных к вибрациям (зданий и помещений, оборудованных станками особо высокой точности или точной измерительной аппаратурой), а также от жилых и общественных зданий.

Фундаменты машин с динамическими нагрузками являются источниками распространяющихся в грунте волн, оказывающих вредное влияние на расположенные вблизи конструкции зданий и сооружений, объекты с оборудованием и аппаратурой, чувствительной к вибрациям, жилые здания и пр.

Вибрации, распространяющиеся от фундаментов машин, могут вызывать неравномерные осадки фундаментов зданий и дополнительные напряжения в конструкциях близрасположенных зданий и сооружений, что приводит к образованию в них трещин и даже разрушению, вынуждая на работу некоторых машин (например, точных станков), измерительную аппаратуру и пр.

При размещении машин и оборудования с динамическими нагрузками и назначении безопасных расстояний до объектов, чувствительных к вибрациям, уровень вибраций, распространяющихся в грунте от фундаментов машин, может быть приближенно оценен по формуле [68 (19)]. При этом следует учитывать следующее.

Наибольшие влияние на колебания конструкций близрасположенных зданий и сооружений оказывают волны, распространяющиеся в грунте от фундаментов низкочастотных машин (с числом оборотов порядка 400 об/мин и менее), возбуждающие колебания с частотами, близкими к частотам собственных колебаний зданий. Для уменьшения колебаний зданий следует стремиться к тому, чтобы основные частоты собственных колебаний зданий и их несущих конструкций отличались от частоты колебаний, распространяющихся в грунте, не менее чем на 20%. Расчет частот собственных колебаний зданий может быть произведен при этом в соответствии с существующими нормативными документами по расчету конструкций зданий на динамические нагрузки.

Колебания от машин со средней (более 400 об/мин) и высокой (более 1500 об/мин) частотой являются, как правило, менее опасными с точки зрения вибраций соседних сооружений, что обусловлено, во-первых, отсутствием условий возникновения резонансных колебаний зданий, а во-вторых, более интенсивным затуханием высокочастотных колебаний с расстоянием при их распространении в грунте.

Колебания от машин ударного действия (кузнечных молотов, копров, формовочных машин литейного производства) могут вызвать значительные осадки грунтов, особенно водонасыщенных песчаных, и как следствие, деформации конструкций, расположенных в непосредственной близости от них.

Для уменьшения уровня распространяющихся колебаний используются различные мероприятия, в том числе соответствующий выбор габаритов фундамента (масса, площадь подошвы, конфигурация), изменение жесткости основания, соединенные общей плитой нескольких фундаментов, применение активной и пассивной виброизоляции, применение динамических гасителей и присоединенных плит. Применение уравнивающих устройств, изменение числа оборотов машины, регулирование по фазе пуска синхронных двигателей и пр.

1.10. Фундаменты машин допускаются проектировать отдельными под каждую машину (агрегат) или общими под не-

сколько машин (агрегатов). Общие фундаменты под несколько машин следует проектировать в случаях, когда это позволяет наиболее удобно разместить машины и предотвратить перестановку их в период эксплуатации, дает экономический эффект, а также уменьшает амплитуды колебаний фундаментов.

При выборе типа фундамента из условий взаимного размещения машин на общем фундаменте следует в виду, что грунтовая установка колебаний преимущественно при горизонтальных низкочастотных динамических нагрузках в связи с увеличением жесткости фундамента в горизонтальном направлении.

1.11. Фундаменты машин с динамическими нагрузками, как правило, должны отделяться от смежных фундаментов здания, боковыми границами фундаментов машин и смежных фундаментов конструкции должны быть не менее 100 мм.

Примечание. В отдельных случаях, указанных в соответствующих разделах главы СНиП II-19-79, в виде исключения допускается соединение фундаментов машин с фундаментами зданий или опирание на них конструкций зданий.

Устройство зазора между фундаментами машин и фундаментами (наземными конструкциями) здания или фундаментами смежных сооружений необходимо с целью уменьшения передачи на периодического действия и машин с ударными нагрузками. Фундаменты машин других видов можно соединять с фундаментами (наземными конструкциями) зданий или опирать непосредственно на нижнюю плиту фундаментов рамного типа высокочастотных машин. Можно опирать стойки, поддерживающие перекрытия над подвалами. При этом рекомендуется использовать другие изолирующие прокладки (из резины, войлока, толя и т. п.).

Фундаменты маломощных машин с незначительными динамическими нагрузками могут быть жестко соединены с фундаментами зданий. В некоторых случаях, например, при устройстве рамных фундаментов, возможно устройство единой фундаментной плиты для здания и машины.

1.12. Для уменьшения вибраций фундаментов машин с динамическими нагрузками рекомендуется (при технико-экономическом обосновании) предусматривать виброизоляцию, руководствуясь при этом требованиями соответствующих нормативных документов по проектированию виброизоляции.

Виброизоляция может быть применена для фундаментов машин с наиболее высокими нагрузками—кузнечных молотов (для молотов с весом таляющих частей 10 тс и более она является обязательной), двигателей, а также некоторых средних и низкочастотных машин, за исключением горизонтальных компрессоров, лесопильных рам и некоторых других.

При устройстве виброизоляции следует руководствоваться требованиями нормативных документов по проектированию конструкций, испытывающих динамические воздействия (Руководство по проектированию виброизоляции машин и оборудования, М., Стройиздат, 1972 и др.).

Для уменьшения вибраций фундаментов под машины, создаю- щие горизонтальные нагрузки, при технико-экономическом обосно- вании возможно применение железобетонных плит, соединенных с фундаментом. Размеры и конструкция присоединенных плит на- значают по расчету, разработанному ДИСИ.

1.13. При наличии в основании фундаментов машин слоев слабого грунта (заторфованного, илистого и т. п.) в проекте следует предусматривать мероприятия, направленные на умень- шение возможных ненормальных деформаций основания, ру- ководствуясь соответствующими требованиями, изложенными в главах СНиП по проектированию оснований зданий и сооруже- ний и по проектированию свайных фундаментов. При этом вы- бор мероприятий, а следовательно, и вида основания и фунда- ментов (например, фундаментов на естественном или искусст- венно закрепленном основании, на свайных фундаментах с про- резкой слоев слабого грунта и т. п.) должен производиться с учетом конкретных условий строительства.

С целью уменьшения возможных динамических осадок есте- ственного основания, сложенного грунтами с неблагоприятными строительными свойствами (рыхлые пески любой крупности и влажности, водонасыщенные пылеватые и мелкие пески средней плотности, текучие глинистые грунты, водонасыщенные глы и за- торфованные грунты и пр.), и увеличения его несущей способно- сти должна производиться специальная подготовка основания в соответствии с рекомендациями главы СНиП II-15-74.

При этом в зависимости от типа грунта, толщины слоя сла- бого грунта, статического давления, величины и характера дина- мических нагрузок могут быть использованы различные мероприя- тия, основными из которых являются следующие:

- а) замена слоя слабого грунта подушками из песка, гравия, щебня или других аналогичных видов грунтов, с последним трам- болингом;
- б) искусственное закрепление грунтов химическим, электрохи- мическим, термическим и др. способами;
- в) устройство свайного основания;
- г) устройство шпунтового ограждения по периметру фунда- мента.

В некоторых случаях эффективным является уплотнение части или всего слоя слабого грунта (например, водонасыщенного песка) трамбованием, устройством предпостроечной пригрузки водонасыщен- ных илов и заторфованных грунтов насылью, глубинное водоопо- нижение в слабых водонасыщенных грунтах и пр.

При выборе мероприятий по укреплению основания следует иметь в виду, что устройство свайного фундамента приводит к уве- личению жесткости основания и соответственно к увеличению соб- ственных частот при вертикальных колебаниях фундаментов. Уст- ройство свайного фундамента практически не сказывается на уп- ругой жесткости основания в горизонтальном направлении.

1.14. Устройство фундаментов машин с динамическими на- грузками, за исключением фундаментов турбоагрегатов мощно- стью более 25 тыс. кВт, допускается на насыпных грунтах, если такие грунты не содержат гумуса, древесных опилок (стружек), органического мусора и др. примесей, вызывающих неравномер- ные осадки грунта при сжатии. При этом основание из насып-

ных грунтов должно быть тщательно уплотнено (тяжелыми трамбовками, вибрированием или другими способами) и удов- летворять требованиям глав СНиП по проектированию основа- ний зданий и сооружений и по устройству оснований и фунда- ментов.

Примечание. Фундаменты машин неимпульсного (не- ударного) действия с двигателями мощностью менее 500 кВт со средним давлением на грунт менее 0,7 кгс/см² допускается возводить на насыпных грунтах без искусственного уплотнения, если возраст насыпи из песчаных грунтов составляет не менее двух лет и из глинистых грунтов — не менее пяти лет.

В случае если использование насыпных грунтов в качестве естественных оснований с применением мероприятий по уплотнению невозможно, используется прорезка насыпных грунтов свайными фундаментами или устройство песчаных, щебеночных или грунтовых подушек.

1.15. Общий центр тяжести проектируемого фундамента ма- шины и засыпки грунта на обрезах фундамента, как правило, центр тяжести площади подошвы фундамента, как правило, должны располагаться на одной вертикали. При этом величина эксцентриситета не должна превышать для грунтов с условным расчетным давлением $R_0 \leq 1,5 \text{ кгс/см}^2$ 3%, а для грунтов с ус- ловным расчетным давлением $R_0 > 1,5 \text{ кгс/см}^2$ — 5% размера стороны подошвы фундаментов, в направлении которой прои- сходит смещение центра тяжести. Величину R_0 следует опреде- лять в соответствии с требованиями главы СНиП по проекти- рованию оснований зданий и сооружений; для фундаментов тур- боагрегатов величина эксцентриситета не должна превышать 3% независимо от величины условного расчетного давления. Для оснований, сложенных скальными грунтами, величина эксцентри- ситета не нормируется.

Требование о расположении общего центра тяжести фунда- мента, машины и засыпки грунта на обрезах фундамента и центра тяжести площади подошвы фундамента на одной вертикали связано с необходимостью обеспечения равномерной осадки фундамента. Кроме того, выполнение этого условия позволяет упростить расчет колебаний фундаментов. В случае если условие невыполнимо и значения эксцентриситетов в распределении масс превышают ука- занные значения, расчет собственных частот и амплитуд колебаний фундамента следует производить с учетом эксцентриситета в соот- ветствии с п. 1.35 настоящего руководства.

В случае опирания на фундамент соседних строительных кон- струкций общий центр тяжести фундамента определяется с учетом веса конструкций, передающихся на фундамент. При этом расчет колебаний фундамента при наличии упругих прокладок допускает- ся производить без учета веса конструкций.

Величину условного расчетного давления для грунтов, задела- нных в основании фундамента, R_0 допускается определять по таб- личным данным приложения 4 главы СНиП II-15-74.

1.16. Размеры и форму верхней части фундамента машины следует назначать в соответствии с результатами расчетов, вы- полняемых при проектировании фундаментов, с учетом требова- ний, предъявляемых заводом — поставщиком оборудования. При этом необходимо предусматривать выделенные просте- ны формы фундамента, а в случае применения сборно-монолитных

по большей унификации и простоты конструкции сборных элементов фундаментов.

При проектировании фундаментов машин с динамическими нагрузками следует применять типовые проекты, которые разработаны и утверждены в «Инструкциях по типовому проектированию для промышленного строительства» СН 227-70.

1.17. Подшивку фундаментов машин следует предусматривать, как правило, прямоугольной формы в плане и располагать на одной отметке.

Примечание. В неводонасыщенных грунтах в отдельных случаях при соответствующем обосновании допускается предусматривать углубления в подошве монолитных фундаментов под глубокими прорезками или в местах приложения таких фундаментов к фундаментам зданий.

Размеры подошвы фундамента в плане назначаются исходя из габаритных размеров фундаментов, задаваемых заводом — изготовителем машины и содержащихся в задании на проектирование, с учетом направления действия динамических нагрузок (горизонтальных сил и моментов), габаритов неха, расстояний до фундаментов зданий и пр.

При наличии плотных грунтов в плитных фундаментах в разрезах или использовать ленточный фундамент, если это не ухудшает условия ее прочности и жесткости.

При устройстве углублений в подошве фундаментов более заглубленная часть, включая переходные участки, должна располагаться в центральной трети подошвы, причем отношение высоты участка к его длине должно быть не более чем 1:2.

1.18. Глубину заложения фундаментов машин следует назначать в зависимости от:

- а) конструкции фундамента, глубины заложения расчленившихся ригелей с фундаментом каледов, примыков, фундаментов зданий, установок и др.;
- б) инженерно-геологических условий строительной площадки: в случае установки машин вне зданий на открытых площадках или в зданиях с неотапливаемыми помещениями следует учитывать глубину сезонного промерзания грунта в соответствии с требованиями главы СНиП по проектированию оснований зданий и сооружений.

В связи с тем, что статические давления от фундаментов осциллируют, как правило, незначительны, глубина заложения фундамента по конструктивным соображениям не из грунтовых условий, а конструктивных фундамента, его минимальной высоты, назначаемой в соответствии с п. 1.19 по условиям размещения и крепления машины, например, наличие близко расположенного уровня грунтовых вод.

При устройстве фундаментов машин вблизи установок и пр. или соседних фундаментов следует учитывать рекомендации главы СНиП II-15-74 и Руководства к этой главе СНиП о допустимой

разности отметок заложения фундаментов здания и машины с целью исключения их неблагоприятного взаимного влияния.

Передача вибрации, вызываемая работой машин, близрасположенными зданиям практически не зависит от взаимного по высоте расположения подошвы фундамента машины и фундаментов здания. Поэтому при выборе глубины заложения фундамента машины этот фактор не учитывается.

1.19. Высота фундаментов машин следует назначать минимальной по условиям размещения в них технологических выемок и шахт, а также выдерживать заданную фундаментных болтов с учетом следующих требований:

- а) расстояние от нижних концов наиболее глубоко залегающих болтов до подошвы фундамента должно быть не менее 100 мм;
- б) толщина нижней плиты монолитных фундаментов принимается в консольных частях по расчету в зависимости от вылета консоли, но не менее 0,4 м, под замкнутыми углублениями — не менее 0,2 м.

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.

1.20. Для крепления машин следует применять фундаментные болты: глухие изогнутые и с анкерной плитой, устанавливаемые непосредственно в массив фундамента или в колоды, заранее предусмотренные при бетонировании фундамента;

съемные, устанавливаемые в массив фундамента с изолирующей трубой;

глухие и съемные прямые и с коническим концом, устанавливаемые в готовые фундаменты в просверленные скважины. Болты, устанавливаемые в просверленные скважины готовых фундаментов, предпочтительно должны применяться, когда это возможно по технологическим и монтажным условиям и удовлетворяет требованиям расчета прочности заделки.

При ударной нагрузке, а также при высоких уровнях динамической нагрузки, требующей установки болтов диаметром не менее 42 мм, следует применять съемные фундаментные болты с изолирующей трубой.

По согласованию с заводом — поставщиком машин допускается изменять указание в задании на проектирование типа и диаметры болтов и уменьшать их длину до пределов, обоснованных расчетом по заданным нагрузкам, действующим на болты. Если нагрузки не могут быть точно определены, глубину заделки фундаментных болтов в бетон следует принимать равной 15 диаметрам болта — для болтов с анкерной плитой и 20 диаметрам — для болтов с отбором; при этом длина болтов должна быть не более 1,5 м.

Материал и установочные параметры фундаментных болтов (глубину заделки в бетон, минимальные расстояния между осями болтов и от оси болта до грани фундамента) следует назначать в соответствии с требованиями нормативных документов и Государственных стандартов на фундаментные болты.

При установке фундаментных болтов следует руководствоваться «Инструкцией по креплению технологического оборудования фундаментами болтами» СН 471-75, ГОСТ 24379.0—80 и ГОСТ 24379.1—80.

В случаях, когда из условия эксплуатационной надежности и технологии производства возможно применение фундаментных болтов различных типов, тип болта следует выбирать по лучшим технико-экономическим показателям: минимальному расходу стоимости и трудоемкости устройства), минимальной себестоимости.

Подбор сечения фундаментных болтов необходимо производить из условия нераскрытия стыка в системе фундамент—оборудование и сечение проверить на выносливость (усталостное разрушение).

1.21. При назначении размеров верхней части фундамента с учетом габаритов, заданных заводом—поставщиком машин, расстояние от грани колодца фундаментных болтов до наружной грани фундаментов следует принимать: для болтов диаметром до 24 мм включительно—не менее 50 мм и для болтов большего диаметра — не менее 100 мм.

В случае применения болтов с анкерными планками расстояние от оси болта до края фундамента следует принимать равным не менее четырех диаметров болта. При невозможности соблюдения этого условия между болтом и гранью фундамента следует предусматривать установку дополнительных арматурных сеток.

1.22. Армирование фундаментов, в том числе стыкованные анкерную арматуры, следует предусматривать в соответствии с требованиями главы СНиП по проектированию бетонных и железобетонных конструкций с учетом следующих дополнительных требований:

а) для общего армирования монолитных фундаментов машин следует предусматривать применение сварных сеток и каркасов, а для армирования их отдельных элементов (участков фундаментов)—вязаную арматуру;

б) для армирования (в том числе косвенного) участков фундаментов, воспринимающих ударные нагрузки, применение сварных сеток и каркасов не допускается; в этих случаях должна применяться только вязаная горячекатаная стержневая арматура, как правило, периодического профиля.

1.23. Армирование монолитных массивных и ступенчатых фундаментов машин должно производиться по расчету в следующих случаях:

а) общее—когда фундамент рассматривается как балка или плита на упругом основании, а также при одновременном воздействии на фундамент динамических нагрузок и высоких температур;

б) местное—когда элементы фундамента затружены местной нагрузкой.

В остальных случаях следует предусматривать местное армирование (без расчета).

1.24. Конструктивное армирование монолитных массивных фундаментов машин ударного действия объемом 20 м³ и менее, как правило, следует предусматривать только в виде местного армирования, а таких же фундаментов объемом более 20 м³ и фундаментов машин ударного действия (независимо от их объема)—в виде местного и общего армирования.

Конструктивное армирование монолитных ступенчатых фундаментов во всех случаях надлежит предусматривать как общим, так и местным.

1.25. Конструктивное местное армирование массивных и ступенчатых фундаментов следует предусматривать в местах резкого изменения размеров сечений фундамента, а также по конструкции вырезом с размерами сторон более 600 мм и в местах значительного ослабленных отверстий или выемками. В качестве арматуры для местного армирования следует применять стержни из стержневой арматуры класса А-1 или А-11 диаметром 10—12 мм, расположенных с шагом в обеих направлениях 200 мм.

1.26. Конструктивное общее армирование массивных и ступенчатых фундаментов следует предусматривать в виде горизонтальных сеток, укладываемых по подоше фундамента и у его верхней грани, а для ступенчатых фундаментов, кроме того, в виде вертикальных сеток, устанавливаемых по боковым граням стен. Противоположные стержни арматуры стен следует соединять между собой стержнями (шпильками), устанавливаемыми в шахматном порядке через 3—4 стержня сеток.

В местах сопряжения стен с верхней горизонтальной плитой (или рамой) следует предусматривать установку дополнительной вертикальной арматуры с шагом сечения, равной 50% площади сечения основной арматуры; стержни дополнительной арматуры следует заволить в тело плиты (рамы) и стены на глубину заделки стержней основной арматуры.

Глубину заделки концов вертикальных стержней арматуры стен в верхнюю горизонтальную плиту (раму) и нижнюю фундаментную плиту назначают не менее установленной для заделки концов распнутых стержней арматуры.

Площадь сечения арматуры верхней железобетонной плиты (или рамы) следует определять по расчету в соответствии с требованиями главы СНиП по проектированию бетонных и железобетонных конструкций. Кроме того, в верхней горизонтальной раме, а также в обвязочных балках должна быть предусмотрена арматура, устанавливаемая по боковым вертикальным граням.

Для общего армирования следует применять сетки из стержневой арматуры класса А-1 или А-11. Количество сеток, расстояние между стержнями и их диаметр для фундаментов различных типов машин приведены в соответствующих разделах главы СНиП II-19-79.

Армирование массивных и ступенчатых фундаментов может производиться пространственным каркасом (арматурный каркас на весь фундамент), что позволяет производить арматурные работы в стороне от площадки и содержать сроки строительства.

Армирование сборных и сборно-монолитных фундаментов по количеству и общему размещению арматуры производится так же, как и армирование монолитных фундаментов. При этом должна быть обеспечена равнопрочность стыковых соединений и сборных элементов.

1.27. Армирование рамных монолитных, сборно-монолитных и сборных фундаментов должно производиться в соответствии с требованиями главы СНиП по проектированию бетонных и железобетонных конструкций—удельно—следующих дополнительных указаний:

С. Б. Ш. П. О. Р. Д. А. В. Ч. Е. С. К. А. П.

№ 1838643

а) арматура всех балок, ригелей и колонн должна иметь замкнутые хомуты или стержни, приваренные по диаметру поперечного сечения конструирующим;

б) колонны во всех случаях следует армировать симметричной арматурой: при этом расстояния между продольными стержнями должны составлять не более 300 мм и каждые 3—5 стержней должны охватываться хомутами или шпильками;

в) по наружным боковым граням балок и ригелей промежуточные стержни следует устанавливать не реже, чем через 300 мм по высоте сечения; диаметр этой стержневой арматуры класса А-1 или А-11 принимают 16—18 мм для элементов верхней строения и 10—12 мм — для элементов нижнего роста;

г) заделку рабочей арматуры ригелей и балок в колонны следует предусматривать как для жестких рамных узлов;

д) независимо от требования расчета во всех отверстиях в элементах фундамента при размерах стороны отверстий более 300 мм надлежит предусматривать окаймляющую прошивку А-1 или А-11, расположенную соответствующим образом 200 мм с запуском концов стержней в тело бетона на длину, принимаемую в соответствии с требованиями главы СНиП, указанной в настоящем пункте;

е) в монолитных фундаментах арматуру колонн при толщине нижней плиты до 1 м доводят до низа последней; при плите на глубину анкеровки в соответствии с требованиями СНиП, указанной в настоящем пункте.

1.28. Стыки элементов сборно-монолитных и сборных конструкций рамных фундаментов должны устраиваться в соответствии с требованиями главы СНиП по проектированию бетонных и железобетонных конструкций с учетом следующих дополнительных указаний:

а) стыки сборных элементов следует располагать в узлах рам;

б) стыкование элементов следует, как правило, предусматривать в виде свариваемых между собой выпусков арматуры с последующим замоноличиванием узлов.

1.29. Толщину защитного слоя бетона следует принимать в соответствии с требованиями главы СНиП по проектированию бетонных и железобетонных конструкций, устанавливаемой на участках фундаментов, воспринимающих ударную нагрузку; защитный слой следует принимать во всех случаях не менее 30 мм.

Толщина защитного слоя бетона для фундаментов, подверженных действию температуры, превышающих 50°С, должна приниматься с учетом рекомендаций «Инструкции по проектированию бетонных и железобетонных конструкций, предназначенных для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур» СН 482-76.

1.30. Температурно-усадочные швы надлежат устраивать в соответствии с требованиями главы СНиП по проектированию бетонных и железобетонных конструкций, при этом швы следует располагать таким образом, чтобы на отдельных участках

фундамента в пределах между швами располагались оборудование, напиль, не связанное жестко между собой.

Для уменьшения усадочных деформаций допускается устраивать временные усадочные швы шириной 0,7—1,2 м. С обеих сторон шва следует предусматривать выпуски верхней и нижней арматуры, которую сваривают между собой спустя 20—30 дней после бетонирования. Сварные соединения должны быть равнопрочны соединенным стержням. Заполнение временных усадочных швов следует предусматривать бетоном той же проектной марки, что и бетон фундамента. При отсутствии арматуры в месте расположения временного усадочного шва в проекте должна быть предусмотрена установка выпусков из стержней диаметром 20 мм класса А-11 с шагом 200 мм в один ряд с последующей их сваркой и замоноличиванием.

При ограничении прогиба фундамента по технологическим требованиям вместо температурно-усадочных швов следует предусматривать прогибоусадочные мероприятия при укладке бетона и противоусадочное армирование. В этом случае устройство временных усадочных швов допускается только в виде исключения.

Расстояния между температурно-усадочными швами при возведении температур не выше 50°С принимаются в соответствии с п. 1.23 СНиП II-21-75. Для температур, превышающих 50°С, расстояния между швами должны быть уменьшены в соответствии с рекомендациями СН 482-76.

При расчете колебаний протяженный фундамент с температурно-усадочными швами рассматривается как монолитный.

1.31. Гидроизоляция фундаментов или дренаж следует проектировать с учетом требований соответствующих нормативных документов. Внутри прямых следует предусматривать днище с уклоном и зумпфы, позволяющие пропускать при необходимости откачку воды.

Для фундаментов или их отдельных участков, подверженных воздействию агрессивных грунтовых (или провазодственных) вод, а также технических масел или других агрессивных по отношению к бетону жидкостей, должны быть предусмотрены меры по их защите в соответствии с требованиями главы СНиП по проектированию антикоррозийной защиты строительных конструкций.

При заглублении фундаментов машин ниже уровня грунтовых вод следует предусматривать специальные мероприятия (дренаж, обштукатуренное водонепроницаемое, гидроизоляцию) по защите фундаментов от грунтовых вод, а при их агрессивности — мероприятия по защите бетона от разрушения. При этом могут быть использованы различные типы гидроизоляции в том числе цементная (горячештукатурная), асфальтовая (литая, штукатурная), пластмассовая (окрасочная, листовая) и др.

1.32. Примыкающие к фундаменту паро- и воздухопроводы должны быть изолированы таким образом, чтобы температура на поверхности изоляции не превышала 50°С. Между поверхностью изоляции и телом фундамента должен быть оставлен воздушный просвет не менее 50 мм.

Общие указания по расчету оснований и фундаментов

1.33. В настоящем подразделе содержатся только общие специфические указания по расчету оснований и фундаментов

машин, вытекающие из особенностей эксплуатационных воз-
действия машин.

Эти указания должны дополняться к общепринятым
требованиям по расчету оснований зданий и сооружений, а так-
же по расчету элементов бетонных и железобетонных конст-
рукций, регламентируемым соответствующими главами СНиП.

Расчет фундаментов машин должен производиться, как пра-
вило, с помощью ЭВМ по разработанным для этой цели типо-
вым программам.

1.34. Расчет фундаментов машин и их оснований состоит из:
а) определения амплитуд колебаний фундаментов A или
отдельных их элементов;

б) проверки среднего статического давления на грунт $P_{ср}$
для фундаментов на естественном основании и несущей спо-
собности основания для свайных фундаментов;

в) расчета прочности элементов конструкций фундамента.

Фундаменты машин и их основания в соответствии с главами
СНиП II-A.10-71 и СНиП II-15-74 должны рассчитываться по
двум группам предельных состояний: по первой группе — по несу-
щей способности, по второй группе — по деформациям (колебаниям,
просадкам, осадкам), затрудняющим нормальную эксплуатацию
установленных на фундаментах машин и оборудования или сосе-
дних объектов, чувствительных к вибрациям.

Расчет по первой группе предельных состояний включает:

а) проверку среднего статического давления под подошвой для
фундаментов на естественном основании или несущей способности
основания для свайных фундаментов. Эта проверка производится
для всех без исключения типов машин, предусмотренных главой
СНиП II-19-79, в соответствии с п. 1.36 для естественных основа-
ний и в соответствии с пп. 4.1 и 4.3 главы СНиП II-17-77 для свай-
ловых работ *over and pier* в соответствии с п. 1.51 СНиП II-19-79;
б) расчет прочности отдельных элементов конструкции фунда-
мента. Расчет выполняется для отдельных элементов рамных и
стенчатых фундаментов, а также для отдельных сечений массив-
ных фундаментов, ослабленных отверстиями или выемками; расчет
производится в соответствии с указаниями главы СНиП II-21-75.
В некоторых случаях определяется реакция основания (сила
реакции и реактивный момент).

Расчет фундаментов по деформациям включает:

а) определение амплитуд колебаний фундаментов или отдель-
ных их элементов. Расчет производится в соответствии с главой
СНиП II-19-79 в случаях, указанных в отдельных разделах этой
главы, и является определяющим при проектировании фундаментов
машин с динамическими нагрузками;

б) определение осадок и деформаций (прогибов, жреда и т. п.)
фундаментов или их элементов. Эти расчеты производятся в от-
дельных случаях для ответственных сооружений, например, фун-
даментов турбоагрегатов, а также фундаментов станков, при на-
личии в задании на проектирование технологических требований,
организующих перемещения и деформации фундамента из усло-
вий обеспечения нормальной эксплуатации оборудования.

1.35. Амплитуды вынужденных и свободных колебаний фун-
дамента или отдельных его элементов следует определять для
различных типов машин согласно требованиям соответствующих

разделов главы СНиП II-19-79, при этом расчетную статическую
и динамическую нагрузки следует определять как произведение
величины нормативной нагрузки, принятой по указанным со-
ответствующим разделам этой главы, и коэффициента перегруз-
ки $n=1$.

Амплитуда колебаний фундамента должна удовлетворять
условию

$$A \leq A_d \quad [1(1)]$$

где A — наибольшая амплитуда колебаний фундамента, опреде-
ляемая расчетом;

A_d — максимальная предельно допускаемая амплитуда колеба-
ний фундамента, принимаемая, как правило, по данным соот-
ветствующих разделов главы СНиП II-19-79, допускается ве-
личину A_d уточнять в соответствии с заданием на проектиро-
вание.

При расчете колебаний фундаментов машин допускается:

а) рассматривать основание как упруговязкое линейно-де-
формируемое, свойства которого определяются коэффициентами
упругого равномерного и неравномерного сжатия, упругого
равномерного и неравномерного сдвига и коэффициентами, ха-
рактеризующими демпфирование;

б) не учитывать эксцентриситет в распределении масс фун-
дамента, если он не превышает величин, указанных в п. 1.15.

На вынужденные колебания рассчитываются фундаменты ма-
шин с нагрузками, изменяющимися по периодическому закону $P =$
 $= P_0 \sin \omega t$ (пробки, машины с вращающимися частями), а так-
же фундаменты машин с кривошипно-шатунными механизмами,
создающими нагрузки, изменяющиеся по полгармоническому за-
кону

$$P = P_1 \sin \omega t + P_2 \sin 2 \omega t + \dots$$

На свободные колебания рассчитываются фундаменты машин
с импульсными воздействиями, вызываемым ударом падающих (куз-
ничные молоты) или возвратно-поступательно перемещающихся тел
(формовочные машины литейного производства), а также ударом
рабочих частей установки по ковке (пресс).

Примечание. Вынужденными колебаниями называются ко-
лебания, которые происходят под влиянием постоянно действующей
динамической силы (вертикальной или горизонтальной) или мо-
мента сил относительно вертикальной или горизонтальной осей.

Свободными колебаниями называются колебания, вызываемые
внезапно приложенной нагрузкой или действующей кратковременно
по сравнению с периодом собственных, колебаний установкой (не
более 0,2T, где T — период собственных колебаний установки).

При расчете колебаний фундаментов машин расчетная схема
фундамента приводится, как правило, к системе с одной (для
вертикальных или горизонтальных колебаний) или с двумя степе-
нями свободы (вертикальные или горизонтальные колебания с уче-
том вращательных или крутильных составляющих колебаний).

Примечание. Для фундаментов сложной конфигурации, на-
пример, для рамных и протяженных стеновых фундаментов, ре-
комендуется при специальном обосновании применять более слож-

ные расчетные схемы. Дифференциальные уравнения вынужденных вертикальных колебаний системы с одной степенью свободы для упруговязкого линейно-деформируемого основания имеет вид

$$m_n \ddot{z} + V_z \dot{z} + K_z z = P_z e^{i\omega t}, \quad (2)$$

где $V_z \dot{z}$ и $K_z z$ — соответственно демпфирующая и упругая часть реакции основания.

Дифференциальные уравнения вынужденных горизонтально-вращательных колебаний системы с двумя степенями свободы для упруговязкого линейно-деформируемого основания записываются в виде

$$\left. \begin{aligned} m_n \ddot{x} + V_x (\dot{x} - h_2 \dot{\varphi}) + K_x (x - h_2 \varphi) &= P_x e^{i\omega t} \\ 0 \ddot{\psi} - V_x h_2 (\dot{x} - h_2 \dot{\varphi}) - K_x h_2 (x - h_2 \varphi) + \\ + V_\varphi \dot{\varphi} + (K_\varphi - m_n g h_2) \varphi &= M e^{i\omega t}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

В формулах [2] и [3] приняты обозначения:

m_n — масса установки (фундамент, машина, засыпка грунта на обрезах фундамента);

V_x, V_z, V_φ — коэффициенты демпфирования основания соответственно для вертикальных, горизонтальных и вращательных колебаний;

K_x, K_z, K_φ — коэффициенты жесткости основания соответственно при упругом равномерном сжатии, равномерном сдвиге и неравномерном сжатии;

x, φ — соответственно вертикальные, горизонтальные смещения центра тяжести установки и угол поворота фундамента относительно оси, проходящей через центр тяжести установки, перпендикулярно плоскости колебаний; действительная (мнимая) часть x, φ соответственно вынужденной силы и момента, изменяющиеся по закону $\cos \omega t$ ($\sin \omega t$);

h_2 — расстояние от общего центра тяжести установки до подопытия фундамента;

P_x, P_z, M — соответственно вертикальная и горизонтальная составляющая возмущающих сил и момент от возмущающих сил относительно оси, проходящей через центр тяжести установки перпендикулярно плоскости колебаний;

ω — круговая частота вращения машины, с⁻¹. Круговая частота вращения машины связана с периодом T , с, и частотой f , Гц, формулами:

$$\omega = 2\pi f = 2\pi/T.$$

Дифференциальные уравнения свободных колебаний системы соответствуют уравнениям [2] или [3], при $P_x = P_z = M = 0$.

Формулы для определения амплитуд вынужденных колебаний фундаментов, полученные в результате решения дифференциальных уравнений [2] или [3], приведены в пп. 1.35 (1 прил. 1) — 1.35 (9 прил. 1), а формулы для определения амплитуд свободных колебаний — в пп. 4.10 (1 прил. 2, 4.11 (2 прил. 2).

22

РАСЧЕТ КОЛЕБАНИИ ФУНДАМЕНТОВ МАШИН С ПЕРИОДИЧЕСКИМИ НАГРУЗКАМИ¹

Рамные фундаменты

1.35 (1 прил. 1). Амплитуды горизонтально-круговых колебаний верхней плиты рамных фундаментов A_r , м, следует определять по формуле

$$A_r = A_x + A_\psi l_{макс}. \quad [4 (1 \text{ прил. 1})]$$

где $l_{макс}$ — расстояние от центра тяжести верхней плиты до оси наиболее удаленного подшипника машины, м;

A_x — амплитуда горизонтальных колебаний центра тяжести верхней плиты, м, вычисляемая по формуле

$$A_x = \frac{A_{x^{ст}}}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\lambda_x^2}\right)^2 + 4(\xi_x)^2 \frac{\omega^2}{\lambda_x^2}}}, \quad [5 (2 \text{ прил. 1})]$$

A_ψ — амплитуда (угол поворота), рад, вращательных колебаний верхней плиты относительно вертикальной оси, проходящей через ее центр тяжести, определяемая по формуле

$$A_\psi = \frac{A_{\psi^{ст}}}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\lambda_\psi^2}\right)^2 + 4(\xi_\psi)^2 \frac{\omega^2}{\lambda_\psi^2}}}, \quad [6 (3 \text{ прил. 1})]$$

$\omega = 0,105 n_{об} \cdot 6$ — круговая частота вращения машины, с⁻¹; $n_{об}$ — число оборотов в 1 мин.

$A_{x^{ст}}, A_{\psi^{ст}}$ — соответственно перемещение, м, и угол поворота, рад, центра тяжести верхней плиты при статическом действии силы P_r , определяемые по формулам:

$$A_{x^{ст}} = \frac{P_r}{S_x}; \quad [7 (4 \text{ прил. 1})]$$

$$A_{\psi^{ст}} = \frac{P_r l_{макс}}{2 S_\psi}; \quad [8 (5 \text{ прил. 1})]$$

P_r — расчетное значение горизонтальной составляющей динамической нагрузки, т.е. определяемое по соответствующим разделам с учетом указания п. 1.35 главы СНиП II-19-79;

S_x, S_ψ — коэффициенты жесткости конструкции фундамента с учетом упругости основания соответственно в горизонтальном направлении, перпендикулярном оси вращения, т.е.м, и при повороте в горизонтальной плоскости, т.е.м, определяемые по формулам [9 (6 прил. 1)] и [10 (7 прил. 1)]:

¹ К машине с периодическими нагрузками относятся машины с вращающимися частями, кривошипно-шатунными механизмами, дробилки и др.

ξ'_x, ξ'_ϕ — коэффициенты относительного демпфирования системы фундамент — грунт, определяемые по формулам [15 (12 прил. 1)] и [16 (13 прил. 1)];
 λ_x, λ_ϕ — круговые частоты горизонтальных и вращательных колебаний фундамента относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести верхней плиты, с⁻¹, определяемые по формулам [17 (14 прил. 1)] и [18 (15 прил. 1)].

Примечание. В формуле 8 (5 прил. 1) значение $P_{г\text{макс}}/2$ следует принимать для машины с вращающимися частями; для других типов машин вместе с ней следует принимать значение момента возмущающих сил M относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести верхней плиты.

1.35 (2 прил. 1). Коэффициенты жесткости конструкции фундамента S_x , тс/м, и S_ϕ , тс·м, следует вычислять по формулам:

$$S_x = \frac{1}{\frac{1}{K_x} + \frac{h^2}{K_\phi} + \frac{1}{S_x^0}}; \quad [9(6 \text{ прил. 1})]$$

$$S_\phi = \frac{1}{\frac{1}{K_\phi} + \frac{1}{S_\phi^0}}; \quad [10(7 \text{ прил. 1})]$$

где K_x, K_ϕ и K_ϕ — коэффициенты жесткости основания соответственно при упругом равномерном K_x и неравномерном K_ϕ сдвиге и неравномерном сжатии K_ϕ , определяемые в соответствии с требованиями п. 1.43 для фундаментов на естественном основании или п. 1.52 главы СНиП II-19-79 для свайных фундаментов;

h — высота фундамента, м;

S_x^0 — сумма коэффициентов жесткости всех поперечных рам фундамента в горизонтальном направлении, перпендикулярном оси валя машины, тс/м (n — число этих рам), определяемая по формуле

$$S_x^0 = \sum_{i=1}^n S_i; \quad [11(8 \text{ прил. 1})]$$

S_ϕ^0 — сумма коэффициентов жесткости всех поперечных рам при повороте верхней плиты в горизонтальной плоскости относительно ее центра тяжести, тс·м, определяемая по формуле

$$S_\phi^0 = \sum_{i=1}^n S_i e_i^2; \quad [12(9 \text{ прил. 1})]$$

e_i — расстояние от плоскости поперечных рам до центра тяжести верхней плиты, м.

Величины коэффициентов жесткости одноэтажных поперечных рам с жесткими узлами S_i , тс/м, следует определять по формуле

$$S_i = \frac{12 E_0 J_{ii} (1 + 6 k_i)}{h_i^3 (2 + 3 k_i)}; \quad [13(10 \text{ прил. 1})]$$

где

$$k_i = \frac{h_i J_{ii}}{l_i J_{ii}}; \quad [14(11 \text{ прил. 1})]$$

E_0 — модуль упругости материала рам верхнего строения, тс/м².
 J_{ii}, J_{ii} — моменты инерции площади поперечных сечений соответственно колонны и ригеля рамы, м⁴.
 h_i, l_i — соответственно расчетная высота колонны и расчетный пролет ригеля i -той поперечной рамы, м.

Примечание. Допускается принимать расчетную высоту колонн h_i , равной расстоянию от верхней грани нижней плиты до оси ригеля (проходящей через центр тяжести площади его сечения), а расчетный пролет ригеля равным 0,9 расстояния между осями колонн.

1.35 (3 прил. 1). Коэффициенты ξ'_x и ξ'_ϕ относительного демпфирования системы фундамент — грунт следует определять по формулам:

$$\xi'_x = S_x \left(\xi_x \frac{1}{K_x} + \xi_\phi \frac{\Gamma h^2}{K_\phi} + \frac{\gamma}{2S_x^0} \right); \quad [15(12 \text{ прил. 1})]$$

$$\xi'_\phi = S_\phi \left(\xi_\phi \frac{1}{K_\phi} + \frac{\gamma}{2S_\phi^0} \right); \quad [16(13 \text{ прил. 1})]$$

где $\xi_x, \xi_\phi, \xi_\phi$ — коэффициенты относительного демпфирования для горизонтальных ξ_x и вращательных колебаний ξ_ϕ и ξ_ϕ фундамента на грунте, определяемые в соответствии с требованиями п. 1.45 главы СНиП II-19-79.

γ — коэффициент поглощения энергии при колебаниях, принятый для железобетона равным 0,1.

1.35 (4 прил. 1). Круговые частоты колебаний фундамента λ_x и λ_ϕ , с⁻¹, следует определять по формулам:

$$\lambda_x = \sqrt{\frac{S_x}{m_n}}; \quad [17(14 \text{ прил. 1})]$$

$$\lambda_\phi = \sqrt{\frac{S_\phi}{\theta_\phi}}; \quad [18(15 \text{ прил. 1})]$$

где m_n — масса системы, включающая массу всей машины, верхней плиты, продольных балок и поперечных ригелей рам, прилегающих к верхней плите, и 30% массы всех колонн фундамента, тс·с²/м;

Φ_{ψ} — момент инерции массы m_n относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести верхней плиты (горизонтальной рамы), т.с. м·с²; величину Φ_{ψ} допускается определять по приближенной формуле

$$\Phi_{\psi} \approx 0,1 \frac{m_n^2}{l^2},$$

где l — длина верхней плиты, м. [19 (16 прил. 1)]

Массивные и стелчатые фундаменты

1.35. (5 прил. 1). Амплитуды горизонтально-вращательных колебаний верхней грани массивных и стелчатых фундаментов A_r , м, следует определять по формуле

$$A_r = \frac{P_r}{K_x} \sqrt{\frac{\psi_1^2 + 4 \xi_x^2 \left(\frac{\omega}{\lambda_x}\right)^2 \psi_2^2}{\Omega_1^2 + 4 \xi_x^2 \left(\frac{\omega}{\lambda_x}\right)^2 \Omega_2^2}}. \quad [20 (17 \text{ прил. 1})]$$

где

$$\psi_1 = S_1 + \beta \frac{h_1}{h_2} S_3; \quad [21 (18 \text{ прил. 1})]$$

$$\psi_2 = S_2 + \beta \frac{h_1}{h_2} S_4; \quad [22 (19 \text{ прил. 1})]$$

$$S_1 = (1 + \beta) \left(\frac{\lambda_{\Phi}}{\lambda_x}\right)^2 + \beta (1 + \alpha) - \left(\frac{\omega}{\lambda_x}\right)^2; \quad [23 (20 \text{ прил. 1})]$$

$$S_2 = (1 + \beta) \frac{\lambda_{\Phi}}{\lambda_x} \frac{\xi_{\Phi}}{\xi_x} + \beta (1 + \alpha); \quad [24 (21 \text{ прил. 1})]$$

$$S_3 = 1 + \alpha \left[1 - \left(\frac{\omega}{\lambda_x}\right)^2\right]; \quad [25 (22 \text{ прил. 1})]$$

$$S_4 = 1 + \alpha; \quad [26 (23 \text{ прил. 1})]$$

$$\Omega_1 = \left(\frac{\omega}{\lambda_x}\right)^4 + (1 + \beta) \left\{ \left(\frac{\lambda_{\Phi}}{\lambda_x}\right)^2 - \left(\frac{\omega}{\lambda_x}\right)^2 \right\} \times$$

$$\times \left[1 + \left(\frac{\lambda_{\Phi}}{\lambda_x}\right)^2 + 4 \xi_x \xi_{\Phi} \frac{\lambda_{\Phi}}{\lambda_x} \right]; \quad [27 (24 \text{ прил. 1})]$$

$$\Omega_2 = (1 + \beta) \left\{ \left(\frac{\lambda_{\Phi}}{\lambda_x}\right)^2 + \frac{\lambda_{\Phi}}{\lambda_x} \frac{\xi_{\Phi}}{\xi_x} - \right.$$

$$\left. - \left(\frac{\omega}{\lambda_x}\right)^2 \left[1 + \frac{\lambda_{\Phi}}{\lambda_x} \frac{\xi_{\Phi}}{\xi_x} \right] \right\}; \quad [28 (25 \text{ прил. 1})]$$

$$\beta = \frac{h_2^2 m_n}{\theta}; \quad [29 (26 \text{ прил. 1})]$$

$$\alpha = \frac{M}{P_r h_2}; \quad [30 (27 \text{ прил. 1})]$$

$\lambda_x, \lambda_{\Phi}$ — круговые частоты колебаний фундамента, с⁻¹, соответственно горизонтальных и вращательных относительно горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести подошвы фундамента перпендикулярно плоскости колебаний, определяемые по формулам

$$\lambda_x = \sqrt{\frac{K_x}{m_n}}; \quad [31 (28 \text{ прил. 1})]$$

$$\lambda_{\Phi} = \sqrt{\frac{K_{\Phi}}{\theta_0}}; \quad [32 (29 \text{ прил. 1})]$$

$$\bar{K}_{\Phi} = K_{\Phi} - Q h_2, \quad [33 (30 \text{ прил. 1})]$$

K_x и K_{Φ} — коэффициенты жесткости основания, тс/м и тс·м, определяемые согласно указаниям п. 1.43 главы СНиП II-19-79; θ_0 — момент инерции массы всей установки (фундамента с засыпкой грунта на его обрезах и выступах и машин), относительно оси, проходящей через общий центр тяжести перпендикулярно плоскости колебаний тс·м·с².

θ_0 — момент инерции массы всей установки относительно оси, проходящей через центр тяжести подошвы фундамента перпендикулярно плоскости колебаний, тс·м·с², равный

$$\theta_0 = \theta + m_n h_2^2;$$

$$Q = Q_{\Phi} + Q_m;$$

Q_{Φ} и Q_m — расчетные значения веса соответственно фундамента с засыпкой грунта на его обрезах и выступах и машин, тс, определяемые с учетом указаний п. 1.35 главы СНиП II-19-79;

$m_n = \frac{G}{g} + Q_m$ — масса всей установки, тс·с²/м;

P_r — расчетная горизонтальная составляющая возмущающих сил машин, тс, определяемая по соответствующим разделам с учетом указаний п. 1.35 главы СНиП II-19-79;

M — расчетное значение возмущающего момента, тс·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 машин;

h_1, h_2 — расстояния от общего центра тяжести установки соответственно до верхней грани фундамента и до подошвы фундамента, м;

ω — круговая частота вращения машины, с⁻¹, определяемая по формуле

$$\omega = 0,105 n_{об}; \quad [34 (31 \text{ прил. 1})]$$

$n_{об}$ — число оборотов машины в 1 мин;

ξ_x, ξ_{Φ} — коэффициенты относительного демпфирования соответственно для горизонтальных и вращательных колебаний, принимаемые согласно указаниям п. 1.45 главы СНиП II-19-79.

1.35 (6 прил. 1). Главные собственные частоты колебаний установки $\lambda_{1,2}, c^{-1}$, следует определять из соотношения:

$$\left(\frac{\lambda_{1,2}}{\lambda_x}\right)^2 = \frac{Z}{2} \mp \sqrt{\left(\frac{Z}{2}\right)^2 - (1+\beta) \left(\frac{\lambda_\phi}{\lambda_x}\right)^2}, \quad [35] \text{ (32 прил. 1)]}$$

где

$$Z = (1+\beta) \left[1 + \left(\frac{\lambda_\phi}{\lambda_x}\right)^2\right]; \quad [36] \text{ (33 прил. 1)]}$$

$\lambda_x, \lambda_\phi, \beta$ — то же, что и в формулах п. 1.35 (5 прил. 1).

1.35 (7 прил. 1). Амплитуды горизонтальных A_x, m , и вращательных A_ϕ , рад, колебаний массивных и стеччатых фундаментов следует определять по формуле [20 (17 прил. 1)], принимая $S_3 = S_6 = 0$ (при определении A_x) и $S_1 = S_2 = 0, h_1 = 1$ (при определении A_ϕ).

Амплитуды горизонтально-вращательных колебаний верхней грани фундамента A_r, m , при действии только момента $M (P_r = 0)$ следует определять по формуле

$$A_r = \frac{M \beta}{K_x h_2} \times \sqrt{\left[1 + \frac{h_1}{h_2} \left(1 - \frac{\omega^2}{\lambda_x^2}\right)\right]^2 + 4E_x^2 \left(\frac{\omega}{\lambda_x}\right)^2 \left(1 + \frac{h_1}{h_2}\right)^2} \times \sqrt{\Omega_1^2 + 4E_x^2 \left(\frac{\omega}{\lambda_x}\right)^2 \Omega_2^2} \quad [37] \text{ (34 прил. 1)]}$$

Обозначения в формуле [37 (34 прил. 1)] те же, что и в формулах п. 1.35 (5 прил. 1).

1.35 (8 прил. 1). Амплитуды вертикальных колебаний массивных и стеччатых фундаментов A_v, m , следует определять по формуле

$$A_v = A_z + A'_z, \quad [38] \text{ (35 прил. 1)]}$$

где

$$A_z = \frac{P_b}{P_b} \sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\lambda_z}\right)^2\right]^2 + 4E_z^2 \left(\frac{\omega}{\lambda_z}\right)^2}, \quad [39] \text{ (36 прил. 1)]}$$

$$A'_z = \frac{P_b e l \beta}{2K_x h_2^2} \sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\lambda_x}\right)^2\right]^2 + 4E_x^2 \left(\frac{\omega}{\lambda_x}\right)^2} \times \sqrt{\Omega_1^2 + 4E_x^2 \left(\frac{\omega}{\lambda_x}\right)^2 \Omega_2^2}, \quad [40] \text{ (37 прил. 1)]}$$

P_n, e — соответственно расчетная вертикальная составляющая возмущающих сил машины, т.е. определяемая по соответствующим разделам с учетом указанных п. 1.35 главы СНиП II-19-79, и эксцентриситет ее приложения, м;
 K_z — коэффициент жесткости основания, т.е./м, определяемый согласно указаниям п. 1.43 главы СНиП II-19-79;
 λ_z — круговая частота собственных вертикальных колебаний фундамента, c^{-1} , определяется по формуле

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{K_z}{m_n}}; \quad [41] \text{ (38 прил. 1)]}$$

ξ_z — коэффициент относительного демпфирования для вертикальных колебаний, определяемый согласно указаниям п. 1.44 главы СНиП II-19-79;
 l — длина фундамента, м;

$\omega, \lambda_x, K_x, \xi_x, \Omega_1, \Omega_2, h_2, \beta$ — то же, что в формулах п. 1.35 (5 прил. 1).

1.35 (9 прил. 1). При определении амплитуд колебаний фундаментов машин с периодическими нагрузками значения коэффициентов относительного демпфирования следует принимать равными $\xi_x, \xi_\phi, \xi_r = 0$, если круговая частота вращения машины отклоняется не менее чем на 25% от собственных частот колебаний установки.

Если при работе машин возникают вертикальные A_v , горизонтальные продольные A_r^p и поперечные A_r^m колебания, то условие [(11)] рекомендуется принимать в виде

$$\sqrt{A_v^2 + (A_r^p)^2 + (A_r^m)^2} \leq A_n, \quad [42]$$

В случае когда центр тяжести установки (фундамента, машины и засыпки грунта на обрезах и выступах фундамента) и центр тяжести половы фундамента хотя и лежат в одной из главных плоскостей установки (плоскости колебаний), но не на одной вертикали, а с эксцентриситетом e , то дифференциальные уравнения вертикальных и горизонтально-вращательных колебаний фундамента уже не являются независимыми и имеют вид:

$$m_n \ddot{z} + B_z (\dot{z} - \dot{e}\phi) + K_z (z - e\phi) = P_z e^{i\omega t} \quad [43]$$

$$m_n \ddot{x} + B_x (\dot{x} - h_2 \dot{\phi}) + K_x (x - h_2 \phi) = P_x e^{i\omega t} \quad [44]$$

$$J \ddot{\phi} - B_z e (\dot{z} - \dot{e}\phi) - K_z e (z - e\phi) - B_x h_2 (\dot{x} - h_2 \dot{\phi}) - K_x h_2 (x - h_2 \phi) + V_\phi \dot{\phi} + (K_\phi - m_n g h_2) \phi = M e^{i\omega t}. \quad [45]$$

В случае свободных колебаний

$$P_z = P_x = M = 0 \quad [46]$$

В уравнениях [43]—[45] \bar{e} — эксцентриситет в распределении масс фундамента и машины; остальные обозначения те же, что и в формулах [2] и [3].

Определение амплитуд вынужденных колебаний, соответствующих уравнениям [43]—[45], производится с помощью ЭВМ.

1.36. Среднее статическое давление на основание фундамента R_{cp} должно удовлетворять условию

$$R_{cp} \leq m_0 m_1 R, \quad [47 (2)]$$

где R_{cp} — среднее давление на основание под подошвой фундамента от расчетных статических нагрузок при коэффициенте перегрузки $n=1$;

m_0 — коэффициент условий работы, учитывающий характер динамических нагрузок и ответственность машины;

m_1 — коэффициент условий работы грунтов основания, учитывающий возможность возникновения длительных деформаций при действии динамических нагрузок; численные значения коэффициентов m_0 и m_1 приведены в соответствующих разделах главы СНиП II-19-79;

R — расчетное давление на основание, определяемое в соответствии с требованиями главы СНиП по проектированию оснований зданий и сооружений.

В связи с тем, что фундаментам машин, рассматриваемых в главе СНиП II-19-79, как правило, являются жесткими и величина эксцентриситета в распределении масс фундамента и установка основания значеными, указанными в п. 1.15, проверка прочности грунта основания производится как при центральном сжатии; для случаев, когда расчет ведется с учетом эксцентриситета (в соответствии с п. 1.35), величина краевого давления при выцентрованном затружении фундамента не должна превышать значения R_{cp} , определяемого формулой [47 (2)], более чем на 25%.

В расчете по формуле [47 (2)] учитываются только статические нагрузки (вес фундамента, установок и засыпки грунта на обрезах фундамента). Влияние динамической нагрузки учтено коэффициентом условий работы m_0 . Коэффициент m_0 зависит от усреднения колебаний, возбуждаемых машиной, и величин динамического давления. Его значения приняты равным 0,5 для фундаментам со значительными динамическими воздействиями, вызванными машинами ударного действия (молоты, формовочные машины), 0,8 — для машин с периодическими нагрузками (машины с вращающимися частями, а также дробилки и мельницы) и $m_0=1$ для всех остальных типов машин.

Введение коэффициента m_1 , направлено на предотвращение развития длительных осадок фундаментов машин в результате вибропоглощения и виброзащиты слабых водонасыщенных грунтов. Значения коэффициента m_1 , установленные на основании специальных экспериментальных исследований и имеют величину, меньшую 1, для машин с периодическими нагрузками при наличии в основании фундаментов глинистых грунтов текучей консистенции, мелких и пылеватых полонисыпичных песков, а для машин с импульсным воздействием (молотов, формовочных машин) — также мелких и пылеватых маловлажных и влажных песков и водонасыщенных крутых и средней крутиности песков.

Для фундаментов ответственных объектов, чувствительных к неравномерным осадкам, значения коэффициента m_1 рекомендовано определять опытным путем.

Расчетное давление на основание R , входящее в формулу [47 (2)], определяется с учетом размеров и глубины заложения фундамента в соответствии с п. 2 приложения 4 СНиП II-15-74 «Основания зданий и сооружений».

Требования п. 1.36 относятся к фундаментам машин, возводимых на естественном основании. При устройстве свайного фундамента следует руководствоваться п. 1.51.

1.37. Расчет прочности элементов конструкций фундамента следует производить в случаях, предусмотренных в соответствующих разделах настоящей главы, руководствуясь требованиями главы СНиП по проектированию бетонных и железобетонных конструкций.

При этом в качестве расчетных нагрузок следует принимать:

а) статические нагрузки, в число которых входят вес фундамента, засыпки грунта, вес машины и вес вспомогательного оборудования, определяемые как произведение нормативных значений нагрузок и коэффициента перегрузки n , принимаемого в соответствии с требованиями главы СНиП по нагрузкам и воздействиям;

б) нагрузки, заменяющие динамическое воздействие движущихся частей машины или представляющие собой-либо особый вид силового воздействия (например, тягу вакуума, момент короткого замыкания и т.п.), определяемые по формуле [48 (3)].

Расчет прочности производится для отдельных элементов рамных и стальных фундаментов (стойки и ригели рам, бабки, стенки, плиты, консолидные выступы), а также фундаментов ленточного или балочного типа, которые подвергаются действию динамическим нагрузкам. Расчет производится по общим правилам, изложенным в главе СНиП II-21-75 «Бетонные и железобетонные конструкции», на статически действующие нагрузки, включающие постоянно действующие нагрузки от веса фундамента, машины, вспомогательного оборудования и засыпки грунта, и нагрузки, эквивалентные динамическому действию машин.

Расчет прочности массивных фундаментов машин не производится за исключением отдельных сечений, ослабленных отверстиями или выемками.

1.38. Расчетную динамическую нагрузку R_d следует определять по формуле

$$R_d = n \eta R_n, \quad [48 (3)]$$

где n и η — коэффициенты соответственно перегрузки и динамичности, принимаемые для каждого типа машин по соответствующим разделам главы СНиП II-19-79.

R_n — нормативное значение динамической нагрузки, соответствующее нормальному эксплуатационному режиму работы машины и принимаемое по соответствующим разделам главы СНиП II-19-79.

При расчете прочности элементов конструкций фундаментов допускается производить динамический расчет усний от рас-

«Стных динамических нагрузок, определяемых по формуле [48 (3)], главы СНиП II-19-79, принята и ней коэффициент динамичности $\eta = 1$.

Для элементов конструкций фундаментов обычно производят расчет прочности элементов, при этом за расчетную динамическую нагрузку принимается эквивалентная статическая нагрузка, определяемая по формуле [48 (3)]. Эта формула определяет максимально возможное динамическое воздействие машины, учитывающее опыт эксплуатации машин с динамическими нагрузками.

В случае необходимости уточнения расчетов с целью получения более экономичных решений фундаментов допускается проведение расчета прочности элементов конструкций фундаментов по усилиям, определенным из динамического расчета, более точно учитывающего характер нагрузок. Расчет производится в соответствии с рекомендациями, изложенными в нормативных документах по проектированию конструкций, испытывающих динамические воздействия («Инструкции по расчету несущих конструкций промышленных зданий и сооружений на динамические нагрузки», М., Стройиздат, 1970 и др.).

1.39. При проектировании фундаментов машин с динамическими нагрузками для строительства в сейсмических районах расчет прочности элементов фундаментов следует производить без учета сейсмических воздействий.

При расчете рамных и стеччатых фундаментов на сейсмические воздействия в особое сочетание нагрузок не включаются динамические нагрузки, создаваемые машинами.

Расчет рамных и стеччатых фундаментов машин на сейсмические воздействия производится в соответствии с существующей методикой расчета, изложенной в главе СНиП II-7-81.

1.40. Расчет прочности нижних фундаментных плит или лент следует производить исходя из линейного распределения реактивной нагрузки по опорной площади: равномерной — в случае нагрузки, симметричной относительно середины плиты (ленты), и трапециевидной — в случае эксцентриситетной нагрузки.

Нагрузки от колонн или стен следует принимать соответствующим образом в точках или распределенными по линиям пересечения плит со средними плоскостями стен.

1.41. Основную упругую характеристику естественных оснований фундаментов машин — коэффициент упругого равно-результатам испытаний.

При отсутствии экспериментальных данных значение C_z для фундаментов с площадью подошвы F не более 200 м² допускается определять по формуле

$$C_z = b_0 E \left(1 + \sqrt{\frac{F_0}{F}} \right), \quad [49 (4)]$$

где b_0 — коэффициент, м⁻¹, принимаемый равным для песков 1, для супесей и суглинков 1,2, для глин и крупнообломочных грунтов 1,5;

E — модуль деформации грунта, тс/м², определяемый в соответствии с требованиями главы СНиП по проектированию оснований зданий и сооружений;

F — площадь подошвы фундамента, м²;

$F_0 = 10 \cdot m^2$.

Для фундаментов с площадью подошвы F , превышающей 200 м², значение коэффициента C_z принимается как для фундаментов с площадью подошвы $F = 200 \text{ м}^2$.

Значения удельных характеристик основания (C_z , C_ϕ , C_x , C_ψ) должны определяться, как правило, опытным путем по результатам испытаний на свободные или вынужденные колебания фундаментов действующих машин (моготов, компрессоров и пр.), введенных на таких же грунтах, что и проектируемый фундамент, или специализированных опытных фундаментов, в соответствии с методикой, изложенной в прил. 1 настоящего руководства. В некоторых случаях для предварительных оценок могут быть использованы лабораторные методы определения упругих свойств грунтов.

Приведенная в СНиП формула [49 (4)] получена на основе обобщения экспериментальных данных и при площади фундамента $F = 10 \text{ м}^2$ значение $C_z = 2b_0 E$ зависит только от свойств грунта. Эта зависимость получена на основании корреляции между модулем упругости, модулем деформации и условным расчетным давлением на грунты оснований с учетом экспериментальных данных о значении C_z для различных типов грунтов.

При определении C_z по формуле [49 (4)] модуль деформации грунта E предпочтительно определять по данным полевых штамповых испытаний в соответствии с существующей методикой. При отсутствии таких испытаний модуль деформации определяется по таблицам прил. 2 СНиП II-15-74 в зависимости от свойств грунта.

В случае неоднородных грунтов значение модуля деформации E следует определять в соответствии с указаниями п. 3.245 Руководства по проектированию оснований зданий и сооружений, Москва, 1978.

С целью более точной оценки коэффициентов жесткости оснований следует учитывать влияние рода дополнителных факторов, таких как наличие пола, боковой засыпки фундамента и др., на увеличение этих коэффициентов, проводя для этого специ-альные исследования.

1.42. Коэффициенты упругого неравномерного сжатия C_ϕ (тс/м², упругого равномерного сдвига C_x , тс/м², и упругого неравномерного сдвига C_ψ , тс/м², принимаются равными:

$$\begin{aligned} C_\phi &= 2 C_z; & [50 (5)] \\ C_x &= 0,7 C_z; & [51 (6)] \\ C_\psi &= C_z. & [52 (7)] \end{aligned}$$

При определении упругих характеристик допускается определять опытным путем один из коэффициентов C_z , C_ϕ , C_x или C_ψ . Остальные находятся расчетом по формулам [50 (5)]—[52 (7)].

1.43. Коэффициенты жесткости для естественных оснований K_z , K_ϕ , K_x и K_ψ определяются по формулам:

$$\begin{aligned} a) \text{ при упругом равномерном сжатии — } K_z, \text{ тс/м,} & [53 (8)] \\ K_z &= C_z F; \end{aligned}$$

б) при упругом неравномерном сжатии (повороте подошвы фундамента относительно горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести подошвы фундамента перпендикулярно плоскости колебаний) — K_{ϕ} , тс·м,

$$K_{\phi} = C_{\phi} J; \quad [54 (9)]$$

в) при упругом равномерном сдвиге — K_x , тс/м,

$$K_x = C_x F; \quad [55 (10)]$$

г) при упругом неравномерном сдвиге (повороте подошвы фундамента относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести подошвы фундамента) — K_{ψ} , тс·м,

$$K_{\psi} = C_{\psi} J_{\psi}; \quad [56 (11)]$$

где F — площадь подошвы фундамента, м²;
 J , J_{ψ} — соответственно момент инерции площади подошвы фундамента относительно горизонтальной и вертикальной осей, м⁴.

1.44. Демпфирующие свойства основания должны учитываться коэффициентами относительного демпфирования ξ (для критического затухания колебаний), определяемыми, как правило, по результатам испытаний.

При отсутствии экспериментальных данных значение коэффициента относительного демпфирования для вертикальных колебаний ξ_z допускается определять по формулам:

$$\xi_z = \frac{0,7}{V_{Pcp}}; \quad [57 (12)]$$

б) для неустановившихся (импульсных) колебаний

$$\xi_z = 2 \sqrt{\frac{E}{C_z P_{cp}}}, \quad [58 (13)]$$

где P_{cp} — то же, что в п. 1.36 главы СНиП II-19-79, тс/м²;
 E , C_z — значения те же, что в п. 1.41 главы СНиП II-19-79.

Формулы [57 (12)] и [58 (13)] получены на основе решения задачи о колебаниях фундамента с учетом волнового взаимодействия с грунтом основания и особенностей наложения энергии колебаний в грунт при стационарных и нестационарных колебаниях, а также использования экспериментальных данных о влиянии статического давления фундамента на динамические характеристики грунта основания.

Коэффициент относительного демпфирования для вертикальных колебаний ξ_z связан с коэффициентом демпфирования упруговязкого основания B_z (см. уравнение [2]) следующим образом:

$$\xi_z = \frac{B_z}{2 m_n \lambda_z} = \frac{B_z}{2 \sqrt{K_z m_n}}, \quad [59]$$

где m_n — то же, что в п. 1.35;

λ_z — круговая частота свободных вертикальных колебаний участка;

K_z — коэффициент жесткости при упругом равномерном сжатии

Значения характеристик демпфирования должны определяться, как правило, опытным путем по данным свободных или вынужденных колебаний в соответствии с методикой, изложенной в прил. 1 настоящего Руководства.

1.45. Значения коэффициентов относительного демпфирования для горизонтальных колебаний ξ_x и вращательных колебаний относительно горизонтальной ξ_{ϕ} и вертикальной ξ_{ψ} осей принимаются равными:

$$\xi_x = 0,6 \xi_z; \quad [60 (14)]$$

$$\xi_{\phi} = 0,5 \xi_z; \quad [61 (15)]$$

$$\xi_{\psi} = 0,3 \xi_z; \quad [62 (16)]$$

или, если из опыта известны модули затухания колебаний ϕ , ψ — по формуле

$$\xi_{z,x,\phi,\psi} = \frac{\phi_{z,x,\phi,\psi} \lambda_{z,x,\phi,\psi}}{2}, \quad [63 (17)]$$

где $\lambda_{z,x,\phi,\psi}$ — круговые частоты колебаний, определяемые по соответствующим разделам главы СНиП II-19-79.

Соотношения между коэффициентами демпфирования для различных видов колебаний установлены на основании обобщения существующих экспериментальных данных и могут уточняться опытным путем.

Модуль затухания колебаний ϕ представляет собой характеристику грунта, связанную с коэффициентом демпфирования B_z (см. формулу [2]) следующим соотношением:

$$\phi_z = \frac{B_z}{m_n \lambda_z^2} = \frac{B_z}{K_z}. \quad [64]$$

Обозначения в формуле [64] те же, что и в [59].

При введении модуля затухания ϕ_z дифференциальное уравнение вертикальных колебаний фундамента [2] имеет вид

$$m_n \ddot{z} + K_z (z + \phi_z \dot{z}) = P_z e^{i\omega t}. \quad [65]$$

1.46. При групповой установке i однотипных машин на общем фундаменте, где $i \geq 2$, значения амплитуд колебаний A фундамента следует определять по формуле

$$A = k \sqrt{\sum_{i=1}^i A_i^2}, \quad [66 (18)]$$

где k — коэффициент, принимаемый для машин с синхронными двигателями равным 1,5, для машин с асинхронными двигателями 1,3 и молотов 0,7;

A_i — амплитуда колебаний фундамента при работе i -той машины.

При групповой установке различного типа машин на общем фундаменте амплитуду колебаний фундамента следует определять как сумму амплитуд колебаний, вызываемых работой каждой из машин.

Расчетные амплитуды должны удовлетворять условию [1 (1)] κ .

При установке машин на отдельно стоящих фундаментах амплитуду колебаний каждого фундамента следует определять с учетом колебаний, распространяющихся в грунте при работе машин, установленных на других фундаментах. При этом максимальные предельно допускаемые амплитуды колебаний фундаментов A_d следует принимать на 30% более значительными, чем амплитуды, приведенных в соответствующих разделах.

Определение уровня колебаний фундаментов при установке в цехе нескольких машин на отдельно стоящих фундаментах следует производить с учетом кинематического возбуждения, передаваемого через грунт от соседних фундаментов.

Амплитуда колебаний фундамента-приемника от кинематического возбуждения, равная сумме амплитуд относительного и переносного колебаний, определяется по формуле

$$A_{в,г} = \sqrt{1 + 4\zeta_{в,г}^2 \frac{\omega^2}{\lambda_{в,г}^2} + 4\zeta_{в,г}^2 \frac{\omega^2}{\lambda_{в,г}^2}} A_{пер} \quad [67]$$

где $A_{пер}$ — амплитуда вертикальных (или горизонтальных) без учета вращения колебаний грунта в уровне подошвы фундамента-приемника, определяемая по формуле [68 (19)] п. 1.47 в зависимости от амплитуды вертикальных (или горизонтальных) колебаний A_0 фундамента-источника в уровне его подошвы;

$\lambda_{в,г}$ — круговая частота собственных колебаний фундамента-приемника, c^{-1} ;

$\omega_{в,г}$ — круговая частота колебаний фундамента-источника, соответствующая его вынужденным или собственным колебаниям, вынуждающим колебания грунта, c^{-1} ;

$\zeta_{в,г}$ — коэффициент относительного демпфирования, определяемый в соответствии с пп. 1.44, 1.45.

Амплитуды колебаний фундамента, полученные по формуле [67] от действия соседних фундаментов, расположенных на различных расстояниях, суммируются с амплитудой колебаний от действия машин, установленной на этом фундаменте.

1.47. Расчет амплитуд вертикальных (горизонтальных) колебаний грунта соответственно при вертикальных (горизонтальных) выбросах фундамента машин следует производить по формуле

$$A = A_0 \left\{ \frac{1}{\delta [1 + (\delta - 1)^2]} + \frac{\delta^2 - 1}{(\delta^2 + 1) \sqrt{3\delta}} \right\} \quad [68 (19)]$$

где A — амплитуда вертикальных (горизонтальных) колебаний грунта на поверхности в точке, расположенной на расстоянии r от оси фундамента, т. е. источника волн в грунте;

A_0 — амплитуда свободных или вынужденных вертикальных (горизонтальных) колебаний фундамента, т. е. источника волн

в грунте, определяемая для различных видов машин по указанным соответствующим разделам главы СНиП II-19-79;

$$\delta = \frac{r}{r_0};$$

r_0 — приведенный радиус подошвы фундамента, м, равный $\frac{V}{\pi}$;

V — то же, что в п. 1.41 главы СНиП II-19-79. Частоту волн, распространяющихся в грунте, следует принимать равной частоте колебаний фундамента машин.

При этом в целях уточнения амплитуд колебаний, распространяющихся в грунте, допускается производить прогнозирование колебаний грунта на основе специальных экспериментальных исследований.

Расчет амплитуд колебаний, распространяющихся в грунте от фундамента-источника, производится в тех случаях, когда необходимо оценить влияние колебаний фундаментов машин с динамическими нагрузками на другие объекты (например, конструктивные здания или на специальные фундаменты, чувствительные к выбросам оборудования и аппаратуры и пр.), а также определить амплитуду колебаний фундаментов машин при групповой их установке в цехе (см. п. 1.46). При этом следует иметь в виду, что в формуле [68 (19)] значение амплитуды A_0 соответствует колебаниям фундамента-источника в уровне его подошвы. В связи с этим определение амплитуды A_0 при горизонтально-вращательных колебаниях фундамента следует производить, заменяя r_0 в формулах [21 (18 прил. 1)], [22 (19 прил. 1)], [37 (34 прил. 1)] на $r_{вz}$.

Значения амплитуд колебаний грунта A , соответствующие формуле [68 (19)], могут быть определены также по формуле $A = A_0 K(\delta)$, где $K(\delta)$ определяется по графику на рис. 1. График получен на основе обобщения имеющихся экспериментальных данных, согласно которым амплитуды распространяющихся колебаний при $\delta \leq 3$ пропорциональны $1/\delta$, а при $\delta \geq 2$ пропорциональны $1/\sqrt{3\delta}$.

Формула [68 (19)] является ориентировочной, так как не учитывает многие факторы, в частности, свойства грунта (его плотность, влажность), характер динамического воздействия и пр.

При повышенных требованиях к точности определения ожидаемых колебаний грунта и сооружений (участки с прецессионным обводнением расположенных близко к фундаментам машин, установка в существующих зданиях новых машин с большими динамическими нагрузками и т. д.) для прогнозирования ожидаемых колебаний

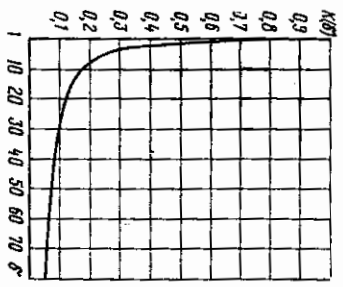


Рис. 1. График зависимости коэффициента $K(\delta)$ от расстояния δ до источника колебаний

грунта следует применять способ, основой которого являются экспериментально определенные минимальные переходные функции системы основание фундамента — грунт на некотором удалении от фундамента. Способ позволяет с достаточной для инженерной практики точностью определить зависимость осадок вертикальных и горизонтальных перемещений грунта при распространении волн от проектируемых фундаментов под машины с вертикальными нагрузками, изменяющимися во времени по произвольному закону. Методика проведения работ приведена в прил. 3 настоящего руководства.

1.48. При проектировании фундаментов зданий и сооружений, чувствительных к неравномерным осадкам и воспринимающим динамические нагрузки, передаваемые машинными через строительные конструкции или грунт, среднее статическое давление на основание этих фундаментов должно удовлетворять условию

$$p_p \leq m_1 R,$$

[69 (20)]

где m_1 и R — то же, что и в п. 1.36 главы СНиП II-19-79.

Введение дополнительного коэффициента условий работы грунтов основания m_1 при проектировании зданий и сооружений, расположенных вблизи фундаментов машин с динамическими нагрузками, имеет своей целью предотвратить развитие дополнительных вибраций. Коэффициенты m_1 вводятся при наличии в основании фундаментов зданий волнасыщенных пылеватых и мелкозернистых песков, глинистых грунтов текучей консистенции и других слабых грунтов и возбуждении колебаний мощными машинами, такими, например, как турбоагрегаты, компрессоры, мельницы, дробилки, кузнечные молоты, формовочные машины, копровые бойные площадки, вызывающими значительные колебания окружающего грунта.

Значения коэффициентов m_1 , полученные на основании экспериментальных исследований, учитывающих уровень статического и динамического давления, амплитуды и частоты колебаний.

Особенности проектирования свайных фундаментов

1.49. Свайные фундаменты машин следует применять, если: а) при проектировании фундаментов на ответственном основании не удовлетворяются условия [1 (1)] или [47 (2)] пп. 1.35 и 1.36 главы СНиП II-19-79;

б) строительная площадка сложена сильно и неравномерно сжимаемыми грунтами (см. п. 1.13), использование которых в качестве естественного основания может привести к недопустимым осадкам и перекосам фундамента;

в) степеньность площадки не позволяет разместить фундамент на естественном основании.

Выбор типа фундамента (фундамент на естественном основании или свайный) в каждом случае производится исходя из технико-экономического сравнения вариантов. Экономически наиболее выгодно использовать сваи для возведения глубоких фундаментов бесподвального типа, например, под прокатные станы, тяжелые кузнечные молоты и копровые установки, когда с поверхностью пло-

щадки на значительную глубину залегают слабые грунты. В таких случаях за счет применения свай достигается значительный технико-экономический эффект.

В некоторых случаях применение свай не вызывается требованиями п. 1.49, но дает возможность унфицировать методы производства работ, исключает необходимость выноса земляных работ и оказывается эффективным для строительства объектов в целом. В таких случаях вопрос о выборе типа фундамента принимается на основе всестороннего технико-экономического обоснования.

Необходимость применения свай может возникнуть и при радиальном заделании сильно сжимаемых грунтов. Так, например, в тех случаях, когда основание представляет мощную толщу мелкозернистых водонасыщенных грунтов, фундаменты под крупные высоконапорные машины, в частности под мощные турбоагрегаты, могут давать длительные несущающие неравномерные осадки. В таких случаях применение свайных фундаментов исключает опасность возникновения длительных осадок под влиянием высококачественных вибраций.

Широкое применение свайные фундаменты имеют в районах распространения мелкозернистых грунтов, где во многих случаях это единственно возможный вариант.

1.50. Для фундаментов машин с периодическими нагрузками возможно применение свай любых видов, предусмотренных главой СНиП по проектированию свайных фундаментов; для фундаментов машин ударного действия следует применять только железобетонные сваи сплошного сечения.

Расстояние между центрами свай в свайных фундаментах из высячих свай следует, как правило, принимать не менее $5d$ и не более $10d$ (где d — диаметр или меньший размер стороны поперечного сечения свай).

В зависимости от характера напластования грунтов для возведения фундаментов под машины могут применяться как высячие сваи, так и сваи-стойки.

Выбор длины свай производится в соответствии с нормами проектирования свайных фундаментов в зависимости от грунтовых условий площадки с учетом особенностей динамического воздействия машины.

Конструирование свайных фундаментов машин производится по общепринятым правилам с учетом следующих дополнительных замечаний.

При выборе типа свай учитываются следующие:

а) для фундаментов под машины с преобладающими вертикальными динамическими нагрузками рекомендуется применять железобетонные сваи сплошного сечения;

б) для фундаментов, нагруженных горизонтальными динамическими нагрузками, могут применяться как сваи сплошного сечения, так и полые круглые сваи; возможно также применение трапециевидных свай.

При значительных горизонтальных динамических нагрузках рекомендуется увеличивать глубину заделки свай в тело фундамента до 1,5—2 d . При этом особое внимание должно уделяться обеспечению надежного замоноличивания оголовков свай в фундаменте.

Статические давления, передаваемые фундаментами машин на основание, как правило, относительно невелики. Так, для фундаментов бесподвального типа они редко превышают 0,6 кгс/см², для

фундаментов подвального типа они изменяются обычно в пределах 1,2—1,8 кг/см². Поэтому при отсутствии значительных динамических нагрузок для фундаментов под машины целесообразно назначить более разреженную сетку свай, чем для фундаментов зданий. Однако в тех случаях, когда фундаменты машин воспринимают значительные динамические нагрузки, необходимо сократить шаг свай, доводя его в отсуслыных случаях до 3д.

При разреженном расположении свай под фундаментами плитам прочность плит необходимо проверять статическим расчетом. Общее количество свай назначается исходя из их несущей способности при действии статических нагрузок с последующей проверкой динамическим расчетом. В случае когда применение свай обусловливается невыполнением условия [1] (1) п. 1.35, количество свай определяется из динамического расчета.

1.51. В свайных фундаментах машин расчет несущей способности свай из условия сопротивления грунта основания следует производить на действие расчетных статических нагрузок в соответствии с требованиями главы СНиП по проектированию свайных фундаментов с учетом дополнительных коэффициентов условий работы $m_{св}$, принимаемых равными для вязких свай 0,8, для свай-стоек — 1, и коэффициентов условий работы грунтов основания $m_{гос}$, принимаемых равными 0,7 при прорезании вязкими сваями рыхлых песков любой крупности и влажности, мелких и пылеватых волооасыщенных песков и глинистых грунтов с показателем консолидации $I_c > 0,6$. В случае опирания вязких свай на такие грунты несущую способность свай следует определять по результатам испытаний динамической нагрузкой. Для всех остальных видов и состояний грунтов, а также для свай-стоек $m_{св} = 1$.

Расчет свайных фундаментов машин по несущей способности грунтов основания должен производиться на основное сочетание нагрузок по формуле (1) СНиП II-IV-77 «Свайные фундаменты. Нормы проектирования», при этом величину Φ следует заменять величиной Φ_d , представляющей собой расчетную несущую способность грунтов основания одиночной свай с учетом динамических воздействий и определяемой для свай-стоек и вязких свай, прорезающих однородные грунты, по формуле

$$\Phi_d = m_{св} m_{гос} \Phi, \quad [70]$$

где $m_{св}$ и $m_{гос}$ — коэффициенты условий работы и условий работы грунтов основания, соответственно принимаемые по указанным п. 1.51;

Φ — несущая способность свай в статических условиях, определяемая в зависимости от вида свай и грунтовых условий в соответствии с требованиями СНиП II-IV-77.

В случае если вязкие свай прорезают неоднородные слои грунта, то их несущая способность с учетом динамических воздействий определяется по формуле

$$\Phi_d = m_{св} m_{гос}^0 R F + u \sum m_{гос}^* f_i l_i, \quad [71]$$

где $m_{св}$, $m_{гос}$, F , R , u , $m_{гос}^*$, f_i , l_i — значения те же, что и в формулах (7) и (9) СНиП II-IV-77;

$m_{гос}^0$ — то же, что в формуле [70];

$m_{гос}^*$, $m_{гос}^0$ — коэффициенты условий работы, учитывающие умень-

шение сопротивления грунта соответственно под нижним концом и по боковой поверхности свай при динамических воздействиях.

В зависимости от вида грунтовых условий коэффициенты $m_{гос}$ и $m_{гос}^*$ определяются следующим образом:

а) при прорезании сваями рыхлых песков любой крупности и влажности, мелких и пылеватых водооасыщенных песков любой плотности и глинистых грунтов с показателем консолидации $I_c > 0,6$ принимается $m_{гос} = 0,5$;

б) при прорезании глинистых грунтов с показателем консолидации $0,25 \leq I_c \leq 0,6$, пылеватых, мелких и средней крупности песков средней плотности любой влажности, кроме указанных в п. а), принимается $m_{гос} = 0,7$;

в) при прорезании грунтов, не указанных в пп. а) и б), принимается $m_{гос} = 1$;

г) при опирании нижних концов свай в грунты, указанные в пп. б) и в), принимается, соответственно, $m_{гос} = 0,7$ и $m_{гос}^0 = 1$.

Примечания: 1. При опирании нижних концов свай в грунты, указанные в п. «а», несущая способность свай с учетом динамических воздействий определяется по результатам испытаний свай длительно действующими динамическими нагрузками по методике, приведенной в прил. 2 к настоящему руководству.

2. Несущая способность свай с учетом динамических воздействий в грунтовых условиях I типа по просадочности определяется по формуле [71], при этом значения расчетного сопротивления грунта R и f_i , а также коэффициенты условий работы $m_{гос}$ и $m_{гос}^*$ необходимо определять с учетом возможного замачивания просадочных грунтов при значенных показателях консолидации, определенных в соответствии с указаниями п. 9.6 СНиП II-IV-77; при определении несущей способности свай с учетом динамических воздействий в грунтовых условиях II типа по просадочности наряду с перечисленными требованиями необходимо выполнять также указания п. 9.10 СНиП II-IV-77.

1.52. Расчет свайных фундаментов машин на колебания следует производить по тем же формулам, что и для фундаментов на естественном основании, при введении вместо значений характеристик масс и жесткостей $m_{пр}$, θ , θ_0 , $K_{пр}$, $K_{ф.пр}$ соответствующих им приведенных значений $m_{пр}^*$, $\theta_{пр}^*$, $\theta_{0,пр}^*$, $K_{пр}^*$, $K_{ф.пр}^*$:

$$m_{пр}^* = m_{пр} + \rho^* \sum_{i=1}^n m_{гос}^*, \quad [72] \quad (21)$$

$$K_{пр}^* = n E_0 d^2 \bar{\rho} \frac{\bar{\rho} \ln \bar{\rho} l + \alpha}{\bar{\rho} + \alpha \ln \bar{\rho} l}; \quad [73] \quad (22)$$

$$\bar{\rho} = \frac{k_1}{\sqrt{E_0 d}}; \quad \alpha = \frac{C_2^*}{E_0}, \quad [74] \quad (23)$$

где $m_{пр}$ — общая масса растверка с установленной на нем машиной, тс·с²/м;

$m_{i, \text{св}}$ — масса i -той сваи, $\text{гс} \cdot \text{с}^2/\text{м}$;
 n — число свай;

ν^* — коэффициент, принимаемый равным $k_2(0,2 + 0,8 \ln \frac{b}{l})$;

l — тангенс гиперболический;

C_2^* — коэффициент упругого равномерного сжатия грунта на уровне нижних концов свай, $\text{тс}/\text{м}^2$, определяемый по формуле [49(4)], в которой площадь подошвы фундамента F принимается равной площади поперечного сечения свай, а значение коэффициента b_0 для забивных свай удваивается;

E_0 — начальный модуль упругости бетона, $\text{тс}/\text{м}^2$, принимаемый в соответствии с главой СНиП по проектированию бетонных и железобетонных конструкций;

l — длина свай, м;

d — сторона поперечного сечения свай, м;

k_1 — коэффициент, учитывающий упругое сопротивление грунта по боковой поверхности свай, принимаемый равным $10^2 \text{ тс}^2/\text{м}^2$;

k_2 — коэффициент, учитывающий влияние свойств прорезаемого грунта на приведенную массу свайного фундамента, принимаемый равным 2;

6) для горизонтально-вращательных колебаний свайных фунда-

$$0_{np} = 0_p + \nu^* \sum_{i=1}^n m_{i, \text{св}} r_i^2; \quad [75(24)]$$

$$0_{np} = 0_{np} + h_0^2 m_p; \quad [76(25)]$$

$$K_{\text{свп}} = \frac{K_{\text{свп}}}{n} \sum_{i=1}^n r_i^2; \quad [77(26)]$$

где ν^* — момент инерции массы дотверка и машины относительно горизонтальной оси, проходящей через их общий центр тяжести перпендикулярно плоскости колебаний, $\text{тс} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$;

h_0 — расстояние от центра тяжести массы m_p до подошвы дотверка, м;

r_i — расстояние от оси i -той сваи до оси поворота подошвы фундамента, м;

$K_{\text{свп}}$ — приведенный коэффициент жесткости свайного фундамента, $\text{тс}/\text{м}$, определяемый по формуле [73(22)];

ν^* , m_p , $m_{i, \text{св}}$, n — то же, что и в формулах [72(21)]—[74(23)]. Коэффициенты жесткости при упругом равномерном и неравномерном сдвиге свайного фундамента K_x , $\text{тс}/\text{м}$, и K_ϕ , $\text{тс} \cdot \text{м}$, следует принимать такими же, как и для фундаментов на естественном основании, считая площадь фундамента и момент инерции его подошвы такими же, как для дотверка.

Формулы для определения динамических характеристик свайных фундаментов машин [72(21)]—[77(26)] были получены в предположении, что свай прорезает однородные грунты, для которых принято некоторое усредненное значение упругого сопротивления грунта по боковой поверхности, соответствующее песчаным глинистым грунтам мягкопластичной консистенции и некоторым видам песчаных грунтов.

Более точный расчет, позволяющий определить динамические характеристики свайных фундаментов машин для широкотелого круга грунтовых условий с учетом неоднородности и неоднородности грунтов, может быть выполнен следующим образом (см. расчетную схему свай на рис. 2):

1. Коэффициент жесткости свайного фундамента при упругом равномерном сжатии $K_{\text{свп}}$ определяется по формуле

$$K_{\text{свп}} = n \gamma_1 \frac{1 + \frac{B_1}{A_1} \operatorname{th} \bar{\nu}_1 l}{\frac{B_1}{A_1} \operatorname{th} \bar{\nu}_1 l + \frac{B_1}{A_1}}; \quad [78]$$

Если свая прорезает однородные грунты, то входящие в выражение [78] величины определяются по следующим формулам:

$$\gamma_1 = \sqrt{E_0 F_1 \gamma_1 \gamma_1}; \quad [79]$$

$$\frac{B_1}{A_1} = \frac{\bar{\nu}_1}{\alpha}; \quad [80]$$

$$\bar{\nu}_1 = \sqrt{\frac{c_1 \gamma_1}{E_0 F_1}}; \quad [81]$$

$$\alpha = \frac{c_2^*}{E_0}; \quad [82]$$

где E_0 , n — значения те же, что и в формуле [73(22)];

F_1 — площадь поперечного сечения свай;

c_1 — периметр свай;

l_1 — длина свай;

c_2^* — значение то же, что и в формуле [74(23)];

γ_1 — удельное упругое сопротивление грунта на боковой поверхности свай, принимаемое по табл. 1 и 2.

Таблица 1

Показатель консистенции I_L глинистых грунтов	Удельное упругое сопротивление γ_1 , $\text{тс}/\text{м}^2$
$0,75 < I_L \leq 1$	1500—500
$0,5 < I_L \leq 0,75$	3000—1500
$0,25 < I_L \leq 0,5$	4500—3000
$0 < I_L \leq 0,25$	6000—4500

Примечания: 1. Для промежуточных значений I_L величина γ_1 определяется интерполяцией.

2. Для просадочных грунтов значения упругого сопротивления γ_1 определяются как для глинистых грунтов с показателем консолидации I_L , соответствующим природной влажности или с учетом возможного замачивания в соответствии с п. 9.6 СНиП II-17-77.

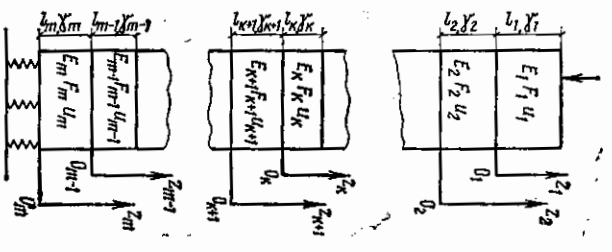


Рис. 2. Расчетная схема свай для неоднородного грунта

Таблица 2

Вид и плотность песчаных грунтов	Удельное упругое сопротивление грунтов различной влажности, γ_k , тс/м ³		
	водонасыщенные	влажные	наполаженные
Пески средней крупности			
рыхлаые	1500	2000	3000
средней плотности	3000	4000	5000
Пески мелкие			
рыхлаые	1000	1500	2500
средней плотности	2000	3000	4000
Пески пылеватые			
рыхлаые	500	1000	1500
средней плотности	1000	1500	2500

Примечание. Удельное упругое сопротивление для плотных песчаных грунтов должно приниматься на 50% выше, чем наибольшее значение указанных в табл. 2 значений γ_k для данного вида грунта.

Если свая прорезает неоднородные слои грунта, то предва- рительно вычисляются отношения B_k/A_k для каждого из слоев, начиная с нижнего (m -го) до верхнего (первого) по формулам:

$$\frac{B_k}{A_k} = \frac{\gamma_k}{\gamma_{k+1}} \frac{\text{th} \bar{v}_{k+1} l_{k+1} + \frac{B_{k+1}}{A_{k+1}}}{\text{th} \bar{v}_{k+1} l_{k+1} + 1}; \quad [83]$$

$$\gamma_k = \sqrt{E_6 F_k} \gamma_k \gamma_k; \quad \bar{v}_k = \sqrt{\frac{c_k \gamma_k}{E_6 F_k}}. \quad [84]$$

При этом для нижнего слоя при $k+1=m$

$$\frac{B_{k+1}}{A_{k+1}} = \frac{v_m}{A_m} = \frac{\bar{v}_m}{a}, \quad [85]$$

$$\bar{v}_m = \sqrt{\frac{c_m \gamma_m}{E_6 F_m}}.$$

Полученное при последовательном вычислении от $k+1=m$ до 1 по формуле [83] значение отношения B_k/A_k для верхнего слоя затем подставляется в формулу [78].

2. Коэффициент β^* , входящий в формулы [72(21)] и [75(24)] при наличии неоднородных грунтов следует вычислять по формуле

$$\beta^* = k_2 \frac{l^*}{l}, \quad [86]$$

где

$$k_2 = \frac{\gamma_{cp}}{\gamma}; \quad l^*/l = 0,2 + 0,8 \text{ th } 6/l;$$

$$\gamma_{cp} = \frac{\sum_{k=1}^l \gamma_k l_k}{\sum_{k=1}^l l_k}; \quad [87]$$

γ_{cp} — средневзвешенное значение удельного упругого сопротивления грунта на боковой поверхности свай; определяется вдоль верхнего участка свай длиной l^* при вертикальных колебаниях и вдоль участка длиной $l^*/3$ при горизонтально-вращательных колебаниях;

l — длина свай;

γ_k — удельное упругое сопротивление грунта на боковой поверхности в k -том слое;

l_k — толщина k -го слоя грунта;

γ — коэффициент, принимаемый при вертикальных колебаниях $\gamma = 1000$ тс/м³, при горизонтально-вращательных колебаниях $\gamma = 3000$ тс/м³.

3. Коэффициент жесткости свайного фундамента при упругом равномерном сдвиге K_{up} при необходимости его уточнения определяется по формуле

$$K_{up} = \frac{n \bar{\alpha}^3 E_6 l}{p}, \quad [88]$$

где n — число свай;

$E_6 l$ — жесткость поперечного сечения свай на изгиб;

α — коэффициент упругой деформации системы «свая—грунт», определяемый по формуле

$$\alpha = 1,6 \alpha_1; \quad [89]$$

α_1 — коэффициент деформации, определяемый по формуле (6)

Приложения главы СНиП II-17-77.

Значения коэффициента p вычисляются следующим образом:

для свай, шарнирно-сопряженных с низким ростверком, и для свай, защемленных в нижней ростверк, соответственно по формулам:

$$p = A_0; \quad [90]$$

$$p = A_0 - \frac{B_0^2}{C_0}; \quad [91]$$

для свай, шарнирно-сопряженных с высоким ростверком, и для свай, защемленных в высокий ростверк, соответственно по формулам:

$$p = a_0; \quad [92]$$

$$p = a_0 - \bar{b}_0; \quad [93]$$

где

$$a_0 = A_0 + 2B_0 l_0 \bar{\alpha} + C_0 (l_0 \bar{\alpha})^2 + \frac{(l_0 \bar{\alpha})^3}{3}; \quad [94]$$

$$\bar{b}_0 = \frac{1}{C_0 + l_0 \bar{\alpha}} \left[B_0 + C_0 l_0 \bar{\alpha} + \frac{(l_0 \bar{\alpha})^2}{2} \right]; \quad [95]$$

A_0, B_0, C_0 — коэффициенты, зависящие от приведенной глубины погружения свая $l = ad$ и условий опирания нижнего конца сваи, определяются по табл. 2 Приложения главы СНиП II-17-77;

l_0 — расстояние от подошвы ростверка до поверхности грунта.

4. Для горизонтальных колебаний свайных фундаментов при определении по формуле [72(2)] с вычислением β^* по формуле [86] как для горизонтально-вращательных колебаний.

$$K_{\text{фпр}} = \frac{K_{\text{нпр}}}{n} \sum_{i=1}^n \frac{r_i^2}{r_i^2}; \quad [96]$$

в которой $K_{\text{нпр}}$ вычисляется по формуле [88], n — число свай, r_i — расстояние от оси i -той сваи до вертикальной оси, проходящей через центр тяжести подошвы фундамента, м.

6. Момент инерции свайного фундамента относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести подошвы фундамента, определяется по формуле

$$\Theta_{\text{фпр}} = \Theta_{\text{фпр}} + \beta^* \sum_{i=1}^n m_{\text{св}} r_i^2; \quad [97]$$

где $\Theta_{\text{фр}}$ — момент инерции массы ростверка и машины относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести подошвы фундамента, тс·м·с²;

β^* — коэффициент, определяемый по формуле [86] как для вертикальных колебаний;

r_i — то же, что в формуле [96].

1.53. Значения коэффициентов относительного демпфирования ξ_x для свайного фундамента следует принимать равными 0,2 для установившихся колебаний и 0,5 — для неустановившихся колебаний. Значения коэффициентов относительного демпфирования $\xi_x, \xi_{\text{фр}}, \xi_{\text{ф}}$ определяются по формулам [60(14)]—[62(16)] главы СНиП II-19-79.

При необходимости уточнения значений коэффициентов относительного демпфирования (для ответственных сооружений) следует проводить динамические испытания по методике, изложенной в прил. 2 настоящего руководства.

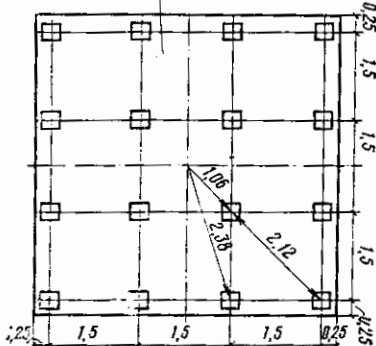
46

ПРИМЕР РАСЧЕТА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВАЙНОГО ФУНДАМЕНТА

Требуется определить динамические характеристики свайного фундамента машины, возбуджающей гармонические колебания. Свайный фундамент включает 16 железобетонных призматических свай из бетона марки 300 сечением 30×30 см и длиной 12 м, шаг свай по квадратной сетке с шагом 1,5 м. План расположения свай показан на рис. 3.

Свай пронзают слой мелких рыхлых водонасыщенных песков толщиной 5 м, слой текучеplastичных суглинков с показателем консистенции $I_L = 0,75$ толщиной 4 м и заглубляются на 3 м в слой тугопластичных суглинков с показателем консистенции $I_L = 0,3$ и модулем деформации $E = 200$ кгс/см². Головы свай жестко заделаны в нижний ростверк, имеющий размеры в плане 5×5 м, высоту 1 м; расстояние от центра тяжести ростверка с машины до подошвы ростверка составляет 0,8 м, масса машины равна 8 тс·с²/м.

Рис. 3. План расположения свай



Решение. Для расчетов примем начальный модуль упругости бетона свай $E_6 = 2,9 \cdot 10^6$ тс/м², площадь поперечного сечения свай $F_1 = F_2 = F_3 = 0,09$ м², периметр свай $u_1 = u_2 = u_3 = 1,2$ м, удельное упругое сопротивление грунта на боковой поверхности в соответствии с табл. 1 и 2 руководства: для верхнего слоя $\gamma_1 = 1000$ тс/м³, для промежуточного слоя $\gamma_2 = 1500$ тс/м³, для нижнего слоя $\gamma_3 = 1500 \cdot 0,05 = 4200$ тс/м³.

1. В соответствии с указаниями п. 1.52 по формуле [49(4)] определяем коэффициент упругого равномерного сжатия грунта C_z^* на уровне нижних концов свай

$$C_z^* = b_0 E \left(1 + \sqrt{\frac{F_0}{F}} \right) = 1,2 \cdot 2 \cdot 2000 \left(1 + \sqrt{\frac{10}{0,09}} \right) = 55 \cdot 300 \text{ тс/м}^2.$$

По формуле [82] определяем

$$\alpha = \frac{C_z^*}{E_6} = \frac{55 \cdot 300}{2,9 \cdot 10^6} = 19,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}.$$

Приводим таблицу вычислений основных величин, необходимых для расчета свайного фундамента, принимая $E_x = E_6 = 2,9 \cdot 10^6$ тс/м².

47

Таблица 3

№ слоя от верха k	Длина участка свая l _k , м	Площадь сечения сваи F _k , м ²	Периметр сваи u _k , м	Боковое сопротивление грунта γ _k , тс/м ²	χ _k , тс/м		R _k t _k	тн R _k t _k
					тс/м	м ⁻¹		
1	0,09	1,2	1000	17,7·10 ²	0,0676	0,338	0,326	
2	0,09	1,2	1500	21,6·10 ²	0,0830	0,332	0,321	
3	0,09	1,2	4500	36,2·10 ²	0,139	0,417	0,395	

По формуле [85] вычисляем для нижнего слоя отношение

$$\frac{B_2}{A_2} = \frac{\bar{\beta}_2}{\alpha} = \frac{0,139}{19,1 \cdot 10^{-3}} = 7,26.$$

По формуле [83] определяем отношение B_k/A_k для промежуточного слоя:

$$\frac{B_k}{A_k} = \frac{B_2}{A_2} = \frac{21,6 \cdot 10^2 (0,395 + 7,26)}{36,2 \cdot 10^2 (7,26 \cdot 0,395 + 1)} = 1,18;$$

для верхнего слоя

$$\frac{B_1}{A_1} = \frac{17,7 \cdot 10^2 (0,321 + 1,18)}{21,6 \cdot 10^2 (1,18 \cdot 0,321 + 1)} = 0,89.$$

По формуле [78] определяем коэффициент жесткости свайного фундамента при упругом равномерном сжатии $K_{\text{ср}}$:

$$K_{\text{ср}} = 16 \cdot 17 \cdot 7 \cdot 10^2 \frac{1 + 0,89 \cdot 0,326}{0,326 + 0,89} = 3,02 \cdot 10^5 \text{ тс/м.}$$

2. Для определения по формуле [72(21)] массы, участвующей в колебаниях, предварительно вычисляем β^* , используя формулы [86]—[87]:

$$l^* = l \left(0,2 + 0,8 \text{ тн} \frac{6}{l} \right) = 12 \left(0,2 + 0,8 \text{ тн} \frac{6}{12} \right) = 12 \cdot 0,57 = 6,85 \text{ м};$$

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{\gamma_1 l_1 + \gamma_2 (l^* - l_1)}{l^*} = \frac{1000 \cdot 5 + 1500 \cdot 1,85}{6,85} = 1134 \text{ тс/м}^3;$$

$$\beta^* = \frac{\gamma_{\text{ср}}}{\gamma} \left(0,2 + 0,8 \text{ тн} \frac{6}{l} \right) = \frac{1134 \cdot 0,57}{1000} = 0,647.$$

Масса, участвующая в вертикальных колебаниях свайного фундамента, равна

$$m_{\text{ср}} = m_p + \beta^* \sum_{k=1}^n m_{\text{св}k} = 14,2 + 0,647 \cdot 16 \cdot 0,27 = 17 \text{ тс} \cdot \text{с}^2/\text{м.}$$

где

$$m_p = 5 \cdot 5 \cdot 1,2 \cdot 5 \cdot 0,1 + 8 = 14,2 \text{ тс} \cdot \text{с}^2/\text{м},$$

$$m_{\text{св}k} = 0,09 \cdot 12 \cdot 2,5 \cdot 0,1 = 0,27 \text{ тс} \cdot \text{с}^2/\text{м}.$$

3. Определение коэффициента жесткости свайного фундамента при упругом равномерном сдвиге $K_{\text{ср}}$ пр производится по формуле [88]. Предварительно вычисляем по формуле (6) Прил. к главе СНиП II-17-77 коэффициент

$$\alpha_d = \sqrt[5]{\frac{K b_c}{E_0 J}} = \sqrt[5]{\frac{500 \cdot 0,95}{2,9 \cdot 10^6 \cdot 675 \cdot 10^{-6}}} = 0,755 \text{ м}^{-1},$$

где

$$b_c = 1,5d + 0,5 = 1,5 \cdot 0,3 + 0,5 = 0,95 \text{ м};$$

$$J = \frac{0,3^4}{12} = 675 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4.$$

Значение коэффициента пропорциональности K для грунта верхнего слоя принимаем равным 500 тс/м^4 по табл. I Прил. к главе СНиП II-17-77, Далее по формулам [89], [91] и [88] соответственно вычисляем:

$$\alpha = 1,6 \alpha_d = 1,6 \cdot 0,755 = 1,21 \text{ м}^{-1};$$

$$\bar{L} = \alpha L = 1,21 \cdot 12 = 14,54 \text{ м};$$

$$p = A_0 \frac{B_0^2}{C_0} = 2,441 \frac{1,621^2}{1,751} = 0,94;$$

$$K_{\text{ср}} = \frac{\pi \alpha^2 E_0 J}{p} = \frac{16 \cdot 1,21^2 \cdot 2,9 \cdot 10^6 \cdot 675 \cdot 10^{-6}}{0,94} = 5,85 \cdot 10^4 \text{ тс/м.}$$

4. Масса, участвующая в горизонтальных колебаниях фундамента, определяется по формулам [72(21)], [86], [87] (см. п. 1.52, 4):

$$l^*/3 = \frac{6,85}{3} = 2,28 \text{ м};$$

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{1000 \cdot 2,28}{2,28} = 1000 \text{ тс/м}^3;$$

$$\beta^* = \frac{1000 \cdot 0,57}{3000} = 0,19;$$

$$m_{\text{ср}} = m_p + \beta^* \sum_{k=1}^n m_{\text{св}k} = 14,2 + 0,19 \cdot 16 \cdot 0,27 = 15 \text{ тс} \cdot \text{с}^2/\text{м}.$$

5. Коэффициент жесткости свайного фундамента при упругом неравномерном сжатии $K_{\text{ср}}$ определяем по формуле [(77)(26)]

$$K_{\text{ср}} = \frac{K_{\text{ср}}}{n} \sum_{k=1}^n l_k^2 = \frac{3,02 \cdot 10^5}{16} \cdot 8 (0,75^2 + 2,25^2) = \frac{3,02 \cdot 10^5}{16} \cdot 45 = 8,5 \cdot 10^5 \text{ тс} \cdot \text{м}.$$