ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИМ. В. А. КУЧЕРЕНКО
ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО УМЕНЬШЕНИЮ ВРЕДНЫХ ВИБРАЦИЙ РАБОЧИХ МЕСТ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

ИЗДАТЕЛЬСТВО ЛИТЕРАТУРЫ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ
Москва—1972

gost.e-ecolog.ru

УДК 628.517.4:666.982.013

Рекомендации по уменьшению вредных вибраций рабочих мест на предприятиях железобетонных изделий. М., Стройиздат, 1972, 100с. (Госстрой СССР Центр. Науч.-исслед. ин-т строительных конструкций им. В. А. Кучеренко).

В Рекомендациях рассматриваются: общие мероприятия по уменьшению колебаний строительных конструкций заводов железобетонных изделий; динамические нагрузки от технологического оборудования; расчет фундаментов под виброплощадки и стенды; виброизоляция оборудования заводов сборного железобетона и пассивная виброизоляция рабочих мест.

В приложении содержатся: перечень основного технологического оборудования и данные о нормативных динамических нагрузках; пример расчета виброизоляции стендовой силовой виброформы с навесными вибраторами; примеры расчета пассивно-виброизолированных площадок.

Рекомендации предназначены для инженеров-проектировщиков и работников предприятий железобетонных изделий.

3—2—4
План IV кв. 71., п. 17

ПРЕДИСЛОВИЕ

«Рекомендации по уменьшению вредных вибраций рабочих мест на предприятиях железобетонных изделий» составлены на основании обобщения опыта применения «Инструкции по устранению вредных воздействий вибраций рабочих мест на предприятиях железобетонных изделий» (СН 190-61), утвержденной Госстроем СССР в октябре 1961 г.

Основное внимание уделяется мероприятиям, которые необходимо предусматривать при проектировании предприятий железобетонных изделий.

Основа этих мероприятий — динамический расчет строительных конструкций, позволяющий составить прогноз уровня вибраций и наметить рациональные способы уменьшения вредных вибраций. Однако в значительной части Рекомендации вполне применимы также и на действующих предприятиях при капитальном ремонте оборудования, его замене и реконструкции.

Приведены сведения о методике динамического расчета фундаментов под виброплощадки и стенды, междуэтажных перекрытий и разгрузочных балок, о виброизоляции некоторых строительных машин, пассивной виброизоляции рабочих мест. Включен небольшой раздел об определении динамических нагрузок от строительного оборудования и машин.

Специализированные организации, проектирующие и изготовляющие строительные машины и механизмы, не уделяют должного внимания определению их динамических нагрузок и других динамических характеристик, а также их виброизоляции. Это обстоятельство отрицательно влияет на возможности учета динамического характера нагрузок при проектировании зданий и сооружений заводов железобетонных конструкций и при разработке мер по уменьшению вибраций.

Приведен перечень динамических характеристик оборудования, необходимых в задании на проектирование, без которых инженер-строитель не может рационально решить вопросы уменьшения вредных вибраций. Приведены также возможные схемы виброизоляции некоторых строительных машин и установок (бетоносмесители, кассеты для формования железобетонных изделий), поскольку виброизоляция является самой эффективной мерой локализации виб-

раций, препятствующей распространению вредных вибраций на примыкающие конструкции.

В Рекомендациях не излагаются организационно-технические мероприятия по улучшению санитарно-гигиенических условий труда на предприятиях, насыщенных возбуждающим вибрации оборудованием. Однако во многих случаях роль таких мероприятий для сохранения здоровья обслуживающего персонала огромна. Вредное влияние вибраций на здоровье людей часто является результатом нарушения правил техники безопасности и правил эксплуатации вибромеханизмов, неудачного конструктивного выполнения механизмов, обслуживающих площадок и вспомогательных устройств, изменения технологических условий, недостатков организации труда и других причин, приводящих к необходимости пребывания людей на вибрирующих частях механизмов (на виброплощадках и т. п.) и тем самым отрицательно характеризующих культуру данного производства.

Помимо новых сведений о мерах по уменьшению вредных вибраций, включены также отдельные разделы и пункты Инструкции СН 190-61. Рекомендации дополняют Инструкцию СН 190-61, составленную в 1961 г. в лаборатории динамики ЦНИИ строительных конструкций (д-р техн. наук проф. Б. Г. Коренев, канд. техн. наук А. М. Сизов).

«Рекомендации по уменьшению вредных вибраций рабочих мест на предприятиях железобетонных изделий» разработаны в лаборатории динамики Центрального научно-исследовательского института строительных конструкций им. В. А. Кучеренко Госстроя СССР канд. техн. наук А. М. Сизовым. Общее редактирование выполнено засл. деятелем науки и техники РСФСР д-ром техн. наук проф. Б. Г. Кореневым.

Приложения 1 и 2 разработаны в Государственном институте по проектированию предприятий промышленности строительных материалов Гипростройматериалы Министерства промышленности строительных материалов СССР инженерами Е. П. Дериченко, Ф. Ф. Пороженко, С. Г. Гершманом.

Дирекция ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

1.1. Настоящие Рекомендации предусматривают проведение мероприятий по уменьшению общих вибраций рабочих мест, возникающих при изготовлении железобетонных изделий на заводах и полигонах.

1.2. Снижение общих вибраций рабочих мест до уровня, допускаемого санитарно-гигиеническими требованиями производится с целью устранения вредного действия вибрации на здоровье людей.[1]

Для вновь проектируемых и реконструируемых предприятий железобетонных изделий основными мероприятиями по снижению вредных вибраций являются:

а) выбор технологической схемы производства, типа оборудования и его компоновка, при которых эффект динамического действия нагрузок на рабочие места и конструкции здания был бы наименьшим, ограниченным участками, примыкающими к машине; более широкое применение автоматизации технологических процессов; использование оборудования, виброизоляция которого предусмотрена при его изготовлении на заводе-изготовителе; применение оборудования с дистанционным управлением;

б) учет характера динамического воздействия нагрузок при проектировании с целью обеспечения необходимого конструктивного решения здания (динамический расчет несущих конструкций);

в) разработка способов уменьшения колебаний конструкций, воспринимающих динамические нагрузки (виброизоляция оборудования, уравновешивание и др.).

Для действующих предприятий железобетонных изделий основными мерами по устранению вредных вибраций являются:

а) организационно-технические мероприятия, обеспечивающие нормальный режим эксплуатации оборудования, его планово-предупредительный ремонт с сохранением паспортных характеристик, выполнение требований технологического процесса и правил техники безопасности;

---

[1] См. ,,Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий" (СН 245-71) Госстроя СССР, Стройиздат, 1972.

б) виброизоляция оборудования, являющегося источником возбуждения колебаний;

в) устройство пассивно-виброизолированных площадок на рабочих местах с повышенной вибрацией.

Примечание. Пассивная виброизоляция рабочих мест вблизи формовочных установок, а также установок, которые могут быть виброизолированы, применяется лишь как временная мера до устройства активной виброизоляции.

1.3. Уменьшение колебаний строительных конструкций возможно следующими путями:

а) изменением жесткости конструкций;

б) изменением массы фундамента машины и площади его подошвы;

в) виброизоляцией оборудования;

г) изменением расположения оборудования;

д) уравновешиванием, балансировкой и изменением числа оборотов машины, а также устройством гасителей колебаний.

1.4. Амплитуды колебаний несущих конструкций зданий и фундаментов под оборудование с динамическими нагрузками определяются соответствующим динамическим расчетом по действующим нормативным документам проектирования конструкций; в случаях превышения вычисленных амплитуд колебаний, допускаемых санитарно-гигиеническими требованиями, надлежит принимать меры по уменьшению колебаний.

В числе нормативных документов, кроме настоящих Рекомендаций и Инструкции СН 190-61, которыми следует руководствоваться при проектировании и расчете, следующие:

а) для виброизоляции оборудования — «Руководство по проектированию виброизоляции машин и оборудования» (ЦНИИСК им. Кучеренко. М. Стройиздат, 1972);

б) для перекрытий, площадок и здания в целом — «Инструкция по расчету несущих конструкций промышленных зданий и сооружений на динамические нагрузки» (ЦНИИСК им. Кучеренко. М. Стройиздат, 1970);

«Инструкция по мерам борьбы с вибрационными воздействиями технологического оборудования при проектировании зданий и сооружений промышленности нерудных строительных материалов» (ЦНИИСК им. Кучеренко. Стройиздат, 1968);

в) для фундаментов — СНиП глава II-Б.7-70 «Фунда-

менты машин с динамическими нагрузками. Нормы проектирования».

1.5. Виброплощадки и формующие машины должны иметь габариты (без выступов в стороны) по ширине, не превышающие размеры формы изготовляемых изделий более чем на 30—50 *см*; в противном случае формы должны устанавливаться на виброплощадки таким образом, чтобы обслуживающий персонал мог свободно подходить к формуемому изделию, не касаясь при этом вибрирующих частей установки.

Расположение виброплощадки должно назначаться с таким расчетом, чтобы рабочий мог работать, не поднимаясь на виброплощадку.

Приямки у виброплощадки должны быть минимальными по ширине.

Перекрытия приямков рекомендуется устраивать из достаточно жестких железобетонных плит. Практика перекрытия приямков рифленкой или деревянным настилом показала, что такие перекрытия имеют повышенные, часто недопустимые, колебания.

1.6. Обслуживающие площадки, устраиваемые для удобства работы вокруг виброагрегатов, рекомендуется выполнять из сборного железобетона. Перекрытия площадок следует делать из сборных железобетонных плит (см. п. 1.5).

1.7. Крепление обслуживающих площадок к вибрирующим частям машин не допускается. Между конструкциями зданий и обслуживающими площадками, с одной стороны, и вибрирующими механизмами, с другой, необходимо устройство разделяющих швов.

1.8. Ремонт машин и оборудования, возбуждающих вибрации рабочих мест, должен производиться без изменения их проектных динамических характеристик (без изменения величины дебалансов, жесткостей пружин и т. п.). После ремонта машины и оборудование не должны возбуждать вибрации рабочих мест, превышающие допускаемые.

1.9. Разравнивание бетонной смеси при вибрировании должно производиться с помощью автоматизированных устройств, исключающих непосредственное участие рабочих в этой операции.

Разравнивание вибрируемой бетонной смеси в форме лопатами в процессе вибрации запрещается.

На действующих неавтоматизированных виброагрегатах допускается разравнивание вибрируемой бетонной смеси

с помощью специальных скребков снабженных виброизолированными рукоятками.

1.10. Пребывание рабочих на вибрирующих частях машин и установок, вибрации которых необходимы по технологическим условиям производства, запрещается. Уровень вибраций рабочих площадок, устраиваемых на машинах и различных механизмах, также не должен быть вредным для здоровья людей.

1.11. Применение для упругих опор виброплощадок и виброизоляции оборудования кусков конвейерных лент как отдельными листами, так и в виде пакета не обеспечивает необходимой степени виброизоляции и приводит, как правило, к повышенным недопустимым вибрациям рабочих мест.

В связи с указанным применение кусков конвейерных лент в качестве упругих опор виброплощадок, а также для виброизоляции другого оборудования не допускается (см. п. 4.1).

2. ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ОТ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

2.1. На заводах железобетонных изделий применяется большое количество разнообразных машин и механизмов (виброплощадки, бетоносмесители, раздаточные бункера, дозаторы, транспортеры и др.).

В настоящем разделе приводятся некоторые рекомендации по определению динамических нагрузок от строительных машин, а также перечисляются характеристики машин, необходимые для динамического расчета строительных конструкций и виброизоляции машин[1].

Сведения о необходимых характеристиках машин позволят проектировщикам зданий и сооружений получить у заводов-изготовителей машин данные о них для динамического расчета конструкций и решения вопроса о рациональных методах уменьшения вредных вибраций.

2.2. Для возможности динамического расчета строительных конструкций и разработки рациональных мероприятий по уменьшению вредного действия вибраций на

[1] См. также «Рекомендации по экспериментальному определению динамических характеристик машин предприятиями машиностроительной промышленности» ЦНИИСК, 1972.

здоровье людей, прочность и устойчивость сооружений, нормальное прохождение технологического процесса (для технологических процессов, предъявляющих определенные ограничения к уровню вибраций) необходимы следующие динамические характеристики машин:

1) краткая характеристика режима работы машины и вида динамического воздействия;

2) величина, направление и точка приложения динамической нагрузки (средней или нормативной) от машины при различных режимах ее работы в условиях нормальной эксплуатации, отвечающей техническим требованиям (при полной и частичной загрузке, при холостом ходе и т. п.);

3) закон изменения нагрузки во времени при стационарном и пуско-остановочном режимах работы машины;

4) число оборотов вращающихся частей машины или число циклов возвратно-поступательно движущихся деталей;

5) вес машины, веса и основные размеры движущихся частей;

6) значения наибольшей динамической нагрузки при аварийных и особых условиях работы машины с учетом возможности отклонения от принятых средних значений, действительных весов и размеров движущихся частей, эксцентрицитетов, рабочего числа оборотов машины и т. п.;

7) положение центра тяжести машины;

8) моменты инерции машины относительно центральных осей;

9) скорость нарастания и убывания числа оборотов машины при ее пуске и остановке;

10) основные габариты машины и габариты опорных частей.

Примечания: 1. Динамические нагрузки от оборудования составляются на основании анализа работы машины, расчетов по данным о кинематике движения деталей машины и их массах, а также экспериментального определения на специальных стендах.

Для номинально уравновешенных машин (электродвигатели, вентиляторы и другие сбалансированные машины) определение динамических нагрузок расчетом производится по допускам для балансировки с учетом реальной возможности разбалансировки при эксплуатации. Для неуравновешенных машин (виброплощадки, бетоносмесители, вибрационные центрифуги и т. п.) расчет динамической нагрузки производится по данным о подвижных массах с учетом возможных допусков.

2. По вопросам определения динамических нагрузок от промышленного оборудования см. «Инструкцию по определению динамических нагрузок от машин, устанавливаемых на перекрытиях промышленных зданий», разработанную ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР (Стройиздат, 1966).

2.3. При проектировании специализированными организациями механизмов и установок (например, виброформ, кассет, индивидуальных виброплощадок и т. п.), возбуждающих динамические воздействия, нельзя допускать распространения вибраций на опорные и примыкающие строительные конструкции, а также на рабочие места операторов этих механизмов. В процессе опытной доводки механизмов и установок необходимо обращать особое внимание на уменьшение динамических воздействий, передающихся на примыкающие строительные конструкции и рабочие места, а также определять динамические характеристики механизмов и установок.

В паспорта указанных машин и механизмов проектная организация, ведущая разработку, должна включать данные о динамических нагрузках и характеристиках в соответствии с п. 2.2 настоящих Рекомендаций.

2.4. При динамическом расчете конструкций различают нормативные и расчетные значения динамических нагрузок.

Нормативные величины динамических нагрузок от машин принимаются по среднестатистическим значениям параметров, определяющим динамические нагрузки, или по проектным значениям масс и геометрических размеров движущихся частей машины в соответствии с ее кинематической схемой и режимом движения.

Таблица 1

Значения коэффициента перегрузки $K_д$

Тип машины	Коэффициент перегрузки $K_д$
С конструктивно неуравновешенными движущимися частями . . .	1,3
С номинально уравновешенными, а фактически неуравновешенными движущимися частями	4

Расчетная динамическая нагрузка вычисляется путем умножения нормативной динамической нагрузки на коэффициент перегрузки $K_д$, значение которого приведено в табл. 1.

2.5. Для большинства машин динамические нагрузки изменяются во времени по гармоническим и периодическим негармоническим законам. Однако некоторые строительные машины и механизмы наряду с указанными видами динамических воздействий на отдельных этапах работы возбуждают импульсивные нагрузки, например, в результате достаточно быстрого за-

гружения или разгружения, свободного падения материалов, толчков и ударов.

Равномерно вращающиеся и возвратно-поступательно движущиеся части машин возбуждают гармонические динамические нагрузки, амплитуда которых определяется центробежной силой

$$N = mr\omega^2, \tag{1}$$

где m — масса вращающихся или возвратно-поступательно движущихся частей машины;

r — эксцентрицитет вращающихся масс или амплитуда поступательного перемещения центра масс;

$\omega = \frac{\pi n_0}{30}$ — круговая частота вращения вала машины в $сек^{-1}$;

n_0 — число оборотов вала машины в 1 *мин*.

При периодическом негармоническом законе изменения во времени динамическая нагрузка равна:

$$P(t) = P(t+T), \tag{2}$$

где T — период изменения силы $P(t)$. Эффект действия силы $P(t)$ определяется суммарным эффектом действия гармонических составляющих:

$$P(t) = P_0 + P_1 \cos\left(\frac{2\pi}{T}t - \psi_1\right) + \ldots + \\ + P_k \cos\left(k\frac{2\pi}{T}t - \psi_k\right) + \ldots + \\ + P_n \cos\left(n\frac{2\pi}{T}t - \psi_n\right) \tag{3}$$

$$k = 1, 2, 3, \ldots, n.$$

Гармонические составляющие определяются из разложения периодической силы $P(t)$ в тригонометрический ряд Фурье

$$P(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{n} a_k \cos\frac{2k\pi t}{T} + \sum_{k=1}^{n} b_k \sin\frac{2k\pi t}{T}. \tag{4}$$

Здесь:

$$a_k = \frac{2}{T}\int_0^T P(t)\cos\frac{2\pi kt}{T}\,dt$$

$$k = 0, 1, 2, \ldots, n;$$

$$b_k = \frac{2}{T}\int_0^T P(t)\sin\frac{2\pi k t}{T}\,dt$$

$$k = 1, 2, 3, \ldots, n;$$

$$P_0 = \frac{a_0}{2}; \quad P_1 = \sqrt{a_1^2 + b_1^2}; \ldots P_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2};$$

$$\psi_1 = \operatorname{arc\,tg}\frac{b_1}{a_1}; \ldots; \psi_k = \operatorname{arc\,tg}\frac{b_k}{a_k}.$$

Действие каждой составляющей силы $P_k \cos\left(\frac{2\pi k t}{T} - \psi_k\right)$ в пределах упругой стадии работы конструкции при линейных колебаниях можно рассматривать независимо друг от друга.

2.6. Схема действия инерционных сил на несущие строительные конструкции принимается по монтажным чертежам оборудования. Характеристики и численные значения динамических нагрузок определяются типом машины и характером связи ее с поддерживающими конструкциями (при жесткой связи динамические нагрузки передаются полностью, а при гибкой связи с применением виброизоляции динамические нагрузки передаются частично).

Нагрузки от механических вибраторов

2.7. Нормативная динамическая нагрузка (центробежная сила), возбуждаемая механическими вибраторами с вращающимися эксцентричными массами (дебалансами) без сдвига фазовых углов между массами, определяется выражением

$$N = \sum_{i=1}^{n} \frac{K_i \omega^2}{g}, \qquad (5)$$

где $K_i = q_i r_i$ — кинетический момент[1] i-го вибратора в *кгс·см*;

q_i — вес эксцентрично насаженной i-й массы (дебаланса) в *кгс*;

r_i — расстояние от оси вращения до центра тяжести дебаланса в *см*;

n — число вибраторов;

[1] В литературе называется также иногда статическим моментом дебаланса.

$g = 981$ *см/сек*^{2} — ускорение силы тяжести;

$\omega = 2\pi f_0 = 0{,}105\, n_0$ — угловая скорость вращения вибратора в *сек*$^{-1}$ (круговая частота);

n_0 — число оборотов вибратора в 1 *мин*;

f_0 — число оборотов вибратора в 1 *сек*.

Механические вибраторы с вращающимися эксцентричными массами (дебалансами) возбуждают центробежную силу, изменяющую свое направление в плоскости вращения дебаланса.

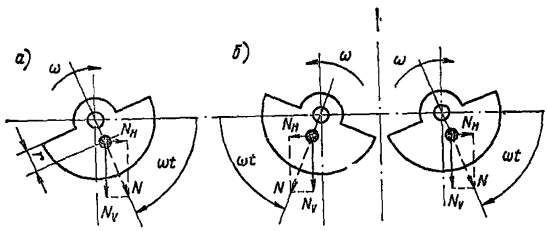


Рис. 1. Схема установки дебалансов (эксцентриков) механических вибраторов

а — вибратор с односторонним дебалансом ненаправленного действия; *б* — вибратор направленного действия с синхронно вращающимися в противоположные стороны валами, возбуждающими вертикальную гармоническую возмущающую силу

Вертикальная и горизонтальная составляющие возмущающей центробежной силы вибратора с односторонними дебалансами изменяются по гармоническому закону, а именно: горизонтальная составляющая $N_н = N \cos \omega t$; вертикальная составляющая $N_v = N \sin \omega t$, где t — время в *сек* (рис. 1, *а*). Такие вибраторы, называемые одновальными, возбуждают колебания центра тяжести установки в плоскости вращения дебаланса по эллиптической или круговой траектории.

Расчет производится на максимальное (амплитудное) значение возмущающих сил

$$N_v = N;\ N_н = N,$$

при этом сила $N_н$ сдвинута по фазе относительно силы N_v на $\pi/2$.

Для получения направленного действия вибраций устраивают часто двухвальные вибраторы с дебалансами, синхронно вращающимися в противоположные стороны. При расположении дебалансов согласно рис. 1, *б* горизонтальные составляющие центробежных сил уравновеши-

ваются, а вертикальные складываются. Такие вибраторы часто применяются в виброплощадках для возбуждения вертикальных гармонических колебаний всей площадки. В этом случае центр тяжести установки, центр жесткости упругих опор и центр тяжести площади подошвы фундамента должны находиться на вертикальной линии, совпадающей с линией действия возмущающей силы. В противном случае помимо поступательных вертикальных колебаний возникают также вращательные колебания относительно центра тяжести установки.

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФУНДАМЕНТОВ ПОД ВИБРАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

а) Общие указания

3.1. Настоящий раздел составлен в дополнение СНиП II-Б.7-70* и распространяется на проектирование фундаментов под виброплощадки и формовочные установки, возмущающие силы которых изменяются по синусоидальному закону. При этом предполагается, что фундамент симметричен относительно вертикальной плоскости, проходящей через продольную ось машины.

Наиболее широкое применение для формования бетонных и железобетонных изделий в настоящее время получили установки с вертикально направленными колебаниями, с круговыми колебаниями[1] и с горизонтально направленными продольными колебаниями.

Вертикально или горизонтально направленные колебания центра тяжести установки возбуждаются при синхронном вращении в противоположные стороны одинаковых дебалансов. Такие колебания характерны для двухвальных виброплощадок с синхронизатором и площадок с горизонтальными колебаниями.

* См. СНиП часть II, раздел Б, глава 7. Фундаменты машин с динамическими нагрузками. Нормы проектирования, § 1. Общие положения § 6. Фундаменты формовочных машин для производства сборного железобетона. Стройиздат, 1971.

При различной жесткости опорных пружин в вертикальном и горизонтальном направлениях возникают не круговые, а эллиптические колебания центра тяжести установки с большей амплитудой колебаний в направлении меньшей жесткости пружин.

Круговые колебания центра тяжести установки обычно возбуждаются при вращении одного или нескольких дебалансов в одну сторону. Круговые колебания характерны для одновальных виброплощадок и двухвальных без синхронизатора.

Примечания: 1. При негармоническом законе изменения вертикально направленной периодической силы функцию, выражающую зависимость возмущающей силы от времени, следует разложить в ряд Фурье и учитывать первый член этого ряда.

2. При вибрировании изделия виброщитом или вибровкладышами, на которых обычно устанавливаются вибраторы ненаправленного действия с вращающейся возмущающей силой, следует иметь в виду, что горизонтальная составляющая возмущающей силы вибраторов виброщита передается на подъемную раму щита, а вертикальная составляющая — на вибрируемое изделие. В первом приближении можно считать, что горизонтальные составляющие возмущающих сил вибраторов вибровкладышей формовочной установки или виброплощадки гасятся в теле бетона и на опорные конструкции не передаются, а вертикальные составляющие возмущающих сил полностью передаются на вибрируемое изделие и опорные конструкции.

3.2. Фундаменты виброагрегатов должны удовлетворять условиям прочности, устойчивости и экономичности, причем амплитуды вынужденных колебаний их не должны превосходить величин, устанавливаемых санитарно-гигиеническими условиями.

3.3. Определенные по расчетным формулам амплитуды вынужденных колебаний строительных конструкций $a_к$, на которых находятся люди, не должны превышать допускаемой величины амплитуды колебаний $[a_к]$

$$a_к \leqslant [a_к] = \alpha\,[a_р], \qquad (6)$$

где $[a_к]$ — допускаемая амплитуда колебаний строительной конструкции (пола, междуэтажного перекрытия, фундамента виброплощадки и др.);

$[a_р]$ — допускаемая амплитуда общих вибраций на рабочем месте по санитарным нормам;

α — коэффициент, учитывающий ряд условностей расчетных схем и вычисления нагрузок, определяемый по табл. 2. При этом, если возмущающая нагрузка возбуждает чисто вертикальные колебания, а также при расчете без учета вращательных колебаний значения коэффициента α принимаются по первому случаю. При расчете с учетом вращательных колебаний фундамента — по второму случаю (табл. 2).

Таблица 2

Значения коэффициента α

Характеристика конструкции	Коэффициент α при рабочей частоте			
	> 25 *гц*		< 25 *гц*	
	в случае (см. п. 3.18)			
	первом	втором	первом	втором
Постоянные вновь проектируемые фундаменты на заводах железобетонных изделий и постоянных полигонах	0,25	0,35	0,5	0,7
Временные вновь проектируемые фундаменты на строительных площадках и временных полигонах	0,5	0,7	0,7	0,8
Существующие фундаменты при оценке допустимости их колебаний по замерам	1	1	1	1
Строительные конструкции междуэтажных перекрытий и полы промышленных зданий	1	1	1	1

Задание на проектирование

3.4. Для проектирования фундаментов под формовочные установки и виброплощадки, а также оснований стендов для уплотнения бетона с помощью вибровкладышей, навесных вибраторов и т. п. необходимы следующие сведения:

а) технические характеристики установки, в том числе чертежи с указанием расположения анкерных болтов, закладных деталей, упругих опор, вибраторов, коммуникаций и др.; данные о весе неподвижных и подвижных частей, вспомогательных механизмов и оборудования (двигателей, виброщита, пустотообразователей, формы), а также бетона изделия; данные о числе вибраторов виброщита, вибровкладышей, наибольших амплитуд колебаний виброплощадки в рабочем режиме, жесткости упругих опор в вертикальном направлении и наименьшей частоте вибрирования бетона (при поличастотных установках);

б) технологические и эксплуатационные требования к фундаменту установки (необходимость устройства тоннеля или приямка для доступа к установке снизу, доступа к анкерным болтам и другим закладным деталям и т. п.);

в) данные о геологии и гидрогеологии участка и физико-механических свойствах грунтов основания;

г) привязка проектируемого фундамента к зданию и, в частности, к фундаментам последнего.

3.5. Фундаменты под формовочные машины и виброплощадки проектируются массивными в виде плит или блоков, заглубленных в грунт[1], из бетона проектной марки не ниже 150, с необходимыми выемками, колодцами и отверстиями для размещения частей машины, оборудования и коммуникаций.

Основные размеры фундамента определяются: размерами установки и расположением опорных устройств; длиной анкерных болтов, расположением и размерами тоннелей и каналов, проходящих в фундаменте; высотой надземной части фундамента и глубиной заложения его подошвы.

Размеры фундамента, определенные конструктивно, проверяются расчетом.

3.6. Глубину заложения фундаментов под виброагрегаты назначают в зависимости:

а) от размеров и конструкции фундамента, расположенных рядом с фундаментом каналов и приямков, глубины заложения фундаментов примыкающих установок и др.;

б) от геологических и гидрогеологических условий строительной площадки; при этом в случае установки машин под навесами или в неотапливаемых помещениях учитывают глубину промерзания грунта в соответствии с указаниями действующих норм проектирования естественных оснований.

Примечание. Глубину заложения фундаментов виброагрегатов назначают независимо от влияния вибраций основания на конструкции здания; расположение подошв фундаментов установок и здания на разных отметках практически не оказывает влияния на интенсивность передачи вибраций через грунт на здание, вызываемых работой установок (виброплощадок, формовочных машин, стендов).

3.7. Между фундаментами под виброплощадки, фундаментами под формовочные установки и конструкциями здания (фундаментами, площадками, полами и т. п.) следует устраивать осадочные швы.

3.8. Коммуникации, примыкающие к установке, не следует крепить жестко к фундаменту и конструкциям

[1] В случае применения виброизоляции и соответствующего обоснования расчетом допускается установка виброплощадок на междуэтажных перекрытиях или при установке на первом этаже на усиленную бетонную подготовку без устройства фундаментов, заглубленных в грунт.

здания; в случае жесткого крепления необходимо предусматривать компенсирующие устройства.

3.9. Устройство рабочих мест непосредственно на фундаменте должно выполняться в виде жестких постаментов без гибких настилов (дощатых, из рифленой стали и т. п.). Однако, если колебания рабочих мест будут превышать допускаемые санитарными нормами, следует устраивать пассивно-виброизолированные площадки.

Устройство обслуживающих площадок допускается только в порядке исключения: при отсутствии связи с конструкциями установок и при условии пассивной виброизоляции рабочих мест, надежность которой подтверждается расчетом, а также при наличии технического и экономического обоснования целесообразности такого решения.

Примечание. При кассетном методе формования изделий обслуживающие площадки вокруг кассет должны обладать необходимой жесткостью и не должны иметь связей с конструкциями кассет. Устройство обслуживающих площадок, закрепленных на стенах кассетных форм, запрещается. Настилы обслуживающих площадок вокруг кассет следует устраивать из железобетонных плит.

3.10. Для уменьшения вибраций конструкций здания (стен, перекрытий, пола и т. д.), возникающих при работе формовочных установок, уплотнение бетона на которых производится поверхностной вибрацией и с помощью вибровкладышей, рекомендуется форму с изделием виброизолировать, устанавливая ее на упругие опоры, а не на жесткие (см. пп. 4.4; 4.5). Коэффициент передачи для формы с изделием рекомендуется принимать равным:

$$\mu = \frac{1}{\left(\frac{\omega}{\lambda}\right)^2 - 1} = \frac{1}{40} \div \frac{1}{50}, \qquad (7)$$

где λ — круговая частота собственных вертикальных колебаний виброизолированной формы.

Расчет фундаментов

3.11. Расчет фундаментов под виброплощадки и формовочные установки сводится к проверке:

а) амплитуд вынужденных колебаний;

б) прочности отдельных немассивных элементов фундамента (консолей, балок, плит и т. д.), а также участков фундамента в местах передачи сосредоточенных нагрузок;

в) давлений, передаваемых фундаментом на грунт.

3.12. Расчет оснований под стенды сводится к проверке амплитуд вынужденных колебаний и давлений, передаваемых на грунт.

3.13. Назначение размеров фундамента и проверка амплитуд вынужденных колебаний производятся по нормативным нагрузкам, при этом давление на основание определяют только от статических нагрузок: веса фундамента, веса засыпки над его обрезами, веса установленного на фундамент оборудования и веса формуемого бетона.

3.14. Нагрузки на фундамент разделяются на постоянные и временные. К постоянным нагрузкам относятся: вес фундамента и грунта, лежащего на его обрезах, вес оборудования.

К временным нагрузкам относятся максимальные величины нагрузок, систематически возникающие при работе оборудования, а также монтажные нагрузки[1].

3.15. Собственный вес фундамента и грунта, лежащего на его обрезах, определяют по предварительным размерам фундамента. Вес оборудования принимается по заданию на проектирование.

Нагрузку от веса оборудования принимают:

а) при определении давления на грунт — в виде сосредоточенных сил;

б) при проверке прочности в сечениях основного массива фундамента или отдельных элементов его — равномерно распределенной по фактической площади опирания оборудования.

3.16. Нагрузка на поддерживающую конструкцию от виброплощадки или формовочной машины с упругим опиранием включает нагрузку от неподвижных частей установки (опорные конструкции, вспомогательное оборудование и др.) и нагрузку от подвижных частей (стол виброплощадки, форма, виброщит, пустотообразователи, бетон изделия и т. п.).

Нагрузка от подвижных (подрессоренных) частей установки приложена в местах расположения упругих опор (опорных пружин). Она делится на статическую и динамическую.

Статическая нагрузка, передаваемая опорной конструкции, равна весу подвижных частей установки (включая вес изделия и формы).

---

[1] Величины и распределение монтажных нагрузок указываются в технологическом задании.

Распределение веса подвижных частей установки между отдельными упругими опорами зависит от положения центра жесткости опорных пружин. При нахождении центра тяжести подвижных частей на одной вертикали с центром жесткости опорных пружин статическая осадка пружин будет одинаковой и определяется формулой

$$\delta_{\text{ц}} = \frac{Q_{\text{п.ч}}}{K_{\text{пл}}}, \tag{8}$$

где $Q_{\text{п.ч}}$ — вес подвижных частей установки в *тс*;

$K_{\text{пл}} = \sum_{1}^{n} K_{i\text{п}}$ — коэффициент жесткости опорных пружин стола виброплощадки в вертикальном направлении в *тс/м*;

$K_{i\text{п}}$ — коэффициент жесткости i-й опорной пружины стола виброплощадки в *тс/м*.

Нагрузка, передаваемая пружиной, будет определяться формулой

$$N_{i\text{ф}} = K_{i\text{п}}\,\delta_i. \tag{9}$$

При несовпадении центра тяжести с центром жесткости статическая осадка данной опорной пружины определяется формулой

$$\delta_i = \delta_{\text{ц}} + \delta_{i\text{в}}, \tag{10}$$

где $\delta_{\text{ц}}$ — статическая осадка опорной пружины в предположении, что центр тяжести находится на одной вертикальной линии с центром жесткости;

$\delta_{i\text{в}}$ — статическая осадка опорной пружины в *м*, вызванная моментом $M = Q_{\text{п.ч}}\,x$; при этом знак плюс соответствует сжатию пружины;

x — расстояние между центром тяжести подвижных частей площадки и центром жесткости опорных пружин в *м*.

Нормативная динамическая нагрузка[1] на поддерживающую конструкцию определяется формулой

[1] При жестком опирании формовочной машины на поддерживающую конструкцию передается вся динамическая сила, возбуждаемая вибраторами.

$$N_{V\phi} = \frac{N_V}{\left(\frac{\omega}{\lambda_{пл}}\right)^2 - 1} = a_п K_{пл}, \qquad (11)$$

где $a_п$ — амплитуда колебаний виброплощадки в рабочем режиме в *м*;

$\omega = 2\pi f_0 = 0{,}105 n_0$ — наименьшая круговая частота вибрирования бетона, на которую рассчитана установка, в *сек*$^{-1}$;

f_0 — наименьшая частота вибрирования бетона в *гц*;

n_0 — наименьшее (при поличастотных вибраторах) число оборотов вибратора в 1 *мин*;

$\lambda_{пл} = \sqrt{\frac{K_{пл}}{M_{п.ч}}}$ — круговая частота[1] собственных вертикальных колебаний подрессоренной установки в *сек*$^{-1}$;

$M_{п.ч} = \frac{Q_{п.ч}}{g}$ — масса подвижных частей установки в *тс·сек*^{2}/*м*;

$g = 9{,}81$ *м/сек*^{2} — ускорение силы тяжести.

б) Определение амплитуд вынужденных колебаний фундаментов под виброплощадки или формовочные установки

3.17. Амплитуды вынужденных колебаний фундаментов определяются при наиболее невыгодном сочетании динамических нагрузок, возникающих при нормальном стационарном режиме эксплуатации. При этом динамические нагрузки определяются в предположении невыгодного сочетания фаз работы вибровозбуждающих механизмов (например, все механизмы работают в одной фазе; часть механизмов работает в противофазе и т. п.).

Виброплощадки с вертикально направленными колебаниями

3.18. При определении амплитуд вынужденных колебаний фундамента под виброплощадку или формовочную установку с вертикально направленными колебаниями сле-

[1] Чем больше частота собственных колебаний площадки $\lambda_{пл}$, тем большая динамическая нагрузка передается на поддерживающую конструкцию.

дует различать следующие два случая установки виброплощадки на фундамент[1].

Первый случай (рис. 2, *а*). Центр тяжести неподвижных частей установки (O_2) и центр тяжести площадки подошвы фундамента (O_3) находятся на линии действия вертикальной составляющей равнодействующей возмущающих сил[2], проходящей через центр жесткости опорных пружин виброплощадки (O_1).

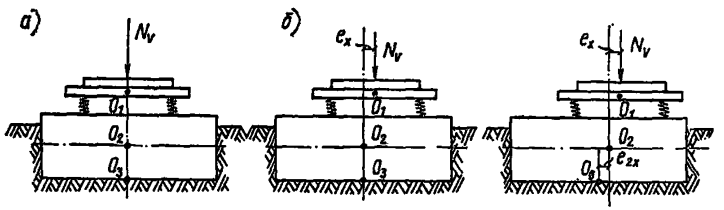


Рис. 2. Схемы установки на фундамент виброплощадок с вертикально направленной возмущающей силой

а — первый случай опирания площадки на фундамент; *б* — второй случай опирания на фундамент

Второй случай (рис. 2, *б*). Центр тяжести неподвижных частей установки и центр тяжести площади подошвы фундамента (O_3) не находятся на линии действия вертикальной составляющей равнодействующей возмущающих сил.

При виброплощадках с вертикально направленными колебаниями в первом случае возникают чисто вертикаль-

---

[1] Предполагается, что фундамент и виброагрегат симметричны относительно вертикальной плоскости, проходящей через продольную ось машины. Указанное означает, что центр тяжести неподвижных частей установки (фундамента, грунта на его обрезах, неподвижных частей виброплощадки и вспомогательного оборудования), центр тяжести площади подошвы фундамента, центр жесткости упругих опор виброплощадки и вертикальная составляющая равнодействующей возмущающих сил находятся в этой вертикальной плоскости.

[2] Прохождение вертикальной составляющей равнодействующей возмущающих сил через центр жесткости опорных пружин обусловливается технологическими требованиями равенства амплитуд колебаний всех точек стола виброплощадки.

В случае, если вертикальная составляющая возмущающих сил не проходит через центр жесткости опорных пружин, то на фундамент виброплощадки помимо вертикальной силы передается возмущающий момент. Расчет фундамента при этом производится по второму случаю.

ные колебания фундамента, а во втором случае помимо вертикальных колебаний возбуждаются вращательные колебания.

3.19. В первом случае установки виброплощадки с вертикально направленными колебаниями на фундамент все точки его колеблются в одной фазе с одинаковой амплитудой (чисто вертикальные колебания). Приближенное значение амплитуды колебаний a_{oz} определяется по формуле

$$a_{oz} = \frac{N_\Phi}{K_z\left(\frac{\omega^2}{\lambda_\Phi^2} - 1\right)}, \qquad (12)$$

где $N_\Phi = \frac{K}{Q_{\text{п. ч}}} K_{\text{пл}}$ — нормативная вертикальная составляющая возмущающих сил в *тс*, передающихся через упругие опоры на фундамент виброплощадки в предположении, что $\lambda_{\text{пл}}^2 \ll \omega^2$;

K — кинетический момент дебалансов[1] в *тс·м*;

$\lambda_\Phi = \sqrt{\frac{K_z}{M_\Phi}}$ — круговая частота собственных вертикальных колебаний фундамента в *сек*$^{-1}$;

$K_z = F_\Phi C_z$ — коэффициент жесткости естественного основания фундамента при равномерном сжатии в *тс/м*;

C_z — коэффициент упругого равномерного сжатия грунта основания фундамента виброплощадки в *тс/м*^{3}, определяемый по СНиП II-Б.7-70;

F_Φ — площадь подошвы фундамента в *м*^{2};

$M_\Phi = \frac{Q}{g}$ — масса фундамента, грунта на его обрезах, неподрессоренных частей виброплощадки и вспомогательного оборудования в *тс·сек*^{2}*/м*;

$Q = Q_\Phi + Q_{\text{н. ч}}$ — вес неподвижных частей установки в *тс*;

Q_Φ — вес фундамента и грунта на его обрезах в *тс*;

$Q_{\text{н. ч}}$ — вес неподрессоренных (неподвижных) частей виброплощадки и вспомогательного оборудования в *тс*.

---

[1] См. ссылку на стр. 12.

Более точное значение амплитуды вынужденных вертикальных колебаний фундамента виброплощадки a_{oz} в *м* определяется по формуле

$$a_{oz} = \frac{a_{\text{п}} K_{\text{пп}}}{\left(\frac{\omega^2}{\lambda_{\text{ф}}^2} = 1\right) K_z} = \frac{N_V}{\left(\frac{\omega^2}{\lambda_{\text{ф}}^2} - 1\right)\left(\frac{\omega^2}{\lambda_{\text{пл}}^2} - 1\right) K_z}. \qquad (13)$$

3.20. Амплитуды вертикальных вынужденных колебаний фундамента виброплощадки или формовочной машины во втором случае при несовпадении центра жесткости упругих опор с центром тяжести неподвижных частей установки определяются по формуле

$$a_{zi} = |a_{oz}| + |\varphi_{oy} x_{oi}|, \qquad (14)$$

где a_{oz} — амплитуда вертикальных колебаний (в *м*) центра тяжести неподвижных частей установки, определяемая по формуле (12) или (13);

φ_{oy} — амплитуда вращательных колебаний неподвижных частей установки в радианах относительно горизонтальной оси, проходящей через их центр тяжести перпендикулярно плоскости колебаний;

x_{oi} — расстояние (в *м*) от центра тяжести вдоль оси (продольной оси площадки) до точки, амплитуда которой определяется.

Амплитуда вращательных колебаний φ_{oy} определяется по формуле

$$\varphi_{oy} = \frac{(K_x - M_{\text{ф}}\,\omega^2)\,M}{\Delta}, \qquad (15)$$

где $M = \frac{N_V e_x}{\left(\frac{\omega}{\lambda_{\text{пл}}}\right)^2 - 1}$ — возмущающий момент в *тс·м*, равный моменту возмущающих сил, передающихся на фундамент, относительно горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести неподвижных частей установки перпендикулярно плоскости колебаний;

e_x — эксцентрицитет возмущающих сил относительно центра тяжести в *м*.

При этом

$$\Delta = M_{\Phi}\,\theta\omega^4 - (K_{\varphi}\,M_{\Phi} + K_x\,h^2\,M_{\Phi} + K_x\,\theta)\,\omega^2 + K_{\varphi}\,K_x. \quad (16)$$

Здесь $K_x = C_x F_{\Phi}$ — коэффициент жесткости естественного основания фундамента при упругом равномерном сдвиге в *тс/м*;

$K_{\varphi} = C_{\varphi} J_{\Phi}$ — коэффициент жесткости естественного основания фундамента при упругом повороте подошвы фундамента относительно горизонтальной оси (неравномерное сжатие) в *тс·м*;

C_x, C_{φ} — коэффициенты упругого равномерного сдвига и неравномерного сжатия грунта в *тс/м*^{3}, определяемые по СНиП II-Б.7-70;

θ — момент инерции массы фундамента, грунта на его обрезах и неподвижных (неподрессоренных) частей установки относительно оси, проходящей через центр тяжести перпендикулярно плоскости колебаний в *тс·м·сек*^{2};

ω — наименьшая круговая частота вибрирования бетона в *сек*$^{-1}$;

h — расстояние от центра тяжести неподвижных частей установки (фундамент, грунт, оборудование) до подошвы фундамента в *м*.

J_{Φ} — момент инерции площади подошвы фундамента в *м*^{4}.

Виброплощадки с продольными горизонтально направленными колебаниями

3.21. Для виброплощадок с продольными горизонтально направленными колебаниями величина динамической горизонтальной силы, передающейся на фундамент, зависит от конструкции опор площадки.

а) При устройстве опор в виде подвижных катковых шарниров (рис. 3, *а*) величина горизонтальной силы $H_{тр}$, передающейся на фундамент при колебаниях виброплощадки, определяется силой трения качения шарниров по плоскости фундамента

$$H_{тр} = k_{тр} Q_{п.ч}, \qquad (17)$$

где $k_{тр}$ — коэффициент трения качения шарниров;
$Q_{п.ч}$ — вес подвижных частей виброплощадки, изделия и формы.

Примечание. Для уменьшения горизонтальной силы, передающейся на фундамент при горизонтальных колебаниях виброплощадки, целесообразно уменьшать коэффициент трения. Применяющиеся иногда в практике упругие подкладки под цилиндри-

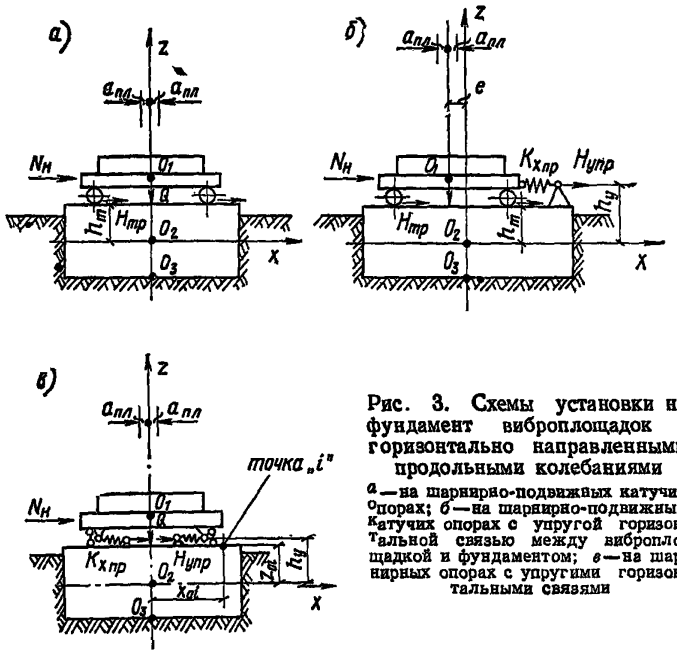


Рис. 3. Схемы установки на фундамент виброплощадок с горизонтально направленными продольными колебаниями

а — на шарнирно-подвижных катучих опорах; *б* — на шарнирно-подвижных катучих опорах с упругой горизонтальной связью между виброплощадкой и фундаментом; *в* — на шарнирных опорах с упругими горизонтальными связями

ческие катки опор из кусков транспортерных лент нерациональны, поскольку они приводят к передаче значительных горизонтальных сил на фундамент.

б) При шарнирно-подвижных катковых опорах и наличии упругой горизонтальной связи между виброплощадкой и фундаментом (рис. 3, *б*) на фундамент передаются: горизонтальная сила, определяемая силой трения качения (17), и горизонтальная сила от упругой связи

$$H_{упр} = K_{хпр} a_{пл}, \qquad (18)$$

где $K_{хпр}$ — коэффициент жесткости упругой горизонтальной (в направлении оси x) связи виброплощадки с фундаментом в *тс/м*;

$a_{пл}$ — амплитуда горизонтальных колебаний виброплощадки в *м*.

в) При упругих горизонтальных связях между виброплощадкой и фундаментом (например, в виде опор, обладающих горизонтальной упругостью, рис. 3, *в*) на фундамент передаются горизонтальные силы, определяемые формулой

$$H_{упр} = \frac{N_в}{\left(\frac{\omega}{\lambda_{пл}^{гор}}\right)^2 - 1} = a_{пл} K_{хпр}, \qquad (19)$$

где $\lambda_{пл}^{гор} = \sqrt{\frac{K_{хпр}}{M_{п.ч}}}$ — круговая частота (парциальная) собственных горизонтальных (продольных) колебаний виброплощадки в *сек*$^{-1}$;

$M_{п.ч} = \frac{Q_{п.ч}}{g}$ — масса подвижных частей установки в *тс·сек*^{2}*/м*;

g — ускорение силы тяжести.

3.22. Амплитуда вынужденных колебаний i-й точки фундамента виброплощадки с продольными горизонтально направленными колебаниями определяется формулой

$$a_i = \sqrt{a_{xi}^2 + a_{zi}^2}, \qquad (20)$$

где $a_{zi} = x_{oi}\varphi_{oy}$ — амплитуда вертикальной составляющей колебаний;

$a_{xi} = |a_{ox}| + |\varphi_{oy} z_{oi}|$ — амплитуда горизонтальной составляющей колебаний;

a_{ox} — амплитуда горизонтальных колебаний центра тяжести O_2 фундамента и неподвижных (неподрессоренных) частей установки;

φ_{oy} — амплитуда вращательных колебаний фундамента относительно горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести O_2 фундамента и неподвижных частей установки, перпендикулярно плоскости колебаний в радианах;

x_{oi} — расстояние (в *м*) вдоль оси *x* от центра тяжести фундамента до *i*-й точки фундамента, амплитуда перемещений которой определяется;

z_{oi} — то же, вдоль оси *z*.

Величины a_{ox} (в *м*) и φ_{oy} (в *рад*) вычисляются по формулам:

$$a_{ox} = \frac{(K_\varphi + K_x h^2 - \theta\omega^2) P_x + K_x hM}{\Delta}; \qquad (21)$$

$$\varphi_{oy} = \frac{K_x hP_x + (K_x - m\omega^2) M}{\Delta}, \qquad (22)$$

где P_x — горизонтальная возмущающая сила, передающаяся на фундамент, равная:

а) для виброплощадок с шарнирно-подвижными катковыми опорами

$$P_x = H_{тр};$$

б) для виброплощадок с шарнирно-подвижными катковыми опорами и упругими горизонтальными связями

$$P_x = H_{тр} + H_{упр};$$

в) для виброплощадок с упругими горизонтальными связями

$$P_x = H_{упр};$$

M — возмущающий момент в *тс·м*, равный сумме момента от горизонтальных возмущающих сил P_x относительно центра тяжести установки и момента от вертикальных подвижных нагрузок веса площадки, формы и изделия при их перемещениях

$$M = P_x Z_i + Q_{п.ч} a_{пл}; \qquad (23)$$

Z_i — расстояние вдоль оси *z* от линии действия горизонтальной возмущающей силы P_x до центра тяжести неподвижных частей установки в *м*;

$Q_{п.ч}$ — вес подвижных частей установки, формы и изделия в *тс*;

$a_{пл}$ — амплитуда горизонтальных колебаний виброплощадки в *м*.

Значения $H_{тр}$, $H_{упр}$ определяются формулами (17), (18), (19), а Δ — формулой (16).

Примечание. При амплитуде горизонтальных колебаний $a_{пл} \leqslant 1$ *мм* влиянием момента от вертикальных подвижных нагрузок при вычислении момента по формуле (23) можно пренебречь.

Виброплощадки с круговыми колебаниями

3.23. Амплитуда вынужденных колебаний i-й точки фундамента виброплощадки с круговыми колебаниями (рис. 4) определяется формулой (20) при значениях:

$a_{zi} = |a_{oz}| + |x_{oi}\varphi_{oy}|$ — амплитуда вертикальной составляющей колебаний в *м*;

$a_{xi} = |a_{ox}| + |z_{oi}\ \varphi_{oy}|$ — амплитуда горизонтальной составляющей колебаний в *м*;

a_{oz} — амплитуда вертикальных колебаний (в *м*) центра тяжести O_2 фундамента и неподвижных частей установки, определяемая формулой (13), в которой принимается

$$\lambda_{пл} = \lambda_{пл}^{верт} = \sqrt{\frac{K_{zпр}}{M_{п.ч}}}; \qquad (24)$$

a_{ox}, φ_{oy} — амплитуды горизонтальных (в *м*) и вращательных (в радианах) колебаний фундамента, определяемые по (21), (22), в которых возмущающий момент принимается равным:

$$M = P_x Z_i + \frac{N_y e_x}{\left(\frac{\omega}{\lambda_{пл}^{верт}}\right)^2 - 1}; \qquad (25)$$

$K_{zпр}$ — коэффициент жесткости вертикальной (в направлении оси z) упругой связи (пружины) виброплощадки с фундаментом в *тс/м*;

P_x — горизонтальная возмущающая сила (в *тс*), передающаяся на фундамент.

Остальные обозначения приведены на стр. 13 и 24.

Примечание. При установке виброплощадки на вертикальные цилиндрические пружины жесткость этих пружин в горизонтальном направлении определяется по графику рис. 5.

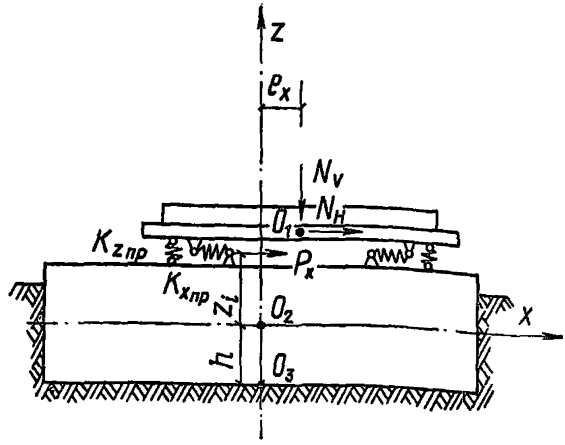


Рис. 4. Схема установки на фундамент виброплощадки с круговыми колебаниями

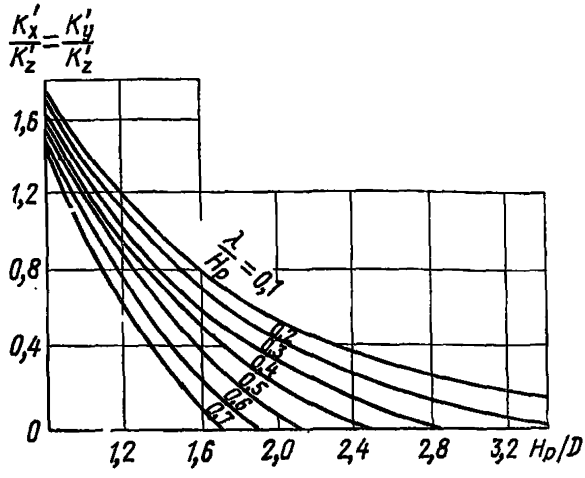


Рис. 5. График для определения жесткости пружины в горизонтальном направлении

D—средний диамет пружины; H_p—рабочая высота пружины под нагрузкой P; λ—деформация сжатия пружины под вертикальной нагрузкой P; K_x' и K_y'—жесткости пружины в горизонтальной плоскости в направлении x и y; K_z'—жесткость пружины в вертикальном направлении

4. ВИБРОИЗОЛЯЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

4.1. Одним из наиболее эффективных мероприятий по уменьшению вредных вибраций, передающихся строительным конструкциям здания и на рабочие места обслуживающего персонала, является активная виброизоляция оборудования, возбуждающего колебания[1].

При активной виброизоляции машина или установка, являющаяся источником возбуждения вибраций, опирается или подвешивается на поддерживающую конструкцию с помощью упругих элементов, называемых виброизоляторами. В результате упругого опирания доля динамической нагрузки, передающаяся опорной конструкции, уменьшается в несколько раз (иногда в несколько десятков раз) и колебания конструкции также уменьшаются во столько же раз.

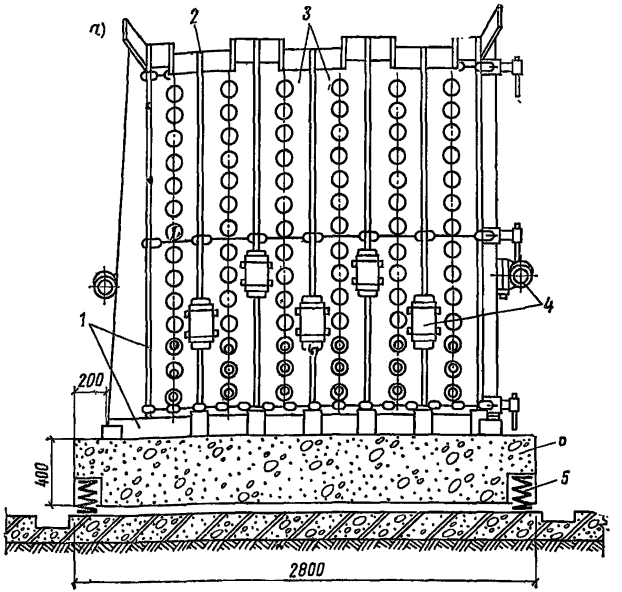
Однако для достижения эффекта виброизоляции необходимо, чтобы виброизоляция была рассчитана и запроектирована с учетом условий ее эксплуатации.

Применение виброизоляции без расчета и надлежащего проектирования может в лучшем случае привести к напрасным затратам труда и средств в связи с незначительной эффективностью, а в отдельных случаях и к увеличению вибраций опорных конструкций.

При проектировании и расчете виброизоляции рекомендуется пользоваться: «Руководством по проектированию виброизоляции машин и оборудования» (ЦНИИСК им. Кучеренко. Стройиздат, 1972), «Инструкцией по мерам борьбы с вибрационными воздействиями технологического оборудования при проектировании зданий и сооружений промышленности нерудных строительных материалов» (ЦНИИСК им. Кучеренко. Стройиздат, 1968), а также указаниями настоящих Рекомендаций, в которых приведены отдельные данные о виброизоляции некоторых строительных машин и механизмов и возможные схемы их виброизоляции.

---

[1] Виброизоляция строительных машин и установок, возбуждающих вибрации рабочих мест и конструкций здания, в настоящее время не получила еще достаточно широкого распространения. Этим в значительной степени объясняются повышенные вибрации на ряде предприятий строительной индустрии. Например, только отсутствием виброизоляции бетоносмесителей при установке их на междуэтажных перекрытиях объясняются сильные вибрации этих перекрытий.



4.2. Виброизоляция может быть осуществлена в двух вариантах: а) «опорном» и б) «подвесном». При «опорном» варианте виброизоляторы устанавливаются под постаментом машины или установки (рис. 6, 8,*б*, 9), а при «подвесном» изолируемая машина подвешивается (рис. 7, 8, *а*) на закрепленных выше подошвы постамента виброизоляторах, работающих на сжатие или растяжение. При преобладании горизонтальных возмущающих сил устройство виброизоляции возможно также в виде подвески машины на стержнях с шарнирными присоединениями («качели»). В этом случае будут уменьшены только горизонтальные силы, передающиеся на опорную конструкцию, и моменты относительно вертикальной оси. Для уменьшения вертикальных составляющих возмущающих сил необходимо в конструкции стержней подвесок предусматривать упругие элементы.

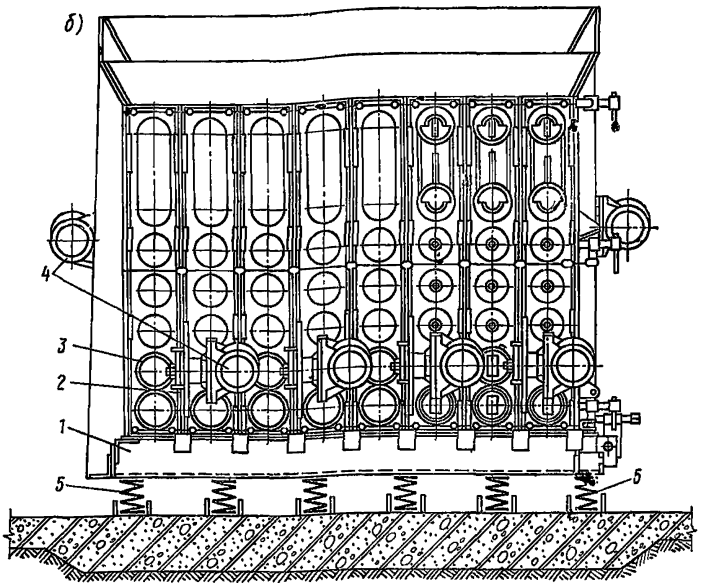


Рис. 6. Схемы виброизоляции кассет для формования вентиляционных панелей и блоков. Опорные варианты с применением цилиндрических пружин сжатия

а — с железобетонным постамент м; *б* — с установкой виброизоляторов под поддоном; *1* — неподвижный борт с поддоном; *2* — разделительный борт; *3* — гребенка; *4* — вибраторы; *5* — виброизоляторы; *6* — железобетонный постамент

4.3. Эффективность виброизоляции машины (в вертикальном направлении) при гармонической возмущающей силе определяется коэффициентом передачи

$$\mu = \frac{P_к}{P} = \frac{1}{\alpha^2 - 1}, \qquad (26)$$

где $P_к$ — амплитуда динамической силы, передающейся через виброизоляторы на поддерживающую конструкцию;

P — амплитуда возмущающей гармонической силы, действующей на установку;

$\alpha = \frac{\omega_0}{\omega_z}$ — отношение круговой частоты вынужденных колебаний (круговой частоты возмущающей силы) ω_0 к круговой частоте собственных вертикальных колебаний ω_z виброизолированной установки.

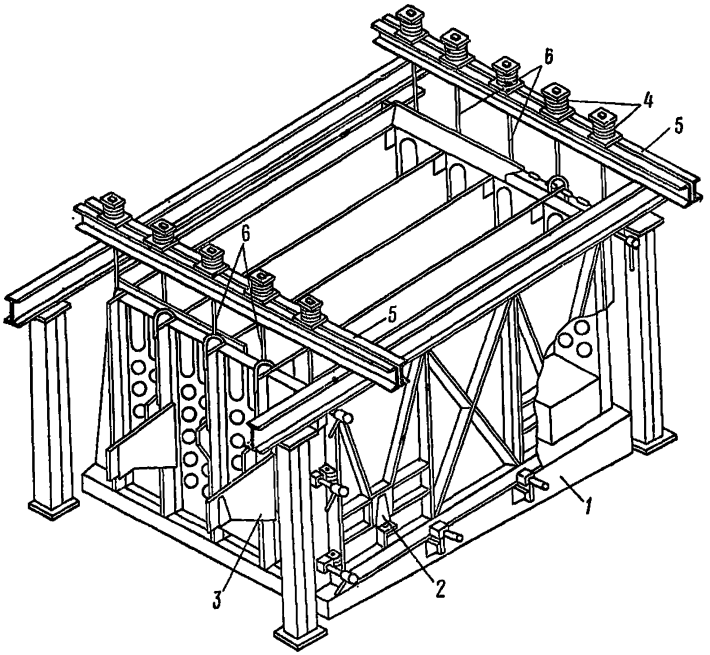


Рис. 7. Виброизоляция кассеты для формования двухрядных блоков
1 — поддон; *2* — мостик крепления вибратора; *3* — кронштейн для крепления вибратора; *4* — виброизоляторы; *5* — опорная балка; *6* — подвеска

Отношение α должно удовлетворять условию

$$\alpha = \frac{\omega_0}{\omega_z} \geqslant 4. \qquad (27)$$

Учитывая, что изготовление виброизоляторов, обеспечивающих частоту собственных колебаний ниже 2 *гц*, сопряжено со значительными техническими трудностями (для достижения частоты собственных вертикальных колебаний

виброизолированной установки 2 *гц* статическая осадка пружины от веса постамента и машины должна быть равной примерно 6,3 *см*), при виброизоляции агрегатов с частотой возмущения меньше 500 *кол/мин*, как исключение, можно принимать $\alpha \geqslant 3$.

При подвесном варианте виброизоляции с шарнирными стержнями («качели») машин с горизонтальными возмущающими силами в формулу (26) вместо ω_z подставляется значение ω_x или ω_y, т. е. круговые частоты собственных горизонтальных колебаний виброизолированной системы в направлении оси X или $У$ (в зависимости от направления действия возмущающей силы).

4.4. При изготовлении железобетонных изделий с помощью навесных вибраторов (рис. 6, 7, приложение 2), а также вибровкладышей форма с изделием должна устанавливаться на виброизоляторы.

При возбуждении вертикально направленных колебаний коэффициент передачи рекомендуется принимать равным:

$$\mu = \frac{1}{\left(\frac{\omega}{\lambda}\right)^2 - 1} = \frac{1}{40} \div \frac{1}{50};$$

при этом для уменьшения амплитуд горизонтальных колебаний установки необходимо стремиться к ее минимальной высоте.

Здесь $\omega = 2\pi f_0 = 0{,}105 n_0$ — угловая скорость вращения вибратора в *сек*$^{-1}$ (круговая частота);

n_0 — число оборотов вибратора в 1 *мин*;

f_0 — число оборотов вибратора в 1 *сек*;

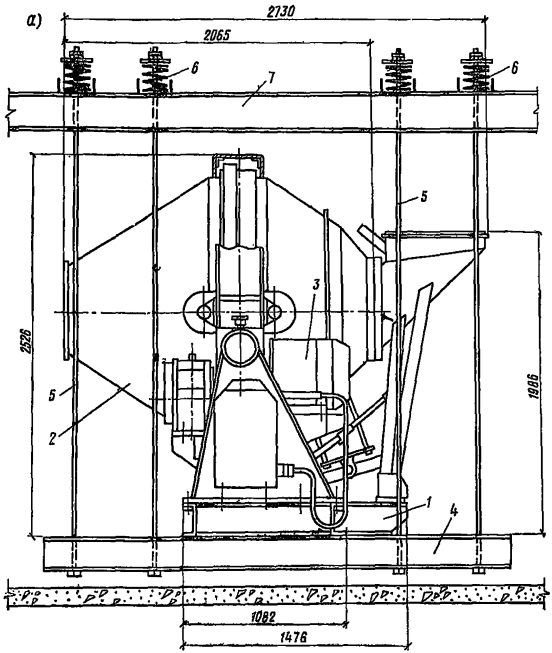
$\lambda = \sqrt{\frac{K_п}{M_{п.ч}}}$ — круговая частота собственных вертикальных колебаний формы с изделием, установленной на виброизоляторах, в *сек*$^{-1}$;

$M_{п.ч} = \frac{Q_{п.ч}}{g}$ — масса подрессоренных частей и формы с изделием в *тс·сек*^{2}*/м*;

$K_п$ — коэффициент жесткости виброизоляторов в *тс/м*;

$Q_{п.ч}$ — вес подрессоренных частей и формы с изделием в *тс*;

$g = 9{,}81$ *м/сек*^{2} — ускорение силы тяжести.



4.5. При формовании железобетонных труб и колец с помощью навесных вибраторов рекомендуется форму устанавливать на упруго опирающийся поддон. Поддоном в этом случае является жесткая железобетонная плита, опирающаяся на виброизоляторы (рис. 9).

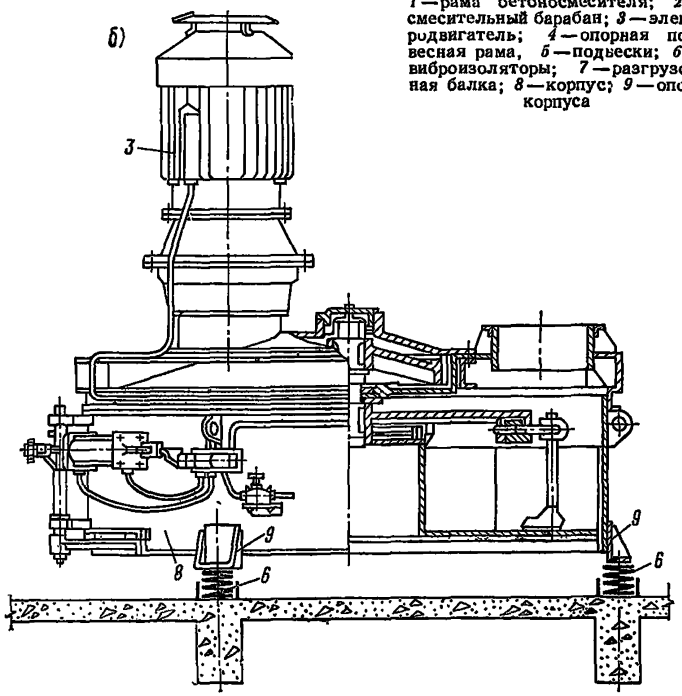
Для фиксирования установки формы на поддон и предупреждения ее подпрыгивания рекомендуется устраивать фиксирующие приспособления и крепление формы к поддону.

Расчет виброизоляции формы производится на наиболее неблагоприятные сочетания условий возбуждения центробежных сил всех вибраторов по фазе.

При возбуждении колебаний установки вибраторами ненаправленного действия с горизонтальной осью вращения

Рис 8. Схемы виброизоляции бетоносмесителей

а — подвесной вариант с применением цилиндрических пружин сжатия; *б* — опорный вариант; *1* — рама бетоносмесителя; *2* — смесительный барабан; *3* — электродвигатель; *4* — опорная подвесная рама, *5* — подвески; *6* — виброизоляторы; *7* — разгрузочная балка; *8* — корпус; *9* — опора корпуса



наиболее неблагоприятными сочетаниями центробежных сил вибраторов по фазе являются следующие:

а) центробежные силы всех вибраторов совпадают по фазе;

б) центробежные силы части вибраторов (при четном количестве вибраторов 50%) находятся в противофазе;

в) центробежные силы части вибраторов сдвинуты по фазе на $\pi/2$.

4.6. При устройстве виброизоляции необходимо обеспечить контроль за работой виброизоляторов и их замену, а также предусмотреть меры защиты виброизоляторов от попадания на них бетона и загрязнения, нарушающих работу виброизоляторов.

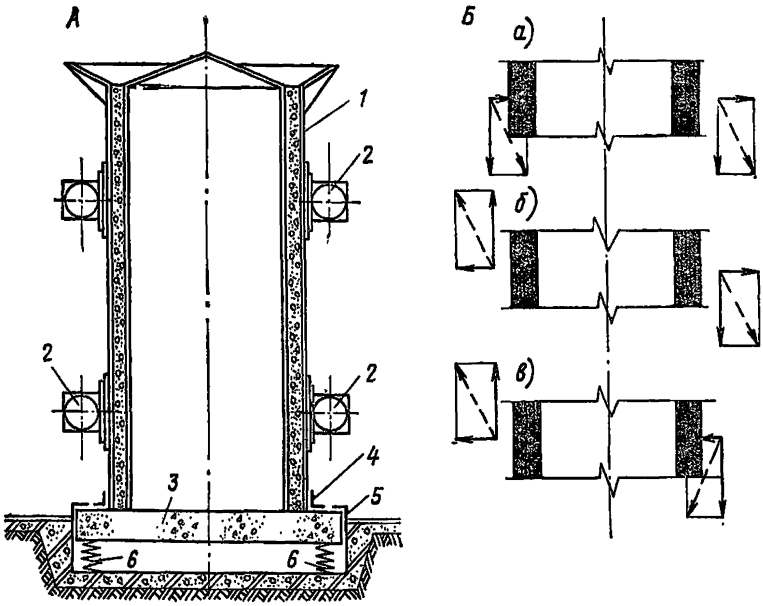


Рис. 9. Форма для изготовления железобетонных труб на виброизолированном поддоне

А—схема установки; *1*—форма; *2*—вибратор, возбуждающий круговые колебания с горизонтальной осью вращения дебаланса; *3*—жесткая железобетонная плита (поддон); *4*—деталь для фиксации места установки формы и крепления ее к поддону; *5*—ограничители деформации пружин виброизоляторов при отсутствии формы на поддоне; *6*—виброизолятор; *Б*—сочетания на фазе центробежных сил нескольких вибраторов; *а*—фазы совпадают; *б*—в противофазе; *в*—сдвиг по фазе на π/2

5. ПАССИВНАЯ ВИБРОИЗОЛЯЦИЯ РАБОЧИХ МЕСТ И ПЛОЩАДОК

5.1. Пассивно-виброизолированное рабочее место или площадка (помост) представляет собой массивную плиту, установленную с помощью упругих опор на колеблющееся основание (пол цеха, междуэтажное перекрытие, перемещающаяся машина и т. п.).

5.2. Пассивная виброизоляция может применяться как при периодических, так и при непериодических вибрациях поддерживающего основания[1].

[1] При негармоническом законе изменения перемещения поддерживающего основания следует функцию, выражающую зависимость перемещения основания от времени, разложить в ряд Фурье и учитывать первый член этого ряда.

Наиболее часто встречаются гармонические или близкие к ним вибрации, которые возбуждаются механизмами с вращающимися неуравновешенными частями машин (вентиляторами, дебалансными валами виброплощадок и т. п.).

В зависимости от направления колебаний (вертикальные или горизонтальные) применяются различные виды

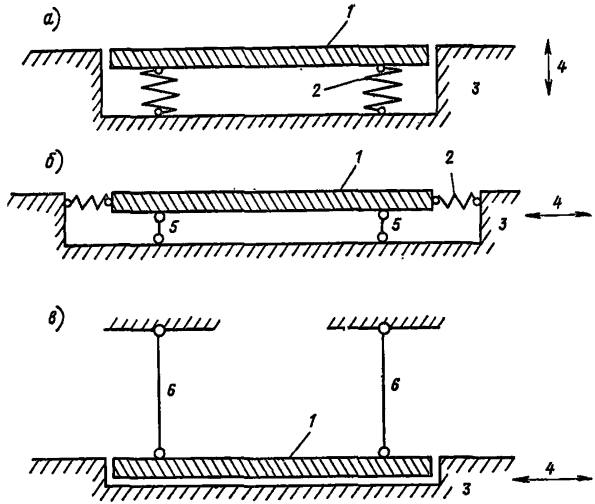


Рис 10. Принципиальные схемы пассивной виброизоляции площадок *а*—при вертикальных колебаниях основания; *б* и *в*—при горизонтальных колебаниях основания (*б*—опорный вариант, *в*—подвесной вариант); *1*—пассивно-виброизолированная плита; *2*—виброизолятор; *3*—колеблющееся основание; *4*—направление колебаний; *5* и *6*—опорные стержни (*5*—катки, *6*—подвески)

виброизоляции. При вертикальных колебаниях применяются пассивно-виброизолированные площадки на упругих опорах, допускающих вертикальные перемещения (пружины сжатия или растяжения). При горизонтальных колебаниях применяются пассивно-виброизолированные площадки на шарнирных подвесках, допускающих горизонтальные перемещения площадки (рис. 10).

Для заводов сборного железобетона характерны вертикальные колебания рабочих мест со сравнительно небольшими амплитудами и большой частотой вынужденных

колебаний. Поэтому обычно следует применять пассивно-виброизолированные площадки на вертикальных упругих элементах (рис. 10, *а*). Следует, однако, иметь в виду, что помимо чисто вертикальных колебаний они допускают также вращательные колебания. При недостаточном весе плиты[1] и малом расстоянии между упругими опорами пассивно-виброизолированная плита будет зыбкой, и при перемещениях по ней будут возникать неприятные ощущения (см. п. 5.5). В связи с указанным вес плиты и расстояние между упругими опорами следует обосновывать расчетом. Расчет виброизоляции является обязательным, так как применение пассивно-виброизолированных площадок (настилов) без расчета в некоторых случаях может привести вместо уменьшения колебаний к их увеличению.

В дальнейшем везде рассматриваются только вертикальные колебания.

5.3. Исходными данными для проектирования пассивно-виброизолированных площадок (настилов) при гармонических колебаниях поддерживающей конструкции служат:

а) частота f_0 и амплитуда $a_{кz}$ вынужденных колебаний поддерживающей конструкции в месте расположения пассивно-виброизолируемой площадки (рабочего места);

б) допускаемая амплитуда колебаний пассивно-виброизолируемой площадки a_{0z};

в) необходимые габариты площадки, вес оборудования, устанавливаемого на площадке, число одновременно находящихся на площадке людей.

5.4. Порядок расчета пассивно-виброизолированной площадки (помоста) следующий.

1. По частоте вынужденных колебаний f_0 по санитарным нормам определяется допускаемая амплитуда колебаний пассивно-виброизолированной площадки a_{0z}[2].

2. Определяется коэффициент передачи μ, которым характеризуется эффективность применения виброизоляции.

Коэффициентом передачи называется отношение амплитуды колебаний a_{0z} пассивно-виброизолированной плиты

[1] См. п. 5. 4. 4.

[2] При устройстве пассивной виброизоляции за допускаемую амплитуду колебаний в большинстве случаев принимают не предельную амплитуду, допускаемую по санитарным нормам, а в несколько раз меньшую, если последующие расчеты подтверждают техническую возможность и целесообразность получения пассивно-виброизолированной плиты с принятой амплитудой колебаний.

к амплитуде колебаний основания $a_{кz}$, определяемое по формуле

$$\mu = \frac{a_{0z}}{a_{кz}} = \frac{1}{\left(\frac{f_0}{f_z}\right)^2 - 1}, \qquad (28)$$

где f_0 — частота вынужденных колебаний основания, определяемая числом оборотов источника возбуждения вибраций. При этом если число оборотов источника вибраций равно n_0 *об/мин*, то частота вынужденных колебаний будет равна:

$$f_0 = \frac{n_0}{60} \text{ гц}; \qquad (29)$$

f_z — частота свободных вертикальных колебаний плиты, установленной на пружинах, в *гц*.

Как следует из формулы (28), коэффициент передачи может быть определен по отношению амплитуд колебаний или по отношению частот. В последнем случае частоту f_z следует предварительно определить исходя из статической осадки пружин $\lambda_{ст}$ и удобства эксплуатации пассивно-виброизолированной плиты. При этом следует иметь в виду, что эффективность виброизоляции будет тем большей, чем мягче (податливей) пружины (виброизоляторы), на которых установлена плита, и чем больше статическая осадка пружин. В то же время с точки зрения удобства эксплуатации площадки выгодно, чтобы пружины были достаточно жесткими, иначе плита при передвижениях по ней рабочих будет получать слишком большие перемещения и окажется зыбкой.

При практических расчетах часто задаются коэффициентом передачи

$$\mu = \frac{1}{40} \div \frac{1}{50}.$$

3. Определяется частота свободных вертикальных колебаний плиты

$$f_z = \frac{f_0}{\sqrt{\frac{1}{\mu} + 1}}. \qquad (30)$$

На заводах железобетонных изделий применяются преимущественно вибраторы с числом оборотов в минуту поряд-

ка 1800—3000, возбуждающие вибрации с частотами порядка 30—50 *гц*.

При таких частотах вынужденных колебаний и указанных выше коэффициентах передачи μ частоты свободных колебаний пассивно-виброизолированных площадок обычно принимают равными 5—7 *гц*.

4. Определяется суммарная жесткость пружин $K_{пz}$, на которых устанавливается плита по частоте собственных колебаний f_z при заданном весе плиты или статической осадке пружин:

$$K_{пz} = \frac{P_0 f_z^2}{25} = \frac{P_0}{\lambda_{ст}}, \qquad (31)$$

где $K_{пz}$ — суммарная жесткость пружин, на которых установлена плита, в *кгс/см*;

P_0 — вес плиты и установленного на ней оборудования в *кгс*[1];

$\lambda_{ст}$ — статическая осадка пружин в *см*, вызываемая установленной на них плитой и оборудованием, определяется по формуле

$$\lambda_{ст} = \frac{P_0}{K_{пz}}.$$

На рис. 11 приведен график зависимости частоты собственных вертикальных колебаний площадки от статической осадки пружин, вызываемой весом плиты и нагрузкой на нее.

Следует иметь в виду, что для площадок, устанавливаемых на колеблющееся основание (пол цеха, междуэтажное перекрытие и т. п.), вес плиты должен превышать не менее чем в 2—3 раза вес рабочих, которые могут находиться на площадке.

5. Определяется жесткость одной пружины $K'_{пz}$ при заданном числе пружин n

$$K'_{пz} = \frac{K_{пz}}{n}. \qquad (32)$$

6. Проверяется деформативность виброизолятора при перемещениях человека по плите (см. п. 5.5).

---

[1] При определении веса P_0 для подсчета необходимой жесткости пружин допускается учитывать вес одного человека, принимаемый равным 80 *кгс*, с коэффициентом 0,75.

7. Определяется расчетная нагрузка на одну пружину

$$P' = \frac{P_0 + (m-1)\,80 \cdot 1{,}5}{n} + 1{,}5\left[\frac{80}{n_н} + K'_{пz}(a_{oz} + a_{иz})\right], \quad (33)$$

где P_0 — вес плиты и установленного на ней оборудования (без веса людей) в *кгс*;

n — общее число пружин, на которые устанавливается плита;

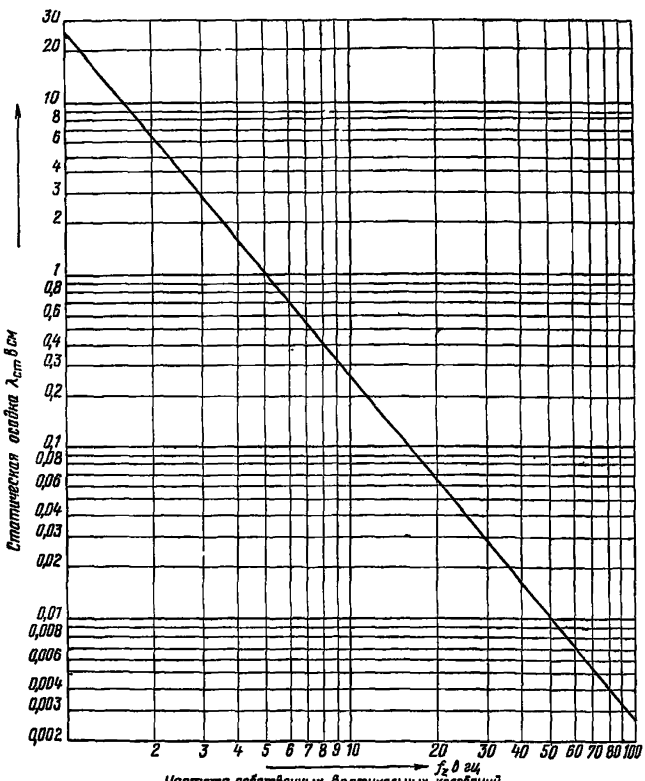


Рис. 11. График зависимости между частотой f_z и статической осадкой пружины $\lambda_{ст} = \frac{25}{f_z^2}$

$n_к$ — число пружин, устанавливаемых в одном кусте (например, виброизолятора);

m — число людей, одновременно находящихся на плите;

a_{oz} — амплитуда колебаний пассивно-виброизолированной плиты в *см*;

$a_{кz}$ — амплитуда колебаний основания в *см*.

Примечания: 1. В формуле (33) коэффициентом 1,5 учитываются усталостные явления материала пружин.

2. Предполагается, что вес одного человека передается на один куст пружин, расположенных рядом (на один виброизолятор).

3. При пружинах с жесткостью каждая менее 500 *кг/см* и амплитудах колебаний основания $a_{кz}$ менее 0,25 *мм* членом $K'_{пz}(a_{oz} + a_{кz})$ в формуле (33) можно пренебречь.

8. Производится расчет пружины по следующим формулам:

а) диаметр прутка d

$$d = 1{,}6\sqrt{\frac{kP'c}{[\tau]}}, \tag{34}$$

где k — коэффициент, определяемый по графику на рис. 12;

$c = \frac{D}{d}$ — отношение среднего диаметра пружины к диаметру прутка (индекс пружины); рекомендуется принимать значения в пределах от 4 до 10;

P' — расчетная нагрузка, приходящаяся на одну пружину, в *кгс*;

$[\tau]$ — допускаемое напряжение на срез (сдвиг) для материала пружины в *кгс/см*^{2};

б) число рабочих витков i пружины

$$i = \frac{Gd}{8K'_{пz}c^3}, \tag{35}$$

где G — модуль упругости на сдвиг для материала пружины; для стали $G = 8 \cdot 10^5$ *кгс/см*^{2};

в) число «мертвых» витков i_2 принимается: $i_2 = 1{,}5$ витка на оба торца пружины при $i \leqslant 7$ и $i_2 = 2{,}5$ витка при $i > 7$;

г) полное число витков пружины

$$i_1 = i + i_2; \tag{36}$$

д) высота ненагруженной пружины

$$H_0 + ih + (i_2 - 0{,}5)\,d, \qquad (37)$$

где h — шаг пружины, выбираемый в пределах 0,25—0,50 D; при расчете пружин, работающих на сжатие, отношение высоты незагруженной пружины к ее среднему диаметру должно быть не больше 1,5, т. е. $\frac{H_0}{D} \leqslant 1{,}5$.

5.5. Осадка виброизолятора, на котором установлена пассивно-виброизолированная плита, при перемещениях по плите одного человека, вес которого принимается равным 80 *кгс*, не должна превышать 10 *мм*.

Если указанная осадка плиты будет более 10 *мм*, то рекомендуется виброизолятор устраивать из двух концентрических пружин, соединенных параллельно с зазором между опорными плоскостями пружин (рис. 13).

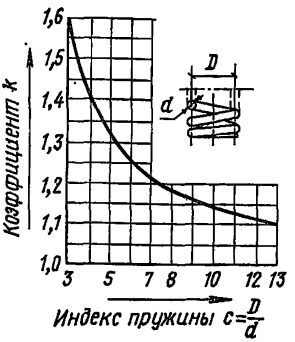


Рис. 12. График определения коэффициента k

D — средний диаметр пружины; d — диаметр прутка

При равномерном распределении нагрузки между отдельными виброизоляторами плита опирается на более мягкие пружины жесткостью $K_{пг(1)}$, а в случае, когда человек находится над данным виброизолятором[1], зазор δ_1 исчезает и подключается пружина большей жесткости $K_{пг(2)}$, т. е. $K_{пг(1)} < K_{пг(2)}$. Величина зазора между верхними опорными плоскостями пружин должна быть такой, чтобы при равномерном распределении подвижной нагрузки на все виброизоляторы более жесткие пружины не включались в работу, так как в последнем случае коэффициент передачи μ резко возрастет и степень виброизоляции окажется недостаточной. С другой стороны, зазор не должен быть слишком большим, чтобы не превысить допускаемой осадки виброизолятора при перемещениях че-

[1] Предполагается, что вес одного человека полностью воспринимается данным виброизолятором.

ловека по плите, т. е. должно соблюдаться следующее неравенство:

$$\delta_1 + \delta_2 \leqslant 10 \text{ мм}. \tag{38}$$

Статическая нагрузка, воспринимаемая пружиной виброизолятора с жесткостью $K_{пz(1)}$, определяется формулой

$$P_1 = K_{пz\,(1)}(\delta_0 + \delta_1 + \delta_2). \tag{39}$$

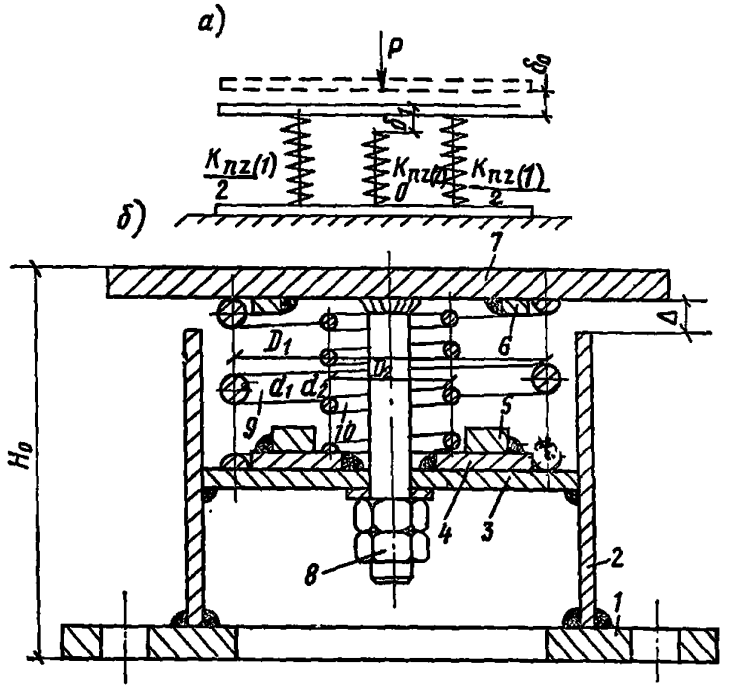


Рис. 13 Виброизолятор переменной жесткости

а—принципиальная схема; *б*—конструктивная схема; *1*—нижняя опорная пластина; *2*—кожух виброизолятора; *3*—днище; *4*, *5* и *6*—фиксирующие кольца; *7*—верхняя опорная пластина; *8*—стяжной болт для предварительного сжатия; *9*—пружина жесткостью $K_{пz\,(1)}$; *10*—пружина жесткостью $K_{пz\,(2)}$; δ_0—деформация предварительного сжатия; δ_1—зазор между верхней опорной пластиной и верхом пружины $K_{пz\,(2)}$; Δ—зазор между верхней опорной пластиной (*7*) и кожухом виброизолятора (*2*); принимается по конструктивным соображениям

Статическая нагрузка, воспринимаемая пружиной с жесткостью $K_{пz(2)}$, определяется формулой

$$P_2 = K_{пz\,(2)}\,\delta_2; \tag{40}$$

при этом

$$\delta_2 = \frac{P' - K_{пz\,(1)}(\delta_0 + \delta_1)}{K_{пz\,(1)} + K_{пz\,(2)}}, \tag{41}$$

где δ_0 — осадка пружины при предварительном сжатии[1] в *см*;

δ_1 — величина зазора (расстояние между нижней поверхностью плиты и верхней поверхностью пружины с жесткостью $K_{пг(2)}$) в *см*;

δ_2 — осадка пружин от статической нагрузки при совместном их деформировании в *см*;

P' — усилие, приходящееся на виброизолятор, в *кгс*;

$K_{пг(1)}$ — жесткость первой пружины в *кгс/см*;

$K_{пг(2)}$ — жесткость второй пружины в *кгс/см*.

5.6. Пассивная виброизоляция площадок, подверженных случайным толчкам, должна иметь коэффициент неупругого сопротивления $\gamma_в \geqslant 0{,}04 \div 0{,}05$. Такая величина коэффициента $\gamma_в$ может быть достигнута путем применения демпферов вязкого трения, воздушных демпферов и комбинированных виброизоляторов из стальных пружин и резиновых элементов.

5.7. При пассивной виброизоляции нельзя допускать возникновения сил сухого трения, препятствующих перемещениям изолируемой установки относительно поддерживающей конструкции.

6. РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ МЕЖДУЭТАЖНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ И РАЗГРУЗОЧНЫХ БАЛОК НА ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ОТ ОБОРУДОВАНИЯ

6.1. Расчет строительных конструкций междуэтажных перекрытий на действие динамических нагрузок от оборудования позволяет определить на стадии проектирования уровень вибраций этих конструкций, запроектированных по условиям статической прочности и устойчивости. Расчет рекомендуется производить в соответствии с инструкциями, указанными в п. 1.4.

При динамическом расчете рекомендуется придерживаться следующей последовательности:

---

[1] Предварительное сжатие виброизолятора вызывается необходимостью обеспечить требуемую величину зазора и перемещение плиты не более 10 *мм* при передвижениях человека Величина осадки предварительного сжатия δ_0 должна обеспечивать свободу колебания виброизолированной плиты относительно положения статического равновесия плиты при нахождении одного человека на ней.

а) по заданию технологов и в соответствии с паспортом на оборудование определяются динамические нагрузки;

б) по данным о конструкциях вычисляются частоты и формы собственных колебаний[1];

в) определяются амплитуды динамических перемещений от действия нормативных динамических нагрузок и сравниваются с допускаемыми по санитарным нормам вибраций;

г) определяются амплитуды динамических и изгибающих моментов от действия расчетных динамических нагрузок;

д) проверяется несущая способность конструкций на совместное действие статических и динамических нагрузок.

6.2. В случае, если амплитуды колебаний превышают допускаемые, то их уменьшение возможно изменением (как правило, увеличением) жесткости конструкций или разработкой такого конструктивного решения перекрытия, при котором балки и плиты не будут испытывать непосредственно динамических воздействий от оборудования, а динамические нагрузки с помощью специальных разгрузочных балок будут передаваться на колонны и стены здания.

Следует отметить, что применение разгрузочных балок в сочетании с виброизоляцией является одним из наиболее эффективных способов уменьшения влияния динамических воздействий на междуэтажные перекрытия и снижения уровня вибраций перекрытий, являющихся рабочими местами для обслуживающего персонала.

Амплитуды вынужденных колебаний разгрузочных балок ограничиваются только их несущей способностью и предельно допустимым динамическим прогибом (п. 6.3).

---

[1] Для однопролетных и равнопролетных неразрезных балок и плит с равномерно распределенной и сосредоточенной нагрузкой вычисление частот собственных колебаний рекомендуется производить по: «Инструкции по расчету несущих конструкций промышленных зданий и сооружений на динамические нагрузки» (ЦНИИСК. Стройиздат, 1970) и «Инструкции по расчету перекрытий на импульсивные нагрузки» (ЦНИИСК. Стройиздат, 1966). В этих инструкциях приведены также подробные таблицы балочных функций.

В случае, если балка загружена тяжелыми, сосредоточенными грузами, по сравнению с которыми собственный вес балки мал, а также для приближенных расчетов она может рассматриваться как система с конечным числом степеней свободы. Частоты, формы собственных и амплитуды вынужденных колебаний таких балок могут определяться по формулам «Инструкции по расчету покрытий промышленных зданий, воспринимающих динамические нагрузки» (ЦНИИСК. Стройиздат. 1967).

6.3. Предельно допустимый динамический прогиб разгрузочных балок, не являющихся элементами перекрытий, колебания которых не ограничиваются требованиями санитарных норм и технологическими условиями, не должен превышать амплитуд колебаний, приведенных в табл. 3.

6.4. При динамическом расчете разгрузочных балок следует различать три случая, характеризующие соотношение частот собственных колебаний балки и подвешенного оборудования.

Таблица 3

Амплитуды колебаний разгрузочных балок, соответствующие предельно допустимому динамическому прогибу

Частота в *гц*	Амплитуда в *мм*	Частота в *гц*	Амплитуда в *мм*
1	25,0	10	0,25
2	6,4	15	0,2
3	2,8	20	0,125
4	1,6	25	0,1
5	1,0	50	0,05
6	0,7	75	0,034
8	0,4	100	0,025

1-й случай. При отношении частот

$$\frac{n^0_{1б}}{n_в} > 5 \qquad (42)$$

частоты собственных колебаний и амплитуда вынужденных колебаний разгрузочной балки определяются без учета массы подвешенного оборудования.

В формуле (42) $n^0_{1б}$ — наименьшая частота собственных колебаний разгрузочной балки без учета влияния подвешенного оборудования; $n_в$ — частота собственных вертикальных колебаний подвешенного оборудования.

Частота $n^0_{1б}$ определяется в соответствии с «Инструкцией по расчету несущих конструкций промышленных зданий и сооружений на динамические нагрузки» (ЦНИИСК. Стройиздат, 1970) по формуле

$$n^0_{1б} = \varphi^0_1 \sqrt{\frac{D}{\mu l^4}}, \qquad (43)$$

где $D = EJ$ — изгибная жесткость балки;

φ^0_1 — коэффициент частоты;

μ — приведенная равномерно распределенная масса, отнесенная к единице длины балки (со всеми жестко присоединенными к ней массами);

l — пролет балки.

Частота $n_в$ определяется по формуле

$$n_в = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K_в}{m_г}}, \qquad (44)$$

где $m_г$ — масса подвешенного оборудования;

$K_в$ — коэффициент жесткости[1] всех подвесок, соединяющих оборудование с перекрытием.

2-й случай. При отношении частот

$$1 \leqslant \frac{n^0_{1б}}{n_в} \leqslant 5 \qquad (45)$$

наименьшую частоту собственных колебаний балки рекомендуется определять по приближенной формуле

$$n_1{}^0 = \frac{n^0_{1б}}{\sqrt{\eta}}, \qquad (46)$$

где n^0_1 — наименьшая частота собственных колебаний разгрузочной балки с учетом влияния массы подвешенного оборудования;

η — коэффициент, характеризующий влияние упруго присоединенной массы подвешенного оборудования на частоту собственных колебаний балки.

Коэффициент η вычисляется по формуле

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{n_в{}^2}{n^2_{1\,мин}}}, \qquad (47)$$

где $n_{1\,мин}$ — частота собственных колебаний балки в предположении, что подвешенное оборудование жестко связано с балкой.

---

[1] Коэффициентом жесткости конструкции называется коэффициент, характеризующий упругость конструкции и численно равный величине силы, которая, будучи приложена к данной точке конструкции, вызывает перемещение ее, равное единице. Коэффициент $K_в$ измеряется величиной вертикальной силы, приложенной к центру тяжести подвешенного оборудования и вызывающей единичное перемещение в точке приложения этой силы при неподвижном закреплении подвесок к опорной конструкции (разгрузочной балке).

Частота $n_{1\,\text{мин}}$ определяется по формуле

$$n_{1\text{мин}} = \varphi_1^0 \sqrt{\frac{D}{(\mu + \mu^r) l^4}}, \qquad (48)$$

где μ^r — приведенная погонная масса на балке от подвешенного оборудования в предположении жесткой связи его с балкой[1].

3-й случай. При отношении частот

$$\frac{n_{1б}}{n_в} < 1 \qquad (49)$$

наименьшая частота собственных колебаний разгрузочной балки определяется по формуле (48) в предположении, что оборудование жестко связано с балкой.

---

[1] При определении μ^r принимается, что масса оборудования сосредоточена в точках присоединения подвесок к разгрузочной балке. Сосредоточенные массы, приходящиеся на каждую подвеску, находятся по правилу рычага.

В случае, если расстояние между подвесками оборудования меньше $^1/_6$ пролета балки, то масса, приходящаяся на эти подвески, считается сосредоточенной в средней точке между подвесками. Подсчет приведенной погонной массы, определение амплитуд колебаний и проверка несущей способности производятся по Инструкции, указанной в п. 1.4, «б».

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЗАВОДОВ И ПОЛИГОНОВ СБОРНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА И ДАННЫЕ О НОРМАТИВНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ, ВОЗБУЖДАЕМЫХ ЭТИМ ОБОРУДОВАНИЕМ [1]

В настоящем перечне приведены характеристики и нормативные динамические нагрузки для основного технологического оборудования, являющегося источником возбуждения вибраций при изготовлении железобетонных изделий.

В перечень включены не только так называемые средства вибрационной техники (виброплощадки, виброформы и др.), но и основные технологические машины, возбуждающие динамические нагрузки (бетоносмесители, центрифуги для формования железобетонных изделий и др.).

Перечень систематизирован по типам машин в виде таблиц, в которых приводятся краткие характеристики, а также нормативные динамические нагрузки, определенные расчетным путем.

Следует отметить, что перечень оборудования, а также данные о динамических нагрузках не претендуют на исчерпывающую полноту.

Динамические характеристики оборудования в ряде случаев являются ориентировочными, а иногда и вовсе отсутствуют, поскольку организации, проектирующие и изготовляющие оборудование, не указывают эти данные в паспортах оборудования.

При подсчете суммарных динамических нагрузок от вибрационного оборудования приняты также некоторые допущения. Например, суммарные возмущающие силы и кинетические моменты для машин, снабженных несколькими вибраторами, приведены в таблицах в предположении, что все вибраторы в какой-то момент работают синфазно или синхронно.

Оборудование и виброинструмент в предлагаемых таблицах обозначены двумя марками. Наряду с общеизвестными марками приведены новые. Старые марки обозначены в скобках.

---

[1] Составлен Государственным институтом по проектированию предприятий промышленности строительных материалов Гипростройматериалы (инженерами Ф. Ф. Пороженко, Е. П. Дериченко, С. Г. Гершман).

Таблица 4

Вибраторы глубинные, электромеханические, ручные

Наименование параметров		Единица измерения	Значения параметров вибраторов								
			ИВ-32 (С-825)	ИВ-33 (С-826)	ИВ-55 (С-975)	ИВ-56 (С-976)	ИВ-17 (С-727)	ИВ-25 (С-800)	ИВ-26 (С-801)	ИВ-27 (С-802)	ИВ-47 (С-922)
Вибрационный механизм		—	Дебалансный				Планетарный				
Размеры вибронаконечника	диаметр	*мм*	14	133	51	76	36	76	76	51	76
	длина	»	420	430	410	530	350	440	470	400	440
Вес	общий	*кгс*	22	29	10	19	27	46	48	34	59
	вибронаконечника	»	—	—	—	—	1,8	8,7	9,9	4,4	8,7
	электродвигателя	»	—	—	—	—	14	16,5	16,5	14	16,5
Электродвигатель привода вибратора	конструктивное выполнение	—	Встроенный				Отдельно стоящий с гибким валом				
	потребляемая мощность	*квт*	0,6	1,1	0,27	0,8	0,8	1,2	1,2	0,8	1,2
	скорость вращения ротора	*об/мин*	5800	5800	11000	11000	2800	2800	2800	2800	2800
	напряжение в сети	*в*	36								
	частота тока	*гц*	200				50				
Максимальный кинетический момент дебалансов		*кгс·см*	1,3	2,22	0,15	0,41	0,03	0,35	0,4	0,1	0,35
Характер колебаний		—	Круговые				Сложнокруговые				
Частота колебаний		*кол/мин*	5800	5800	11 000	11 000	20 000	10 000	12 500	15 000	10 000
Нормативная возмущающая сила (максимальная)		*кгс*	500	830	200	550	135	400	700	250	400
Назначение		—	Для уплотнения бетонных смесей								

Таблица 5

Вибраторы глубинные, электромеханические, подвесные[1]

Наименование параметров		Единица измерения	Значения параметров вибраторов		
			ИВ-34 (С-827)	ИВ-11 (С-649)	В316-01
Вибрационный механизм		—	Планетарный (с внутренней обкаткой бегунка)		
Размеры вибронаконечника	диаметр	*мм*	133	194	194
	длина	»	720	1500	2300
Вес вибратора		*кгс*	120	230	350
Электродвигатель привода вибраторов	конструктивное выполнение	—	Вынесенный	Встроенный	
	потребляемая мощность	*квт*	3,2	4	4
	скорость вращения ротора	*об/мин*	1500	3000	3000
	напряжение	*в*	220/380		
	частота	*гц*	50		
Максимальный кинетический момент дебалансов		*кгс·см*	2,8	8,3	8,3
Характер колебаний		—	Сложнокруговые		
Частота колебаний		*кол/мин*	8000; 1420	5500; 740	5500; 740
Амплитуда колебаний (в воздухе)		*мм*	—	1	1
Максимальная нормативная возмущающая сила		*кгс*	2000	2800	2800
Назначение		—	Для уплотнения бетонной смеси в массивах		

[1] Используются в виде вибропакетов, подвешенных на кранах

Таблица 6

Вибраторы общего назначения, электромеханические

Наименование параметров		Единица измерения	Значения параметров вибраторов							
			ИВ-19 (С-792)	ИВ-20 (С-793)	ИВ-21 (С-794)	ИВ-22 (С-795)	ИВ-24 (С-797)	ИВ-61	ИВ-49 (С-967)	ИВ-2* (С-414)
Вибрационный механизм		—	Дебалансный							
Конструктивная характеристика		—	Одновальный						Двухвальный	Одновальный
Габаритные размеры	длина	*мм*	275	310	405	420	510	435	420	950
	ширина	»	180	230	240	310	345	240	484	650
	высота	»	200	250	250	285	320	250	385	310
Вес (общий)		*кгс*	12	20	25	51	80	32	110	43
Электродвигатель привода вибратора	потребляемая мощность	*квт*	0,27	0,4	0,6	0,8	1,5	0,4	0,8×2	0,7
	скорость вращения ротора	*об/мин*	2 800	2 800	2 800	2 800	2 800	1 400	2 800	2 800
	напряжение в сети	*в*	220/380							36
	частота тока	*гц*	50							
Максимальный кинетический момент дебалансов		*кгс·см*	2,3	4,6	9,2	18,3	34,4	23	36,6	6,5
Характер колебаний		—	Круговые						Направленные	Круговые
Частота колебаний вибратора		*кол/мин*	2 800	2 800	2 800	2 800	2 800	1 400	2 800	2 800
Нормативная возмущающая сила (максимальная)		*кгс*	200	400	800	1600	3 000	500	3 200	565
Назначение		—	Для уплотнения бетонных смесей, механизации выгрузки сыпучих и пр.					Для установки на транспортерах, вибропитателях и пр.		Для уплотнения бетонных смесей

* Вибратор ИВ-2 — поверхностный — выпускается в комплекте с плитой.

Таблица 7

Маятниковые вибраторы электромеханические, общего назначения

Наименование параметров		Единица измерения	Значения параметров вибраторов				
			ИВ-35 (С-839)	ИВ-36 (С-840)	ИВ-38 (С-842)	ИВ-53 (С-971)	ИВ-63 (взамен С-485)
Вибрационный механизм		—	Дебалансный				
Конструктивная характеристика		—	Одновальный				
Габаритные размеры вибратора	длина	*мм*	275	390	470	495	510
	ширина	»	305	395	455	310	345
	высота	»	185	230	310	455	510
Вес		*кгс*	15	32	85	94,2	130
Электродвигатель привода вибратора	конструктивное выполнение	—	Встроенный				
	потребляемая мощность	*квт*	0,27	0,4	0,8	0,8	1,5
	скорость вращения ротора	*об/мин*	2 800				
	напряжение в сети	*в*	220/380				
	частота тока	*гц*	50				
Максимальный кинетический момент дебалансов		*кгс·см*	2,3	4,6	18,3	18,3	34,3
Характер колебаний		—	Направленный				
Частота колебаний		*кол/мин*	2 800				
Нормативная возмущающая сила (максимальная)		*кгс*	200	400	1600	1600	3000
Назначение		—	Для установки на вибропитателях, транспортерах и пр.			Для групповой работы на виброплощадках и пр.	—

Таблица 8

Вибраторы пневматические, глубинные

Наименование параметров			Единица измерения	Значения параметров вибраторов				
				ИВ-13 (С-697)	ИВ-14 (С-698)	ИВ-15 (С-699)	ИВ-16 (С-700)	ИВ-48 (С-923)
Вибрационный механизм			—	Планетарный				
Размеры вибронаконечника		диаметр	*мм*	34	50	75	110	133
		длина	»	315	315	375	480	350
Общая длина вибратора			»	2470	2335	2525	1405	1250
Вес вибратора			*кгс*	3,5	5,5	11,0	20,0	24,5
Пневматический привод бегунка		рабочее давление сжатого воздуха	*кгс/см²*	4—6	4—6	4—6	4—6	4—6
		расход воздуха	*м³/мин*	0,5—0,7	0,8—1,0	1,2—1,3	1,4—1,5	1,6—1,7
Максимальный кинетический момент дебалансов			*кгс·см*	0,04	0,15	0,45	2,3	3,0
Характер колебаний			—	Сложнокруговой				
Частота колебаний	При работе в воздухе	высокая	*кол/мин*	14000—18000	12000—18000	10000—16000	8 000—14 000	7 000—12 000
		низкая	»	2800—3600	2400—3600	2000—3000	1500—2600	1400—2400
	При работе в бетоне	высокая	»	12000—16000	10000—15000	8000—14 000	7000—12 000	6000—10 000
		низкая	»	2400—3200	2000—3000	1500—2700	1300—2200	1200—2000
Амплитуда колебаний (в нижней точке вибратора)			*мм*	0,8	1,0	1,6	2,6	2,1
Нормативная возмущающая сила (максимальная)			*кгс*	100	375	980	3700	3350
Назначение			—	Для уплотнения бетонных смесей				

Таблица 9

Вибраторы пневматические, прикрепляемые

Наименование параметров		Единица измерения	Значения параметров вибраторов					
			ИВ-28 (С-819)	ИВ-29 (С-820)	ИВ-30 (С-821)	ИВ-31 (С-822)	С-876 (ВПН-1)	ИВ-64
							Для формования напорных труб	
Вибрационный механизм		—	Планетарный					
Габаритные размеры	длина со шлангом	*мм*	1300	1310	1305	1355	—	—
	длина корпуса	»	120	125	125	170	260	210
	ширина	»	70	95	140	180	200	250
	высота	»	38	54	78	116	180	272
Вес вибратора		*кгс*	2,5	3	6	14	16	12,5 (19,5 с комплектом шланга и креплением)
Привод бегунка	рабочее давление сжатого воздуха	*кгс/см²*	5	5	5	5	3—6	5
	расход воздуха	*м³/мин*	≤0,7	≤1	≤1,3	≤1,6	0,8—1,25	1,6 (при работе без нагрузки)
Максимальный кинетический момент		*кгс·см*	0,04	0,15	0,45	2,3	1,9	2,4
Характер колебаний		—	Сложнокруговые двухчастотные				Круговые, одночастотные	Сложнокруговые двухчастотны
Частота колебаний	высокая	*кол/мин*	14 000	12 000	10 000	8000	4300—6000 при 3 *кгс/см²*, 7000—9000 при 6 *кгс/см²*	8000±20% при работе без нагрузки
	низкая	»	2600	2500	2300	1300	—	—
Нормативная возмущающая сила (максимальная)		*кгс*	87	240	500	1650	1720 при 9000 *кол/мин*	1710 при 8000 *кол/мин*
Назначение		—	Для уплотнения бетонных смесей; для механизированной выгрузки сыпучих и т. д.					

Таблица 10

Вибраторы двухтактные, электромагнитные

Наименование параметров		Единица измерения	Значения параметров вибраторов					
			367-РМ	411-РМ	372-РМ	382-РМ	383-РМ	ГВК-1-06
Исполнение вибратора		—	Открытый с рессорной подвеской					
Исполнение вибродвигателя		—	Двухзазорный, возвратно-поступательного действия					
Габаритные размеры вибратора	длина	*мм*	1095	1400	1740	1890	2180	1565
	ширина	»	710	840	960	1170	1470	1110
	высота	»	405	475	560	720	865	770
Вес		*кгс*	510	740	1710	2700	3430	3040
Сила тока питающего (переменного)		*а*	1,8	3,5	7,5	14,0	30,0	14,0
Сила тока возбуждения (постоянного)		»	3,4	2,7	7,0	11,0	16,0	11,0
Мощность потребляемая		*вт*	500	1000	2000	4000	8000	4000
Нормальный зазор электромагнита		*мм*	1,5	1,6	1 8	2,1	2,7	2,0÷2,2
Коэффициент мощности		—	0,7—0 8					0,8—0,9
Напряжение переменного тока питания		*в*	380					
Напряжение постоянного тока возбуждения		»	24					
Частота тока питания		*гц*	50					
Частота колебаний вибратора		»	50					
Размах колебаний рабочего органа (двойная амплитуда)		*мм*	1,4	1,5	1,6	1,8	2,2	1,8
Назначение		—	Употребляются в качестве привода вибропитателей и пр					

Таблица 11

Виброплощадки блочной конструкции (из унифицированных виброблоков)

Наименование параметров		Единица измерения	Значения параметров виброплощадок					
			СМЖ-63 (СМ-865)	СМЖ-64 (СМ-868)	СМЖ-200 (6691-С/1)	СМЖ-181 (6691/1СБ)	СМЖ-199 (7151/1С)	СМЖ-65 (5917)
Максимальная грузоподъемность		*тс*	2	8	15	15	24	10
Конструктивное выполнение		—	Из унифицированных блоков					
Тип вибровозбудителя		—	Центробежные, двухвальные со сменными дебалансами					
Количество виброблоков		шт.	2	8	8	8	16	8
Способ крепления форм		—	Пневмоприжимы		Электромагниты			
Максимальный размер формуемых изделий (в плане)		*м*	0,8×3	2×6	3×6	2×8	3×12	0,7×14
Габаритные размеры виброплощадки	длина	*мм*	3860	7000	9704	10 674	14 634	16 984
	ширина	»	670	2330	2772	2600	2834	760
	высота	»	790	900	890	654	694	800
Вес виброплощадки	общий	*кгс*	1040	4300	7480	6300	9500	5800
	вибрирующих частей	»	720	2900	4800	3100	640	4084
Электродвигатель привода виброплощадки	мощность	*квт*	10	20×2	20×4	20×4	20×4	30×2
	скорость вращения ротора	*об/мин*	3000_{-200}					

Продолжение табл. 11

Наименование параметров		Единица измерения	Значения параметров виброплощадок					
			СМЖ-63 (СМ-865)	СМЖ-64 (СМ-868)	СМЖ-200 (6691-С/1)	СМЖ-181 (6691/1СБ)	СМЖ-199 (7151/1С)	СМЖ-65 (5917)
Максимальный кинетический момент дебалансов	одного виброблока	*кгс·см*	60		80		60	
	общий	»	120	480	640		960	480
Характер колебаний		—	Гармонические, одночастотные, вертикально направленные					
Частота колебаний		*кол/мин*	2800	2800	2800	2800	2800	292
Амплитуда колебаний		*мм*	0,4—0,6	0,4—0,6	0,4	0,4	0,45	0,5
Нормативная возмущающая сила (максимальная)	на один виброблок	*кгс*	5280	5280	7000	7000	5280	5700
	общая	»	10 560	42 240	56 000	56 000	84 480	45 500
Назначение		—	Для формования железобетонных изделий					

Виброплощадки рамной конструкции

Таблица 12

Наименование параметров		Единица измерения	Значения параметров виброплощадок				
			СМ-475У	ДВ-21	СМ-476Б	СМ-615КП	СМЖ-66 (6668/3Б)
Максимальная грузоподъемность		*тс*	2	3	5	10	8
Конструктивное выполнение	вибростолы	шт	1	2	4	4	1
	амортизаторы	—	На пружинных рессорах				
Вибровозбудитель (со сменными дебалансами)	тип	—	Двухвальные	Одновальные		Двухвальные	Одновальные
	количество	шт.	2	4	8	8	6
Способ крепления форм		—	Клиновыми прижимами				
Максимальные размеры формуемых изделий (в плане)		*м*	1,1×3	2,5×2,7	2,5×6	3,6×6,1	2,5×3
Габаритные размеры виброплощадки	длина	*мм*	3770	3900	7020	7200	5260
	ширина	»	1100	2500	2500	3600	2685
	высота	»	975	935	955	880	1327
Вес	общий	*кгс*	1530	2100	4100	5960	5126
	вибрирующих частей	»	1030	—	3000	4400	2400
Электродвигатель привода дебалансов	мощность	*квт*	10	20	20	20×2	13×2
	скорость вращения ротора	*об/мин*	2890	2920	2920	2920	3000_{-200}
Максимальный кинетический момент дебалансов		*кгс·см*	160	160	320	640	270
Характер колебаний виброплощадки		—	Гармонические, одночастотные, вертикально направленные				
Частота колебаний		*кол/мин*	2890	2920	2920	2920	2920
Амплитуда колебаний		*мм*	0,4—1,0	0,3—0,45	0,3—1,0	0,3—0,6	0,37
Нормативная возмущающая сила (максимальная)		*кгс*	15 000	15 000	30 000	60 000	25 300
Назначение		—	Для формования железобетонных изделий				

Виброплощадки с горизонтально направленными колебаниями Таблица 13

Наименование параметров		Единица измерения	Значения параметров виброплощадок			
			СМЖ-80 (7452)	СМЖ-198 (СМ-3010)	СМЖ-195	СМЖ-196
Максимальная грузоподъемность		*т*	8	15	До 4	12—20
Конструктивное выполнение		—	С вынесенным отдельно вибровозбудителем			
Тип вибровозбудителя		—	Центробежные двухвальные со сменными дебалансами		Супергармонический	С двусторонними ударами
Способ крепления форм		—	Зажим — грузорычажный; освобождение — гидравлическое		Клиновый с гидроприводом	Не требуется
Габаритные размеры виброплощадки	длина	*мм*	8310	8370	4220	1750
	ширина	»	2960	3200	2000	1310
	высота	»	1435	1435	1000	1050
Вес	общий	*кгс*	5350	6400	3500	3650
	колеблющихся частей	»	575	934	1500	2060
Электродвигатель привода виброблока	мощность	*квт*	7,7	14	22	20·2=40
	скорость вращения ротора	*об/мин*	3000	3000	1500	1500
Максимальный кинетический момент		*кгс·см*	80	90	185	640
Характер колебаний		—	Гармонические одночастотные		Гармонические двухчастотные	Ударные (через резиновые прокладки)
Частота колебаний		*кол/мин*	3000 ±100	2600 ±100	1500 и 4500	1500 (двусторонних ударов)
Амплитуда колебаний		*мм*	0,4—0,6		0,15 (при 4500 *кол/мин*) 0,3 (при 1500 *кол/мин*)	2—2,5
Нормативная возмущающая сила (максимальная)		*кгс*	8000	6800	4650*	—
Назначение		—	Для формования изделий из жестких бетонных смесей			

* При частоте колебаний 1500 *кол/мин*.

Виброплощадки с круговыми колебаниями

Таблица 14

Наименование параметров		Единица измерения	Значения параметров виброплощадок		
			10—22 С	10—26 С	651—02
Максимальная грузоподъемность		*тс*	5	10	15
Конструктивное выполнение	вибростолы	—	Рамной конструкции		
	амортизаторы	—	Пружинные опоры		
Тип вибровозбудителя		—	Одновальные со сменными дебалансами		
Способ крепления форм		—	Электромагнитный	Механический	Электромагнитный
Размеры вибростола (в плане)		*м*	2×6,6	2,8×4,2	1,6×8,4
Габаритные размеры	длина	*мм*	6565	4200	8400
	ширина	»	1980	2800	2000
	высота (без электродвигателя)	»	1020	1025	880
Вес	общий	*кгс*	7420	7100	13 200
	в т ч вибрирующих частей	»	6278	6565	11 400
Электродвигатель привода дебалансного вала	мощность	*квт*	28	28	40
	скорость вращения ротора	*об/мин*	3000	2940	3000
Максимальный кинетический момент дебалансов		*кгс·см*	290	320	640
Характер колебаний		—	Круговые		
Частоты колебаний		*кол/мин*	3000	2940	3000
Амплитуда колебаний		*мм*	0,4		
Нормативная возмущающая сила (максимальная)		*кгс*	29 230	30 980	64 500
Назначение		—	Для формования железобетонных изделий		

Таблица 15

Кассетные установки для изготовления плоских железобетонных изделий

Наименование параметров			Единица измерения	Значения параметров кассет						
				7412/1	7412/2	7412/3	7412/4	7412/5	7412/6	7412/7
Наименование формуемых изделий			—	Панели перекрытий		Внутренние стеновые панели			Внутренние перегородки	
Максимальные размеры формуемых изделий		длина	*м*	5,7	5,7	5,62	5,8	5,6	5,73	5,73
		ширина	»	3,18	2,64	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58
		толщина	»	0,1	0,1	0,12	0,12	0,14	0,05	0,05
Распалубочная машина к кассетам			марка	СМЖ-20 (7412/21)	СМЖ-21 (7412/22)				СМЖ-22 (7412/23)	
По кассете	Количество рабочих отсеков в кассете		шт.	10	10	10	10	6	6	10
	Максимальное рабочее давление пара в тепловых отсеках		*ати*	0,6						
Вибраторы (навесные)		существующие	тип	Электромеханические общего назначения ИВ-2 (С-414)						
		перспективные	»	Электромеханические ИВ-68 (разработаны специально для кассетных установок)						
Количество вибраторов на кассете			шт.	10	10	10	10	6	6	10
Габаритные размеры	Кассеты	длина	*мм*	7050						
		ширина	»	2588		2788		2412	2402	2432
		высота	»	3555	3035					

Продолжение табл. 15

Наименование параметров			Единица измерения	Значения параметров кассет						
				7412/1	7412/2	7412/3	7412/4	7412/5	7412/6	7412/7
Габаритные размеры	Распалубочной машины (по типам машин)	длина	*мм*	7130						
		ширина	»	5740						
		высота	»	2875	2355					
Вес	Кассет (вибрирующих частей)		*тс*	77,1	67,4	66,3	64,3	47	42,8	65,7
	Распалубочной машины		»	13,45	12,93				13,29	
	Бетона в изделиях (при максимальной раскладке)		»	45,0	37,5	43,5	44,7	30,0	11,1	18,2
При одновременной работе всех вибраторов	Максимальная потребляемая вибраторами мощность	при С-414	*квт*	0,7×10=7,0				0,7×6=4,2		7,0
		при ИВ-68	»	0,4×10=4,0				0,4×6=2,4		4,0
	Максимальный кинетический момент	при С-414	*кгс·см*	6,5×10=65,0				6,5×6=39		65,0
		при ИВ-68	»	23×10=230				23×6=138		230
Характер колебаний			—	Круговые						
Частота колебаний вибраторов		при С-414	*кол/мин*	2800						
		при ИВ-68	»	1400						
Нормативная возмущающая сила (максимальная)		при С-414	*кгс*	565×10=5650				565×6=3390		5650
		при ИВ-68	»	500×10=5000				500×6=3000		5000

Таблица 16

Стендовые силовые виброформы для длинномерных железобетонных изделий (балок) (рис. 14)

Наименование параметров		Единица измерения	Значения параметров, № чертежей форм				
			7520	3030	3081	74	73
Тип формы		—	Вибропоршневые			С навесными вибраторами	
Формуемое железобетонное изделие	наименование балки	—	Стропильные балки		Подстропильные балки	Стропильные балки	
	серия чертежа	—	ПК-01-06	ПП-01-01	ПП-01-03	ПК-01-06	ПК-01-06
	марка	—	1Б4-18-3	БПТ-18-3	БПТ-4	1Б4-18-3	1Б4-12-1
	длина	*м*	18	18	12	18	12
Вибраторы	тип, марка	—	4 В			С-413	
	местонахождение	—	Привариваются к поддону			Навешиваются на борта форм	
	количество	шт.	3	3	4	20	12
Количество пружинных амортизаторов под формой		»	20	20	10	12	8
Габаритные размеры формы (без навесных вибраторов и без амортизаторов)	длина	*мм*	21 611	22 920	15 250	19 820	13 820
	ширина	»	1 350	1 500	2 160	760	660
	высота	»	21 175	2 140	2 300	1 830	1 502

Продолжение табл. 16

Наименование параметров		Единица измерения	Значения параметров, № чертежей форм				
			7520	3030	3081	74	73
Вес	Железобетонного изделия	*т*	9,1	12	12	9,1	4,2
	Виброформы (без навесных вибраторов и амортизаторов)	»	20,8	20	20	12,25	6,45
Максимальная потребляемая вибраторами мощность (при работе всех вибраторов)		*квт*	5,5×3= =16,5	5,5×3= =16,5	5,5×4= =22	0,4×20= =8	0,4×12= =4,8
Максимальный кинетический момент	на один вибратор	*кгс·см*	45			4,5	
	при синхронной работе всех вибраторов	»	135	135	180	90	54
Характер колебаний вибраторов		—	Круговые				
Частота колебаний вибраторов		*кол/мин*	3000			2800	
Нормативная возмущающая сила (максимальная)	на один вибратор	*кгс*	4500			395	
	при синхронной работе всех вибраторов	»	13 500	13 500	18 000	7900	4740

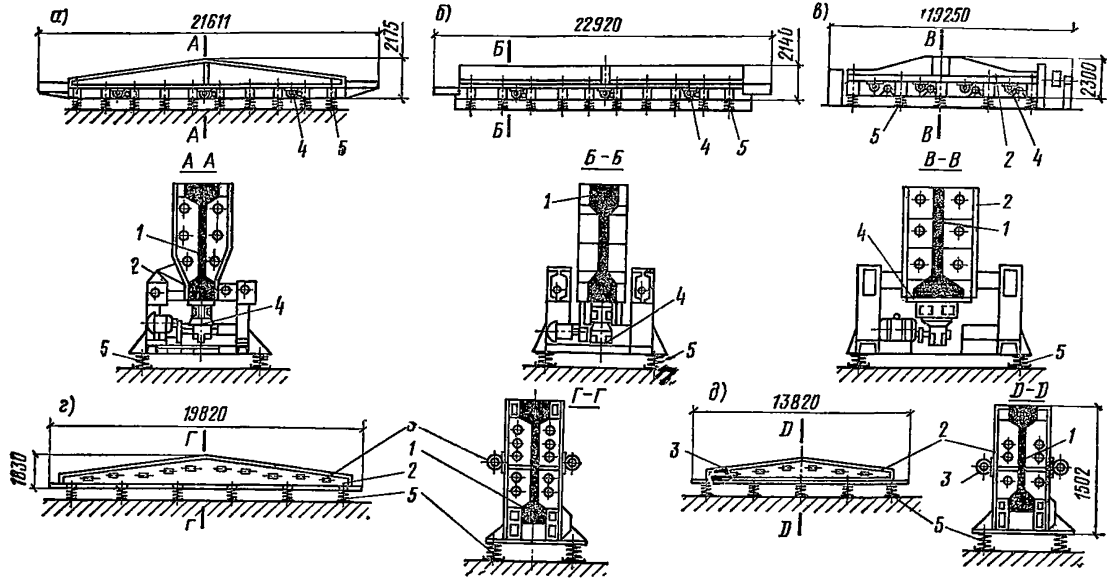


Рис. 14. Стендовые силовые виброформы для длинномерных железобетонных изделий

вибропоршневые формы: *а* — 7520; *б* — 3030; *в* — 3081; формы с навесными вибраторами: *г* — 74; *д* — 73; *1* — железобетонная балка; *2* — форма; *3* — навесной вибратор; *4* — вибратор под поддоном; *5* — виброизолятор

Таблица 17

Посты формования напорных железобетонных труб (способом виброгидропрессования в вертикальном положении) (см. рис. 9)

Наименование параметров			Единица измерения	Значения параметров для труб по их внутренним диаметрам						
				500	700	900	1000	1200	1400	1600
Железобетонная труба	объем бетона		$м^3$	0,53	0,87	1,17	1,42	1,98	2,66	3,28
	вес бетона		$т$	1,2	2,01	2,92	3,55	4,95	6,65	8,2
Данные по формовочному посту (при высоте форм 5640 *мм*)	чертеж формы		№	6873/36	6873/46	6873/3Б	6873/2Б	6873/1Б	Опытные	
									2422/25	2422/24
	наружный диаметр формы		*мм*	916	1156	1388	1510	1786	2024	2264
	площадь опирания раструба формы (в плане)		$м^2$	0,98	—	—	1,77	2,56	2,92	3,8
	размер (в плане) железобетонной плиты поддона (δ=400 *мм*)		$м^2$	1,55×1,55		1,9×1,9			3,2×2,2	
	вес формы	общий	*кгс*	2900	3880	5952	6800	8509	11 629	14 558
		в том числе наружной формы	»	—	1980	2972	3441	3829	5050	5406
		в том числе сердечника	»	—	1559	2620	2942	4020	5947	8377
		в том числе резинового чехла	»	139	196	243	278	340	380	420
	Вес загрузочного конуса		»	35	50	69	76	98	128	175

Продолжение табл. 17

Наименование параметров			Единица измерения	Значения параметров для труб по их внутренним диаметрам						
				500	700	900	1000	1200	1400	1600
Навешены на форму вибраторы	Количество		шт.	4	4	6	6	6	8	8
	Тип	существующие	—	С-876 (ВПН-1) пневматические						
		на перспективу	—	ИВ-64					То же (взамен С-876)	
	Характер колебаний		—	Сложнокруговой						
	частота колебаний	С-876	*кол/мин*	4300—6000 при давлении 3 *кгс/см²*; 7000—9000 при 6 *кгс/см²*						
		ИВ-64	»	8000±20%						
Максимальный суммарный кинетический момент (всех вибраторов)		при С-876	*кгс·см*	7,6		11,4			15,2	
		при ИВ-64	»	9,6		14,4			19,2	
Максимальная суммарная возмущающая сила (всех вибраторов)		при С-876	*кгс*	6880		10 320			13 560	
		при ИВ-64	»	6840		10 250			13 500	

Таблица 18

Центрифуги для формования трубчатых железобетонных изделий

Наименование параметров				Единица измерения	Значения параметров центрифуг			
					СМЖ-104 (7286/1)	СМЖ-106 (7286/3)	СМЖ-169 (576/1) опытная	5П-273
Тип центрифуги				—	Роликовые			Клиноременные
Количество опор в центрифуге				шт.	2	2	4	3
Вид центрифугируемого железобетонного изделия				—	Цилиндрические безнапорные трубы		Конические опоры разные (Л·П и др.)	Трубы разные
Размерные данные	по центрифугируемому изделию	диаметр условного прохода		*мм*	1000—1500	400—900	Вершина 170—290, основание 490	800—900
		максимальная длина		*м*	5,2	5,2	13,5	5,2
	по форме	диаметр бандажа		*мм*	2020—2520	1100—1750	515—650—700	—
		длина		*м*	5,365	5,2—5,45	13,5	5,3
	по центрифуге	диаметр роликов		*мм*	800	800	400	—
		габаритные размеры	длина	»	5950	5800	12 540	6500
			ширина	»	4550	4000	3465	4756
			высота	»	3720	3020	1597	4100

Продолжение табл. 18

Наименование параметров			Единица измерения	Значения параметров центрифуг			
				СМЖ-104 (7286/1)	СМЖ-106 (7286/3)	СМЖ-169 (576/1) опытная	5П-273
Вес	центрифугируемого железобетонного изделия		*т*	4,75—8,13	0,77—3,9	1,13—1,82	4
	формы		»	5,43—7,9	2,4—4,7	—	—
	центрифуги		»	14,1	12,4	12,74	15,82
Электродвигатель привода вращения форм		мощность	*квт*	125	75	27,7 максимальная	75
		скорость вращения ротора	*об/мин*	1450	1450	485; 725; 960; 1450	1500
Скорость вращения форм		при распределении бетонной смеси (разгонная)	»	48—60	79—145	163; 141; 121	—
		при уплотнении бетонной смеси (рабочая)	»	190—242	255—505	490; 420; 360	максимальная 578

Таблица 19

Бетоносмесители и растворосмесители принудительного действия (стационарные, циклические)

Наименование параметров		Единица измерения	Значения параметров смесителей						
			С-355	С-356	С-773	С-951	С-289В (со скипом)	СБ-81	СБ-79
Емкость	по загрузке	л	500	1000	500	1200	325	1000	1000 800
	по выгрузке	»	330	660	330	800	250	800	750 500
Емкость приведена для смесей		»	Бетонных				Растворных		Бетонных Растворных
Рабочие органы смесителя		—	Противоточные (вращаются чаша и ротор с лопастями)		Вращается ротор с лопастями		Вращается горизонтальный вал с лопастями	Турбулентного действия	Вращается ротор с лопастями
					—	дополнительные планетарные лопасти			
Внутренний диаметр чаши		мм	2200	2188	1800	2140	840	1200	2200
Длина корыта		»	—	—	—	—	900	—	—

Продолжение табл. 19

Наименование параметров		Единица измерения	Значения параметров смесителей						
			С-355	С-356	С-773	С-951	С-289В (со скипом)	СБ-81	СБ-7[illegible]
Габаритные размеры смесителя	длина	*мм*	3170	3170	2200	2455	2455	2535	2600
	ширина	»	2360	2360	1970	2280	2035	1610	2375
	высота	»	1534	1585	2160	2795	2130 (со скипом)	2030	256[illegible]
Вес	общий (машины)	*кгс*	3920	4465	2000	4000	1380	2400	3445
	смесительного органа	»	—	—	~500	1000	172	~150	660
	вращающейся чаши	»	—	—	—	—	—	—	—
	бетона или раствора	*тс*	~1,0	~1,8	~1,0	~2,0	~0,5	~1,6	~1,[illegible]
Электродвигатель привода смесителя	мощность	*квт*	10	14	14	28	4,5	40	2[illegible]
	скорость вращения ротора	*об/мин*	980	750	1000	1500	1440	1470	1470
Скорость вращения смесителя	рабочего органа	»	31,4	24,46	30	20—23	31,2	320	2[illegible]
	корпуса чаши	»	6,73	5,26	—	—	—	—	—

Таблица 20

Бетоносмесители гравитационные, стационарные, циклические

Наименование параметров			Единица измерения	Значения параметров смесителей					
				С-336Г (БП-330)	С-333Г С-333П	С-302	С-230А-1А	СБ-84	СБ-91
Емкость		по загрузке	*л*	500	500	1200	2400	500	750
		по выгрузке	»	330	330	800	1600	330	500
Характер перемешивания			—	Свободное падение в опрокидных барабанах					
Загрузка бетоносмесителя			—	скипом	без скипа			скипом	без скипа
Размеры	Наибольший диаметр барабана		*мм*	1400	1400	1824	2400	1400	1400
	Габариты машины	длина	»	2575	2260	3725	3420	1930	1825
		ширина	»	2235	2180	2730	4180	1900	1950
		высота	»	1800	1920	2526	3230	1850	1850
		то же, с поднятым ковшом	»	2800	—	—	—	2675	—
Вес	Общий (машины)		*кгс*	2000	1370	3817	8046	1300	1200
	В том числе	вращающегося барабана	»	571	571	1812	3535	200	318
		ковша скипа	»	200	—	—	—	160	—
	бетонной смеси		*тс*	0,32	0,82	2,0	4,0	0,82	1,25
Электродвигатель привода	вращения барабана	мощность	*квт*	2,8	2,8	14,0	28,0	3,0	4
		скорость вращения ротора	*об/мин*	1420	1420	980	970	1440	1440
	подъема ковша скипа	мощность	*квт*	5,5	—	—	—	4,0	—
		скорость вращения ротора	*об/мин*	965	—	—	—	1440	—
Скорость вращения барабана			»	18,3	18,2	17,0	12,6	18	18,2

Таблица 21

Бункера раздаточные для бетонной смеси

Наименование параметров			Единица измерения	Значения параметров бункеров		
				СМЖ-1 (6611А)	(6611Б)	СМЖ-26 (1350/62Б)
Технологическая характеристика			—	Передвижные по эстакаде с прицепом (бадьей)		Стационарные (под бетономешалкой)
Емкость		основного бункера	$м^3$	1,8	1,8	1,0
		бадьи-прицепа	»	1,6	0,9	—
Ширина колеи			*мм*	1720		—
Габаритные размеры (всей машины)		длина	»	3680	3281	1850
		ширина	»	1900	1900	1660
		высота	»	1600	1410	1200
Вес	собственно машины	бункера	*кгс*	2000	2000	560
		бадьи-прицепа	»	875	682	—
	бетонной смеси	в бункере	»	~4500	~4500	~2500
		в бадье-прицепе	»	~4000	~2250	—

Продолжение табл. 21

Наименование параметров			Единица измерения	Значения параметров бункеров		
				СМЖ-1 (6611А)	(6611Б)	СМЖ-26 (1350/62Б)
Электродвигатель передвижения бункера		мощность	*квт*	3,0	2,8	—
		скорость вращения ротора	*об/мин*	950		—
Скорость передвижения			*м/мин*	42 и 29		—
Вибраторы, установленные на бункере — побудители выдачи бетонной смеси	тип	на основном бункере	—	ИВ-20 (С-793)	ИВ-20 (С-793)	ИВ-2 (С-414)
		на бадье-прицепе	—	ИВ-20 (С-793)	ИВ-20 (С-793)	—
	потребляемая мощность	на основном бункере	*квт*	0,4	0,4	0,7
		на бадье-прицепе	»	0,4	0,4	—
	кинетический момент дебалансов (максимальный)	на основном бункере	*кгс·см*	4,6	4,6	6,5
		на бадье-прицепе	»	2,3	2,3	—
	частота колебаний	на основном бункере	*кол/мин*	2800	2800	2800
		на бадье-прицепе	»	2800	2800	2800
	возмущающая сила (максимальная)	на основном бункере	*кгс*	400	400	565
		на бадье-прицепе	»	400	400	—

Таблица 22

Вибропитатели лотковые, подвешиваемые на амортизаторах

Наименование параметров		Единица измерения	Значения параметров вибропитателей					
			С-911 (ПЭВ-1)	С-912 (ПЭВ-2)	С-913 (ПЭВ-3)	С-914 (ПЭВ-4)	С-915 (ПЭВ-5)	С-916 (ПЭВ-6)
Максимальная производительность вибропитателя	при горизонтальном положении лотка	$м^3/ч$	1,75	5	10	20	45	75
	при наибольшем угле наклона вниз (12°)	»	3	8	16	40	90	150
В качестве побудителя установлен вибратор	марка	—	С-917	С-918	С-919	С-920	С-921	С-922
	вибрационный механизм	—	Электромагнитный, однотактный					
	расположение вибратора на лотке	—	Нижнее			Нижнее и верхнее		
	потребляемая сила тока (средняя)	*а*	0,1	0,8	1,2	8	12	15
	род тока	—	Пульсирующий, однополупериодный					
Блок питания (комплектующее оборудование)	марка	—	В-356	В-357	В-357	В-358	В-359	В-359
	род тока	—	Переменный					
	допустимая сила тока	*а*	$\leqslant 2$	$\leqslant 2$	$\leqslant 2$	$\leqslant 20$	$\leqslant 25$	$\leqslant 25$
	частота тока	*гц*	50					
	напряжение тока	*в*	220					

Продолжение табл. 22

Наименование параметров		Единица измерения	Значения параметров вибропитателей					
			С-911 (ПЭВ-1)	С-912 (ПЭВ-2)	С-913 (ПЭВ-3)	С-914 (ПЭВ-4)	С-915 (ПЭВ-5)	С-915 (ПЭВ-6)
Размеры лотка	длина	*мм*	570	600	800	1000	1400	1600
	ширина	»	125	180	250	360	500	700
	высота	»	65	90	125	175	270	300
Вес	питателя (без блока питания)	*кгс*	7	20	35	150	300	400
	лотка (вибрирующих частей)	»	3	7	11	50	100	200
	вибратора	»	4	13	20	100	180	200
	якорной части вибратора (средний)	»	1,6	6	9,7	33	60	70
Частота колебаний вибратора		*кол/мин*	3000					
Амплитуда колебаний лотка (регулируемая)		*мм*	0—0,6	0—0,7	0—0,6	0—0,8	0—0,8	0—0,6
Кинетический момент		*кгс·см*	0,8	1,6	3,2	6,4	12,8	25
Назначение		—	Для выдачи сыпучих из бункеров					

ПРИМЕР РАСЧЕТА ВИБРОИЗОЛЯЦИИ СТЕНДОВОЙ СИЛОВОЙ ВИБРОФОРМЫ С НАВЕСНЫМИ ВИБРАТОРАМИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТРОПИЛЬНЫХ ДВУСКАТНЫХ БАЛОК[1] (РИС. 15)

1. Исходные данные

Вес виброформы $Q_{вф} = 12\,250$ *кгс*.
Вес железобетонной балки 1Б-18-3 $Q_б = 9100$ *кгс*.
Число вибраторов (С-413)* $n = 20$ шт.
Число оборотов вала вибратора $n_0 = 2800$ *об/мин*.
Кинетический момент вибратора $K = 4{,}5$ *кгс·см*.
Мощность, потребляемая вибратором $W' = 0{,}4$ *квт*.
Допустимая амплитуда колебаний виброизолируемой установки $a_{доп} = 0{,}5$ *мм*.

2. Определение возмущающих нагрузок

Частота нормативной динамической нагрузки

$$f_0 = \frac{2800}{60} = 46{,}6\ гц;\quad \omega_0 = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 46{,}6 = 293\ сек^{-1}.$$

Нормативная динамическая нагрузка, возбуждаемая всеми вибраторами установки (5)**.

$$N_{дин} = \frac{20 \cdot 4{,}5 \cdot 293^2}{981} = 7880\ кгс;$$

то же, одним вибратором

$$N'_{дин} = \frac{7880}{20} = 394\ кгс.$$

---

[1] Расчет выполнен в ГПИ Гипростройматериалы инж. Курган А. Е.

* Вибратор С-413 в дальнейшем предполагается заменить вибратором ИВ-2, что в расчет виброизоляции формы не вносит принципиальных изменений

** В круглых скобках дана ссылка на формулы и рисунки настоящих Рекомендаций. При расчете виброизоляции применялось также «Руководство по проектированию виброизоляции машин и оборудования» (ЦНИИСК им. Кучеренко. Стройиздат, 1972), формулы из которого приведены без ссылок на соответствующие номера формул Руководства.

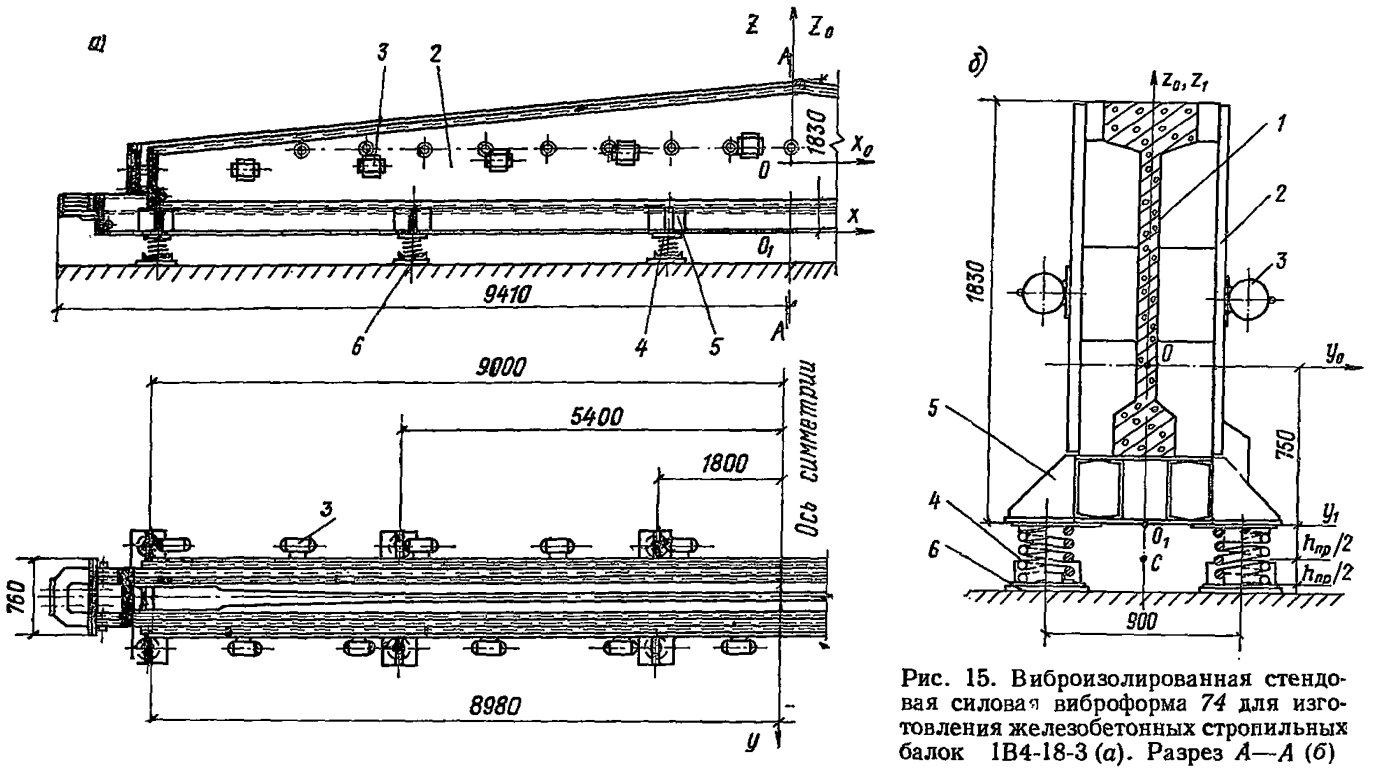


Рис. 15. Виброизолированная стендовая силовая виброформа 74 для изготовления железобетонных стропильных балок 1В4-18-3 (*а*). Разрез *А—А* (*б*)

1 — железобетонная балка; *2* — форма; *3* — вибраторы навесные; *4* — виброизоляторы; *5* — кронштейны для виброизоляторов, *6* — резиновые подкладки: O_1 — начало координат, выбранное произвольно при подсчете центра тяжести системы; *С* — центр жесткости виброизоляторов

3. Определение центра тяжести и моментов инерции масс виброизолируемой установки

Моменты инерции масс установки и ее центр тяжести определяем по упрощенной схеме, считая при этом, что массы всех отдельных элементов формы с учетом бетонной смеси распределены по объему формы равномерно.

При колебаниях виброформы предполагаем, что в движение приводится 40% массы бетона балки[1].

Общий вес виброизолируемой установки, участвующей в колебаниях:

$$Q_{уст} = Q_{вф} + 0{,}4Q_б = 12\,240 + 0{,}4 \cdot 9100 = 15\,800 \text{ кгс}.$$

В результате расчета получаем:

а) координаты центра тяжести установки

$$x = 0;\ y = 0;\ z = \frac{\sum m_i z_i}{\sum m_i} = \frac{1{,}20}{1{,}608} = 0{,}75 \text{ м};$$

б) моменты инерции относительно осей, проходящих через центр тяжести установки:

$J_{ox} = 0{,}371$ тс·м·сек²; $J_{oy} = 38{,}063$ тс·м·сек²;

$J_{oz} = 37{,}87$ тс·м·сек².

4. Подбор параметров виброизоляции

а) Задаемся частотой собственных вертикальных колебаний установки $f_z = 4$ гц; $\omega_z = 2\pi f_z = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 4 = 25{,}1$ сек$^{-1}$.

Необходимая величина общей жесткости виброизоляторов в вертикальном направлении

$$K_z = m_{уст}\,\omega_z^2 = \frac{Q_{уст}\omega_z^2}{g} = \frac{15800 \cdot 25{,}1^2}{981} = 10\,120 \text{ кгс/см}.$$

Принимаем 12 виброизоляторов из стандартных цилиндрических пружин[2] с вертикальной жесткостью для каждого $K_z' = 827$ кгс/см.

---

[1] Вопрос об участии бетонной массы в совместных колебаниях с формой исследован пока недостаточно. Однако совершенно очевидно, что загружение формы бетоном при неизменной жесткости упругих опор понижает частоту собственных вертикальных колебаний формы, улучшая эффект виброизоляции. Граничные значения коэффициента передачи, характеризующего эффект виброизоляции, могут быть определены из расчета виброизоляции пустой формы и формы, полностью заполненной бетоном в предположении, что бетонная смесь и форма колеблются совместно как единое твердое тело. Принятое в примере соотношение 40% является достаточно условным.

[2] См. «Каталог пружинных виброизоляторов и пружин для виброизоляторов». ЦНИИ Промзданий, серия 3.001—1, нормаль ТЭП 60.31.20.III.

Вертикальная жесткость всех пружин

$$K_z = 12 \cdot 827 = 9930 \text{ кгс/см}.$$

Фактическая частота

$$\omega_z = \sqrt{\frac{K_z}{m_{\text{уст}}}} = \sqrt{\frac{9930 \cdot 981}{15\,800}} = 24{,}8 \text{ сек}^{-1};$$

$$f_z = \frac{24{,}8}{2 \cdot 3{,}14} = 3{,}95 \text{ гц} \approx 4 \text{ гц}.$$

Наибольшая допускаемая рабочая нагрузка на одну пружину[1] $P' = 6592$ *кгс*; на все пружины $P = 12 \cdot 6592 = 79\,200$ *кгс*.

Общий вес виброизолируемой установки

$$Q'_{\text{уст}} = Q_{\text{вф}} + Q_{\text{б}} = 12\,250 + 9100 = 21\,350 \text{ кгс} < 79\,200 \text{ кгс}.$$

б) Жесткость пружин в горизонтальном направлении.

Статическая осадка

$$\lambda_{\text{ст}} = \frac{Q'_{\text{уст}}}{K_z} = \frac{21\,350}{9930} = 2{,}14 \text{ см}.$$

Высота пружины в свободном состоянии $H_0 = 30{,}5$ *см*: то же в рабочем $H_{\text{раб}} = H_0 - \lambda_{\text{ст}} = 30{,}5 - 2{,}14 = 28{,}4$ *см*;

$$\frac{\lambda_{\text{ст}}}{H_{\text{раб}}} = \frac{2{,}14}{28{,}4} = 0{,}0753; \quad D_{\text{ср}} = 18{,}5 \text{ см} \text{ — средний диаметр пружины,}$$

$$\frac{H_{\text{раб}}}{D_{\text{ср}}} = \frac{28{,}4}{18{,}5} = 1{,}54.$$

Согласно графику рис. 5 при

$$\frac{\lambda_{\text{ст}}}{H_{\text{раб}}} = 0{,}0753 \text{ и } \frac{H_{\text{раб}}}{D_{\text{ср}}} = 1{,}54 \text{ имеем:}$$

$$\frac{K_x'}{K_z'} = \frac{K_y'}{K_z'} = 0{,}82; \; K_x' = K_y' = 0{,}82\, K_z' = 0{,}82 \cdot 827 = 680 \text{ кгс/см}$$

$$K_x = K_y = 12 \cdot 680 = 3160 \text{ кгс/см}.$$

в) Угловые жесткости виброизоляторов определяем по формулам[2]:

$$K_{\varphi x} = \sum_{l=1}^{n} K'_{zl}\, y_{kl}^2 + \sum_{l=1}^{n} K'_{yl}\, z_{kl}^2 =$$

$$= 12 \cdot 827 \cdot 37{,}5 + 0 = 14{,}2 \cdot 10^6 \text{ кгс} \cdot \text{см};$$

[1] См. сноску на стр. 83.
[2] См. сноску на стр. 81.

$$K_{\varphi y}=\sum_{i=1}^{n} K'_{xi}\, z_{ki}^2+\sum_{i=1}^{n} K'_{zi}\, x_{ki}^2=$$

$$=0+827\,(4\cdot 900^2+4\cdot 540^2+4\cdot 180^2)=3750\cdot 10^6\ \textit{кгс·см};$$

$$K_{\varphi z}=\sum_{i=1}^{n} K'_{xi}\, y_{ki}^2+\sum_{i=1}^{n} K'_{yi}\, x_{ki}^2=$$

$$=680\,(12\cdot 37{,}5^2+4\cdot 900^2+4\cdot 540^2+$$

$$+4\cdot 180^2)=3100\cdot 10^6\ \textit{кгс·см},$$

где x_{ki}, y_{ki}, z_{ki} — координаты средней точки i-го виброизолятора при начале координат в центре жесткости виброизоляторов.

5. Частоты собственных колебаний

Определение круговых частот собственных вращательных колебаний установки производим по формулам «Руководства по проектированию виброизоляции машин и оборудования», принимая расстояние между центром тяжести установки и центром жесткости виброизоляторов $S = 90$ *см*. Получаем:

а) в плоскости $X_0O_1Z_0$:

$$\omega_{\varphi y}=31{,}8\ \textit{сек}^{-1};\quad \frac{\omega_0}{\omega_{\varphi y}}=\frac{293}{31{,}8}=9{,}22>2{,}5;$$

б) в плоскости $Y_0O_1Z_0$:

$$\omega_{\varphi x}=51{,}0\ \textit{сек}^{-1};\quad \frac{\omega_0}{\omega_{\varphi x}}=\frac{293}{51{,}0}=5{,}74>2{,}5;$$

в) в плоскости $X_0O_1Y_0$:

$$\omega_{\varphi z}=28{,}6\ \textit{сек}^{-1},\quad \frac{\omega_0}{\omega_{\varphi z}}=\frac{293}{28{,}6}=10{,}25>2{,}5.$$

Следовательно, отношение круговой частоты возмущающей силы к любой из круговых частот собственных колебаний значительно больше 2,5, что удовлетворяет требованиям «Руководства по проектированию виброизоляции машин и оборудования».

6. Амплитуды вынужденных колебаний установки

Амплитуды поступательных колебаний установки определяем по формулам:

$$a_{ox}=\frac{P_x}{m_{\text{уст}}\,\omega_0^2-K_x};\quad a_{oy}=\frac{P_y}{m_{\text{уст}}\,\omega_0^2-K_y};$$

$$a_{oz}=\frac{P_z}{m_{\text{уст}}\,\omega_0^2-K_z}.$$

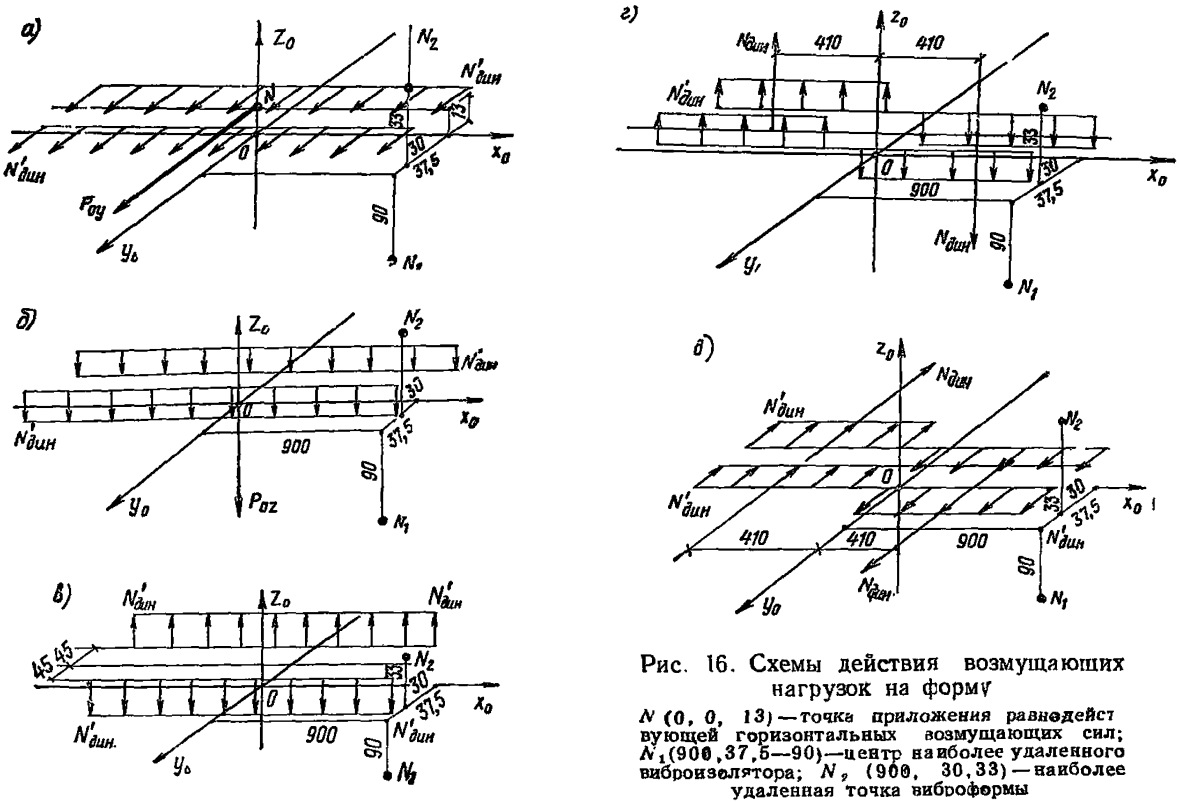


Рис. 16. Схемы действия возмущающих нагрузок на форму

N (0, 0, 13) — точка приложения равнодействующей горизонтальных возмущающих сил; N_1 (900, 37,5—90) — центр наиболее удаленного виброизолятора; N_2 (900, 30,33) — наиболее удаленная точка виброформы

Таблица 23

Амплитуды вынужденных колебаний установки

Амплитуды силовых воздействий			Амплитуды перемещений при действии нагрузок по рис. 16				
			а	*б*	*в*	*г*	*д*
			$P_{0y}=7780$ кгс, $M_{0x}=-102\,500$ кгс·см	$P_0=-7880$ кгс	$M_{0x}=-35\,400$ кгс·см	$M_{0y}=323\,000$ кгс·см	$M_{0z}=323\,000$ кгс·см
Смещения центра тяжести O	линейные смещения (мм)	a_{0x}	—	—	—	—	—
		a_{0y}	0,0575	—	—	—	—
		a_{0z}	—	—0,0574	—	—	—
	углы поворота (рад)	φ_{0x}	—0,0000291	—	0,0001010	—	—
		φ_{0y}	—	—	—	0,00001	—
		φ_{0z}	—	—	—	—	0,00000905
Линейные смещения точек установки (мм)	N_1	a_{xN_1}	—	—	—	0,0033	—0,0034
		a_{yN_1}	0,0313	—	—0,0910	—	—0,0815
		a_{zN_1}	—0,0101	—0,0574	—0,0379	—0,09	—
	N_2	a_{xN_2}	—	—	—	—0,009	—0,00272
		a_{yN_2}	0,0671	—	0,0334	—	0,0815
		a_{zN_2}	—0,0088	—0,0574	—0,0301	—0,09	—

Амплитуды вращательных колебаний:

$$\varphi_{ox} = \frac{M_{ox}}{J_{ox}\omega_0^2 - (K_{\varphi x} + S^2 K_y)}; \quad \varphi_{oy} = \frac{M_{oy}}{J_{oy}\omega_0^2 - (K_{\varphi y} + S^2 K_x)};$$

$$\varphi_{oz} = \frac{M_{oz}}{J_{oz}\omega_0^2 - K_{\varphi z}},$$

где P_x, P_y, P_z; M_{ox}, M_{oy} M_{oz} — амплитуды возмущающих сил и моментов в направлении осей X_0, Y_0, Z_0; J_{ox}, J_{oy}, J_{oz} — моменты инерции установки относительно этих осей.

Амплитуды колебаний i-й точки виброформы

$$a_{xi} = a_{ox} + \varphi_{oy} z_{oi} - \varphi_{oz} y_{oi};$$
$$a_{yi} = a_{oy} + \varphi_{oz} x_{oi} - \varphi_{ox} z_{oi};$$
$$a_{zi} = a_{oz} + \varphi_{ox} y_{oi} - \varphi_{oy} x_{oi},$$

где x_{oi}, y_{oi}, z_{oi} — координаты рассматриваемой i-й точки при начале координат в центре тяжести установки.

Рассмотрим несколько наиболее характерных невыгодных сочетаний нагрузок (рис. 16). Результаты приводим в табличной форме (табл. 23).

Наибольшие вертикальная амплитуда колебаний виброформы $a_{z\,\text{макс}} = 0{,}09$ *мм* и горизонтальная $a_{y\,\text{макс}} = 0{,}091$ *мм* не превышают допустимой амплитуды 0,5 *мм*.

7. Определение амплитуд колебаний установки, вызываемых включением тока при пуске или остановке мотора или коротким замыканием

Вращающий момент от всех вибраторов при установившемся рабочем режиме:

$$M' = 973{,}6\,\frac{W}{n}\ (кгс \cdot м),$$

где W — мощность двигателей вибраторов в *квт*;
n — число оборотов в 1 *мин*;
$W = 20 \cdot 0{,}4 = 8$ *квт*;

$$M' = 973{,}6\,\frac{8}{2800} = 2{,}78\ кгс \cdot м = 278\ кгс \cdot см.$$

Внезапно приложенные моменты, возникающие:
а) при остановке мотора

$$M_п = 2M' = 2 \cdot 278 = 556\ кгс \cdot см;$$

б) при коротком замыкании

$$M_{к.з} = 8W = 8 \cdot 8 = 64\ кгс \cdot м = 6400\ кгс \cdot см.$$

Амплитуда углов поворота

$$\varphi_{hx} = \frac{2M_n}{K_{\varphi x}} = \frac{2 \cdot 556}{14{,}2 \cdot 10^6} = 0{,}0000785 \text{ рад}.$$

Деформации виброизолятора при остановке мотора:

$$\lambda_z = \varphi_{hx}\, y_h = 0{,}0000785 \cdot 37{,}5 = 0{,}00294 \text{ см} = 0{,}0294 \text{ мм} < 5 \text{ мм}.$$

При коротком замыкании

$$\varphi_{hx} = \frac{2M_{к.з}}{K_{\varphi x}} = \frac{2 \cdot 6400}{14{,}2 \cdot 10^6} = 0{,}0009 \text{ рад}.$$

$$\lambda_z = \varphi_{hx} \cdot y_h = 0{,}0009 \cdot 37{,}5 = 0{,}0338 \text{ см} = 0{,}338 \text{ мм} < 10 \text{ мм}.$$

Во избежание перекоса формы во время загрузки бетоном устраиваются ограничители колебаний (зазор 3 *мм*).

При резонансе во время пуска или остановки двигателя наибольшую величину вертикальной возмущающей силы $\overline{P}$, передающейся через виброизоляторы на поддерживающую конструкцию, определим по формуле

$$\overline{P} = a_{\text{макс}}\, K_z,$$

где $a_{\text{макс}}$ — максимальная амплитуда вертикальных колебаний изолируемой установки в пусковом или остановочном режиме, определяется по Руководству (см. п. 1.4 «а»):

$$f_z = 4 \text{ гц};\ t_{\text{ост}} = 120 \text{ сек};\ f_0 = \frac{2800}{60} = 46{,}7 \text{ гц}.$$

Средняя скорость убывания оборотов

$$\varepsilon = \frac{f_0}{t_{\text{ост}}} = \frac{46{,}7}{120} = 0{,}39 \text{ гц/сек};$$

$$\frac{\varepsilon}{f_z^2} = \frac{0{,}39}{4^2} = 0{,}0975.$$

$\gamma_в = 0{,}01$ для стальных пружин.

По графику Руководства

$$\frac{a_{\text{макс}}}{a_{0z}} = 30$$

$$a_{\text{макс}} = 30 \cdot 0{,}009 = 0{,}27 \text{ см} = 2{,}7 \text{ мм};\ \overline{P_z} = 0{,}27 \cdot 9930 = 2680 \text{ кгс}.$$

При рабочем режиме наибольшая возможная возмущающая сила, передающаяся через один виброизолятор на поддерживающую конструкцию, равна:

а) нормативная вертикальная $P_z = a_z K'_z = 0{,}009 \cdot 827 = 7{,}35$ *кгс*;

б) нормативная горизонтальная $P_y = a_y K'_y = 0{,}0091 \cdot 680 = 6{,}18$ *кгс*.

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ПАССИВНО-ВИБРОИЗОЛИРОВАННЫХ ПЛОЩАДОК

Пример № 1. Рабочее место оператора дозировочного отделения

Дозировочное отделение бетоносмесительного цеха находится на перекрытии третьего этажа. Перекрытие ребристое железобетонное монолитное На перекрытии размещены оборудование и пульт управления дозаторной. При работе оборудования дозаторной на отдельных участках перекрытия возникали сильные вибрации, которые вредно действовали на здоровье оператора. Произведенные замеры вибраций показали, что колебания происходят с частотой $f_0 = 50$ *гц*, соответствующей числу оборотов вибраторов на дозировочных бункерах 3000 *об/мин*, и амплитудой колебаний $a_{kz} = 0{,}13$ *мм*. Амплитуда скорости колебаний

$$v_0 = 2\pi f_0 a_{kz} = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 0{,}13 = 40{,}8 \text{ мм/сек}.$$

По характеру воздействия на человека указанные колебания перекрытия относились к безусловно вредным[1]. Рациональным методом уменьшения вредного действия вибраций на оператора в рассматриваемом случае являлось устройство пассивно-виброизолированного рабочего места у пульта управления. Произведем расчет пассивной виброизоляции.

1. За допускаемую амплитуду колебаний пассивно-виброизолированной площадки принимаем $a_{oz} = 0{,}002$ *мм*, соответствующую колебаниям, которые человек воспринимает как слабо ощутимые[1].

2. Коэффициент передачи

$$\mu = \frac{a_{oz}}{a_{kz}} = \frac{0{,}002}{0{,}13} = \frac{1}{65};$$

3. Частота свободных вертикальных колебаний плиты определится по формуле (30)

$$f_z = \frac{50}{\sqrt{65 + 1}} = 6{,}15 \text{ гц}.$$

4. Задаваясь весом плиты $P_0 = 240$ *кгс*, определяем по формуле (31) суммарную жесткость пружин, на которых устанавливается плита. Принятому весу плиты соответствует железобетонная плита размером $1{,}25 \times 0{,}8$ $м^2$, толщиной $d = 0{,}1$ *м*. Вес плиты и человека на ней $P = 240 + 80 \cdot 0{,}75 = 300$ *кг*. Жесткость всех пружин

$$K_{пz} = \frac{300 \cdot 6{,}15^2}{25} = 454 \text{ кгс/см}.$$

[1] См. «Инструкцию по расчету несущих конструкций промышленных зданий и сооружений на динамические нагрузки». ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. Стройиздат, 1970.

Статическая осадка всех пружин по формуле (31)

$$\lambda_{ст} = \frac{P}{K_{пг}} = \frac{300}{454} = 0{,}66\ см.$$

5. Из условия расположения пружин по углам плиты (по две пружины на каждый угол) берем число пружин $n = 8$ шт.

Жесткость одной пружины определяем по формуле (32)

$$K'_{пг} = \frac{454}{8} = 57\ кгс/см.$$

6. Осадка пружин виброизолятора при нахождении человека над данным виброизолятором

$$\Delta = \frac{80}{2 \cdot 57} = 0{,}7\ см < 1\ см.$$

7. Расчетную нагрузку на одну пружину при $n_k = 2$ пружины находим по формуле (33)

$$P' = \frac{240}{8} + 1{,}5\,\frac{80}{2} = 90\ кгс.$$

8. Производим расчет (подбор) пружины:

а) диаметр прутка пружины при $D = 80\ мм$; $c = \frac{D}{d} = 8$;

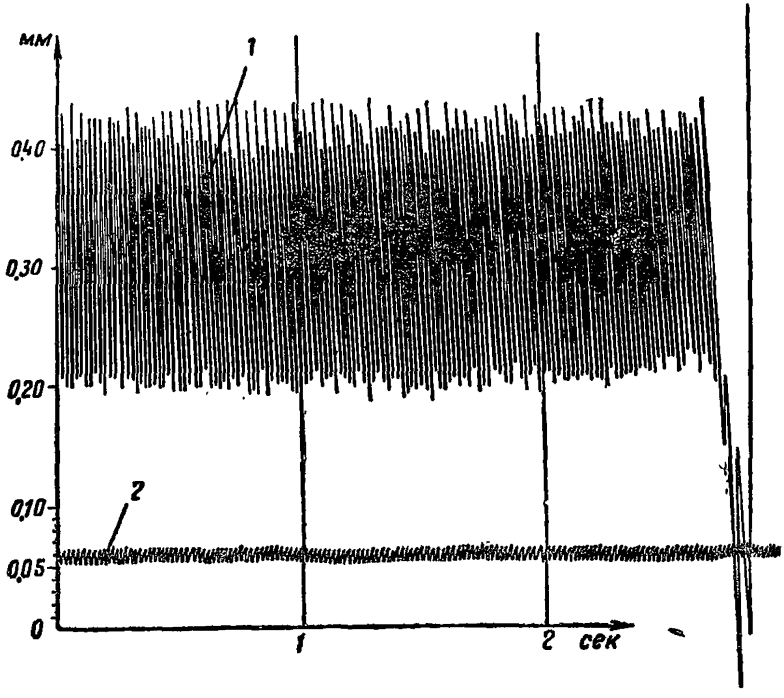


Рис. 17. Осциллограмма колебаний перекрытия и виброизолированной плиты рабочего места

1 — колебания перекрытия; *2* — колебания виброизолированной плиты рабочего места оператора

$k = 1{,}18$; $[\tau] = 4500$ *кгс/см*^{2} [по формуле (34)]

$$d = 1{,}6\sqrt{\frac{1{,}18 \cdot 90 \cdot 8}{4500}} = 0{,}7\ см.$$

Конструктивно принимаем $d = 1$ *см*, тогда напряжение

$$\tau = \frac{2{,}56\,kP'c}{d^2 l} = \frac{2{,}56 \cdot 1{,}18 \cdot 90 \cdot 8}{1^2} = 2170\ кгс/см^2;$$

б) Число рабочих витков по формуле (35) $i = \dfrac{8 \cdot 10^5 \cdot 1}{8 \cdot 57 \cdot 8^3} = 3{,}42$;

в) полное число витков пружины при числе «мертвых» витков $i_2 = 1{,}5$ по формуле (36) будет $i_1 = 3{,}42 + 1{,}5 \approx 5$ витков;

г) высота ненагруженной пружины при шаге $h = 0{,}25\ D = 0{,}25 \cdot 8 = 2$ *см* по формуле (37)

$$H_0 = 2 \cdot 3{,}5 + 1 = 8\ см,\ \text{т. е.}\ \frac{H_0}{D} = 1 < 1{,}5.$$

Осциллограмма замеренных в натуре колебаний перекрытия и пассивно-виброизолированной плиты дана на рис. 17.

Пример № 2. Рабочее место формовщиков у виброплатформы

Колебания рабочих мест формовщиков на бетонном полу вблизи виброплатформ с упругими опорами из стальных пружин при частоте вынужденных колебаний 50 *гц* и частоте собственных вертикальных колебаний виброплатформы 5—8 *гц* находятся в пределах, требуемых санитарными нормами. Следовательно, уменьшения колебания, как правило, не требуется.

При виброплощадках с опорами из кусков транспортерных лент колебания рабочих мест формовщиков превышают предельно допустимые амплитуды колебаний. Хотя применение таких опор запрещается, на некоторых заводах встречаются виброплощадки с такими опорами. В этих случаях необходимо уменьшение вибраций рабочих мест формовщиков. Кроме того, иногда возникает необходимость уменьшения вибраций рабочих мест формовщиков и при виброплощадках с опорами на стальных пружинах.

Рассмотрим расчет пассивно-виброизолированного рабочего места формовщиков у виброплощадки. Указанный расчет может быть произведен таким же образом, как и в рассмотренном примере № 1. Однако иногда может возникнуть необходимость в иной последовательности расчета.Это возможно в случае, если на заводе имеются готовые пружины, которые необходимо использовать для пассивной виброизоляции рабочего места формовщиков.

Пусть вибрации хорошо ощутимы и имеют амплитуду колебаний $a_{hz} = 0{,}006$ *мм* при частоте колебаний $f_0 = 50$ *гц*. Такие колебания санитарными нормами вполне допускаются. Однако администрация завода считала желательным уменьшить амплитуду ко-

лебаний рабочего места формовщиков. Было принято решение применить пассивную виброизоляцию, установив железобетонную плиту размером 6 × 0,7 × 0,15 *м* на виброизоляторы из стальных пружин. Произведем расчет пассивной виброизоляции плиты.

1. Имеющиеся на заводе цилиндрические пружины обладают следующими характеристиками: диаметр прутка $d = 14$ *мм*; диаметр пружины $D = 100$ *мм*; полное число витков $i_1 = 3$ витка; высота ненагруженной пружины $H_0 = 50$ *мм*; шаг пружины $h = 24$ *мм*; пружины изготовлены из пружинной стали с допускаемым напряжением на срез $\tau_{ср} = 4000$ *кгс/см*^{2}.

2 Определяем жесткость одной пружины, преобразуя (35)

$$K'_{пг} = \frac{Gd}{8ic^3}.$$

Число рабочих витков пружины $i = 3—1,5 = 1,5$.

$$c = \frac{D}{d} = \frac{10}{1,4} = 7,15;$$

ипо графку рис. 12 $k = 1,2$, откуда

$$K'_{пг} = \frac{8 \cdot 10^3 \cdot 1,4}{8 \cdot 1,5 \cdot 7,15^3} = 256 \text{ кгс/см}.$$

3. Несущую способность пружины определяем, преобразуя формулу (34)

$$P' = \frac{[\tau]\, d^2}{2,56kc} = \frac{4000 \cdot 1,4^2}{2,56 \cdot 1,20 \cdot 7,15} = 358 \text{ кгс}.$$

4. В качестве плиты принимаем гладкую железобетонную плиту толщиной $d_{пл} = 150$ *мм* и размером в плане 700 × 6000 *мм*.

Вес плиты $P = 2,4 \cdot 0,7 \cdot 6 \cdot 0,15 = 1510$ *кгс*.

5. Плиту устанавливаем на 12 пружин. Суммарная жесткость пружин $K_{пг} = 256 \cdot 12 = 3080$ *кгс*.

6. Статическая осадка пружин при нахождении на плите одного человека по формуле (31)

$$\lambda_{ст} = \frac{1510 + 0,75 \cdot 80}{3080} = 0,51 \text{ см}.$$

7. Частота собственных вертикальных колебаний плиты на виброизоляторах по графику рис. 11

$$f_z = \frac{5}{\sqrt{\lambda_{ст}}} = \frac{5}{\sqrt{0,51}} = 7 \text{ гц}.$$

8. Коэффициент передачи по формуле (28)

$$\mu = \frac{1}{\left(\frac{50}{7}\right)^2 - 1} = \frac{1}{50}.$$

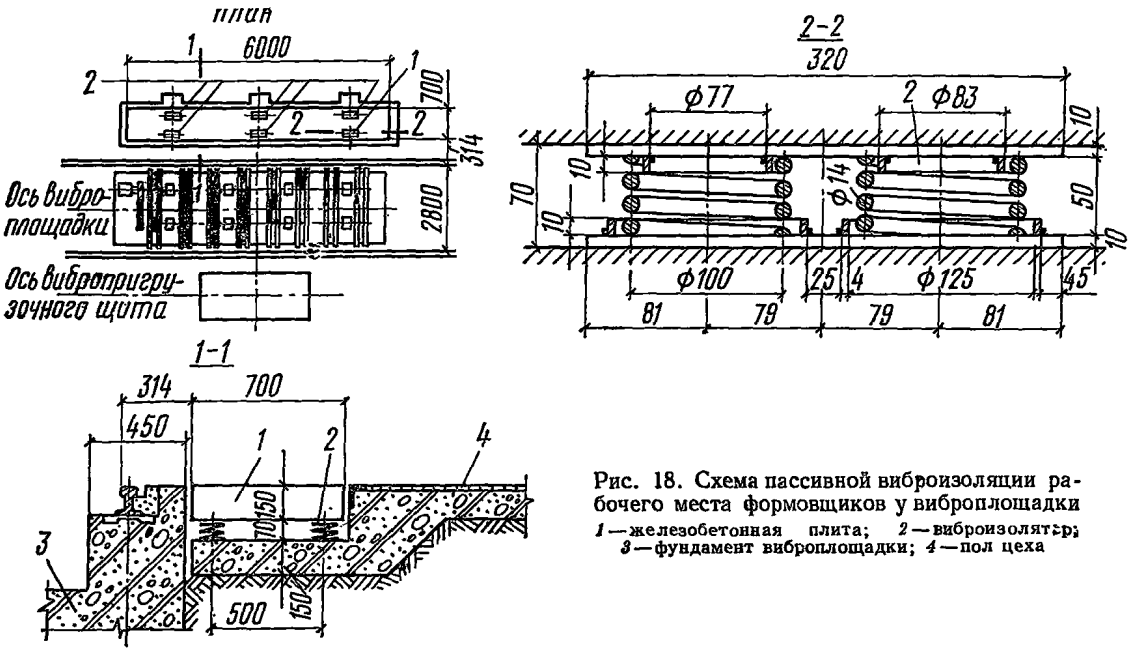


Рис. 18. Схема пассивной виброизоляции рабочего места формовщиков у виброплощадки

1 — железобетонная плита; *2* — виброизолятор; *3* — фундамент виброплощадки; *4* — пол цеха

Такой коэффициент передачи можно считать удовлетворительным.

9. Определяем расчетную нагрузку на одну пружину. При этом считаем, что виброизолятор состоит из двух пружин, а на плите находятся пять человек и один из них стоит непосредственно над виброизолятором.

Расчетная нагрузка, приходящаяся на одну пружину по формуле (33)

$$P' = \frac{1510 + 1{,}5 \cdot 4 \cdot 80}{12} + 1{,}5\,\frac{80}{2} = 166 + 60 = 226\ кгс < 358\ кгс.$$

Напряжение на срез по формуле (34)

$$\tau = \frac{2{,}56 P' kc}{d^2} = 2{,}56\,\frac{1{,}2 \cdot 226 \cdot 7{,}15}{1{,}4^2} = 2540\ кгс/см^2.$$

Таким образом, пружины могли быть изготовлены из пружинной стали с допускаемым напряжением на срез $[\tau] = 2500\ кгс/см^2$.

10. Осадка пружин при нахождении человека над виброизолятором

$$\Delta = \frac{80}{2 \cdot 256} = 0{,}156\ см < 1\ см.$$

Общий вид установки плиты и виброизолятора приведен на рис. 18.

Пример № 3. Рабочая площадка моториста

Амплитуды колебаний рабочей площадки моториста формующего агрегата, перемещающейся вместе с машиной, достигают $a_{hz} = 0{,}1$ *мм* при частоте колебаний $f_0 = 50$ *гц*. Амплитуда скорости колебаний при этом $v_0 = 2\pi f_0 a_{hz} = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 0{,}1 = 31{,}4$ *мм/сек*. По характеру воздействия на человека такие колебания относятся к безусловно вредным колебаниям.

Радикальным методом оздоровления условий труда моториста будет перевод агрегата на дистанционное управление. Однако по ряду местных условий осуществить это до капитальной реконструкции не представлялось возможным. Поэтому в качестве временной меры было решено устроить на агрегате пассивно-виброизолированную площадку около пульта управления.

Пассивно-виброизолированную площадку осуществляем из рифленой листовой стали толщиной $\delta = 10$ *мм* размером в плане 500 × 1000 *мм*. Плиту устанавливаем на шесть виброизоляторов из стальных цилиндрических пружин.

1. За допускаемую амплитуду колебаний примем $a_{oz} = 0{,}0025$ *мм*, при которой амплитуда скорости колебаний будет $v_0 = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 0{,}0025 = 0{,}8$ *мм/сек*. По характеру восприятия колебаний человеком они относятся к хорошо ощутимым.

2. Коэффициент передачи [по формуле (28)]

$$\mu = \frac{0{,}0025}{0{,}1} = \frac{1}{40}.$$

3. Для обеспечения такого коэффициента передачи необходимо, чтобы частота свободных вертикальных колебаний плиты была равна по формуле (30):

$$f_z = \frac{50}{\sqrt{40+1}} = 7{,}8 \text{ гц}.$$

4. Суммарная жесткость пружин виброизоляторов при равномерном распределении нагрузки между всеми виброизоляторами[1]; вес плиты и одного человека на ней

$$P = 70 \cdot 1 \cdot 0{,}5 + 0{,}75 \cdot 80 = 95 \text{ кгс};$$

суммарная жесткость пружин [по формуле (31)]

$$K_{пz} = \frac{95 \cdot 7{,}8^2}{25} = 232 \text{ кгс/см}.$$

Плита устанавливается на шесть виброизоляторов.

5. Жесткость одного виброизолятора [по формуле (32)]

$$K'_{пz} = \frac{232}{6} \approx 40 \text{ кгс/см}.$$

При такой жесткости виброизолятора передвижения человека по плите будут вызывать ее сильные перемещения — плита будет зыбкой

Для уменьшения зыбкости плиты виброизолятор устраиваем из двух пружин различной жесткости по схеме рис. 13. Принимаем жесткость первой пружины $K'_{пz(1)} = 40$ *кгс/см* и жесткость второй пружины $K'_{пz(2)} = 160$ *кгс/см*.

Пружины устанавливаем так, чтобы при равномерном распределении веса человека между виброизоляторами плита опиралась на более мягкие пружины, а при нахождении человека над виброизолятором в работу включалась более жесткая пружина данного виброизолятора.

Для уменьшения зыбкости плиты при перемещениях по ней человека предварительно сжимаем виброизолятор.

Для выбора деформации от предварительного сжатия определим осадки пружины $K'_{пz(1)} = 40$ *кгс/см* при различных нагрузках на нее:

а) от веса плиты

$$\delta_0' = \frac{35}{6 \cdot 40} = 0{,}146 \text{ см};$$

б) от веса человека с коэффициентом 0,75, равномерно распределенного на все пружины площадки:

$$\delta_0'' = \frac{80 \cdot 0{,}75}{6 \cdot 40} = 0{,}25 \text{ см}.$$

Деформация от предварительного сжатия не должна быть более

$$\delta_0' + \delta_0'' = 0{,}146 + 0{,}25 = 0{,}396 \text{ см}.$$

Окончательно принимаем $\delta_0 = 0{,}3$ *см*.

[1] Равномерность распределения нагрузки между отдельными виброизоляторами обеспечивается достаточной жесткостью плиты (приваркой к ней ребер жесткости).

6. Задаваясь величиной зазора $\delta_1 = 0{,}5$ *см*, определим осадку виброизолятора при нахождении человека над виброизолятором

$$\delta_2 = \frac{80 - 40\,(0{,}3 + 0{,}5)}{40 + 160} = 0{,}24 \text{ см};$$

$$\delta_1 + \delta_2 = 0{,}5 + 0{,}24 = 0{.}74 \text{ см} < 1 \text{ см}.$$

Следовательно, требование условия (38) удовлетворено.

7. Предполагая, что на площадке могут одновременно находиться два человека (из которых один стоит непосредственно над виброизолятором), определим нагрузку на один виброизолятор по (33)

$$P' = \frac{70 \cdot 1 \cdot 0{,}5 + 1{,}5 \cdot 80}{6} + 1{,}5 \cdot 80 = 146 \text{ кгс}.$$

Определим нагрузку на каждую из пружин.

Осадка пружин от статической нагрузки при совместном их деформировании [по формуле (41)] при $K_{пг(1)} = 40$ *кгс/см*, $K_{пг(2)} = 160$ *кгс/см*:

$$\delta_2 = \frac{146 - 40\,(0{,}3 + 0{,}5)}{40 + 160} = 0{,}57 \text{ см}.$$

Нагрузка на пружину с жесткостью $K_{пг(1)} = 40$ *кгс/см* [по (39)]

$$P_1 = 40\,(0{,}3 + 0{,}5 + 0{,}57) = 54{,}8 \text{ кгс}.$$

Нагрузка на пружину с жесткостью $K_{пг(2)} = 160$ *кгс/см* [по формуле (40)]

$$P_2 = 160 \cdot 0{,}57 = 91{,}1 \text{ кгс}.$$

Пружины изготавливаются из пружинной стали с допускаемым напряжением на срез $[\tau] = 3000$ *кгс/см*^{2}.

По требуемой жесткости путем подбора определяем характеристики пружин, которые приводим в табл. 24.

Таблица 24

Характеристики пружин виброизолятора

Наименование характеристик пружины	Единица измерения	Показатели для пружин	
		$K_{пг(1)}$	$K_{пг(2)}$
Средний диаметр D	*мм*	100	50
Диаметр прутка d	»	10	8
Число рабочих витков i	шт.	2,5	2
» мертвых витков i_2	»	1,5	1,5
Полное число витков i_1	»	4	3,5
Индекс пружины $\frac{D}{d}$	—	10	6,25
Шаг пружины h	*мм*	20	20
Высота пружины $H_0 = ih + (i_2 - 0{,}5)\,d$	»	60	48
Жесткость пружины $K_{пг} = \frac{Gd}{8\,ic^3}$	*кгс/см*	40	164
Коэффициент k (по графику рис. 12)	—	1,15	1,24
Напряжения на срез (сдвиг) материала пружины $\tau = 2{,}56\frac{kP'c}{d^2}$	*кгс/см*^{2}	1610	2260

Оглавление

Предисловие 3
1. Общие указания 5
2. Динамические нагрузки от строительных машин и механизмов 8
3. Проектирование фундаментов под вибрационное оборудование для формования бетонных и железобетонных изделий 14
4. Виброизоляция оборудования 31
5. Пассивная виброизоляция рабочих мест и площадок . . 38
6. Расчет конструкций междуэтажных перекрытий и разгрузочных балок на динамические нагрузки от оборудования 47

Приложения

1. Перечень основного технологического оборудования заводов и полигонов сборного железобетона и данные о нормативных динамических нагрузках, возбуждаемых этим оборудованием 52
2. Пример расчета виброизоляции стендовой силовой виброформы с навесными вибраторами для изготовления стропильных двускатных балок 81
3. Примеры расчета пассивно-виброизолированных площадок 90

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИМ. В. А. КУЧЕРЕНКО
ГОССТРОЯ СССР

**РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО УМЕНЬШЕНИЮ ВРЕДНЫХ ВИБРАЦИЙ РАБОЧИХ МЕСТ
НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ**

* * *

Стройиздат
Москва, К-31, Кузнецкий мост, 9

* * *

Редактор издательства Осипова Э. М.
Технический редактор Кузнецова Т. В.
Корректор Атавина Л. П.

Сдано в набор 3/II-1972 г. Подписано к печати 10.XI 1972 г.
Т-17361 Бумага № 2. Формат 84×108¹/₃₂ — 1,5 бум. л.
5,04 усл. печ. л. (уч.-изд. 5,10 л.)
Тираж 18 000 экз. Изд. № XII—3499. Зак. № 758. Цена 26 к.

Московская типография № 4 Главполиграфпрома
Государственного комитета Совета Министров СССР по
делам издательств, полиграфии и книжной торговли
Б. Переяславская, 46

gost.e-ecolog.ru