НИИЖБ
ГОССТРОЯ СССР

ЧЕЛЯБИНСКИЙ
ПРОМСТРОЙНИИПРОЕКТ
МИНТЯЖСТРОЯ СССР

ВОРОШИЛОВГРАДСКИЙ
ФИЛИАЛ НИИСП
ГОССТРОЯ УССР

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ДИНАМИЧЕСКОМУ РАСЧЕТУ СТАЛЬНЫХ ФОРМ

МОСКВА–1984

gost.e-ecolog.ru

Ордена Трудового Красного
знамени научно-исследова-
тельский институт бетона
и железобетона
Госстроя СССР

Челябинский
ПромстройНИИпроект
Минтяжстроя СССР

Ворошиловградский
филиал научно-
исследовательского
института строитель-
ного производства
Госстроя УССР

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ДИНАМИЧЕСКОМУ РАСЧЕТУ СТАЛЬНЫХ ФОРМ

Утверждены
директором НИИЖБ
I6 января I984 г.

Москва - I984

УДК 666.982.2.033

Печатается по решению секции заводской технологии НТС НИИЖБ Госстроя СССР от 25 ноября 1983 г.

Рекомендации по динамическому расчету стальных форм. М., НИИЖБ Госстроя СССР, 1984, с. 43

Изложены задачи динамического расчета, основные расчетные положения, динамический расчет обшивки поддона и формы в целом. Приведены общие принципы конструирования с учетом динамического воздействия на форму, в том числе конструктивные решения, снижающие уровень шума. Даны вспомогательные материалы для расчета, а т а к ж е примеры расчета.

Предназначены для специалистов проектных и конструкторских организаций, ведущих разработку форм, а также инженерно-технических работников предприятий сборного железобетона.

Табл.8, рис.10.

© Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт бетона и железобетона Госстроя СССР, 1984

ПРЕДИСЛОВИЕ

При изготовлении сборного железобетона форму, заполненную бетонной смесью, подвергают интенсивному вибрационному, виброударному или ударному воздействию с целью уплотнения смеси. Тем самым форма воспринимает значительные динамические нагрузки, и от характера ее работы при таких воздействиях зависит качество железобетонных изделий и долговечность самой формы. Именно этим обусловлена необходимость выполнения динамического расчета формы.

Настоящие Рекомендации содержат указания по динамическому расчету форм и общие положения по их конструированию с учетом работы формы на динамические нагрузки. Учитывая большое многообразие установок и механизмов, конструкция которых определяет особые условия динамической работы формы, Рекомендации распространяются лишь на основные типы уплотняющих установок, применяемых в отечественной практике. Однако общие положения по расчету и конструированию могут быть использованы при проектировании форм для различных условий производства.

Рекомендации составлены на основе результатов исследований, проведенных НИИЖБ Госстроя СССР, Челябинским ПромстройНИИпроектом Минтяжстроя СССР, Ворошиловградским филиалом НИИСП Госстроя УССР и чехословацким институтом ВУМ Министерства строительства ЧССР, который в 1971-74 гг. проводил совместные с НИИЖБ исследования по изучению динамической работы форм.

Рекомендации разработаны НИИЖБ (канд.техн.наук Г.С.Митник), Челябинским ПромстройНИИпроектом (канд.техн.наук И.В.Горенштейн, инженеры В.Ф.Дремин, В.И.Дерновой, И.М.Труханова, Л.Б.Пушкина) и Ворошиловградским филиалом НИИСП (канд.техн.наук А.С.Файвусович, инж. Ю.А.Зубов).

Все предложения и замечания по содержанию настоящих Рекомендаций просьба направлять по адресам:

109389, Москва, 2-я Институтская ул., д.6, НИИЖБ;

454014, Челябинск, ГСП-1, ул.Сталеваров, 7, Челябинский ПромстройНИИпроект;

348031, Ворошиловград, квартал им.Димитрова, 23а, Ворошиловградский филиал НИИСП.

Дирекция НИИЖБ

I. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

I.I. Рекомендации предназначены для использования при динамическом расчете и конструировании стальных форм, применяемых для формования железобетонных изделий на виброплощадках с вертикальными и круговыми колебаниями, асимметричных виброударных установках, ударных установках, а также на других механизмах, у которых основная составляющая колебательного движения располагается по вертикали.

I.2. Рекомендации не распространяются на проектирование высоких узких форм, у которых высота больше ширины, поскольку в этом случае существенное влияние оказывают сдвиговые деформации, а также трение о борта формы, что не учитывается в исходных формулах.

I.3. Формы, динамический расчет и конструирование которых выполнены в соответствии с указаниями настоящих Рекомендаций, должны эксплуатироваться в стабильном (устойчивом) режиме колебаний. Для незакрепленных форм дополнительные указания приведены в разд. 3 и прил.3.

I.4. Настоящими Рекомендациями можно пользоваться при проектировании форм из неметаллических материалов (железобетона, стеклопластика и др.).

I.5. В Рекомендациях даны также конструктивные решения форм, обеспечивающие снижение уровня шума, который создается формой при уплотнении бетонной смеси.

I.6. При проведении расчета по настоящим Рекомендациям необходимо пользоваться также "Руководством по расчету и проектированию стальных форм" (М., 1970), "Руководством по расчету и конструированию форм при трехточечном опирании" (М., 1978) и "Рекомендациями по расчету и конструированию поддонов с раскосной решеткой" (М.,1982).

2. ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.I. Динамический расчет формы и ее элементов ведется на основе теории колебаний упругих систем, при этом вся форма рассматривается как ортотропная плита или балка (в зависимости от соотношения размеров формы в плане), а ячейка обшивки - как изотропная пластина.

Примечание. Ортотропная плита - плита, имеющая по двум взаимно перпендикулярным направлениям различные свойства (например, жесткость, погонную массу); изотропная пластина - пластина, у которой свойства по всем направлениям в ее плоскости одинаковы.

2.2. В настоящих Рекомендациях изложен приближенный (инженерный) расчет форм. При этом приняты следующие исходные предпосылки:

а) бетонная смесь колеблется совместно с обшивкой поддона без отрыва;

б) форма жестко соединена с подвижными частями уплотняющей машины;

в) рассматривается заключительный этап процесса уплотнения смеси, которая оценивается как упруговязкая среда, имеющая постоянную скорость распространения колебаний С.

Для подвижных и умеренно жестких смесей на тяжелых заполнителях скорость распространения колебаний С принимается равной 50 м/с. Для керамзитобетонных смесей на кварцевом песке С = 40 м/с. Для бетонов на других легких заполнителях и бетонов с добавками различных видов значение С разрешается принимать по экспериментальным данным.

2.3. Выбор конструкции формы на основе динамического расчета позволяет улучшить ее работу на уплотняющей установке. В результате этого повышается надежность и долговечность конструкции установки, качество изготовляемых изделий, снижается металлоемкость и излучаемый формой шум.

2.4. Задачей динамического расчета является определение геометрических размеров и сечений рамы и обшивки поддона, при которых обеспечиваются:

а) значение собственных частот колебаний системы: уплотняющая машина - форма (в целом) - бетонная смесь достаточно удаленное от частоты вибрирования (для площадок с гармоническими колебаниями). Это позволяет избежать возникновения резонансных режимов колебаний формы и получить требуемую долговечность ее элементов;

б) наибольшие динамические давления в смеси при достаточно равномерном распределении их по площади поддона, что приводит к сокращению времени растекания смеси по форме, повышению коэффициента уплотнения, улучшению качества лицевой поверхности.

2.5. Достижение наибольших динамических давлений и интенсификация вследствие этого процесса формования смеси осуществляется за счет выбора на основе расчета оптимальных значений частот собственных колебаний обшивки поддона загруженной смесью формы.

Оптимальные значения указанных частот устанавливаются для каждого типа уплотняющей установки в зависимости от частотного спектра вынуждающих сил; при этом одновременно обеспечивается снижение до минимума величины излучаемого формой шума. В ряде случаев оптималь-

ным значениям частот колебаний соответствуют размеры ячеек, несколько превышающие эти размеры у используемых в настоящее время форм, что позволяет добиться снижения их металлоемкости.

2.6. Динамический расчет предполагает определение частот собственных колебаний ячеек обшивки поддона, частот собственных колебаний формы в целом, мод* главных колебаний, амплитуды вынужденных колебаний.

2.7. Из спектра частот собственных колебаний элементов формы на уплотнение смеси наибольшее влияние оказывает частота основного тона колебаний обшивки поддона, при которой деформации листа относительно балок рамы наибольшие; на излучение шума - также частота основного тона колебаний формы в целом, соответствующая первой моде колебаний.

Примечание. Под частотой основного тона колебаний обшивки с бетонной смесью понимается частота основного тона колебаний системы: вибромашина (вместе с рамой поддона) - обшивка поддона - бетонная смесь.

2.8. Если поддон состоит из ячеек одинакового размера, то частота основного тона колебаний его обшивки соответствует частоте основного тона колебаний отдельной ячейки; при этой частоте прогибы центральных точек всех ячеек наибольшие. У поддона с ячейками разных размеров обшивка имеет несколько частот собственных колебаний, совпадающих с частотами основного тона колебаний ячеек различных размеров.

2.9. Определение всех динамических характеристик формы, перечисленных в п.2.6 настоящих Рекомендаций, требуется только в отдельных случаях, в частности, при проектировании длинномерных форм. В обычной практике проектирования достаточно вычислять частоты основного тона колебаний обшивки ячеек, отличающихся размерами в плане, и первые три собственные частоты колебаний формы в целом, если в процессе уплотнения бетонной смеси форма опирается на ограниченное число опор и имеет возможность изгибаться.

Вычисления динамических характеристик производятся для незагруженной формы и формы, заполненной бетонной смесью. Определяющими являются характеристики загруженной формы, поскольку она в таком состоянии находится большую часть времени процесса формования.

---

* "Мода" колебаний - синоним понятия "форма" колебаний.

2.10. Динамический расчет, выполненный даже в минимальном объеме (см.п.2.9 настоящих Рекомендаций), если форма законструирована с учетом требований настоящих Рекомендаций и соответствующих разделов "Руководства по расчету и проектированию стальных форм" (М., 1970), позволяет выявить основные динамические характеристики формы и оценить, насколько они соответствуют требуемым частотным характеристикам (табл.1).

Таблица 1. Рекомендуемые значения частоты f, основного тона колебаний системы: уплотняющая установка - обшивка поддона - бетонная смесь

Уплотняющий механизм и частота колебаний	Высота слоя бетонной смеси, м							
	0,03	0,05	0,1	0,2	0,3	0,35	0,4	0,5
Виброплощадки блочные с вертикально направленными колебаниями * f = 50 Гц	70	65	65	35	30	28	-	-
То же, с круговыми колебаниями f = 25 Гц	53	48	48	40	30	20	20	17
Асимметричные виброударные площадки типа СМК-460 (ВРА 15М) f = 10 Гц	60	40	40	23	23	18	18	17
Ударный стол f = 4-6 Гц	93	63	48	40	31	28	26	20

* В тех случаях, когда применяется бетонная смесь с ОК > 5 см и к качеству поверхности изделий предъявляются повышенные требования (по числу и диаметру пор), рекомендуется при высоте слоя бетонной смеси 0,03-0,2 м принимать ячейки такими, чтобы собственная их частота составляла 25-40 Гц.

2.11. Динамический расчет выполняется для двух расчетных схем:

отдельной ячейки обшивки поддона как пластины со слоем упруговязкого материала, по контуру которой закреплены ногонные массы (от балок рамы и подвижных частей виброплощадки), установленные на упругих опорах; к массам приложены вынуждающие силы от вибраторов. Влияние рамы, массы подвижных частей вибромашины и жесткости упругих опор учитывается введением соответствующих коэффициентов для системы: уплотняющая установка (вместе с рамой формы) - обшивка - бетонная смесь;

формы в целом как ортотропной пластины с сосредоточенными массами (для блочных площадок - это масса виброблока и подмагнитной плиты), к которым приложены возмущающие усилия вибраторов. Пластина взаимодействует со слоем упруго-вязкого материала (система: уплотняющая установка - форма в целом - бетонная смесь).

2.12. Расчет по первой схеме выполняется для определения геометрических размеров ячеек обшивки поддона, соответствующих оптимальным значениям частоты основного тона колебаний (см.табл.1).Данный расчет является основным и производится для всех типов форм и уплотняющих установок.

Расчет по второй схеме производится для определения трех первых собственных частот колебаний формы в целом для сравнения их с частотой вибрирования. Расчет выполняется для виброплощадок с вертикально направленными колебаниями типа СМЖ-200Б.

При уплотнении бетонной смеси на установке, имеющей подвижную раму (например, площадки СМЖ-460, виброплощадки с круговыми колебаниями, ударный стол), в том случае, если несущая рама поддона опирается во многих точках, частоты собственных колебаний формы в целом не определяются.

2.13. В форме, запроектированной на основе динамического расчета, возникновение резонансных режимов маловероятно. Приближение к этой зоне приводит к интенсивному росту изгибных колебаний формы в целом (эффект резонансного усиления) и, как следствие, к снижению ее долговечности и повышению разброса плотности и прочности бетона по объему изделия.

Для исключения возможности работы формы или ее элементов в зоне резонанса необходимо, чтобы по крайней мере три первые частоты колебаний системы: уплотняющая установка - форма - бетонная с м е с ь отличались бы от частоты вибрирования: первая частота - не менее, чем на 20 %, вторая и третья - 10 %.

2.14. При близости частоты основного тона колебаний системы: уплотняющая установка - обшивка - бетонная смесь и частоты вибрирования возникает эффект "фонтанирования", при котором из-за повышенных амплитуд колебаний бетонной смеси в пределах ячейки обшивки, находящейся в зоне резонансного усиления, смесь не может быть уплотнена в должной мере. Частота основного тона колебаний обшивки с бетонной смесью должна быть удалена от частоты вибрирования не менее, чем на 20 %.

2.I5. При уплотнении бетонной смеси на ударном столе и асимметричной виброударной установке частота основного тона колебаний обшивки с бетонной смесью не должна быть равна или кратна частоте ударов. Кратность допускается при следующих отношениях частоты основного тона колебаний системы к частоте ударов: для ударного стола - 5 и более; для асимметричной виброударной установки - 4 и более.

2.I6. Частота основного тона колебаний ячейки обшивки с бетонной смесью определяется согласно указаниям разд.3 настоящих Рекомендаций; рекомендуемая частота зависит от вида уплотняющей установки и должна соответствовать значениям, указанным в табл.I.

2.I7. Рекомендуемые в табл.I значения частоты основного т о н а колебаний обшивки с бетонной смесью f_1 применимы при значении частотного коэффициента

$$\alpha_1 = 2\pi f_1 \frac{h_б}{C} \leq I,4, \qquad (I)$$

где $h_б$ - высота столба смеси, м; C - скорость продольной волны, м/с.

2.I8. Для значений высот, отличающихся от указанных в табл. I , собственные значения f_1 определяются интерполяцией.

Для высоты слоя $h_б$ = 0,I...0,2 м при формовании на виброплощадке, $h_б$ = 0,3...0,35 м для площадок с круговыми колебаниями и $h_б$ > 0,3 м для ВРА-I5М значение собственной частоты f_1 определять интерполяцией не допускается во избежание попадания в область резонансных частот. В этих случаях значение f_1 принимается р а в н ы м значению на ближайшей границе интервала.

2.I9. Форму с удовлетворительными динамическими характеристиками для уплотнения слоев бетонной смеси высотой более 0,35 м на виброплощадках с частотой вибрирования 50 Гц, чему соответствует $\alpha_1 > I,4$ /см.формулу (I)/, запроектировать не представляется возможным. В этих случаях следует переходить на применение низкочастотных уплотняющих установок.

2.20. Если расчет показывает, что частота основного тона колебаний f_1 отличается от рекомендуемой табл.I более, чем на I 0 %, необходимо изменить толщину листа или размеры ячейки; повторный расчет частоты после изменения размеров ячейки обязателен.

2.2I. Если по конструктивным соображениям поддон должен быть выполнен с ячейками разных размеров, необходимо стремиться к тому,

чтобы частоты основного тона колебаний ячеек всех размеров с бетонной смесью соответствовали рекомендуемым табл.I.

Когда поддон имеет ячейки нескольких размеров, определение частот основного тона колебаний обшивки с бетонной смесью должно проводиться для ячеек, занимающих основную часть площади поддона. Для ячеек других размеров следует проверить отсутствие резонанса (см. п.2.I3 настоящих Рекомендаций).

3. ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОБШИВКИ ПОДДОНА

3.I. Определение частоты основного тона свободных колебаний обшивки с бетонной смесью выполняется в два этапа. Сначала определяется частота основного тона колебаний обшивки поддона без смеси f_0 и затем в зависимости от высоты смеси и ее упругих характеристик определяется частота основного тона колебаний обшивки со смесью f_1, которая сравнивается со значениями частот, рекомендуемыми табл.I.

3.2. Частоты f_0 и f_1, Гц, связаны между собой зависимостью

$$f_0^2 = f_1^2 \left(1 + \frac{m_б}{m_0} \cdot \frac{tg\,\alpha_1}{\alpha_1}\right), \qquad (2)$$

где $m_б$ и m_0 – массы соответственно бетонной смеси и обшивки на единицу площади, кг/м^2; α_1 – безразмерный частотный коэффициент, зависящий от высоты слоя смеси $h_б$ и скорости продольной волны C; он определяется по формуле $\alpha_1 = \frac{2\pi f_1 h_б}{C}$.

3.3. Частота основного тона колебаний отдельной ячейки обшивки поддона зависит от толщины листа, длины, ширины и формы я ч е й к и (прямоугольная, треугольная) и определяется с учетом работы элементов рамы, поддерживающих обшивку, на изгиб и кручение.

3.4. Частота основного тона колебаний отдельной прямоугольной ячейки обшивки поддона определяется, Гц, по формуле

$$f_0 = \kappa_1 \kappa_2 \frac{\lambda}{a_1^2}, \qquad (3)$$

где λ – коэффициент, численно равный частоте основного тона колебаний жестко защемленной по контуру прямоугольной ячейки с размером большей стороны I м; принимается по графику на рис.I в зависимости от толщины листа и отношения сторон, Гц.м^2;

κ_1 – коэффициент частичного защемления. Для балок открытого профиля из швеллеров принимается по графику на рис.2 в зависимости от параметра A_0; для балок замкнутого профиля из швеллеров $\kappa_1 \cong$ $\cong$ 0,97;

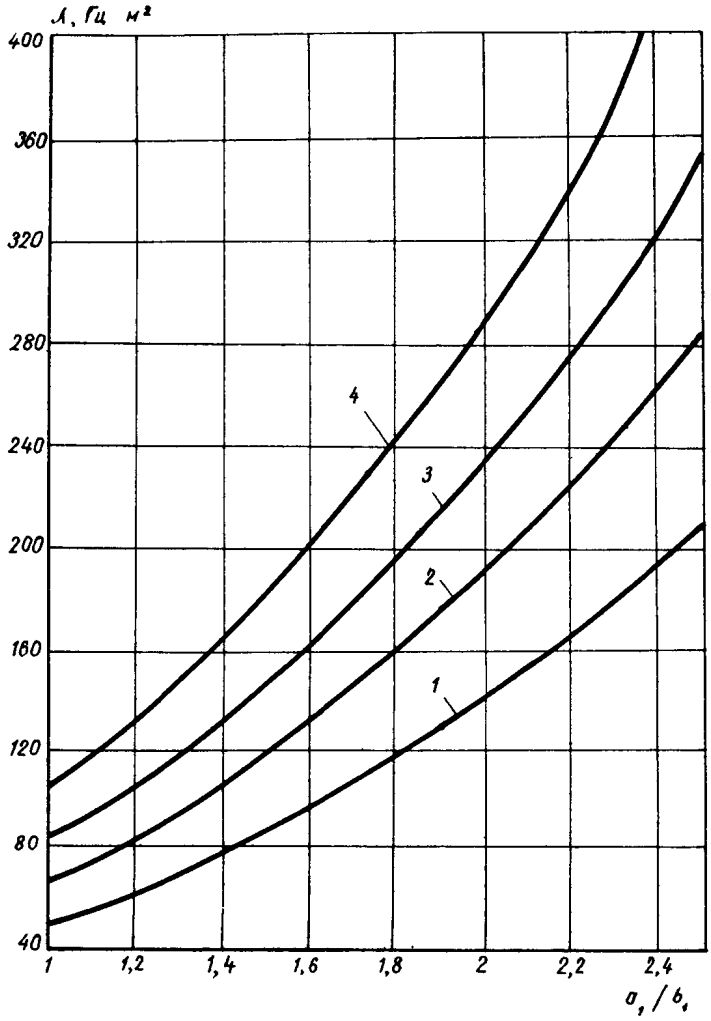


Рис.I. Зависимость частоты основного тона колебаний защемленной по контуру прямоугольной пластины от отношения сторон ячейки и толщины обшивки.

Толщина обшивки, м: I - 0,006; 2 - 0,008; 3 - 0,0I; 4 - 0,0I2

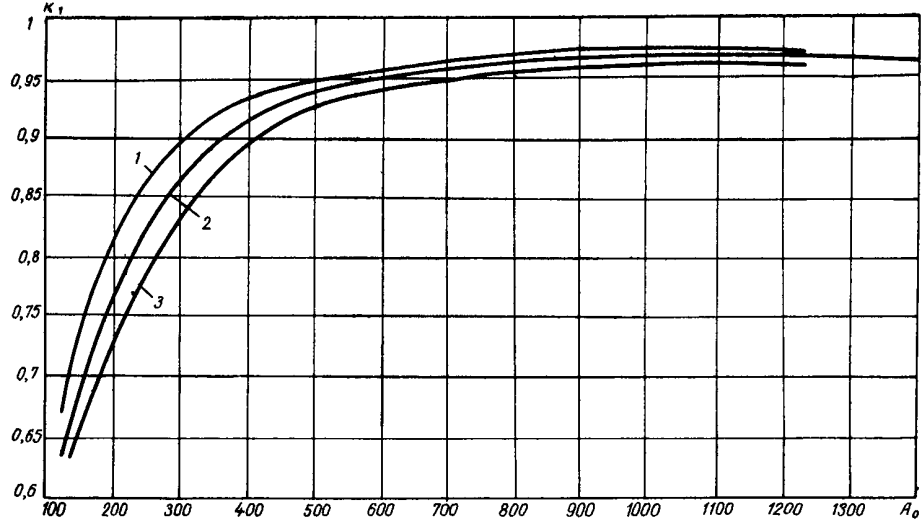


Рис.2. Зависимость коэффициента частичного защемления K_1 от параметров ячейки и рамы (из одинарных швеллеров). Значения Ao увеличены в 10^8 раз

I - $a_1/в_1$ = I; 2 - $a_1/в_1$ = I,5; 3 - $a_1/в_1$ = 2

для балок из стальных полос, образующих квадратные ячейки (при раскосной решетке) - по графику на рис.3 в зависимости от параметра B_0;

κ_2 - коэффициент, учитывающий податливость упругих опор и влияние сосредоточенных масс;

a_1 - большая сторона ячейки, м.

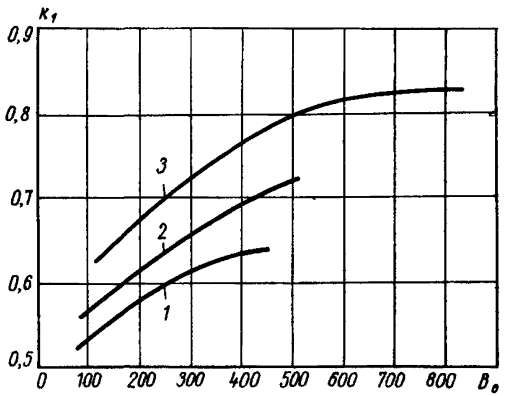


Рис.3. Зависимость коэффициента частичного защемления κ_I от параметров ячейки и рамы из полосовой стали. Значения B_0 увеличены в 10^8 раз.

Толщина обшивки, м: I - 0,006; 2 - 0,008; 3 - 0,0I

3.5. Параметры A_0, м^2, и B_0, м$^{9/4}$, определяются из выражений:

для каркасов из швеллеров открытого и закрытого профиля, образующих прямоугольные ячейки,

$$A_0 = \frac{J_к}{(a_1 + b_1)\delta},$$

для каркаса из стальных полос, образующих квадратные ячейки,

$$B_0 = \frac{J_к}{2a_1^{1/4}\delta},$$

где $J_к$ - момент инерции при свободном кручении элемента каркаса, м^4, (см.прил.I); δ - толщина обшивки, м; a_1 и b_1 - соответственно длина и ширина ячеек обшивки по осевым линиям балок, м.

Таблица 2. Значения коэффициента K_2

μ	R									
	≤ 5	10	15	50	75	90	120	150	200	300	500
0,5	0,80	0,74	0,58	0,74	0,78	0,82	0,87	0,92	0,99	1,0	1,0
0,75	0,85	0,85	0,52	0,63	0,74	0,73	0,79	0,84	0,89	1,0	1,0
1,0	0,95	0,95	0,46	0,58	0,63	0,78	0,78	0,82	0,88	0,95	1,0
1,25	0,97	0,97	0,44	0,54	0,59	0,62	0,78	0,78	0,83	0,91	1,0
1,5	0,97	0,97	0,43	0,51	0,56	0,59	0,7	0,74	0,76	0,88	1,0
1,75	0,98	0,97	0,42	0,49	0,53	0,57	0,67	0,7	0,72	0,81	0,92
2,00	0,99	0,97	0,41	0,48	0,51	0,55	0,6	0,66	0,72	0,78	0,88
2,5	1,0	1,0	0,41	0,45	0,49	0,51	0,57	0,63	0,69	0,74	0,84

Примечание. Для форм, не закрепленных на виброплощадке, коэффициент K_2 принимается равным I.

3.6. Коэффициент K_2 определяется из табл.2 в зависимости от величин двух безразмерных параметров

$$R = \frac{10,92\, C_n b_1^3}{2E\delta^3 L}$$

и $$\mu = \frac{m_n}{2 L m_0 b_1},$$

где C_n – суммарная приведенная жесткость упругих опор формовочной установки, Н/м; b_1 – меньшая сторона ячейки, м; E – модуль упругости стали, Н/м^2; δ – толщина обшивки, м; L – суммарная длина балок рамы поддона, м; m_n – приведенная масса колеблющихся частей формовочной установки, кг.

Для виброплощадок типа СМК-200Б C_n равна жесткости опорных пружин, для двухмассовых асимметричных установок типа ВРА-I5М

$$C_n = (0,45...0,65) C_2,$$

где C_2 – жесткость резиновых ограничителей (буферов), Н/м.

Для ударных столов $C_n \cong \infty$, что позволяет принимать $K_2 = 1$.

Приведенная масса колеблющихся частей равна:

для виброплощадки типа СМК-200Б сумме масс подвижных частей виброблоков, рамы поддона и бортов;

для установок типа ВРА-I5М

$$m_n = \frac{(m_p + m_к)\, m_2}{m_p + m_к + m_2} ,$$

где m_p – масса подвижной рамы, кг; $m_к$ – то же, рамы поддона, кг ; m_2 – то же, нижней рамы, кг.

3.7. Для треугольной ячейки, имеющей контур прямоугольного равнобедренного треугольника, частота f_0 , Гц, определяется по формуле

$$f_0 = 2I{,}86 \cdot I0^3 \, K_1 K_2 \, \frac{\delta}{a_1^2} , \qquad (4)$$

где δ – толщина листа, м; a_1 – сторона (катет), м.

При определении коэффициентов K_1 и K_2 в выражения для R и M (см.п.3.6 настоящих Рекомендаций) вместо b_1 подставляется длина катета a_1.

3.8. Частота основного тона колебаний обшивки со смесью на тяжелых заполнителях определяется по графикам прил.2. При других бетонных смесях и высоте столба бетона $h_б > 0{,}4$ м подсчет частоты ведется по формуле (2).

3.9. Частоты основного тона колебаний обшивки с бетонной смесью определяются как при проектировании новой формы, так и при проверке формы, находящейся в эксплуатации. В первом случае устанавливаются требуемые размеры ячеек обшивки поддона при принятых на основе статического расчета толщине листа и жесткости элементов рамы так, чтобы выполнялись рекомендации табл.I;

во втором случае частота основного тона колебаний обшивки с бетонной смесью определяется расчетом и сравнивается с рекомендуемыми значениями (см.табл.I).

3.I0. При проверке ячейки обшивки формы, находящейся в эксплуатации, исходя из очертаний ячейки и ее размеров находят частоту основного тона колебаний обшивки поддона без смеси f_0 и затем по f_0 – частоту f_1 (см.прил.5, пример I).

3.II. При проектировании новой формы для установления размеров ячеек задаются в зависимости от применяемой формовочной установки (согласно табл.I) рекомендуемой частотой f_1 основного тона колебаний обшивки с бетонной смесью. По принятой частоте f_1 с учетом высоты смеси и очертания ячейки находят частоту f_0 , п р и н и м а я K_1 = 0,97 (при балках замкнутого профиля из швеллеров), K_1 = 0,9 (при балках из одиночных швеллеров), K_1 = 0,7 (при балках из полосовой стали); при этом принимается K_2 = 0,9 (для формующих устано-

вок всех типов, кроме ударного стола, для которого $\kappa_2 = 1{,}0$).

Затем на основе статического расчета, определяющего толщину обшивки и высоту балок каркаса, находят размеры ячейки.

Расчет завершается проверкой прогиба ячейки принятых размеров от статических нагрузок (см.прил.4).

4. ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ФОРМЫ В ЦЕЛОМ

4.1. Расчет формы в целом выполняется в тех случаях, когда по условиям работы на формовочной установке возможны изгибные деформации всей формы (несущей рамы поддона вместе с обшивкой). Расчет обязателен при формовании на виброплощадках блочного типа с вертикально направленными колебаниями и аналогичных установках.

4.2. Частоты собственных колебаний формы, установленной для уплотнения бетонной смеси на виброплощадку с вертикально направленными колебаниями, подсчитываются как для ортотропной плиты с учетом жесткости конструкции на кручение, местных изменений жесткости (на участках расположения подмагнитных плит) и сосредоточенных внешних масс (вибровозбудитель, подмагнитная плита). Полные расчетные формулы приведены в прил.3, а в пп. 4.3 и 4.4 настоящих Рекомендаций даны формулы для некоторых частных случаев.

4.3. Частоты собственных колебаний формы, предназначенной для работы на виброплощадках блочной конструкции типов СМК-200Б и СМК-197Б, допускается определять по приближенной формуле без учета кручения и местного изменения жесткости

$$f_{ij} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\varepsilon_i^4 \frac{A}{b^3} + \varepsilon_j^4 \frac{Cb}{l^3}}{m_i}}, \qquad (5)$$

где l и b – большая и меньшая стороны формы, м;

$$A = \frac{J_{ox} E}{l}, \qquad C = \frac{J_{oy} E}{b},$$

J_{ox} – момент инерции сечения поддона, перпендикулярного оси X относительно оси y, $м^4$; J_{oy} – момент инерции сечения поддона, перпендикулярного оси y, относительно оси x, $м^4$; ε_i – характеристическое число i -ой моды колебаний (см.прил.3); ε_j – то же; j -ой моды колебаний (см. там же); m_i – обобщенная масса (см. там же), кг.

4.4. Форма, у которой длина l в два и более раз превышает ширину ($l/b \geq 2$), рассматривается как балочная конструкция. Для нее

определяются частоты собственных колебаний только балочных мод. В этом случае формула (5) преобразуется к виду

$$f_i = \frac{\varepsilon_i^2}{2\pi l^2}\sqrt{\frac{EJ}{m_i}}, \qquad (6)$$

где ε_i, C, b, l – см. обозначения к формуле (5);

$$m_i = \frac{m_\phi + D}{l}, \qquad (7)$$

где m_ϕ – масса формы, кг; D – коэффициент, учитывающий влияние сосредоточенных масс и инерции их вращения, кг.

Коэффициент D, кг, используется для расчета мод в продольном и поперечном направлении поддона. Для виброплощадок с вертикально направленными колебаниями конструкции Челябинского завода "Строммашина" D определяется по табл.3.

Таблица 3. Значения коэффициента D

f_i	Тип виброплощадки и формы			
	СМЖ-200Б с формой для изделия 3х6 м		СМЖ-197 с формой для изделия 3х12 м	
	Сечение поддона			
	продольное	поперечное	продольное	поперечное
f_1	3400	2800	5460	10700
f_2	3100	5300	5170	17600
f_3	3700	5700	5890	13100

4.5. Для виброплощадок с другим числом виброблоков и другими расстояниями между ними частоты собственных колебаний можно определять по формулам, приведенным в прил.3.

4.6. Определение собственных частот колебаний формы, загружен - ной слоем бетонной смеси, производится по формуле (2). В этом случае поддон приводится к ортотропной пластине со свободными краями, которая имеет те же частоты колебаний, что и поддон со сосредоточенными массами (приведение проводится по указаниям прил.3).

4.7. Для приближенного расчета в случае бетона на тяжелых заполнителях и высоте его слоя $h_б < 0{,}3$ м допускается расчет выполнять по формулам (5) и (6), при этом выражение (7) преобразуется к виду

$$m_i = \frac{m_\phi + K_з m_б + D}{l}, \qquad (7)$$

где $m_б$ – масса бетонной смеси, кг; K_3 = I,I...I,3 – коэффициент, учитывающий влияние массы бетонной смеси; большие значения соответствуют большим отношениям $m_б / m_ф$.

5. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ

5.I. При проектировании формы, размеры ячеек обшивки и сечение которой приняты на основании динамического расчета, следует выполнять требования, изложенные в пп. 5.2...5.I3 настоящих Рекомендаций.

5.2. Форма должна конструироваться с минимальным числом разборных элементов, число откидных (отодвижных, съемных) бортов должно быть не больше, чем это необходимо для свободного извлечения изделия из формы.

5.3. Требование максимальной неразборности особенно относится к форме, устанавливаемой для уплотнения бетонной смеси на ударный стол. При ударном уплотнении рекомендуется преимущественно применять неразборные и частично разборные формы.

5.4. Замковые соединения, обеспечивающие проектное положение продольных и поперечных бортов, должны исключать самопроизвольное ослабление при вибрационном, виброударном и ударном уплотнении бетонной смеси.

5.5. Сменные элементы и детали формы (пустотообразователи, вкладыши, фиксаторы разного назначения, в том числе предназначенные для установки закладных деталей) необходимо крепить жестко, чтобы была исключена возможность их смещения относительно проектного положения в процессе уплотнения бетонной смеси.

5.6. Число продольных и поперечных балок рамы поддона рекомендуется принимать нечетным, поскольку при этом в обшивке по площади поддона возникают преимущественно несимметричные моды колебаний, в результате чего уменьшается уровень излучаемого шума.

5.7. Конструирование формы следует выполнять так, чтобы опирание на верхнюю раму ударного стола обеспечивалось во многих точках с целью исключения ее изгиба при ударах (не реже I,2 м по длине и I,5 м по ширине формы).

5.8. Размеры ячеек обшивки по площади поддона желательно принимать одинаковыми или близкими; рекомендуемое соотношение размеров каждой ячейки от I:I до I:I,5.

5.9. Приварку листов обшивки к элементам каркаса следует проводить прерывистыми швами, накладывая их равномерно относительно осей симметрии.

5.10. На каждой стороне ячейки длина швов должна составлять не менее 0,5 длины и ширины ячейки. Сварка обшивки в углах обязательна; угловые швы принимаются длиной не менее 60 мм.

5.11. Сварные швы в форме должны выполняться качественно, чтобы исключить появление трещин в зонах сварки. Особое внимание необходимо уделять качеству сварных швов, крепящих подмагнитные плиты к балкам каркаса, поскольку через эти швы происходит передача динамического воздействия на форму.

5.12. Для снижения динамических напряжений в узлах формы необходимо сварные швы по возможности рассредоточить и обеспечить примерно равные толщины свариваемых деталей; приварку деталей, работающих на растяжение, следует выполнять через подкладки.

5.13. Подмагнитные плиты рекомендуется изготовлять круглыми;при таком очертании снижается масса плиты.

6. КОНСТРУКТИВНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ, СНИЖАЮЩИЕ ШУМ ФОРМЫ

6.1. Основным источником шума при уплотнении бетонной смеси являются колеблющиеся поверхности обшивки формы. Колебания листов обшивки в широком диапазоне частот вызываются исходными возмущениями в приводе уплотняющей установки. Шум самой установки без формы существенно меньше, чем с формой, и может быть при необходимости подавлен за счет устройства звукоизолирующих укрытий и применения звукопоглощающих облицовок.

6.2. Снижение шума, излучаемого формой в процессе вибрационного, виброударного и ударного уплотнения смеси, должно обеспечиваться конструктивными и технологическими приемами. Конструктивные приемы реализуются в процессе проектирования формы, технологические - при организации производства железобетонных изделий.

6.3. Требования пп. 5.2...5.13 настоящих Рекомендаций, кроме улучшения динамической работы формы, способствуют также и снижению уровней шума.

6.4. В формах не рекомендуется устраивать замкнутые полости,являющиеся усилителями звуковой энергии. Формы с двойной обшивкой, характеризующиеся повышенными уровнями шума, должны применяться только при контактном прогреве бетона, при этом толщина нижней обшивки должна быть не более 5 мм.

6.5. К бортам с паровыми полостями, защищенными от теплопотерь изоляционным слоем, приваривать снаружи тонколистовую сталь разре -

шается только при обеспечении достаточно частого крепления этого листа к несущей конструкции борта (с помощью] и Z - о б р а з - ных вставок, штырей и т.п.).

6.6. Для снижения шума, излучаемого формой, следует частоту основного тона колебаний обшивки с бетонной смесью принимать близкой к рекомендуемой табл.I. Это соответствует также уменьшению металлоемкости формы.

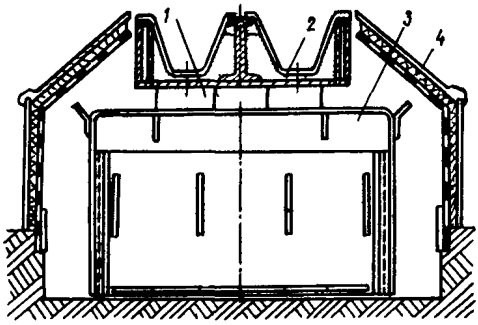


Рис.4. Виброплощадка с формой и звукоизолирующими ограждениями

I - виброблок с электромагнитами; 2 - форма; 3 - кожух над приводом; 4 - звукоизолирующее укрытие

6.7. Стальные листы в конструкции формы должны применяться только в качестве обшивки, т.е.для образования рабочих (формовочных) поверхностей. Установка листов для повышения жесткости конструкции, например, по нижним полкам балок поддона не рекомендуется. При необходимости установки таких листов в поддоне или бортах формы, их размеры и толщину следует принять такими, чтобы частота основного тона колебаний этих листов на 20-25 % отличалась от частоты работы вибраторов (частоты ударов) и ее первых гармоник. Целесообразно также выполнять в листах отверстия с возможно большей общей площадью.

6.8. До установки на пост формования в форме должны быть затянуты все болтовые соединения и неподвижно закреплены все съемные элементы. Сама форма должна жестко крепиться к уплотняющей машине.

6.9. Перед включением уплотняющей машины рекомендуется заполнить форму бетонной смесью, разложив ее по всей площади.

6.10. Для снижения уровня шума, излучаемого боковыми и нижней поверхностями формы, рекомендуется использовать звукоизолирующие укрытия; пример подобного укрытия приведен на рис.4.

МОМЕНТЫ ИНЕРЦИИ ПРИ СВОБОДНОМ КРУЧЕНИИ ПРОКАТНЫХ И ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ

Таблица 4. Значения $J_к$ для швеллеров и гнутых неравнополочных уголков (по сортаменту НИИЖБ), $м^4$

Профиль	№ профиля														
	I2	I4	I4а	I6	I6а	I8	I8а	20	20а	22	22а	24	24а	27	30
[	2,5	3,I9	3,5	3,96	4,3	4,86	5,I	5,9	6,3	7,48	8,0	9,6	9,9	I0,0	I2,6
[]	686	I057	I209	I547	I748	2I75	2437	2964	3302	4404	45I3	5499	6I9I	7502	I0079
L	-	0,75	-	0,82	-	I,65	-	I,79	-	I,94	-	3,46	-	3,8	6,32
LJ	-	734	-	886	-	I679	-	I946	-	22I8	-	42I9	-	4964	8033

Примечания: I. Значения $J_к$ увеличены в $I0^8$ раз.

2. Сортамент гнутых профилей см. "Рекомендации по расчету и конструированию поддонов с раскосной решеткой" (М., I982).

Таблица 5. Значения $J_к$ для полосы, $м^4$

Профиль		Высота профиля, см							
Эскиз	Толщина, мм	I4	I6	I8	20	22	24	27	30
	6	I,0I	I,I5	I,3	I,44	I,58	I,73	I,94	2,I6
	8	2,39	2,73	3,07	3,4I	3,75	4,I	4,6I	5,I2
	I0	4,67	5,33	6,0	6,67	7,33	8,0	9,0	I0,0
	I2	8,07	9,22	I0,37	II,52	I2,67	I3,82	I5,55	I7,28

Примечание. Значения $J_к$ увеличены в $I0^8$ раз.

ГРАФИКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТЫ ОСНОВНОГО ТОНА КОЛЕБАНИЙ ОБШИВКИ С БЕТОННОЙ СМЕСЬЮ f_1

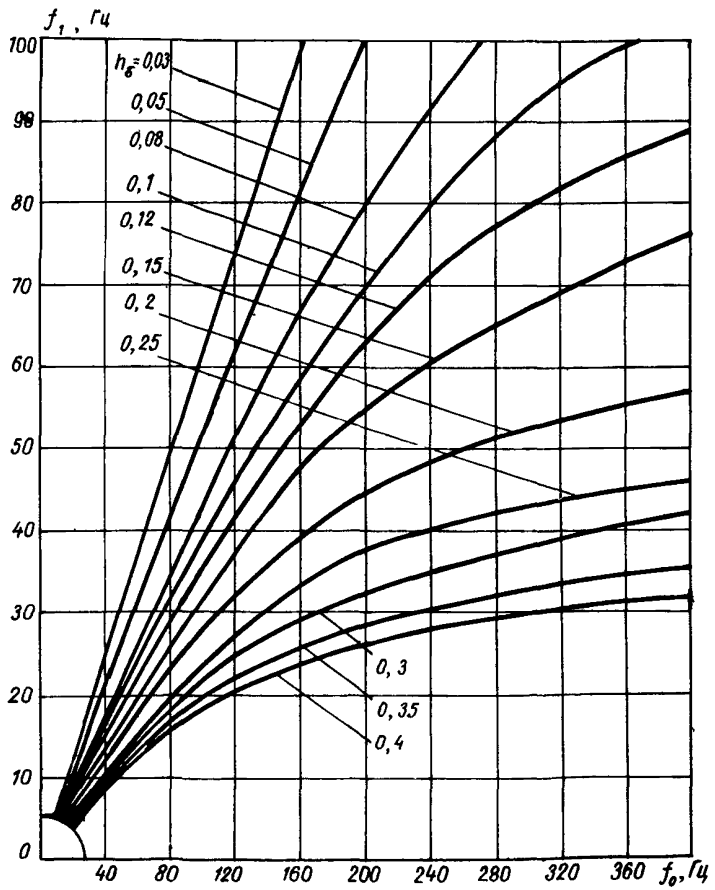


Рис.5. График для определения частоты основного тона колебаний обшивки со смесью f_1 в зависимости от частоты f_0 и высоты смеси $h_б$.

Толщина обшивки 0,006 м

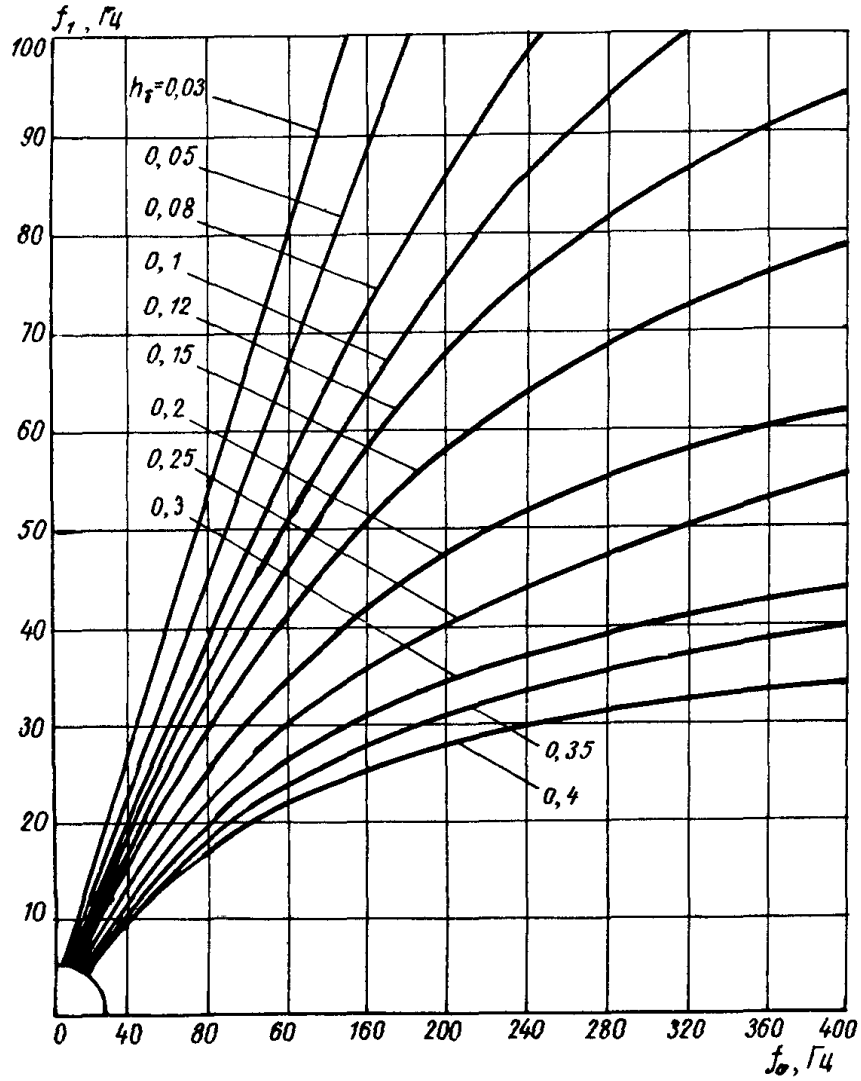


Рис.6. График для определения частоты основного тона колебаний обшивки со смесью f_1 в зависимости от частоты f_o и высоты смеси h_δ.

Толщина обшивки 0,008 м

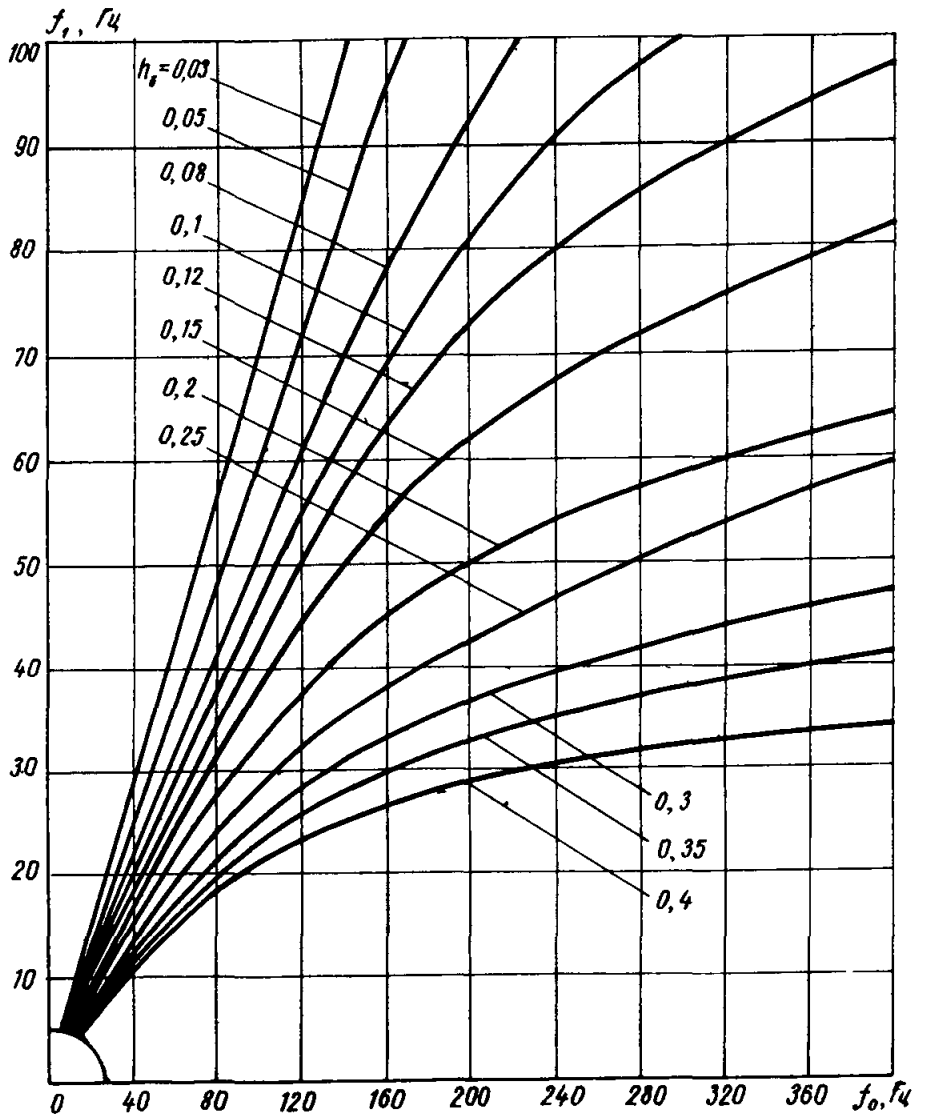


Рис.7. График для определения частоты основного тона колебаний обшивки со смесью f_1 в зависимости от частоты f_0 и высоты смеси $h_б$.

Толщина листа обшивки 0,01 м

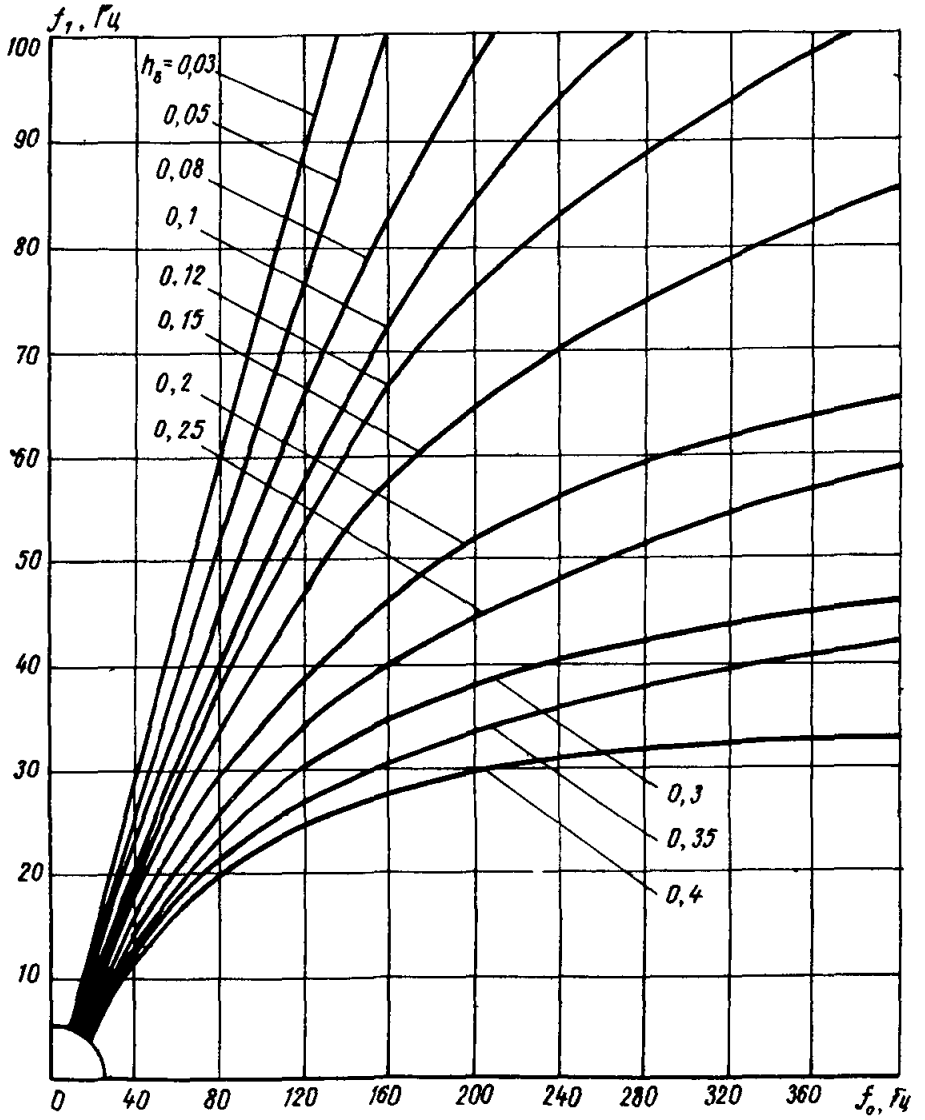


Рис.8. График для определения частоты основного тона колебаний обшивки со смесью f_1 в зависимости от частоты f_o и высоты смеси $h_б$.

Толщина обшивки 0,012 м

Приложение 3

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОЛНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ФОРМЫ

В общем случае форма, устанавливаемая на виброплощадку блочного типа, рассматривается как ортотропная плита со свободными концами, характеризуемая местным изменением жесткости в местах подмагнитных плит и жесткой связью с вибрирующими массами виброблоков.

Собственная частота колебаний формы для рассматриваемой моды в виде произведения балочных функций при моде колебаний i, j $X_i Y_j$ определяется по формуле

$$f_{ij} = \frac{1}{2\pi}\left\{\frac{\frac{\varepsilon_i^4 A l}{b^3} + \frac{\bar{\varepsilon}_i \bar{\varepsilon}_j B}{bl} + \frac{\varepsilon_j^4 C b}{l^3} + \sum_n A_n (X_n'' Y_n)^2 + \sum_n B_n (X_n' Y_n')^2 + \sum_n C_n (X_n Y_n'')^2 + \sum_n C_{пр} X_n Y_n}{M + \sum_n m_n (X_n Y_n)^2 + \sum_n J_n \left[(X_n' Y_n)^2 + (X_n Y_n')^2\right]}\right\}^{\frac{1}{2}},$$

где

$$A = \frac{J_{ox} E}{l}; \quad B = G\left(\frac{J_{кх}}{l} + \frac{J_{ку}}{b}\right)^n; \quad C = \frac{J_{оу} E}{b};$$

$$M = M_ф + K_з M_б;$$

$$X_i = ch\frac{\varepsilon_i x}{b} + \cos\frac{\varepsilon_i x}{b} - \left(sh\frac{\varepsilon_i x}{b} + \sin\frac{\varepsilon_i x}{b}\right);$$

$$Y_i = ch\frac{\varepsilon_j y}{l} + \cos\frac{\varepsilon_j y}{l} - \left(sh\frac{\varepsilon_j y}{l} + \sin\frac{\varepsilon_j y}{l}\right);$$

J_{ox} – момент инерции сечения поддона, перпендикулярного оси x, относительно оси y (рис.9); $J_{оу}$ – момент инерции сечения, перпендикулярного оси y, относительно оси x; $J_{кх}$ – момент инерции при свободном кручении сечения поддона относительно оси x; $J_{ку}$ – то же, относительно оси y; E – модуль упругости при растяжении; G – модуль сдвига; $C_{пр}$ – жесткость пружин виброплощадки; b и l – размеры формы; ε_i, ε_j – характеристические значения, отвечающие рассматриваемой форму колебаний, которые приведены в табл.6; x и y – значение текущих координат; $\bar{\varepsilon}_i$ и $\bar{\varepsilon}_j$ – коэффициенты, принимаемые по табл.6; A_n, B_n, C_n – параметры n –го местного изменения жесткости;

$$A_n = \frac{J_{ox_n} E a_n}{b_n};$$

$$B_n = G\left(\frac{J_{кх_n}}{b_n} + \frac{J_{ку_n}}{a_n}\right);$$

$$C_n = \frac{J_{оу_n} E b_n}{a_n};$$

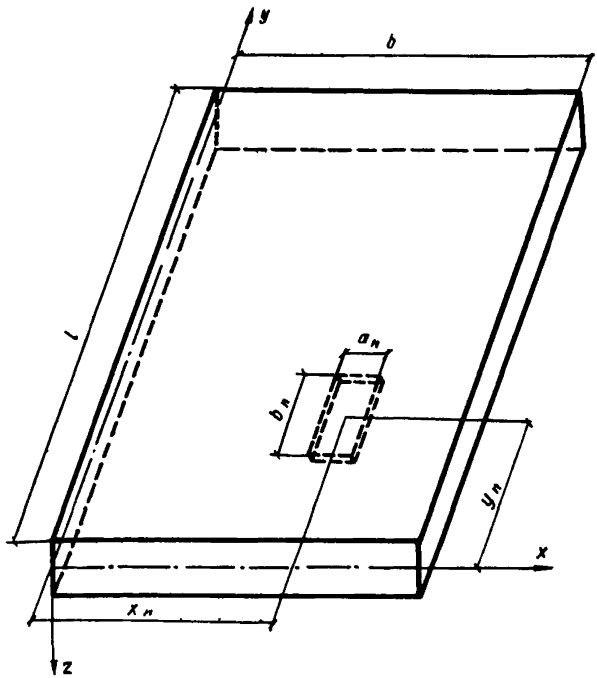


Рис.9. Схема обозначений поддона с подмагнитными плитами как плиты с сосредоточенными массами

X_n, Y_n, X'_n, Y'_n, X''_n, Y''_n – значения балочных функций и их производных в n -ом месте с координатами x_n, y_n; m_n – масса вибровозбудителя; $J_n = m_n a^{-2}$ – момент инерции вибровозбудителя; a – расстояние от центра масс вибровозбудителя до нейтральной оси поддона.

Таблица 6. Характеристические значения и коэффициенты

Форма колебания			
i,j	2	3	4
ε_i , ε_j	4,73	7,853	I0,996
$\bar{\varepsilon}_i$, $\bar{\varepsilon}_j$ -	-I2,3	-46,05	-98,9

Учет сосредоточенных масс m_n и моментов инерции $\mathcal{J}_n$ необходим только при расчета форм, устанавливаемых с закреплением на виброплощадки блочного типа (СМЖ-200Б и др.). При расчете незакрепленных форм значения m_n и $\mathcal{J}_n$ принимаются равными нулю.

Жесткость на кручение В учитывается в тех случаях, когда рама поддона выполнена из балок замкнутого профиля, при раскосной решетке и поддонах с двумя обшивками.

СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЯЧЕЙКИ ОБШИВКИ*

I. Ограничения по деформации ячейки обшивки установлены в I/500 меньшей стороны ячейки, но не более I мм [см. п.4.I4 "Руководства по расчету и проектированию стальных форм" (М., I970)].

2. Интенсивность нагрузки на единицу площади обшивки подсчитывается из выражения $q = g + p$,

где g - нагрузка от собственной массы обшивки, кг/м^2; p - нагрузка от массы бетонной смеси, кг/м^2.

3. Прогиб в середине ячейки обшивки определяется по формуле

$$y_1 = \beta \frac{q b_1^4}{k_1^2 E \delta^3},$$

где β - коэффициент, принимаемый для прямоугольной ячейки по табл.7, а для треугольной ячейки по табл.8;

k_1 - коэффициент, принимаемый по графику на рис.2; E - модуль упругости стали, Н/м^2; δ - толщина обшивки, м; b_1 - меньшая сторона прямоугольной ячейки и катет равнобедренного треугольника, м.

Таблица 7. Значения β для прямоугольных ячеек

a_1 / b_1	I	I,2	I,4	I,6	I,8	2,0	3
β	0,0I38	0,0I88	0,0226	0,025I	0,0267	0,0277	0,0284

Таблица 8. Значения β для треугольных ячеек

b_1 / h_1	0,6	0,8	I,0	I,2	I,4	I,6	I,8	2,0
β	0,0074	0,0049	0,0032	0,0024	0,00I7	0,00II	0,0008	0,0006

Примечание. h_1 - высота равнобедренного треугольника

* Приложение предназначено для оперативной проверки принятых на основании динамического расчета размеров ячейки.

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример I. Рассчитать динамические характеристики обшивки формы для изготовления на виброплощадке типа СМК-200Б плит перекрытия 3х6х0,I6 м.

Размеры формы 3,3х6,6 м, рама сварена из швеллеров № 20, которые образуют балки коробчатого сечения. Размеры ячеек 0,58х0,66 м, толщина обшивки поддона 0,0I м.

Масса:

обшивки ..... m_0 = 78 кг/м^2;

бетонной смеси ..... $m_б$ = 69I2 кг;

вибрируемых частей площадки ..... $m_н$ = 3I00 кг;

рамы поддона без обшивки (ориентировочная) $M_к$ = 2500 кг;

бортов ..... $M_б$ = 625 кг.

Расчет производится в следующей последовательности.

I. Для балок замкнутого профиля K_1 = 0,97 (см. п.3.4 настоящих Рекомендаций).

2. По графику на рис.I для a_1/b_1 = I,I5 и δ = 0,0I м определяем величину λ = I00 Гц.м^2.

3. Частота основного тона колебаний обшивки без бетонной смеси f_0 определяется по формуле (3).

Для определения K_2, входящего в формулу (3), находим R и $\mathcal{M}$ при следующих данных: жесткость опорных пружин Cn = I5.I0^6 Н / м; a_1 = 0,66 м; b_1 = 0,58 м; число продольных балок - 5, поперечных - I0. Суммарная длина балок рамы поддона L = 5х6,6+I0х3,3=66 м.

$$R = \frac{I0,92.I5.I0^6.0,58^3}{2,2.I.I0^{II}.0,0I^3.66} = I,I5;$$

$$\mathcal{M} = \frac{3I00+2500+625}{2.66.78.0,58} = I,04.$$

По табл.2 K_2 = 0,95.

Частота f_0 равна

$$f_0 = 0,97.0,95.\frac{I00}{0,66^2} = 2II,6 \text{ Гц}.$$

4. Частота основного тона колебаний обшивки со смесью f_1 находится из графика на рис.7 (см.прил.2) - f_1 = 62 Гц. Из табл.I следует, что для высоты смеси 0,I6 м допустимое значение f_1 = 35 Гц

(ближайшая граница интервала 0,2 м). Это означает, что конструкция формы не удовлетворяет требованиям п. 2.10 настоящих Рекомендаций и необходимо запроектировать форму с другими размерами ячеек.

Пример 2. В форме, рассчитанной в примере I, уменьшаем толщину обшивки до 0,006 м, масса обшивки $m_0 = 47{,}1$ кг/м^2, остальные массы см. пример I.

Расчет производится с использованием данных, полученных в примере I, в следующей последовательности.

I. Для балок замкнутого профиля $K_1 = 0{,}97$ (см п. 3.4 настоящих Рекомендаций).

2. По графику на рис.I для $a_1/b_1 = 1{,}14$; $\delta = 0{,}006$ м находим величину $\lambda = 58$ Гц.м^2.

3. Частота основного тона колебаний ячейки без смеси определяется по формуле (3).

Для определения коэффициента K_2, входящего в формулу (3), находим R и μ при толщине обшивки 0,006 м. Остальные данные те же, что и в примере I.

$$R = \frac{10{,}92{,}15{,}10^6{,}0{,}58^3}{2{.}2{,}1{.}10^{11}{.}0{,}006^3{.}66} = 5{,}33;$$

$$\mu = \frac{3100+2500+625}{2{,}66{.}47{,}1{.}0{,}58} = 1{,}72.$$

По табл.2 $K_2 = 0{,}98$. Тогда

$$f_0 = 0{,}97{.}0{,}98{.}\frac{58}{0{,}66^2} = 126{,}6 \text{ Гц}.$$

4. Частота основного тона колебаний обшивки со смесью f_1 находится из графика на рис.5 (см.прил.2) - $f_1 = 36$ Гц. Различие с рекомендуемым значением составляет 2,9 %.

К рабочей поверхности предъявляют повышенные требования в части отсутствия раковин и пор, поэтому для изготовления таких изделий применяют бетонные смеси с осадкой конуса не менее 5 см. Рекомендуемая частота f_1 при такой смеси находится в диапазоне 25–40 Гц (см.табл.I).

Проверка по формуле (I) показывает, что

$$\alpha_1 = \frac{6{,}28{.}36{.}0{,}16}{50} = 0{,}72 < 1{,}4.$$

Форма при уменьшенной толщине обшивки удовлетворяет требованиям п.2.17 настоящих Рекомендаций. По прил.4 прогиб в центре ячейки при

$$p = (7800.0{,}006+2400.0{,}16).9{,}81 = 4226 \text{ Н/м}^2$$

равен

$$y_1 = 0{,}0173.\frac{4226.0{,}58^4}{0{,}97^2.2{,}1.10^{11}.0{,}006^3} = 0{,}00019 \text{ м} < 1 \text{ мм}.$$

Расчет показывает, что форма соответствует требуемым условиям. За счет уменьшения толщины обшивки металлоемкость поддона снижена на 684 кг по сравнению с формой, рассмотренной в примере 1.

Пример 3. В форме, рассчитанной в примере 1, увеличиваем размеры ячейки до 0,86х0,89 м, а раму поддона выполняем из швеллеров № 22, которые образуют балки коробчатого сечения.

Масса рамы поддона ориентировочно равна $M_к = 2500$ кг, остальные массы - см. пример 1.

Расчет производится с использованием данных, полученных в примере 1, в следующей последовательности.

1. По п.3.4 настоящих Рекомендаций при каркасе из балок коробчатого сечения принимаем $\kappa_1 = 0{,}97$.

2. По графику на рис.1 для $a_1/b_1 = 1{,}034$; $\delta = 0{,}01$ м находим величину $\lambda = 87$ Гц.м^2.

3. Частоту основного тона колебаний ячейки без смеси определяем по формуле (3).

Для определения коэффициента κ_2, входящего в формулу (3), находим R и μ при толщине обшивки 0,01 м. Суммарная длина балок рамы поддона $L = 6{,}6х4+3{,}3х7 = 49{,}5$ м. Остальные данные те же, что и в примере 1.

$$R = \frac{10{,}92.15.10^6.0{,}86^3}{2.2{,}1.10^{11}.0{,}01^3.49{,}5} = 5{,}01;$$

$$\mu = \frac{3100+2500+625}{2.49{,}5.78.0{,}86} = 0{,}92.$$

По табл.2 $\kappa_2 = 0{,}92$.

Частота f_0 равна

$$f_0 = 0{,}97.0{,}92.\frac{87}{0{,}89^2} = 98 \text{ Гц}.$$

4. Частоту f_1 находим из графика на рис.7 - $f_1 = 34{,}5$ Гц. Это

соответствует требованиям табл.I. Учитывая результаты статического расчета прогиба ячейки в примере 2 ($y_1 \ll$ I мм), аналогичный расчет здесь не приводится.

Оба поддона, рассмотренные в примерах 2 и 3, удовлетворяют требованиям динамического расчета. Выбор варианта производится, исходя из конкретных условий изготовления и эксплуатации формы.

Пример 4. Рассчитать динамические характеристики обшивки формы для изготовления на асимметричной площадке типа ВРА-I5 изделия 2,24х5,0х0,I9 м. Рама поддона сварена из одиночных швеллеров № 20.

Размеры ячеек по осям швеллеров a_1 = I,0 м; b_1 = 0,56 м. Толщина обшивки поддона δ = 0,008 м.

Масса:

обшивки .... m_o = 62,4 кг/м^2;
бетонной смеси ..... $m_б$ = 5I00 кг;
верхней рамы ..... $m_в$ = 2500 кг;
нижней рамы ..... $m_н$ = 8000 кг;
формы ..... $M_ф$ = 3300 кг;
формы без обшивки .... $M_к$ = 2600 кг;
жесткость резиновых буферов ..... C_1 = 2,5.I0^8 Н/м.

Расчет производится в следующей последовательности.

I. Находим параметр A_o при $J_к$ = 5,9.I0^{-8} м^4 (см.таблица 4, прил.I).

$$A_o = \frac{5,9.I0^{-8}}{0,008\ (I+0,56)} = 473.I0^{-8}\ м^2.$$

По A_o на графике рис.2 находим K_1 = 0,92.

2. По графику на рис.I для a_1/b_1 = I,79; δ = 0,008 м находим величину λ = I55 Гц.м^2.

3. Частота основного тона колебаний ячейки без смеси определяется по формуле (3).

Для определения K_2, входящего в формулу (3), находим R и μ при следующих данных: жесткость $C_п$ = 0,55.2,5.I0^8 = I,375.I0^8 Н/м; число продольных балок – 5, поперечных – 6.

$$L = 5х5+6х2,24 = 38,4\ м.$$

$$m_н = \frac{(2500+2600)\ 8000}{2500+2600+8000} = 3II4\ кг;$$

$$R = \frac{I0,92.I,375.I0^8.0,56^3}{2.2,I.I0^{II}.0,008^3.38,4} = 32;$$

$$\mu = \frac{3114}{2.38,4.62,4.0,56} = 1,16.$$

По табл.2 $K_2 = 0,48$.

3. Частота основного тона колебаний обшивки без смеси

$$f_0 = 0,92.0,48 \cdot \frac{155}{0,91^2} = 84,4 \text{ Гц}.$$

4. Частота основного тона колебаний обшивки со смесью f_1 определяем по графику на рис.6 – $f_1 = 25$ Гц, что близко к значению, рекомендуемому табл.1 (23 Гц); разница составляет 8,7 %.

Проверка по формуле (1) показывает, что конструкция формы удовлетворяет требованию п.2.17 настоящих Рекомендаций.

$$\alpha_1 = \frac{6,28.25.0,19}{50} = 0,6 < 1,4.$$

По прил.4 прогиб в центре ячейки при

$$p = (62,4+2400.0,19).9,81 = 5086 \text{ Н/м}^2$$

равен

$$y_1 = \frac{0,0272.5086.0,56^4}{0,92^2.2,1.10^{11}.0,008^3} = 0,000149 \text{ м} \cong 0,15 \text{ мм} < 1 \text{ мм}.$$

Пример 5. Рассчитать динамические характеристики формы для изготовления на ударном столе изделия 1,5х6х0,15 м. Форма имеет размеры в плане 1,74х6,51 м. Рама поддона выполнена с раскосной решеткой из полосовой стали 10х120 мм, которая образует квадратные ячейки со стороной 0,51 м. Толщина обшивки поддона $\delta = 0,006$ м.

Расчет производится в следующей последовательности.

1. Находим параметр B_0 при $\mathcal{J}_K = 4.10^{-8}$ м^4 (см.табл.5 прил.1)

$$B_0 = \frac{4.10^{-8}}{2.0,51^{0,25}.0,006} = 400.10^{-8}.$$

По B_0 (см. график на рис.3) находим $K_1 = 0,64$.

2. Определяем по графику на рис.1 для $a_1/b_1 = 1$; $\delta = 0,006$ м величину $\lambda = 50$ Гц.м^2.

3. Определяем частоту основного тона колебаний ячейки без смеси при $K_2 = 1$ (см. п.3.6 настоящих Рекомендаций)

$$f_0 = 0,64 \cdot \frac{50,0}{0,51^2} = 123 \text{ Гц}.$$

4. Определяем частоту основного тона колебаний f_1 системы: ударный стол - обшивка - бетонная смесь по графику на рис.5 (с м . прил.2) - f_1 = 38 Гц.

5. Частота f_1 находится в рекомендуемом диапазоне для ударных столов. Производим проверку по формуле (I)

$$\alpha_1 = \frac{6,28.38.0,15}{50} = 0,716 < 1,4.$$

6. Определяем прогиб в центре прямоугольной ячейки при

$$p = (46,8 + 2400.0,15).9,81 = 3991 \text{ Н/м}^2.$$

$$y_1 = 0,0138 \cdot \frac{3991.0,51^4}{0,64^2.2,1.10^{11}.0,006^3} = 0,0002 \text{ м} < 1 \text{ мм}.$$

7. Производим расчет треугольных ячеек при $B_0 = 400.10^{-8}$, $K_1 = 0,64$.

Частота f_0 определяется по формуле (4).

При толщине листа 0,006 м, стороне ячейки 0,51 м и $K_2 = 1$

$$f_0 = 21,86.10^3.0,64.\frac{0,006}{0,51^2} = 323 \text{ Гц}.$$

8. Частота основного тона колебаний обшивки со смесью f_1 определяется по графику на рис.5 - f_1 = 70 Гц.

Частота f_1 для треугольных ячеек выше значений, рекомендуемых табл.1. Однако для основной массы квадратных ячеек частота подобрана правильно. Форма соответствует требованиям для поддонов с разными ячейками (см. п.2.21 настоящих Рекомендаций).

Пример 6 (расчет формы в целом). Расчет производится для формы, рассмотренной в примере 3. Форма имеет размеры в плане 3,3х6,6м. Рама поддона сварена из швеллеров № 24, которые образуют балки коробчатого сечения. Число балок в продольном направлении - 4, в поперечном - 7. Толщина обшивки поддона δ = 0,01 м, масса бетонной смеси $m_б$ = 6912 кг, масса формы $m_ф$ = 4825 кг, частота вибропло - щадки 50 Гц, коэффициент влияния бетонной смеси K_3 принимается равным 1,1.

Момент инерции поперечного сечения определяем в следующей последовательности.

1. Площадь поперечного сечения поддона с учетом редукционного коэффициента ψ = 0,97 (при l / b_1 = 6,6/1,1 = 6, где l - д л и н а поддона, b_1 - расстояние между продольными балками) равна

$F_1 = F_{шв} + F_{об} = 30,6.10^{-4}.8+0,97.0,01.3,3 = 0,02448+0,03201 = 0,05649$ м^2.

2. Статический момент инерции относительно оси X, проходящей через центр тяжести швеллеров,

$$S_x = 0,03201\ (0,12+0,005) = 0,004001125 \text{ м}^3.$$

3. Расстояние центра тяжести сечения от оси X

$$e_x = \frac{S_x}{F_1} = \frac{0,004001125}{0,05649} = 0,07083 \text{ м}.$$

4. Момент инерции сечения

$$J_x = 8.2900.10^{-8}+0,02448.0,07083^2 + \frac{3,3.0,01^3}{12} + 0,03201 \times$$

$$\times (0,125-0,07083)^2 = 44900.10^{-8} \text{ м}^4.$$

5. Аналогично определяем момент инерции продольного сечения. Редукционный коэффициент $\psi = 0,86$ (при $b/b_2 = \frac{3,3}{1,1} = 3$, где b – ширина поддона, b_2 – расстояние между поперечными балками).

$$F_2 = F_{шв} + F_{об} = 30,6.10^{-4}.14+0,86.0,01.6,6 = 0,04284+0,05676 =$$
$$= 0,0996 \text{ м}^2.$$

$$S_y = 0,05676\ (0,12+0,005) = 0,007095 \text{ м}^3,$$

$$e_y = \frac{S_y}{F_2} = \frac{0,007095}{0,0996} = 0,07123 \text{ м}.$$

$$J_y = 2900.10^{-8}.14+0,04284.0,07123^2 + \frac{6,6.0,01^3}{12} +$$

$$+ 0,05676\ (0,125-0,07123)^2 = 78801.10^{-8} \text{ м}^4.$$

6. Определяем частоты собственных колебаний формы в продольном и поперечном направлениях по формуле (6), предварительно вычислив m_i по формуле (7).

В продольном направлении

$$m_{10} = \frac{4825+1,1.6912+3400}{6,6} = 2398 \text{ кг/м};$$

$$f_{10} = \frac{4,73^2}{6,28.6,6^2}\sqrt{\frac{2,1.10^{11}.44900.10^{-8}}{2398}} = 16,0 \text{ Гц}.$$

$$m_{20} = \frac{4825+1,1.6912+3100}{6.6} = 2353 \text{ кг/м};$$

$$f_{20} = \frac{7,85^2}{6,28.6,6^2}\sqrt{\frac{2,1.10^{11}.44900.10^{-8}}{2353}} = 44,5 \text{ Гц};$$

$$m_{30} = \frac{4825+1,1.6912+3700}{6,6} = 2440 \text{ кг/м};$$

$$f_{30} = \frac{10,99^2}{6,28.6,6^2}\sqrt{\frac{2,1.10^{11}.44900.10^{-8}}{2440}} = 84,7 \text{ Гц}.$$

В поперечном направлении

$$m_{01} = \frac{4825+1,1.6912+2880}{3,3} = 4615 \text{ кг/м};$$

$$f_{01} = \frac{4,73^2}{6,28.3,3^2}\sqrt{\frac{2,1.10^{11}.7880.10^{-8}}{4615}} = 61,2 \text{ Гц}.$$

Как видно из расчета, все значения первых собственных частот колебаний формы в целом удовлетворяют требованиям п. 2.13 настоящих Рекомендаций.

Для сравнения полученных результатов с данными расчета по формуле (2) определяем частоты собственных колебаний формы в целом без смеси, предварительно вычислив приведенные массы по формуле (7) и соотношения масс $m_б / m_i$.

В продольном направлении

$$m_{10} = \frac{4825+3400}{6,6} = 1246 \text{ кг/м},$$

$$\frac{m_б}{m_{10}} = 0,965$$

$$f_{10} = \frac{4,73^2}{6,28.6,6^2}\sqrt{\frac{2,1.10^{11}.44900.10^{-8}}{1246}} = 21,9 \text{ Гц}.$$

$$m_{20} = \frac{4825+3100}{6,6} = 1201 \text{ кг/м},$$

$$\frac{m_б}{m_{20}} = 1$$

$$f_{20} = \frac{7,85^2}{6,28.6,6^2}\sqrt{\frac{2,1.10^{11}.44900.10^{-8}}{1201}} = 63 \text{ Гц}.$$

$$m_{30} = \frac{4825+2700}{6,6} = 1140 \text{ кг/м},$$

$$\frac{m_б}{m_{30}} = 1,059$$

$$f_{30} = \frac{10,99^2}{6,28.6,6^2}\sqrt{\frac{2,1.10^{11}.44900.10^{-8}}{1140}} = 123 \text{ Гц}.$$

В поперечном направлении

$$m_{01} = \frac{4825+2800}{3,3} = 2310 \text{ кг/м},$$

$$\frac{m_б}{m_{01}} = \frac{2304}{2310} = 0,997$$

$$f_{01} = \frac{4,73^2}{6,28.3,3^2}\sqrt{\frac{2,1.10^{11}.7880.10^{-8}}{2310}} = 85,5 \text{ Гц}.$$

Частоты формы в целом с бетонной смесью определяем по формуле (2). Для каждого значения частоты формы без смеси и соответствующего отношения масс методом последовательных приближений с учетом формулы (I), которая подставляется в формулу (2), находим значения α_1, а по нему $f_1^б$. Вычисленные таким образом значения равны:

$f_{10}^б = 15,8$ Гц; $f_{20}^б = 42$ Гц; $f_{30}^б = 64,5$ Гц; $f_{01}^б = 60$ Гц.

Полученные выше значения с использованием эмпирического коэффициента K_3 обладают достаточной точностью.

Приложение 6

МЕТОДЫ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ФОРМЫ

Динамические испытания формы выполняются с целью установления соответствия расчетных значений собственных частот колебаний с фактическими, поскольку естественное несоответствие сложной по распределению масс и жесткостей конструкции формы и упрощенной расчетной схемы может привести к погрешностям.

При динамических испытаниях условия опирания и нагружения формы должны соответствовать реальным условиям ее работы на уплотняющей установке. Испытания форм, предназначенных для эксплуатации на виброплощадке блочного типа, должны, как правило, проводиться на специальных стендах с регулируемой частотой возбуждения от 25 до 100Гц.

Допускается проводить испытания обшивки форм, запроектированных для виброплощадки, на установках типа ударный стол и асимметричных виброударных площадках разных типов с обязательным закреплением форм на верхней раме. При этом динамические характеристики ячейки обшивки должны быть пересчитаны применительно к опиранию формы на ударный стол (см.табл.2).

Различие в частоте основного тона колебаний обшивки с бетонной смесью по расчету и результатам испытаний не должно превышать 10 %.

Определение частоты собственных колебаний должно проводиться измерительной установкой, состоящей из датчика колебаний, усилителя и частотного анализатора или записывающего прибора типа шлейфового осциллографа.

При использовании виброакустической аппаратуры с узкополосным анализатором частота основного тона определяется по максимуму ускорения или скорости вибрации. При записи сигнала шлейфовым осциллографом частота определяется по затуханию кривой.

Вибродатчик на форме закрепляется в середине листа ячейки с помощью винтового соединения. При записи колебаний на шлейфовый осциллограф желательно применять датчик скорости.

Схема измерительного тракта для испытания формы при непрерывной развертке частоты гармонической вибрации показана на рис.10. При отсутствии приборов, приведенных на рисунке, могут использоваться и другие аналогичные приборы отечественных и зарубежных марок.

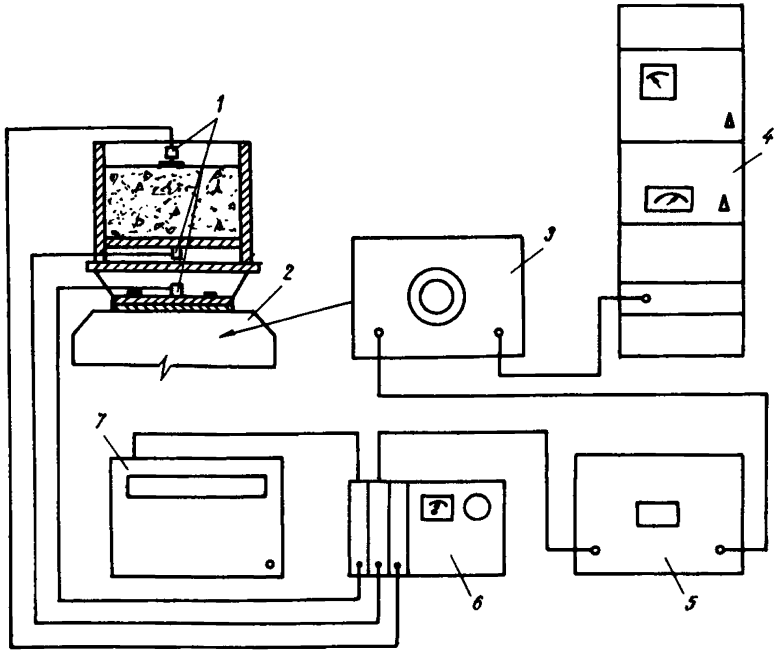


Рис.I0. Схема измерительного тракта для исследования характеристик системы вибромашина-форма-бетонная смесь

I - датчик ускорения КД-35; 2 - вибратор стенда; 3 - генератор биений; 4 - управляющая стойка стенда; 5 - самописец; 6 - виброизмерительный прибор СМ-23I; 7 - частотомер 43-I2

На электродинамическом стенде типа ВЭДС-400 допустимая нагрузка на вибратор не должна превышать 90 кг. Поэтому при испытании формы, масса которой больше допустимой, она должна быть установлена на раме в соответствии с условиями опирания на виброплощадке, а вибратор стенда должен быть соединен с формой в центральной точке.

Приложение 7

ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ФОРМЫ

Теоретические и экспериментальные исследования, на основе которых разработаны настоящие Рекомендации, показали, что динамические давления в смеси, определяющие в конечном счете эффект уплотнения и качественные характеристики бетона, зависят не только от состава смеси, ее упругих и неупругих характеристик, типа и режима работы уплотняющей установки, но и от параметров жесткости формы, ее элементов и в первую очередь обшивки поддона. Размеры ячеек и толщина листа обшивки, а также число и жесткость балок каркаса должны выбираться на основе динамического расчета в зависимости от высоты слоя бетона и характеристик смеси для каждого типа установки. Только в этом случае можно обеспечить оптимальные значения давлений в смеси, определяющих как плотность и прочность бетона, так и качество лицевых поверхностей изделий.

Динамический расчет необходимо проводить прежде всего при уплотнении жестких смесей в случае изготовления на ударных установках изделий с повышенной плотностью, непроницаемостью и долговечностью бетона. При применении форм, удовлетворяющих требованиям настоящих Рекомендаций, будет повышена интенсивность уплотнения без форсирования работы установки, что обычно связано с увеличением потребляемой электроэнергии и излучаемого шума. При формовании изделий из подвижных смесей с химическими добавками на виброплощадках т и п а СМЖ-200Б динамический расчет позволяет выбрать такие размеры ячеек и толщину листа обшивки поддона, при которых будет улучшено качество нижней поверхности изделия, что повысит заводскую ее готовность без дополнительной доводки. Проведение динамических расчетов для форм, устанавливаемых на серийные площадки с гармоническими колебаниями, позволит избежать резонансных явлений, приводящих к снижению долговечности установки и формы, увеличению шума и ухудшению качества изделий. Устранение резонансных явлений и уменьшение неравномерности амплитуды колебаний по длине формы имеет существенное значение при изготовлении длинномерных изделий. Примером такой формы служит десятигнездовая форма для изготовления железобетонных шпал.

Проектировщику при выборе конструкции формы следует помнить, что она должна соответствовать тому типу установки, для которого предназначена не только по геометрическим размерам, но и параметрам

жесткости обшивки и рамы поддона.

Например, форма, приемлемая для работы на серийных площадках типа СМЖ-200Б, не будет оптимальной конструкцией для ударных и ударно-вибрационных установок. Ее жесткость, выбранная исходя из наличия сосредоточенных масс виброблоков и достаточно высокой частоты вибрирования, будет чрезмерной при установке на низкочастотные ударные машины. Кроме увеличения металлоемкости, это приведет к более медленному растеканию смеси по форме и удлинению цикла уплотнения. Увеличение деформативности обшивки благодаря увеличению размеров ячеек или уменьшению толщины листа позволит не только снизить на 10-15 % металлоемкость формы, но и повысить интенсивность формования и снизить излучаемый шум. Наоборот, форма, предназначенная для ударных установок, на виброплощадке также не будет эффективной из-за виброизоляции колебаний основной частоты при прохождении их через систему обшивка-смесь с низкой частотой основного тона. Учет всех этих факторов при разработке новых форм позволит улучшить технико-экономические показатели формовочного поста и производства в целом, а также повысить качество сборного железобетона.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
I. Общая часть	4
2. Основные расчетные положения	4
3. Динамический расчет обшивки поддона	I0
4. Динамический расчет формы в целом	I6
5. Общие принципы конструирования	I8
6. Конструктивные и технологические решения, снижающие шум формы	I9
Приложения: I. Моменты инерции при свободном кручении прокатных и гнутых профилей	22
2. Графики для определения частоты основного тона колебаний обшивки с бетонной смесью...	23
3. Материалы для полного динамического расчета формы	27
4. Статический расчет ячейки обшивки	30
5. Примеры расчета	3I
6. Методы динамических испытаний формы	40
7. Предпосылки для проведения динамического расчета формы	42

Рекомендации по динамическому расчету стальных форм

Отдел научно-технической информации НИИЖБ
I09389, Москва, 2-я Институтская ул., д.6

Редактор Т.А.Кириллова

Л- 94929 Подписано в печать II.03.84 г. Заказ № 359
Формат 60х84/I6 Усл.кр.-отт. 2,7. Тираж I000 экз. Цена 40 коп.

Типография ПЭМ ВНИИИС Госстроя СССР
I2I47I, Москва, Можайское шоссе, д.25

gost.e-ecolog.ru