

принято, что все стержни систем имеют физические характеристики, описанные диаграммой I (рис. 2). Изменение внутренних усилий в стержнях систем в этом случае показано соответственно на рис. 1 пунктирной линией.

В другом случае физические характеристики стержней приняты различными. Линейно-упругими считаются стержни 1, 2, 3 для системы на рис. 1, а стержень 5 для системы на рис. 1, б, т.е. физические свойства этих стержней описаны диаграммой I (рис. 2). Остальные стержни в этих системах приняты нелинейно-упругими, выполненными из гибких нитей, а их физические свойства на рис. 2 представлены диаграммой II. Изменение внутренних усилий в системах в этом случае показано соответственно на рис. 1 сплошной линией.

Результаты численного исследования показали:

а) предлагаемый алгоритм расчета позволяет в простой форме рассчитывать произвольные шарнирно-стержневые системы с учетом геометрической и физической нелинейности;

б) при расчете предварительно напряженных шарнирно-стержневых систем необходимо учитывать физическую нелинейность элементов, выполненных из гибких нитей, поскольку при сжатии они выключаются из работы значительно раньше, чем в случае их рассмотрения как линейно-упругих;

в) учет физической нелинейности при расчете на стадии конструирования позволяет снизить материалоемкость конструкции, поскольку, как видно из рис. 1, усилия в этом случае во всех стержнях систем имеют минимальные значения.

#### Л и т е р а т у р а

1. Сидорович Е.М. Расчет шарнирно-стержневых систем по деформированной схеме. - Изв. вузов. Строительство и архитектура, 1975, №2.

УДК 621.974

В.М.Селюков, И.С.Сыроквашко

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕБАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ МАШИН УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

Чтобы предотвратить разрушения вследствие неравномерной осадки фундаментов несущих конструкций зданий, вызванной колебаниями фундаментов машин, частоты и амплитуды колебаний последних нормируются.

Для смягчения удара и гашения колебаний от молота, передающихся через шабот (блок) на фундамент, в современных конструкциях, как правило, между шаботом и фундаментом размещают специальные упругие виброгасители. Грунт под фундаментом также обладает упругими свойствами.

Таким образом, систему шабот - фундамент - грунт с точки зрения динамики можно рассматривать как систему с двумя степенями свободы (рис. 1, а).

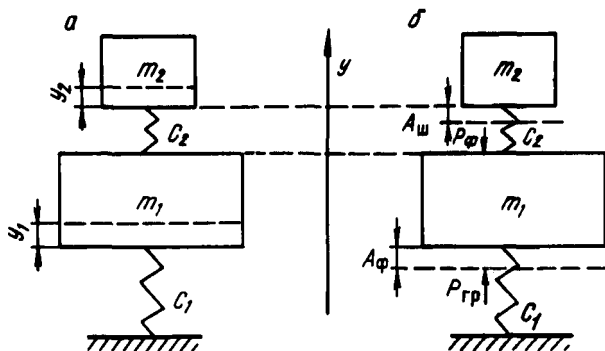


Рис. 1. Расчетная схема системы шабот-фундамент-грунт.

Здесь  $m_1$  и  $m_2$  - массы фундамента и шабота соответственно.

После удара уравнения колебаний этих масс имеют вид

$$m_1 \ddot{y}_1 + C_1 y_1 - C_2 (y_2 - y_1) = 0; \quad (1)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 + C_2 (y_2 - y_1) = 0, \quad (2)$$

где  $C_1$  - коэффициент, характеризующий жесткость основания фундамента;  $C_2$  - коэффициент, характеризующий жесткость виброизоляции.

Если обозначить главные частоты колебаний системы через  $\omega_1$  и  $\omega_2$ , частоту собственных колебаний шабота через  $\omega_{ш} = \sqrt{C_2 / m_2}$ , предельную частоту собственных колебаний фундамента с шаботом (для  $C_2 = \infty$ ) как одной массы относительно грунта через  $\omega_{ф} = \sqrt{C_1 / (m_1 + m_2)}$ , то главные частоты определяются по методике [1] как корни биквадратного уравнения (3) относительно  $\omega$ :

$$\omega^4 - (\omega_{ф}^2 + \omega_{ш}^2)(1 + \mu) \omega^2 + (1 + \mu) \omega_{ф}^2 \omega_{ш}^2 = 0, \quad (3)$$

где

$$\mu = \frac{m_2}{m_1}$$

Частные решения системы уравнений (1) и (2) будут

$$y_1 = \frac{(\omega_{\text{ш}}^2 - \omega_2^2)(\omega_{\text{ш}}^2 - \omega_1^2)}{\omega_{\text{ш}}^2(\omega_1^2 - \omega_2^2)} v_{\text{ш}} \left[ \frac{\sin \omega_1 t}{\omega_1} - \frac{\sin \omega_2 t}{\omega_2} \right]; \quad (4)$$

$$y_2 = \frac{v_{\text{ш}}}{\omega_1^2 - \omega_2^2} \left[ \frac{\omega_{\text{ш}}^2 - \omega_2^2}{\omega_1} \sin \omega_1 t - \frac{\omega_{\text{ш}}^2 - \omega_1^2}{\omega_2} \sin \omega_2 t \right], \quad (5)$$

где  $v_{\text{ш}}$  — начальная скорость движения шабота, которую можно найти известным путем через скорость молота в момент удара.

Величиной  $\sin \omega_1 t$  в формулах (4) и (5) можно пренебречь.

Тогда выражения для амплитудных смещений фундамента и шабота получают вид

$$A_{\text{ф}} = - \frac{(\omega_{\text{ш}}^2 - \omega_2^2)(\omega_{\text{ш}}^2 - \omega_1^2)}{\omega_{\text{ш}}^2(\omega_1^2 - \omega_2^2)\omega_2} v_{\text{ш}}; \quad (6)$$

$$A_{\text{ш}} = - \frac{\omega_{\text{ш}}^2 - \omega_1^2}{(\omega_1^2 - \omega_2^2)\omega_2} v_{\text{ш}}. \quad (7)$$

Очевидно, что выражения (4) и (5) описывают незатухающие колебания, в то время как одним из важнейших требований к виброизоляции шабота (жесткость  $C_2$ ) является применение элементов виброгасителей с достаточно выраженными демпфирующими свойствами. Что касается колебаний фундаментов, то благодаря высоким демпфирующим свойствам грунтов (жесткость  $C_1$ ) и влиянию боковой засыпки они затухают очень скоро. Так, на Кобринском инструментальном заводе Брестской области колебания фундаментов под молот с массой падающей части 1 т затухали за 0,6 с (рис. 2).

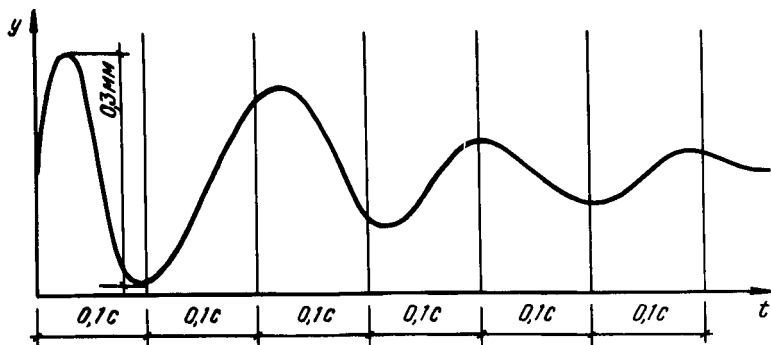


Рис. 2. График колебаний фундамента под молот.

Все это позволяет рассматривать формулы (6) и (7) для определения амплитуд колебаний как приближенные, хотя имеются утверждения [1] о том, что расхождения высчитанных по ним величин перемещений с опытными не превышают 30%.

Поскольку жесткость виброизоляции  $C_2$  значительно меньше (обычно в 15 и более раз) жесткости грунта  $C_1$ , можно применить следующий прием при решении этой задачи (рис. 1, б).

Рассмотрим колебания шабота относительно фундамента как систему с одной степенью свободы. Тогда амплитудное значение перемещений шабота будет

$$A_{\text{ш}} = \frac{V_{\text{ш}}}{\omega_{\text{ш}}} \quad (8)$$

Выражение для максимального значения силы, передающей на фундамент при колебаниях шабота, получает вид

$$P_{\text{ф}} = C_2 A_{\text{ш}} = C_2 \frac{V_{\text{ш}}}{\omega_{\text{ш}}} \quad (9)$$

Максимальное значение силы, воспринимаемой подошвой фундамента, выразим через жесткость грунта и амплитуду колебаний фундамента

$$P_{\text{гр}} = C_1 A_{\text{ф}} = C_z F A_{\text{ф}} \quad (10)$$

где  $C_z$  - коэффициент упругого равномерного сжатия основания,  $F$  - площадь подошвы фундамента.

При колебаниях системы сила, действующая на фундамент сверху, уравнивается силой противоположного направления, Соппротивление подошвы фундамента составляет лишь часть всего сопротивления. Силы  $P_{\phi}$  и  $P_{гр}$  можно уравновесить с помощью введения коэффициента

$$k = \frac{P_{\phi}}{P_{гр}}, \quad (11)$$

где  $k$  - коэффициент, учитывающий сопротивление грунта боковых стенок фундамента (засыпка), инертность фундамента (масса) и демпфирующие свойства грунта.

Уравнение (11) с учетом выражений (9) и (10) приобретает вид

$$C_2 \frac{v_{ш}}{\omega_{ш}} = C_z F A_{\phi} k. \quad (12)$$

Величину начальной скорости движения шабота после удара можно выразить согласно [2] формулой

$$v_{ш} = \frac{(1+\epsilon)Q_0 v_0}{Q_0 + Q_{ш}}, \quad (13)$$

где  $v_0$  - скорость падающих частей молота в начале удара;  $Q_0$  - масса падающих частей;  $\epsilon$  - коэффициент восстановления при ударе, зависящий от материала штампуемых деталей.

Положив в уравнении (12)  $C_2 = \omega_{ш}^2 \frac{Q_{ш}}{g}$  и учитывая выражение (13), получим окончательную формулу для определения амплитуды колебаний фундамента

$$A_{\phi} = \frac{\omega_{ш} Q_{ш} (1+\epsilon) Q_0 v_0}{g(Q_0 + Q_{ш}) C_z F k}. \quad (14)$$

Руководство [3] рекомендует для проверки амплитуды виброизолированного фундамента использовать формулу (15)

$$A_{\phi} = \frac{\omega_{ш} (1+\epsilon) Q_0 v_0}{g C_z F \chi} \beta, \quad (15)$$

где  $\beta$  - безразмерный коэффициент, зависящий от демпфи-

Таблица 1

Методика определения амплитуд	По формулам			Натурные измерения
	(6)	(14)	(15)	
Величины $A_{\phi}$ , мм	0,51	0,23	0,32	0,15

рующих свойств виброизоляции;  $\chi$  – коэффициент, учитывающий увеличение жесткости грунта под фундаментом и принимаемый равным 1,7 либо 1,1 для молотов с массой падающих частей до 10 т и более 10 т соответственно.

Частоту, а следовательно, и амплитуду колебаний шабота руководство [3] рекомендует определять, рассматривая шабот (блок) на виброизоляции как систему с одной степенью свободы.

Легко видеть, что структура формул (14) и (15) одинакова, поскольку масса падающих частей молота в 30 раз меньше массы шабота.

Нами на Кобринском инструментальном заводе Брестской области были сделаны натурные измерения амплитуд колебаний шаботов и фундаментов; они определялись также с помощью трех указанных выше методик. Величины амплитуд колебаний шабота на виброизоляции, вычисленные по формулам (7) и (8), отличаются мало, что подтверждает целесообразность применения формулы колебаний шабота как системы с одной степенью свободы. Натурные измерения колебаний шабота отличаются в меньшую сторону.

Значения амплитуд колебаний фундаментов, определенные по формулам (6), (14), (15) и в опытах, сильно расходятся между собой и с данными опытов (табл. 1).

Наиболее простой методикой определения амплитуд колебаний фундаментов молотов ударного действия следует признать методику, выраженную формулой (14). При этом значение коэффициента  $k$  может быть принято не менее 2...2,5. Тогда вычисленные амплитуды колебаний более близки к опытным величинам.

#### Л и т е р а т у р а

1. Баркан Д.Д. Динамика оснований и фундаментов, – М., 1948.
2. Щеглов В.Ф. Совершенствование кузнечного оборудования ударного действия. – М., 1968.
3. Руководство по проектированию виброизоляции машин и оборудования. – М., 1972.