

УДК 621.752

Повышение точности лидарных измерений при использовании наборных стержней в системе амортизации

© 2020 г. **В. С. Айрапетян***, доктор техн. наук; **Г. А. Куриленко****, доктор техн. наук; **А. А. Рыков****, канд. техн. наук

*Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Новосибирск

**Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск

E-mail: v.s.ayrapetyan@snga.ru, v.hayr10004@mail.ru

Поступила в редакцию 02.12.2019

DOI:10.17586/1023-5086-2020-87-06-73-75

В работе предлагается изготавливать рессору квазинулевой жёсткости в виде наборных стержней, представляющих собой пучки параллельно расположенных пружинных проволок, соединённых по концам. На платформе с такой рессорой устанавливается защищаемый от вибрации оптический прибор. Такая конструкция позволяет улучшить виброзащиту прибора до 15% за счёт снижения собственной частоты колебательной системы и увеличения диссипации энергии в рессоре до 20%.

Ключевые слова: защита от вибрации, наборный стержень, собственная частота, диссипативный параметр, коэффициент нарастания вынужденных колебаний.

Коды OCIS: 120.0120, 140.0140, 230.0230.

В статье [1] рассмотрен способ виброзащиты оптических приборов, расположенных на балке (рессоре) квазинулевой жёсткости, получаемой за счёт её предварительного продольно-сжатия.

В данной работе предлагается изготавливать рессору не цельной, а в виде наборного стержня, представляющего собой пучок параллельно расположенных отрезков пружинной проволоки, соединённых по концам. Такой наборный стержень, как будет показано ниже, расширяет возможности виброзащиты.

На рис. 1 приведена схема наборного стержня, на котором установлен оптический прибор для выполнения лидарных измерений.

При соблюдении последовательности проектирования наборного стержня необходимо рассчитать внутренние силы.

Для расчёта напряжений в опасном сечении посередине стержня 2 должны выполняться следующие условия:

$$N = T, \quad M_z = \frac{6EI_H v}{l^2}, \quad (1)$$

где E — модуль упругости материала проволоки, I_H — осевой момент инерции площади нетто сечения (только общей площади сечений проволок) относительно центральной оси.

Формула (1) взята из [2], так как на рис. 1б правый конец стержня опускается на v без поворота сечения, а это соответствует стандартной схеме.

Рассмотрим сечение наборного стержня в виде квадрата со стороной a , в котором содержится n плотно упакованных проволок диаметром d (рис. 2).

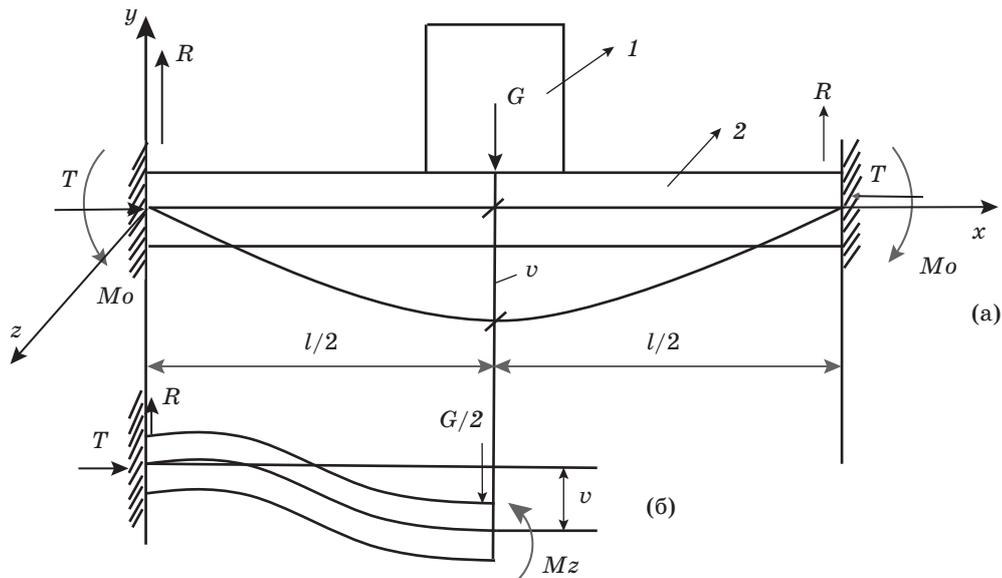


Рис. 1. Схема наборного стержня с лидарным комплексом. (а) T — сжимающие стержень 2 продольные силы; R и M_0 — опорные реакции; v — прогиб в середине стержня; 1 — лидарный комплекс весом G , 2 — наборный стержень. (б) мысленно отсечённая посередине левая часть стержня 2, где N и M_z — внутренние силы в сечении (соответственно нормальная сила и изгибающий момент).

Коэффициент заполнения сечения

$$k = \frac{A_n}{A_b}, \quad (2)$$

где $A_n = n \frac{\pi d^2}{4}$ — площадь нетто поперечного сечения, а $A_b = a^2$ — площадь брутто, ограниченная контуром набора.

Рассчитаем максимальные нормальные напряжения в сечении

$$|\sigma_{\max}| = \frac{M_z}{W_z} + \frac{T}{A_n}. \quad (3)$$

Момент сопротивления площади нетто сечения относительно оси z

$$W_z = \frac{I_n}{y_{\max}},$$

где $I_n = kI_b$, а момент инерции площади брутто сечения относительно любой центральной оси $I_b = a^2/12$.

Моменты инерции I_b относительно всех центральных осей будут одинаковы, так как сечение имеет более трёх осей симметрии. Расстояние от оси z до максимально удалённых от неё точек сечения $y_{\max} = a/2$.

Подстановка этих выражений в формулу (3) даёт

$$|\sigma| = \frac{3Eva}{l^2} + \frac{4T}{\pi d^2}. \quad (4)$$

На стадии проектирования приведённые формулы позволяют вычислить расчётные напряжения в наборном стержне и оценить его работоспособность. С одной стороны, эти напряжения не должны превышать критических значений по устойчивости, с другой — они должны приближаться к этим критическим значениям, чтобы система имела минимальную жёсткость и, соответственно, минимально возможную собственную частоту колебаний.

На рис. 3 приведена возможная схема установки прибора на наборные стержни. Оценим получаемый при этом эффект виброзащиты.

Наборные стержни 2 за счёт сжимающих сил T имеют квазиуравновешенную жёсткость в продольных направлениях и за счёт их прогибов — в вертикальном направлении. Это позволяет приблизить к нулю собственные частоты ω_i в направлениях трёх координатных осей.

$$\omega_i = \sqrt{\frac{c_i}{m}}. \quad (5)$$

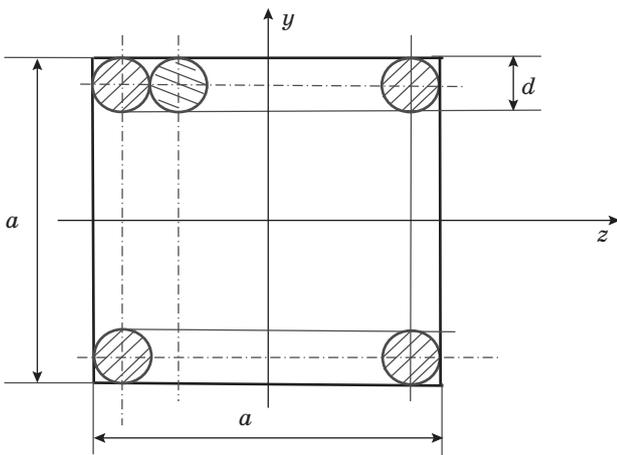


Рис. 2. Сечение наборного стержня. d — диаметр стержней, a — сторона квадрата.

В формуле (5) m — масса прибора, c_i — жёсткость упругой части системы в соответствующем направлении.

Жёсткость наборного стержня c_i зависит от коэффициента заполнения сечения k , сжимающей силы T , и, согласно выполненным расчётам, собственная частота колебаний прибора снижается на 15% по сравнению со сплошными стержнями, тем самым улучшая его виброзащиту.

Кроме того, использование наборного стержня взамен цельного позволяет увеличить диссипативные силы при колебаниях за счёт трения проволочек друг о друга.

Из формулы (6) для расчёта коэффициента нарастания вынужденных колебаний [3] следует, что улучшение виброзащиты путём сни-

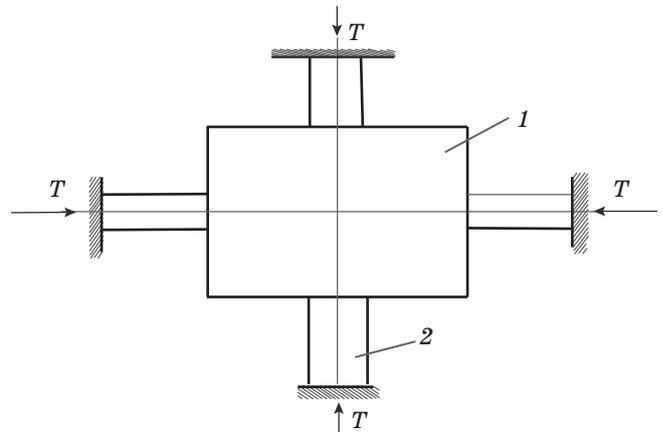


Рис. 3. Вид установки в плане. 1 — лидарный комплекс, 2 — наборные стержни.

жения коэффициента β возможно не только за счёт снижения собственной частоты колебательной системы ω , но и за счёт увеличения диссипативного параметра p .

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\Omega^2}{\omega^2}\right)^2 + \frac{4p^2\Omega^2}{\omega^4}}}, \quad (6)$$

где Ω — частота возмущающей нагрузки, p — параметр затухания.

Таким образом, показано, что использование наборных стержней в конструкциях виброзащитных платформ по сравнению с традиционными методами повышает точность измерений лидарных комплексов на 35%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айрапетян В.С., Куриленко Г.А., Рыков А.А. Совершенствование оптико-механической системы лидарных комплексов // Оптический журнал. 2019. Т. 86. № 9. С. 74–77.
2. Справочник машиностроителя. Т. 3. Под ред. С.В. Серенсена. М.: Машиностроение, 1962. 651 с.
3. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: Наука, 1979. 556 с.