

Викулов Станислав Викторович,
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный
университет водного транспорта»
Vikulov Stanislav Viktorovich,
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
"Siberian State University of Water Transport"

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ВИБРОЗАЩИТНОЙ ОПОРЫ

Аннотация. Приводятся результаты исследования виброизолирующих опор для судовых энергетических установок, обладающих достаточной жесткостью и весьма эффективных, особенно в зоне высоких частот (выше 90 Гц). Кроме того, к значительному преимуществу таких устройств можно отнести их цельнометаллическую конструкцию, а также отсутствие необходимости подвода, какой либо энергии для их работы.

Abstract. The article presents the results of a study of vibration-isolating supports for marine power plants, which are sufficiently rigid and highly effective, especially in the high-frequency range (above 90 Hz). Additionally, these devices offer the advantage of being all-metal and requiring no power supply for operation.

Ключевые слова: Виброзащита на судах, распределенная опора, динамическая модель.

Keywords: Ship vibration protection, distributed support, dynamic model.

Рассмотрим одну из известных конструкций распределенной виброизолирующей опоры [1], выполненной в виде массива витых цилиндрических пружин между двумя основаниями (рисунок 1).

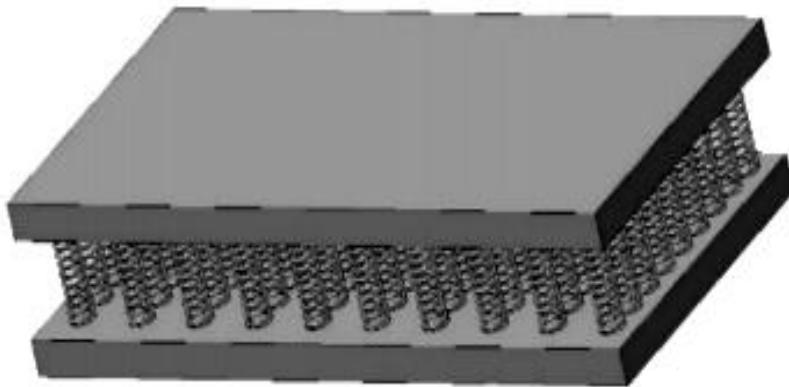


Рисунок 1. Распределенная виброзащитная опора

В качестве динамической модели для такого устройства в случае предположения абсолютной жесткости оснований можно использовать упруго-массовую схему, представленную на рисунке 2.



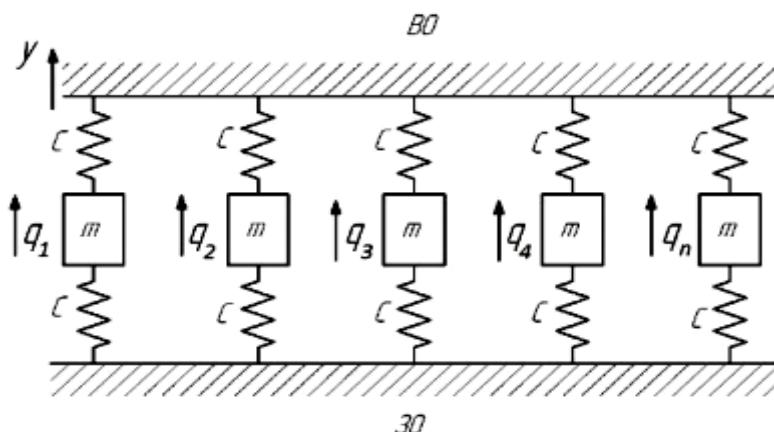


Рисунок 2. Динамическая модель распределенной опоры

Тогда при одноосных колебаниях вибрирующего объекта BO все упругие элементы жесткостью C синхронно передадут движение на защищаемый объект ZO и массы m , всех упругих элементов приобретут синхронное и равное ускорение при любых параметрах вибрации. Следовательно, импульсы, действующие на защищаемый объект ZO со стороны отдельных упругих элементов, будут суммироваться.

Таким образом, действие распределенных упругих элементов может быть заменено действием одного упругого элемента соответствующей жесткостью и массой. Отсюда сравнительного повышения эффективности распределенной опоры при использовании любых расчетных методик не следует.

Фактически, не зависимо от конструкции, способов крепления и материалов оснований их жесткость не может быть бесконечно велика, потому более точная динамическая модель (рисунок 3) должна учитывать упругость оснований. В этом случае картина возбуждения колебаний существенно изменится [2, 3]. К примеру, если закрепить хотя бы одно из оснований распределенной опоры к объекту вибрации в двух крайних точках, получим упруго-опертуру однопролетную балку некоторой жесткости.

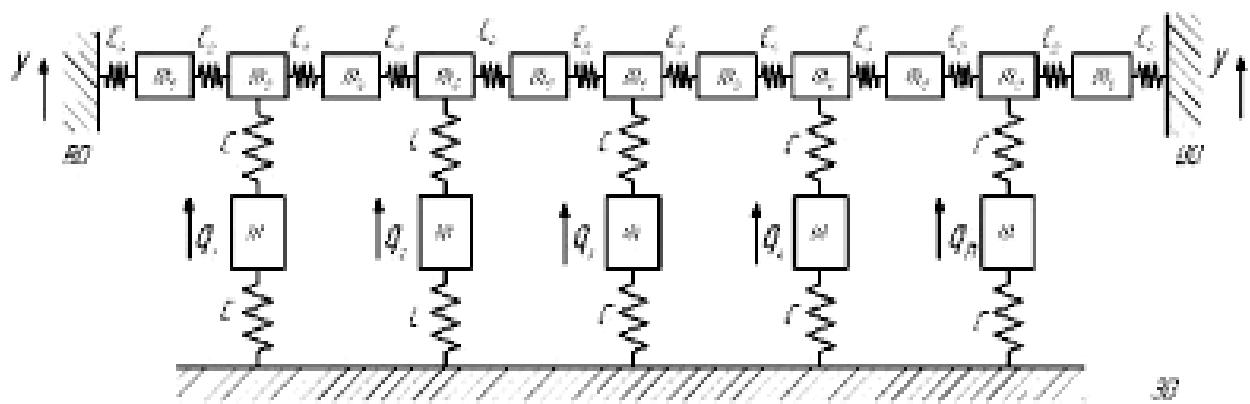


Рисунок 3. Модель упругой распределенной подвески

Количество точек крепления может быть изменено и зависит от фактического расположения и крепления опор. Упругим может быть как верхнее или нижнее основание, так и оба одновременно.



Уравнения динамики, описывающие данную модель, в случае 11-ти верхних и 5-ти нижних масс, будут выглядеть следующим образом (рисунок 4):

$$\begin{aligned}
 q_{01}'' &= \frac{C_0(y - q_{01}) + C_0(q_{02} - q_{01})}{m_0}; \\
 q_{02}'' &= \frac{C_0(q_{01} - q_{02}) + C_0(q_{03} - q_{02}) + C(q_1 - q_{02})}{m_0}; \\
 q_{03}'' &= \frac{C_0(q_{02} - q_{03}) + C_0(q_{04} - q_{03})}{m_0}; \\
 q_{04}'' &= \frac{C_0(q_{03} - q_{04}) + C_0(q_{05} - q_{04}) + C(q_2 - q_{04})}{m_0}; \\
 q_{05}'' &= \frac{C_0(q_{04} - q_{05}) + C_0(q_{06} - q_{05})}{m_0}; \\
 q_{06}'' &= \frac{C_0(q_{05} - q_{06}) + C_0(q_{07} - q_{06}) + C(q_3 - q_{06})}{m_0}; \\
 q_{07}'' &= \frac{C_0(q_{06} - q_{07}) + C_0(q_{08} - q_{07})}{m_0}; \\
 q_{08}'' &= \frac{C_0(q_{07} - q_{08}) + C_0(q_{09} - q_{08}) + C(q_4 - q_{08})}{m_0}; \\
 q_{09}'' &= \frac{C_0(q_{08} - q_{09}) + C_0(q_{10} - q_{09})}{m_0}; \\
 q_{10}'' &= \frac{C_0(q_{09} - q_{10}) + C_0(q_{11} - q_{10}) + C(q_5 - q_{10})}{m_0}; \\
 q_{11}'' &= \frac{C_0(q_{10} - q_{11}) + C_0(y - q_{11})}{m_0}; \\
 q_1' &= \frac{C(q_{02} - q_1) + Cq_1}{m}; \\
 q_2' &= \frac{C(q_{04} - q_2) + Cq_2}{m}; \\
 q_3' &= \frac{C(q_{06} - q_3) + Cq_3}{m}; \\
 q_4' &= \frac{C(q_{08} - q_4) + Cq_4}{m}; \\
 q_5' &= \frac{C(q_{10} - q_5) + Cq_5}{m}.
 \end{aligned}$$

Рисунок 4. Система динамических уравнений рассматриваемой модели

Здесь q_{01}'', q_{02}'' и т.д. – ускорение масс m_0 (рисунок 3 – верхний ряд масс слева направо);
 q_1'', q_2'' и т.д. – ускорение масс m (рисунок 3);
 q_{01}, q_{02} и т.д. – перемещение масс m_0 (рисунок 3 – верхний ряд масс слева направо);
 q_1, q_2 и т.д. – перемещение масс m (рисунок 3).



Величину реакций на ЗО со стороны отдельных упругих элементов можно определить по следующим формулам

$$r_1 = Cq_1; r_2 = Cq_2; r_3 = Cq_3; r_4 = Cq_4; r_5 = Cq_5. \quad (1, 2, 3, 4, 5)$$

Суммарная величина динамической силы, передаваемой на защищаемый объект, определится как

$$r = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5 \quad (6)$$

Вышеуказанные уравнения могут быть решены в любой программе, позволяющей работать с дифференциальными уравнениями второго порядка. В нашем случае была использована программа SIMMON. Пример решения такой задачи отражен в виде графика, приведенном на рисунке 5.

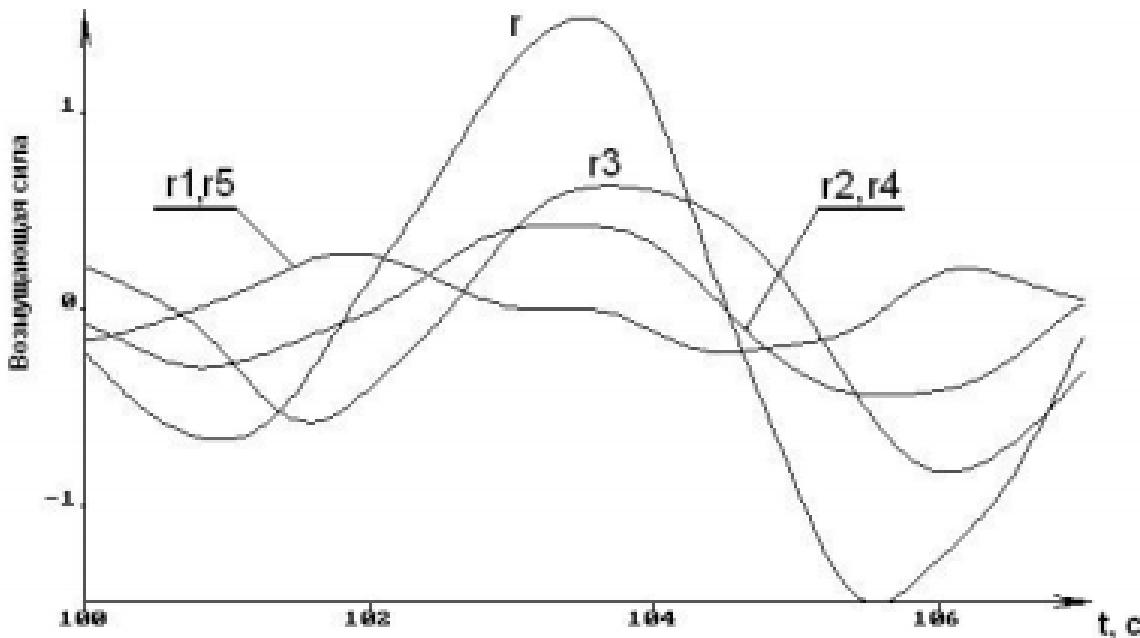


Рисунок 5. Динамические силы на гибком основании

Из графика видно, что импульсы, передающиеся с различных пружин подвески $r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5$, не совпадают по фазе и суммарная сила r , передающаяся на защищаемый объект, оказывается значительно меньшей суммы их абсолютных величин.

Вышеизложенный результат позволяет сделать вывод, что гибкое основание под действием вынужденных колебаний испытывает волновые процессы, что вызывает разнофазовые реакции в отдельных упругих элементах подвески. Понятно, что волновые процессы в упругом основании наиболее ярко выражены непосредственно в резонансе, а также на частотах близких к нему. В дорезонансном диапазоне данный эффект проявляется мало. Этим обстоятельством теоретически может быть объяснена эффективность многопружинных виброзащитных подвесок с весьма жесткими основаниями в области высоких частот.

Вывод. Для повышения эффективности виброзащитных подвесок представляется целесообразным изучать и оптимизировать именно основания, их конструкцию, распределение масс и способы крепления к фундаментам с целью управления параметрами собственных частот.



Список литературы:

1. Потянихин А.Н. Проблемы снижения структурной вибрации речных судов / А.Н. Потянихин, М.К. Романченко, А.М. Барановский // Судостроение. – 2009. – № 4. – С.46 – 49.
2. Барановский, А.М. Защита корпуса от структурной вибрации / А.М. Барановский, М.А. Федосеева // Научные проблемы Сибири и Дальнего Востока. – 2011. – № 2. – С. 167 – 169.
3. Барановский А.М. Динамические свойства распределенной виброзащитной опоры / А.М. Барановский, Ю.И. Ришко, С.В. Викулов // Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – № 3 (45) Т.1 – С. 39 – 41.

