

УДК 621.438:

Расчетная крутильная схема с распределенными параметрами для пропульсивного судового малооборотного дизельного комплекса

Авторы: Тарасенко А.И. ,. Тарасенко А.А., Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова

В работе [2] рассмотрена крутильная система, состоящая, как из участков с распределенными параметрами, так и из невесомых участков без распределенных параметров. При формировании крутильной схемы с невесомыми параметрами участки валов (их моменты инерции) присоединяются к дискам. Известны расчеты, в которых крутильная схема дизеля взята с документов фирмы производителя и приведены чертежи валопровода. Также приводят выкладки, на основе которых валы валопровода заменяют дисками. Требуется на основе решения волнового уравнения согласно методикам [2], провести сравнительный анализ конкретного судна, как для схемы с невесомыми валами, так и для схемы с распределенными параметрами. Желательно сравнить полученные результаты с расчетом, взятым за базовый (например, по методике АО БМЗ).

Цель работы – обосновать необходимость учета распределенных параметров валопровода при определении форм и частот собственных колебаний и предложить соответствующую расчетную схему, позволяющую это осуществить.

Решение волнового уравнения для случая свободных колебаний ищем в следующем виде [1,2]

$$\varphi_j = f_j(t) \cdot Z_j(y), \quad (1)$$

где j – номер, рассматриваемой формы колебаний;

$f_j(t)$ – функция времени для формы с номером j ;

$Z_j(y)$ – функция от координаты сечения y – форма колебаний с номером j .

Участок вала постоянного диаметра имеет податливость

$$e_k = \frac{S_k}{G_k \cdot I_k} = \frac{S_k^2}{V_k^2 \cdot J_k}, \quad (2)$$

где S_k – длина участка с номером k ,

I_k – полярный момент инерции сечения вала,

$J_k = I_k \cdot \rho_k \cdot S_k$ – полярный момент инерции вала,

ρ_k – плотность материала вала;

$V_k = \sqrt{\frac{G_k}{\rho_k}}$ – скорость распространения малых возмущений для участка с номером

k .

Для вала постоянного диаметра можно записать следующее уравнение

$$z'' + z \left(\frac{\beta_{j,k}}{S_k} \right)^2 = 0, \quad \text{где } \beta_{j,k} = P_j \sqrt{J_k \cdot e_k}. \quad (3)$$

Используя выражение (2), получим

$$\beta_{j,k} = \frac{P_j}{V_k} S_k \quad \text{или} \quad \frac{\beta_{j,k}}{S_k} = \frac{P_j}{V_k} \quad (4).$$

Если ввести параметр

$$\Delta Z_{j,k}(\bar{y}) = S_k \cdot Z'_{j,k}(\bar{y}), \quad (5)$$

то решение уравнения (3) примет следующий вид:

$$Z_{j,k}(\bar{y}_k) = \bar{y} \cdot \Delta Z_{j,k}(0) \cdot \frac{\sin(\beta_{j,k} \cdot \bar{y}_k)}{\beta_{j,k} \cdot \bar{y}_k} + Z_{j,k}(0) \cdot \cos(\beta_{j,k} \cdot \bar{y}_k), \quad (6)$$

$$\Delta Z_{j,k}(\bar{y}_k) = \Delta Z_{j,k}(0) \cdot \cos(\beta_{j,k} \cdot \bar{y}_k) - Z_{j,k}(0) \cdot \beta_{j,k} \cdot \sin(\beta_{j,k} \cdot \bar{y}_k). \quad (7)$$

Для случая не весомого вала $\beta_{j,k} = 0$. Тогда уравнение (7) примет вид

$$\Delta Z_{j,k}(\bar{y}_k) = \Delta Z_{j,k}(0) = const,$$

где $\bar{y}_k = \frac{y_k}{S_k} = 0 \div 1$ – относительная координата внутри участка с номером k .

Это означает, что для невесомых валов значения $\Delta Z_{j,k}(\bar{y}_k)$ постоянны, а выражение (6) для случая невесомого вала примет вид $Z_{j,k}(\bar{y}_k) = \bar{y} \cdot \Delta Z_{j,k}(0) + Z_{j,k}(0)$.

Из записанного уравнения следует, что соединение дискретных точек формы прямыми линиями теоретически оправдано.

Собственные частоты представляют в виде числа колебаний в минуту $N_j = 30 P_j / \pi$.

Число частот может быть сколь угодно большим, но на практике $j < 7$. При расчетах по методике Терских ограничиваются двумя формами ($j < 3$).

В качестве результатов приведены значения собственных частот и форм, показанных на рис.1.и рис.2. Для первой и второй форм значения частот и форм, полученных по различным методикам, практически совпадают (РП–распределенные, а СП–сосредоточенные параметры; БМЗ–расчеты АО БМЗ). Для третьей формы результаты, полученные, для случаев сосредоточенных и распределенных параметров существенно отличаются.

Первая форма ($j = 1$) $N_{1,РП} = 362,8$; $N_{1,СП} = 360,8$; $N_{1,БМЗ} = 361,9$ кол/мин.

Вторая форма ($j = 2$) $N_{2,РП} = 1320,67$; $N_{2,СП} = 1295,8$; $N_{2,БМЗ} = 1296,6$ кол/мин.

Третья форма ($j = 3$) $N_{3,РП} = 2480,3$; $N_{3,СП} = 1748,8$ кол/мин.

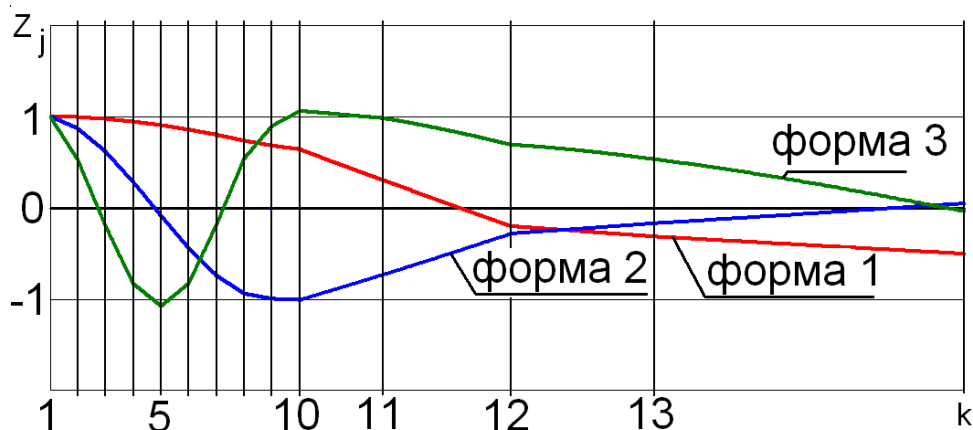


Рис.1. Формы для случая распределенных параметров

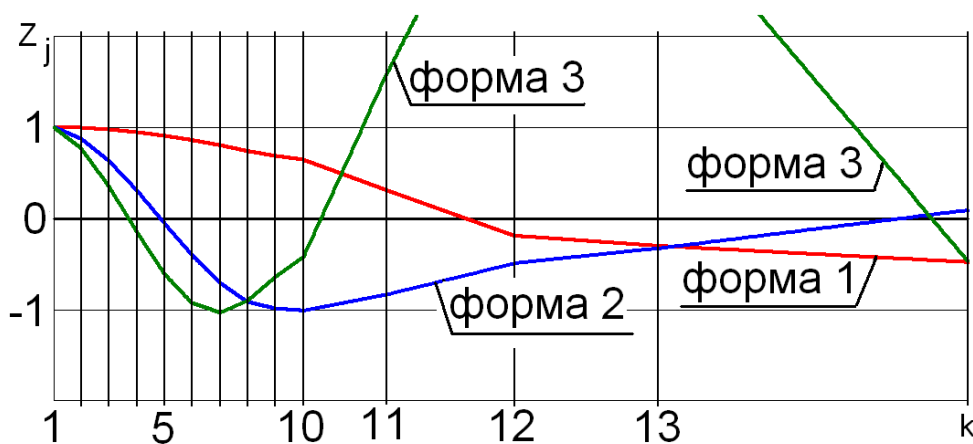


Рис.2. Формы для случая сосредоточенных параметров

Реальная судовая крутильная система имеет в своем составе длинные и тяжелые (весомые) валы, которые имеют распределенные параметры. На рис.1.приведены формы для системы с распределенными параметрами.

Сравнение графиков рис.1. и рис.2. показывает, что для первой и второй форм учет распределенных параметров не обязателен. Однако для старших форм учет распределенных параметров необходим. Алгоритм, по которому вычислялись все формы один и тот же. И нет оснований полагать, что вычисление третьей формы имеет особенности.

Выбор расчетной схемы усложняется тем, что моменты инерции отсеков дизеля переменны. В качестве примера рассмотрим дизель производства Брянского завода 8ДКРН 60/195. Это лицензионная копия дизеля L60МС. Изменение момента инерции этого дизеля показано на рис.4.

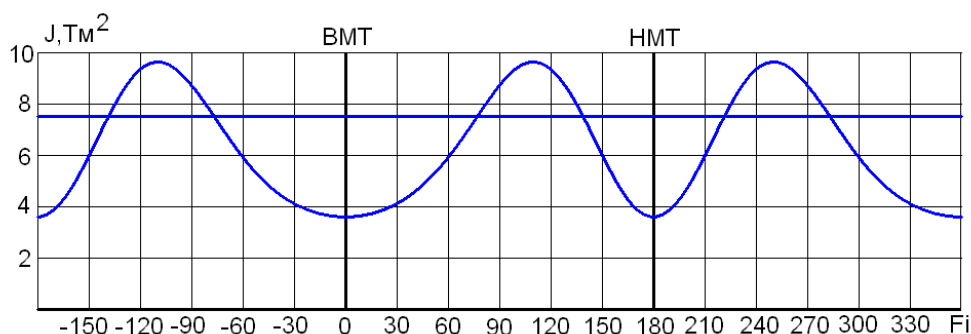


Рис.4. Зависимость приведенного момента инерции отсека дизеля от угла поворота коленвала.

На рис. 4 горизонтальная линия – это значение момента инерции, рекомендованное фирмой для крутильной схемы ($7,5 \text{ Тм}^2$). Из рисунка видно, что момент инерции отсека изменяется более чем в два раза. Уравнение движения отсека переменного момента инерции [1]

$$\ddot{\varphi}_k \cdot (\theta_k + J_{k \text{ пр}}) = \Sigma M_k - \frac{\omega_k^2}{2} \frac{d}{d\varphi} (J_{k \text{ пр}}),$$

где $J_{k \text{ пр}}$ – переменная часть момента инерции,

φ_k – угол поворота коленвала,

ω_k – угловая скорость вращения коленвала,

θ_k - постоянная часть момента инерции отсека,

M_k - крутящий момент, приложенный к отсеку.

Из приведенного уравнения видно, что изменение момента инерции отсека влияет на все приложенные к отсеку крутящие моменты. Если исследовать крутильные колебания по формам то для первой и второй формы приведенный момент инерции и собственная частота мало зависят от угла поворота коленвала. Поэтому при расчетах по Терских изменение массы не учитывают. Если рассматривают третью и выше форму, то учет переменности моментов инерции обязателен.

Можно предложить две расчетные схемы рис.5. и рис.6. Первая схема рассматривает валопровод и коленвал как систему с распределенными параметрами. К коленвалу упруго прикреплены диски переменного момента инерции. Вторая схема рис.6. - это упруго соединенные друг с другом диски и валопровод с распределенными параметрами.

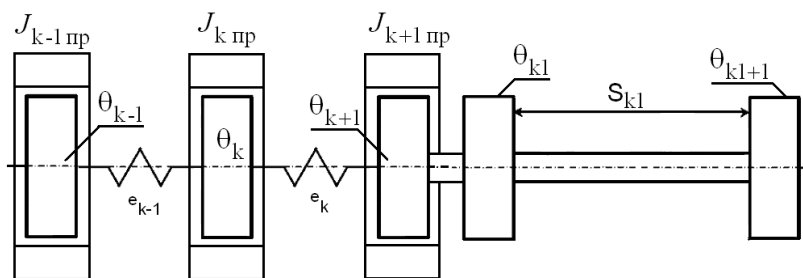


Рис.5. Расчетная схема с использованием составных дисков.

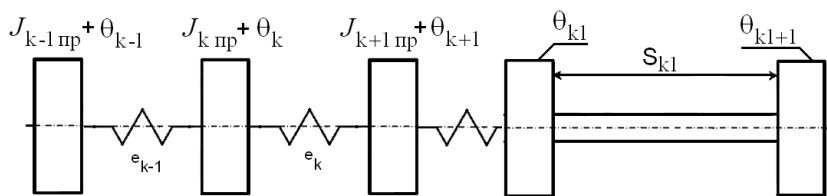


Рис.6. Составная расчетная схема с невесомым коленвалом и валопроводом с распределенными параметрами

Выводы:

Крутильную систему необходимо рассматривать как систему с распределенными параметрами.

Рекомендуется применение схем рис.5 и рис.6.

Литература

1. Теория механизмов и машин [Текст]: учеб. пособие / К.В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов, Д.М. Лукичев, Н.А. Скворцова, В.А. Никоноров, А.А. Савелова, Г.Н. Петров, Н.Е. Ремизова, В.М. Акопян – М.: Высшая школа, 1987. – 496 с.
2. Тарасенко А.И Крутильные колебания разветвленного не симметричного пропульсивного судового дизельного комплекса// Двигатели внутреннего сгорания: Всеукраинский научно-технический журнал – № 1. – Харьков: НТУ "ХПИ" 2013. – С. 37–42.