

УДК 621.438:

М. Р. ТКАЧ, А. А. ТАРАСЕНКО

Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ МАСШТАБНОГО ФАКТОРА НА ПАРАМЕТРЫ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК С МОД

Учет распределенных параметров при расчетах крутильных колебаний на основе волнового уравнения часто встречает непонимание у проектантов судовых пропульсивных комплексов. В работе предложена схема стенда, с помощью которого планируется показать влияние длины валов на параметры крутильных колебаний. Влияние масштабного фактора в виде длины валов, можно учесть, если рассматривать валы с распределенными параметрами. Идея эксперимента заключается в том, что в крутильной схеме модели пропульсивного комплекса длина одного из участков изменяется при сохранении величины податливости участка.

Ключевые слова: дизель, крутильные колебания, волновое уравнение, собственная частота, форма колебаний, демпфирование, расчетная схема.

Введение

Важность проблемы крутильных колебаний показана в работе [1]. В этой работе дан обзор методик расчета. Большинство методик считают, что судовой пропульсивный комплекс рассматривается как крутильная система, состоящая из маховиков (отсеков цилиндра, гребного винта), соединенных невесомыми валами. Этим методикам неважна длина вала. Им важна только его жесткость или податливость.

В работе [2] судовой пропульсивный комплекс рассматривается как крутильная система с распределенными параметрами, состоящая из маховиков (отсеков цилиндра, гребного винта), соединенных валами. Валы могут быть невесомыми (только жесткость) либо иметь распределенные параметры.

Важно получить экспериментальное подтверждение приведенной во [2] методики, которая учитывает распределенные параметры валов пропульсивного комплекса.

Формулирование проблемы

Требуется предложить и обосновать схему стенда для подтверждения влияния распределенных параметров валов крутильной системы. Предполагается, что влияние распределенных параметров увеличивается с увеличением длины участка.

Цель работы – предложить и обосновать схему стенда для экспериментального подтверждения влияния распределенных параметров при увеличении длин отсеков крутильной схемы.

Общие соотношения

Идея предлагаемого эксперимента состоит в том, чтобы в крутильной системе, состоящей из девяти дисков и восьми валов между ними, длину одного из валов (последнего) менять в широких пределах. При этом податливость этого последнего вала остается постоянной. Схема такого стенда приведена на рис. 1.

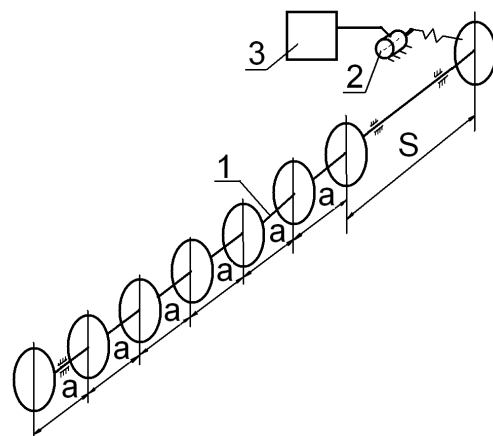


Рис. 1. Схема экспериментального стенда:

- 1 – крутильная система; 2 – вибратор;
3 – преобразователь частоты

На рис. 1. показана схема стенда. Крутильная схема 1 представляет собой вал, на котором установлены восемь дисков с постоянным интервалом «а» равным пятьдесят миллиметров. Девятый диск установлен на расстоянии S , которое может меняться. Колебания возбуждаются вибратором 2, который представляет собой асинхронный электродвигатель

переменного тока. Питание электродвигателя осуществляется от преобразователя 3, поддерживающего заданную частоту.

Анализ такой схемы во [2] проведен на основе волнового уравнения. Решение волнового уравнения ищем в следующем виде

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

где j – номер, рассматриваемой формы колебаний;
 $\lambda_j(t)$ – функция времени для формы с номером j ;
 $Z_j(y)$ – функция от координаты сечения;
 y – форма колебаний с номером j .

На начальном этапе рассчитываем формы колебаний при условии, что S равно пятьдесят миллиметров, как и параметр a .

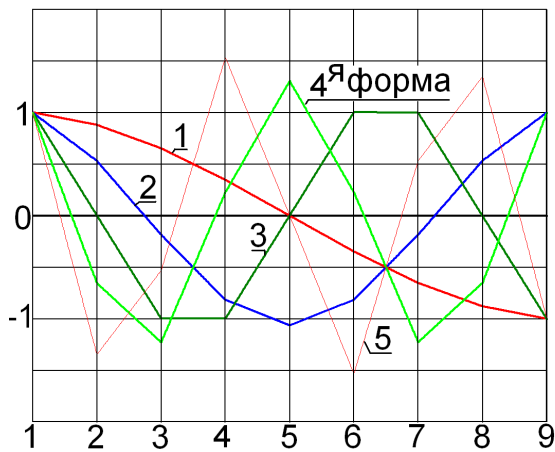


Рис. 2. Графики форм для исходного варианта

На рис. 3. показан график форм для случая, когда длина S равна одному метру.

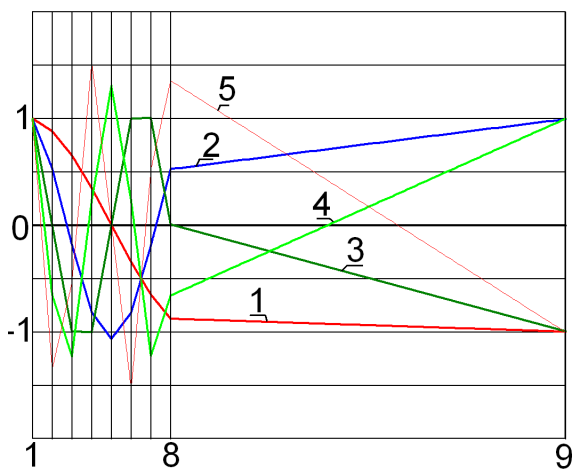


Рис. 3. Графики форм для $S = 1$ метр

В дальнейшем девятый участок будет условно отображен на графиках той же длиной, что и остальные восемь и в каждом участке будут относительные координаты. На рис. 4 показан случай аналогичный рис. 3, но в относительных координатах.

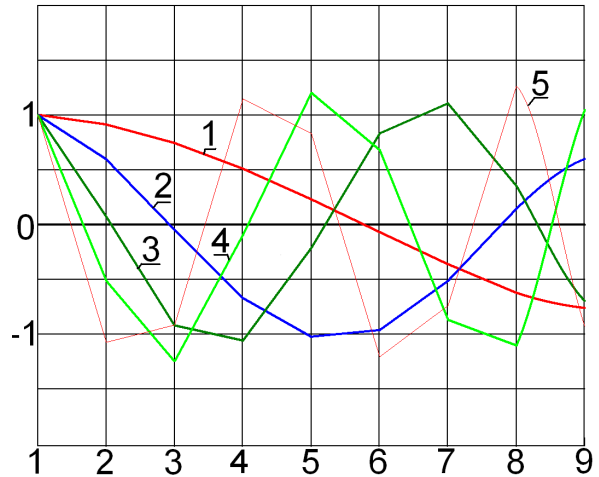


Рис. 4. Графики форм для $S = 10$ метров в относительных координатах

График рис. 4. мало отличается от графика рис. 2, но с увеличением длины это отличие может быть существенным. В качестве примера приведен график рис. 5 для $S = 15$ метров.

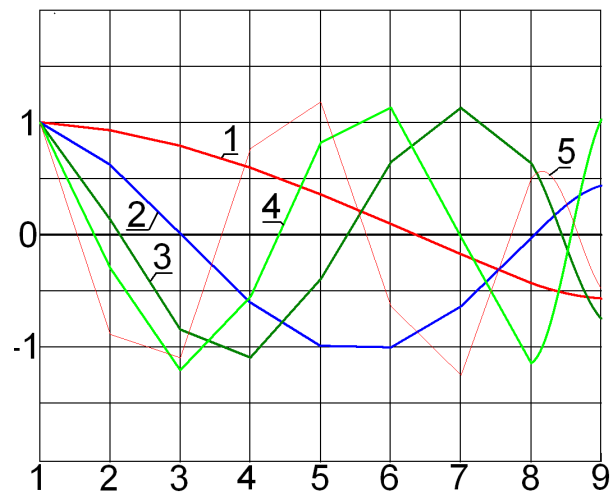


Рис. 5. Графики форм для $S = 15$ метров в относительных координатах

Длина участка S существенно влияет на формы и собственные частоты колебаний. Причем в случае, когда длина участка S больше 10 метров на последнем (длинном) участке формы имеют нелинейный характер, что подчеркивает влияние распределенных параметров. Действительно, согласно [2] для случая невесомых валов формы линейны.

Иллюстрацией этого эффекта может служить график форм рис. 6 для $S = 20$ метров.

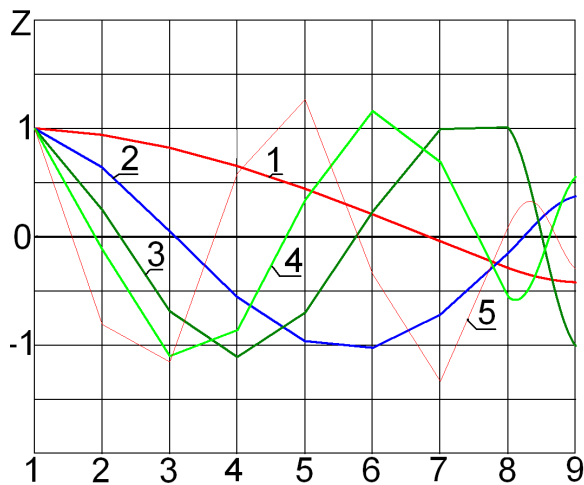


Рис. 6. Графики форм для $S = 20$ метров

В табл. 1 приведена зависимость собственных частот по формам от длины участка S .

Таблица 1
Зависимость собственных частот от S

$S, м$	0,05	5,0	10,0	15,0	20,0
$f_1, Гц$	26,06	24,81	22,29	20,08	18,56
$f_2, Гц$	51,32	49,91	47,65	46,08	44,97
$f_3, Гц$	75,03	74,07	72,28	69,77	64,94
$f_4, Гц$	96,45	95,55	92,29	85,42	79,19
$f_5, Гц$	115,0	113,4	108,1	103,1	100,9

Из табл. 1 следует, что в зависимости от длины S последнего участка вала существенно меняются собственные частоты форм колебаний.

Первые формы колебаний показаны на рис. 7.

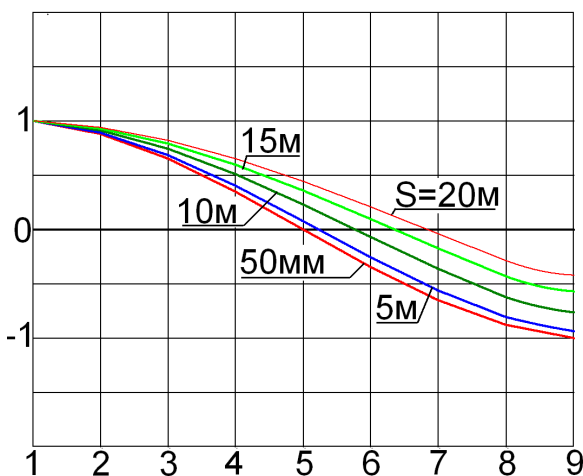


Рис. 7. Графики первой формы для разных значений длины S

Из графика рис. 7 видно, что точка пересечения первой формы с осью переходит с диска 5 на диск 7.

Аналогичный график для второй формы показан на рис. 8.

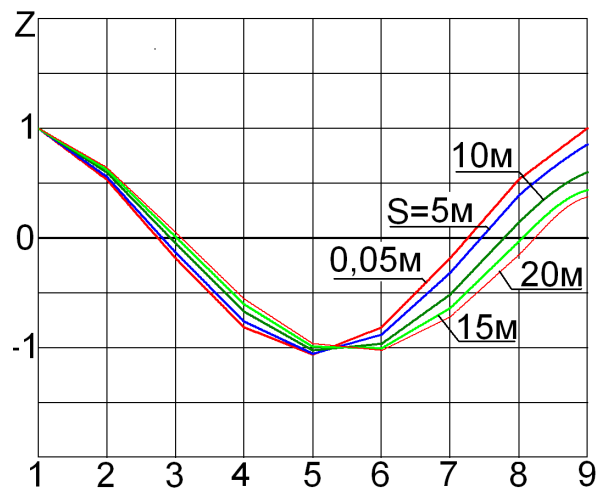


Рис. 8. График второй формы для разных значений длины S

Аналогичный график для пятой формы показан на рис. 9.

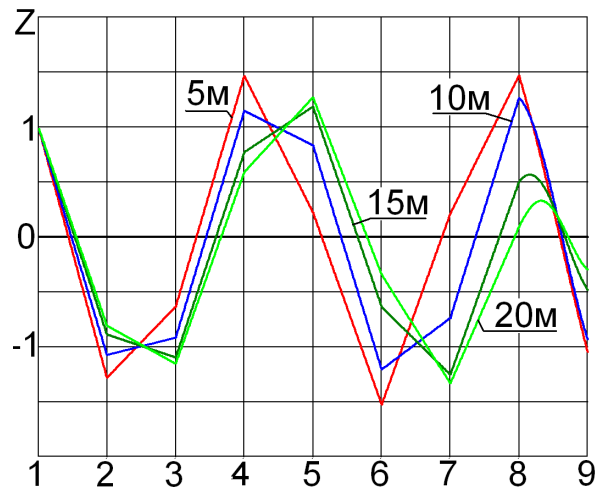


Рис. 9. График пятой формы для разных значений длины S

Следует отметить, что для существующих методов, не учитывающих распределенные параметры, схемы с разным S , это одна и та же схема. Разница частот, полученная за счет изменения длины одного из участков, доходит до 30 %, что весьма существенно.

Авторы надеются, что им удастся зафиксировать эту разницу частот экспериментально, например, методом резонанса и доказать необходимость учета распределенных параметров и конечной скорости распространения малых крутильных возму-

щений («крутильной» скорости звука). Дело в том, что предположение о невесомости валов равносильно предположению о бесконечно большой скорости звука [2] и делает невозможным учет волновых явлений. Если учитывать конечную скорость распространения малых возмущений, то эффект зависит от длины валов и усиливается с увеличением длины.

Выводы

Предложена схема стенда, позволяющая экспериментально подтвердить существенное влияние масштабного фактора на параметры крутильных колебаний.

Разработанная схема стенда позволит показать влияние масштабного фактора на собственные час-

тоты крутильных колебаний. Причем разница в величинах собственных частот достигает 30 %.

Схема стенда позволяет провести стробоскопирование на резонансном режиме и зафиксировать вид формы колебаний.

Литература

1. Истомин, П. А. Крутильные колебания в судовых ДВС [Текст] / П. А. Истомин. – Л. : Судостроение, 1968. – 304 с.
2. Тарасенко, А. И. Крутильные колебания разветвленного не симметричного пропульсивного судового дизельного комплекса [Текст] / А. И. Тарасенко // Двигатели внутреннего сгорания, 2013. – № 1. – С. 37–42.

Поступила в редакцию 20.03.2015, рассмотрена на редколлегии 19.06.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Н. И. Радченко, Национальный университет кораблестроения, Николаев.

СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МАСШТАБНОГО ФАКТОРУ НА ПАРАМЕТРИ КРУТИЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК З МОД

М. Р. Ткач, А. О. Тарасенко

Врахування розподілених параметрів при розрахунках крутильних коливань за допомогою хвильового рівняння часто викликає непорозуміння у проєктантів судових пропульсивних комплексів. В статті запропоновано схему стенда, за допомогою якого планується показати вплив довжини валів на параметри крутильних коливань. Вплив масштабного фактора у вигляді довжини валів можливо урахувати, якщо розглядати вали з розподіленими параметрами. Ідея експерименту полягає у визначенні впливу довжини відсіку крутильної схеми пропульсивного комплексу при залишенні сталою величиною пружності відсіку.

Ключові слова: дизель, крутильні коливання, хвильове рівняння, власні частоти, форми коливань, демпфірування, розрахункова схема.

RESEARCH STAND BASED ON PARAMETERS OF TORSIONAL VIBRATIONS ON LOW SPEED DIESEL ENGINE FOR DETERMINATION OF SIZE EFFECT

M. R. Tkach, A. A. Tarasenko

Often marine propulsion designers misunderstand the accounting of distributed parameters in the wave equation calculation for torsional vibrations. The scheme of stand is proposed with help of which it is planned to show the influence of the length of the shaft on the parameters of the torsional vibration. Influence of the length of the shaft, can be accounted for, if we consider the shafts with distributed parameters. The idea of the experiment is to determine the effect of the length of the section of torsional scheme of propulsion system while maintaining the value of compliance of the section.

Key words: diesel, torsional vibration, wave equation, the natural frequency, the shape of the oscillations, damping, the calculation scheme.

Ткач Михаил Романович – д-р техн. наук, проф., зав. кафедры теоретической механики, Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина.

Тарасенко Андрей Александрович – аспирант кафедры теоретической механики, Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: tai777@ukrpost.net.