

DOI: 10.24143/2073-1574-2017-3-74-79

УДК 629.5.035-233.1-192: 624.072

А. А. Халаявкин, В. А. Мамонтов, Г. А. Кушнер, И. А. Купряшин

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОПОР СУДОВОГО ВАЛОПРОВОДА НА ЕГО ЖЕСТКОСТЬ

Оценивается влияние расположения опор на прогиб судового валопровода. Существует мнение, что на многих современных судах фактические длины пролетов валопроводов занижены, поэтому пересмотр конструктивных схем валопроводов с целью уменьшения количества опор является одной из актуальных задач. Следует отметить, что сокращение числа опор на валопроводе до минимума позволяет, помимо увеличения гибкости, снижать потери на трение, уменьшать вес двигательной установки, сокращать стоимость постройки и трудоемкость монтажа. Приводится сравнительный анализ влияния количества и расположения опор на прогиб балки. Полученные результаты дают основание утверждать, что при оптимальном расположении опор их количество можно уменьшить, что, в свою очередь, позволяет предотвратить износ, заклинивание самого валопровода и его подшипников и уменьшить нагрузку на двигатель судна. Обеспечивается надежность судового валопровода и устраняется явление резонанса при его эксплуатации.

**Ключевые слова:** судовой валопровод, прогиб балки, оптимальное расположение опор, жесткость, надежность, резонанс.

### Введение

Судовой валопровод представляет собой систему валов, соединенных с целью передачи крутящего момента от двигателя к гребному винту и восприятия осевого усилия от движителя к корпусу судна.

Обеспечение длительной и надежной работы валопровода является одной из актуальных проблем в настоящее время. Об этом свидетельствует большое количество опубликованных работ российских и зарубежных авторов.

Известно, что расположение опор судового валопровода и их количество по длине определяют напряженно-деформированное состояние валов, нагруженность самих опор и, в конечном итоге, прочность валопровода. Оптимальное расположение опор обеспечивает необходимую жесткость и надежность судового валопровода.

Валопровод в процессе эксплуатации получает различные радиальные смещения подшипников, что изменяет его напряженное состояние. Причиной такого смещения могут быть действия внешних статических и динамических нагрузок, износ самих подшипников и деформация корпуса судна (рис. 1).

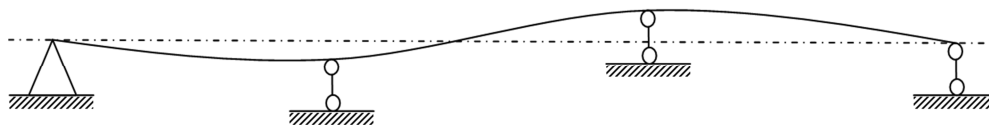


Рис. 1. Смещения опор судового валопровода

Следует отметить, что недостаточная жесткость может привести к возникновению колебаний самого валопровода. Оптимальная расстановка опор по длине валопровода позволяет устранить резонансное явление.

Как отмечается в работе [1], на многих современных судах фактические длины пролетов валов занижены, поэтому пересмотр конструктивных схем валопроводов с целью уменьшения количества опор является одной из актуальных задач. Следует отметить, что сокращение числа опор на валопроводе до минимума позволяет, помимо увеличения гибкости, снижать потери на трение, уменьшать вес двигательной установки, сокращать стоимость постройки и трудоемкость монтажа [1].

**Сравнительный анализ влияния количества опор и их расположения на прогиб судового валопровода**

Как известно, в расчетных схемах судовой валопровод представляет собой многопролетную балку. В работе проводится исследование прогиба балки, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой, опирающейся на шарнирные опоры (рис. 2).

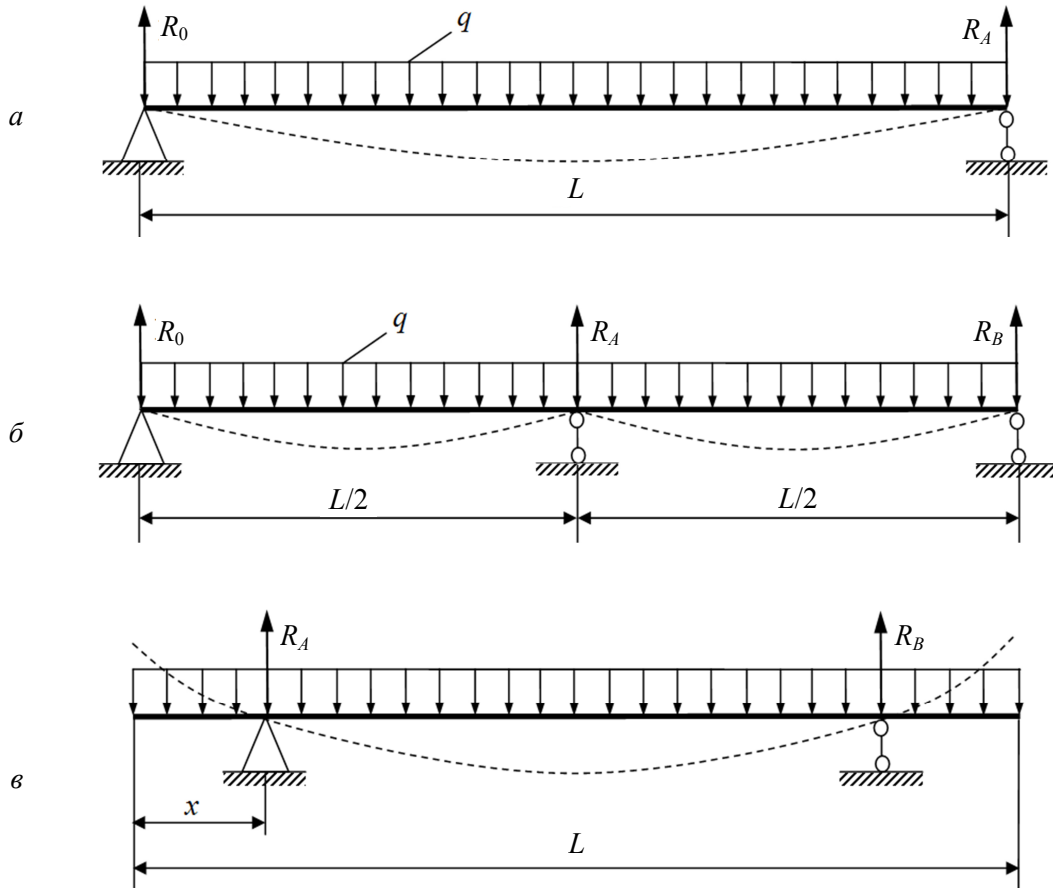


Рис. 2. Схемы расположения опор балки:  $R_0, R_A, R_B$  – реакции опор;  $L$  – общая длина исследуемой балки;  $q$  – распределенная нагрузка;  $x$  – расстояние от концов балки

Для определения прогиба балки будем использовать универсальное уравнение изогнутой оси балки, записанное с использованием метода начальных параметров [2]:

$$y_z = y_0 + \varphi_0 z + \frac{1}{EJ_x} \left[ \sum M \frac{(z-a)^2}{2!} + \sum F \frac{(z-b)^3}{3!} + \sum q \frac{(z-d)^4}{4!} \right], \quad (1)$$

где  $y_z$  – прогиб произвольного сечения балки;  $y_0, \varphi_0$  – начальные параметры (прогиб и угол поворота сечения в начале координат);  $EJ_x$  – жесткость сечения балки при изгибе;  $a, b, d$  – расстояние от начала координат до сечений, где приложены внешние нагрузки;  $z$  – координата сечения, прогиб которого определяется.

Рассмотрим расчетную схему, когда опоры расположены по концам балки (рис. 2, а). Максимальный прогиб будет наблюдаться посередине балки и будет равен [3]

$$y_1 = -0,130 \frac{qL^4}{EJ_x}.$$

Для уменьшения прогиба в середине балки установим дополнительную шарнирную опору (рис. 2, б). Тогда максимальный прогиб расчетной схемы будет находиться на расстоянии  $L/4$  от опор. Для определения максимального прогиба балки, который будет находиться в середине пролета, составим систему уравнений:

$$\begin{cases} \sum F = R_0 + R_A + R_B - qL = 0; \\ \sum M_B = -R_0L - \frac{1}{2}R_AL + \frac{1}{2}qL^2 = 0; \\ y_A = \frac{1}{2}\varphi_0L + \frac{1}{EJ} \left[ \frac{R_0\left(\frac{L}{2}\right)^3}{3!} - \frac{q\left(\frac{L}{2}\right)^4}{4!} \right] = 0; \\ y_B = \varphi_0L + \frac{1}{EJ} \left[ \frac{R_0(L)^3}{3!} + \frac{R_A\left(\frac{L}{2}\right)^3}{3!} - \frac{q(L)^4}{4!} \right] = 0. \end{cases}$$

Прогиб балки в середине пролета имеет вид

$$y_2 = -0,00081 \frac{qL^4}{EJ_x}$$

Рассмотрим прогиб балки с расположением опор на некотором расстоянии  $x$  от концов самой балки (рис. 2, в). Величину  $x$  найдем из условия максимальной жесткости. Записываем уравнение изогнутой оси балки, используя выражение (1), на участках [4]:

$$0 \leq z \leq x;$$

$$y = y_0 + \varphi_0z - \frac{qz^4}{EJ_x 4!}; \quad (2)$$

$$0 \leq z \leq L/2;$$

$$y = y_0 + \varphi_0z - \frac{1}{EJ_x} \left[ \frac{q \frac{L}{2} (z-x)^3}{3!} - \frac{qz^4}{4!} \right]. \quad (3)$$

Начальные параметры находим из граничных условий:

$$\begin{cases} z = x, y = 0; \\ z = \frac{L}{2}, \varphi = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Так как  $x \leq z \leq L/2$ , то

$$\varphi = \varphi_0 + \frac{1}{EJ_x} \left[ \frac{q \frac{L}{2} (z-x)^2}{2} - \frac{qz^3}{6} \right]. \quad (5)$$

Учитывая выражения (2), (4), (5) для определения  $y_0$ ,  $\varphi_0$ , получаем систему уравнений

$$\begin{cases} \varphi_0 + \frac{qL^4}{EJ_x} \left[ \frac{q \frac{L}{2} \left( \frac{L}{2} - x \right)^2}{2} - \frac{q \left( \frac{L}{2} \right)^3}{6} \right] = 0; \\ y_0 + \varphi_0 z - \frac{qz^4}{EJ_x 4!} = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Пусть  $x = \alpha L$ . В результате из системы уравнений (6) находим

$$\begin{cases} y_0 = \frac{qL^4}{EJ_x} \left[ \frac{\alpha^4}{24} + \frac{\alpha(1-2\alpha)^2}{16} - \frac{\alpha}{48} \right]; \\ \varphi_0 = \frac{qL^4}{EJ_x L} \left[ \frac{1}{48} - \frac{(1-2\alpha)^2}{16} \right]. \end{cases} \quad (7)$$

Из (3), учитывая (4) и (7), имеем

$$y_{z=\frac{L}{2}} = \frac{1}{384EJ_x} [16\alpha^4 + 129\alpha^3 - 96\alpha^2 + 16\alpha - 5].$$

Исходя из результатов решения [4], получаем, что при

$$y_{z=\frac{L}{2}} = y_0$$

уравнение примет вид [4]:

$$32\alpha^3 - 24\alpha + 5 = 0.$$

Уравнение имеет три корня:  $\alpha_1 = -0,956$ ,  $\alpha_2 = 0,223$ ,  $\alpha_3 = 0,733$ , один из которых входит в интервал  $[0; 0,5]$ .

Оптимальная жесткость достигается при смещении опор от краев балки на величину  $x = 0,223L$ , при этом

$$y_{z=\frac{L}{2}} = y_3 = -0,000268 \frac{qL^4}{EJ_x}.$$

Приведенные выше расчеты для балки с распределенной нагрузкой при разном количестве и расположении шарнирных опор представлены в таблице.

**Значения реакций в опорах, начального угла поворота и максимального прогиба балки**

№ п/п	Рисунок	Реакции в опорах			Определение максимального прогиба балки		$\Delta = \frac{y_{\max}^i}{y_{\max}^3}$ *
		$R_0$	$R_A$	$R_B$	$z$	$y_{\max}$	
1	2, а	$\frac{1}{2}qL$	$\frac{1}{2}qL$	–	$\frac{1}{2}L$	$-0,013 \frac{qL^4}{EJ_x}$	48,15
2	2, б	$\frac{3}{16}qL$	$\frac{5}{8}qL$	$\frac{3}{16}qL$	$\frac{1}{4}L$	$-0,00081 \frac{qL^4}{EJ_x}$	3
3	2, в	–	$\frac{1}{2}qL$	$\frac{1}{2}qL$	$\frac{1}{2}L$ ( $x=0,233L$ )	$-0,00027 \frac{qL^4}{EJ_x}$	1

\*  $i$  – номер прогиба; № 1÷3 – номер строки.

### Заключение

Таким образом, из результатов расчетов следует, что при оптимальном расположении опор их количество можно уменьшить. Повышается жесткость и сопротивляемость судового валопровода и его вспомогательных элементов действию на них динамических и случайных нагрузок. При оптимальном расположении опор уменьшается напряженно-деформированное состояние валов, нагруженность самих опор и, в конечном итоге, прочность судового валопровода.

Полученные результаты исследования найдут применение при расчетах судовых валопроводов на поперечные колебания.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комаров В. В., Курьлев А. С. Валопроводы рыбопромысловых судов. Астрахань: Изд-во АГТУ, 1997. Ч. 1. 164 с.
2. Писаренко Г. С. и др. Сопротивление материалов. К.: Вища шк., 1979. 694 с.
3. Ануриев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя / под ред. И. Н. Жестковой. М.: Машиностроение, 2006. Т. 1. 928 с.
4. Халывкин А. А. Проектирование двухопорной балки оптимальной жесткости // Наука: Поиск-2006: сб. науч. ст.: в 2-х т. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2007. Т. 2. С. 187–191.

Статья поступила в редакцию 05.05.2017

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Халывкин Алексей Александрович** – Россия 414041, Астрахань; Астраханский государственный политехнический колледж; канд. техн. наук; преподаватель механического отделения; soromat112@mail.ru.

**Мамонтов Виктор Андреевич** – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; д-р техн. наук, доцент; профессор кафедры судостроения и энергетических комплексов морской техники; soromat112@mail.ru.

**Кушнер Гурий Алексеевич** – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; ассистент кафедры судостроения и энергетических комплексов морской техники; dinalt\_13@mail.ru.

**Купряшин Иван Александрович** – Россия 414041, Астрахань; Астраханский государственный политехнический колледж; студент механического отделения; lizergine98@gmail.com.



*A. A. Halyavkin, V. A. Mamontov, G. A. Kushner, I. A. Kupryashin*

### ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF THE SHIP SHAFT LINE FOOTINGS ARRANGEMENT ON ITS RIGIDITY

**Abstract.** The article focuses on the influence of the footing arrangement on the ship shaft line bending. It has been found that on board many modern ships actual length of shaft line tunnel is lowered, that is why revision of the constructive schemes of shaft lines for the purpose to lessen the number of shaft line footings is one of the important tasks. It should be noted that minimizing the footing number will lead to decreasing friction losses, weight of the propulsion unit, costs of the construction and labour intensiveness of assembling, as well as to improving flexibility of the shaft. The article presents the comparative analysis of the influence of number and position of footings on

the beam bending. The results obtained provide grounds for the statement that at optimal positioning of footings their number can be decreased, which will result in preventing wear, shaft line and bearings jamming, and lessening resonance during ship operation.

**Key words:** ship shaft line, shaft bending, optimal positioning of footings, rigidity, security, resonance.

#### REFERENCES

1. Komarov V. V., Kurylev A. S. *Valoprovody rybopromyslovykh sudov* [Shaft lines on fishing vessels]. Astrakhan, Izd-vo AGTU, 1997. Part 1. 164 p.
2. Pisarenko G. S. i dr. *Soprotivlenie materialov* [Strength of materials]. Kiev, Vishcha shkola Publ, 1979. 694 p.
3. Anur'ev V. I. *Spravochnik konstruktora-mashinostroitelia* [The guide book of a designer in car manufacturing]. Pod redaktsiei I. N. Zhestkvoi. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2006. Vol. 1. 928 p.
4. Khaliavkin A. A. *Proektirovanie dvukhopornoj balki optimal'noi zhestkosti* [Design of a double point beam of optimal rigidity]. *Nauka: Poisk-2006: sbornik nauchnykh statei: v 2-h t.* Astrakhan, Izd-vo AGTU, 2007. Vol. 2. Pp. 187-191.

The article submitted to the editors 05.05.2017

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Halyavkin Alexey Aleksandrovich** – Russia, 414041, Astrakhan; Astrakhan State Polytechnical College; Candidate of Technical Sciences; Lecturer of Mechanical Office; [sopromat112@mail.ru](mailto:sopromat112@mail.ru).

**Mamontov Victor Andreevich** – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor; Professor of the Department of Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering Equipment; [sopromat112@mail.ru](mailto:sopromat112@mail.ru).

**Kushner Guriy Alekseevich** – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Assistant of the Department of Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering Equipment; [dinalt\\_13@mail.ru](mailto:dinalt_13@mail.ru).

**Kupryashin Ivan Aleksandrovich** – Russia, 414041, Astrakhan; Astrakhan State Polytechnical College; Student of Mechanical Office; [lizergine98@gmail.com](mailto:lizergine98@gmail.com).

