

DOI: 10.24937/2542-2324-2022-2-400-153-157
УДК 629.5.015.5:534.242

В.Ю. Кирпичников, В.В. Савенко, В.Ю. Смольников, Е.В. Яковлева
ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, Россия

УМЕНЬШЕНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ КОЛЕБАНИЙ ДИСКОВ УПРУГИХ ВСТАВОК БЛОКА ГРЕБНОГО ВАЛА

Объект и цель научной работы. Объектом является блок гребного вала (БГВ). Цель исследования – разработка вибропоглочителей, уменьшающих уровни резонансных колебаний дисков упругих вставок БГВ.

Материалы и методы. Измерение спектров вибрации диска упругой вставки без вибропоглочителей и при их установке. Эффективность вибропоглочителей определена по разнице уровней вибрации диска при их отсутствии и наличии.

Основные результаты. Установка вибропоглочителей приводит к уменьшению уровней резонансных максимумов в спектрах вибрации диска.

Закключение. Показана возможность существенного уменьшения вибрации дисков упругих вставок БГВ путем установки на них малогабаритных вибропоглочителей с большими потерями колебательной энергии.

Ключевые слова: блок гребного вала, упругие диски, демпфирование, вибрации, резонансные частоты.
Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

DOI: 10.24937/2542-2324-2022-2-400-153-157
UDC 629.5.015.5:534.242

V.Yu. Kirpichnikov, V.V. Savenko, V.Yu. Smolnikov, E.V. Yakovleva
Krylov State Research Centre, St. Petersburg, Russia

ATTENUATION OF RESONANCE OSCILLATIONS IN RESILIENT INSERT DISKS OF PROPELLER SHAFT BLOCK

Object and purpose of research. The object of research is a propeller shaft block (PSB). The purpose of study is development of vibration absorbers to reduce the resonance vibration levels for resilient insert disks of propeller shaft block (PSB).

Materials and methods. Measurement of vibration spectrum of resilient insert disks with and without vibration absorbers. The efficiency of vibration absorbers is assessed as a difference between vibration levels with and without vibration absorbers.

Main results. Mounting of vibration absorbers leads to attenuation of peak resonance levels in vibration spectra of the disk.

Conclusion. The feasibility of significant resonance attenuation of resilient insert disks in propeller shaft blocks are shown by mounting small size vibration absorbers giving a large loss of oscillatory power.

Keywords: propeller shaft block, resilient disks, damping, vibration, resonance frequencies.
The authors declare no conflicts of interest.

Введение

Introduction

По результатам вибрационных испытаний элементов валопровода одного из кораблей отмечено возможное влияние резонансных колебаний дисков упругих вставок блока гребного вала (БГВ), имею-

щих малые значения коэффициента потерь, на повышенные уровни вибраций и шума.

Предложены рекомендации по вибродемпфированию БГВ путем установки на диски накладок из вибропоглощающего материала или выполнения в дисках отверстий для увеличения вязких потерь при перетекании воды. Однако указанные

Для цитирования: Кирпичников В.Ю., Савенко В.В., Смольников В.Ю., Яковлева Е.В. Уменьшение резонансных колебаний дисков упругих вставок блока гребного вала. Труды Крыловского государственного научного центра. 2022; 2(400): 153–157.

For citations: Kirpichnikov V.Yu., Savenko V.V., Smolnikov V.Yu., Yakovleva E.V. Attenuation of resonance oscillations in resilient insert disks of propeller shaft block. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2022; 2(400): 153–157 (in Russian).

накладки значительно увеличивают весогабаритные характеристики БГВ, а отверстия в дисках уменьшают их жесткость.

В настоящей статье приведены результаты выполненных авторами расчетно-экспериментальных исследований по вибродемпфированию дисков БГВ с помощью компактных резонирующих пластинчатых вибропоглотителей (РПВ).

Экспериментальные исследования на макете блока гребного вала

Experimental studies on propeller shaft block model

Вибрационные испытания проводились с использованием макета БГВ, изготовленного из стали и включающего диски упругих вставок. Эскиз и фото макета БГВ приведены на рис. 1 и 2 соответственно. Макет состоит из двух упругих вставок, соединенных втулкой (фланцем). Кормовая упругая вставка закреплена на кормовом, а носовая – на носовом участках валопровода. Каждая упругая вставка состоит из двух дисков, внешние торцы которых соединены промежуточным кольцом. Внешний и внутренний диаметры упругих дисков – 0,215 и 0,075 м, толщина – 10^{-3} м.

На начальном этапе работы были проведены измерения вибрационных параметров упругого диска при нахождении макета БГВ в воздухе. Внешний диск макета БГВ последовательно возбуждался в точках 1–8 (рис. 2) вибромолотком с датчиком силы. Измерения уровней вибрации A

нормированной силой F производились вблизи точки 1.

Усредненный по всем точкам возбуждения узкополосный частотный ($\Delta f = 0,5$ Гц) спектр нормированной вибрации A/F , в дБ относительно 10^{-6} м/с²Н, диска БГВ приведен на рис. 3 (кривая 1). Наибольшие уровни вибрации зарегистрированы на резонансных частотах 786, 1628 и 3122 Гц. В соответствии с результатами измерения вибрации диска БГВ в 16 точках по окружности его колебания на указанных резонансных частотах совершаются на четырех-, шести- и восьмиузловых формах (рис. 4). Значения коэффициента потерь колебательной энергии диска в составе макета БГВ на частотах 786, 1628 и 3122 Гц оказались равными $2 \cdot 10^{-3}$, 10^{-2} и $4 \cdot 10^{-3}$ соответственно.

Для снижения уровней вибрации и шума на частотах резонансных колебаний дисков упругих вставок БГВ разработаны варианты резонансного поглотителя вибрации [1, 2].

При нахождении макета БГВ в воздухе определена эффективность следующих вариантов резонирующих пластинчатых вибропоглотителей:

1. РПВ в виде стального армирующего кольца с диссипативным слоем из полимерной пленки типа ВПС между кольцом и диском; внешний и внутренний диаметры кольца – 0,158 и 0,133 м, толщина кольца – $0,18 \cdot 10^{-3}$ м; толщина пленки – $0,5 \cdot 10^{-3}$ м (рис. 5);
2. РПВ в виде того же кольца с указанным диссипативным слоем, разрезанного по радиусам на 19 одинаковых элементов с размером по окружности $\sim 2 \cdot 10^{-2}$ м (рис. 6);

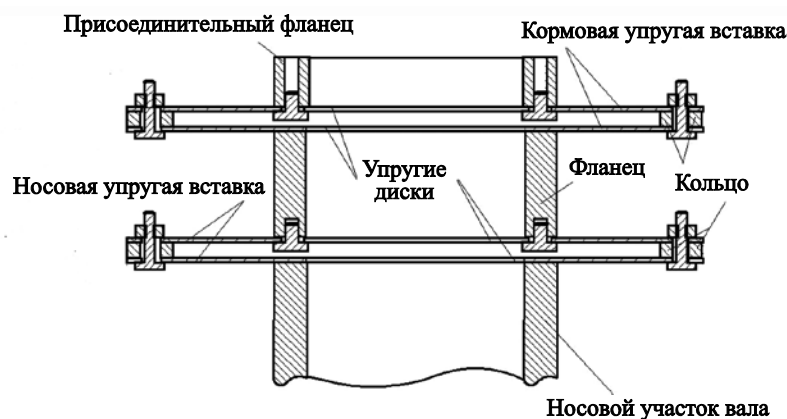


Рис. 1. Эскиз макета блока гребного вала с упругими вставками в виде дисков (продольный разрез)

Fig. 1. Drawing of propeller shaft block model with resilient insert disks (profile)

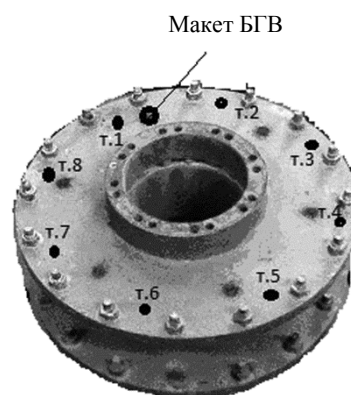


Рис. 2. Макет блока гребного вала (т. 1 – т. 8 – точки возбуждения вибрации)

Fig. 2. Model of propeller shaft block (p. 1 – p. 8 – points of vibration excitation)

Рис. 3. Спектры вибраций диска блока гребного вала в воздухе без демпфирования (1) и при установке вариантов: вариант 1 – (2), вариант 2 – (3), вариант 3 – (4)

Fig. 3. Vibration spectra of propeller shaft block disks in air without damping (1) and damping options: option 1 – (2), option 2 – (3), option 3 – (4)

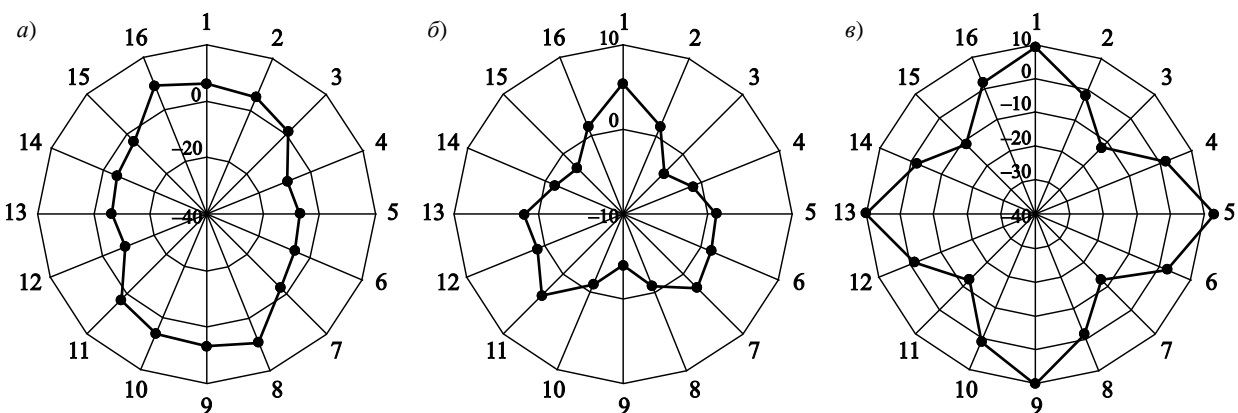
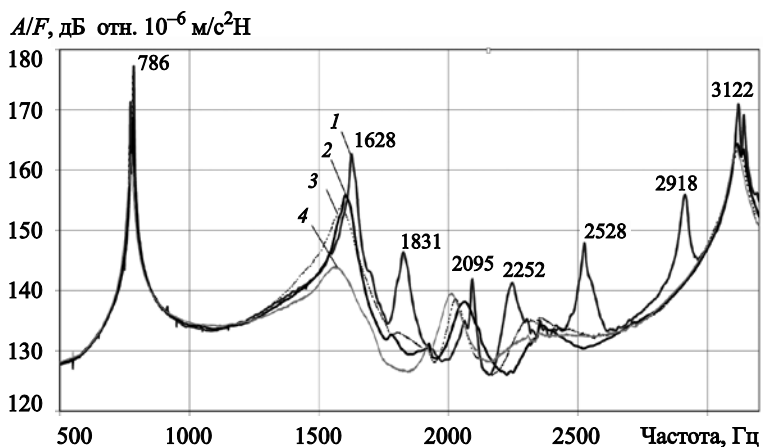


Рис. 4. Формы колебаний диска блока гребного вала, определенные по результатам измерения вибрации по окружности диска на различных резонансных частотах: а) 786 Гц; б) 1628 Гц; в) 3122 Гц

Fig. 4. Mode shapes of propeller shaft block disks determined from vibration measurements over disk circle at various resonance frequencies: a) 786 Hz; b) 1628 Hz; c) 3122 Hz

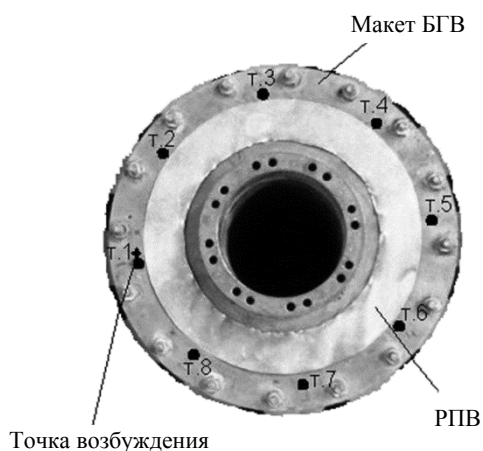


Рис. 5. Расположение резонирующего пластинчатого вибропоглотителя (вариант 1), точек возбуждения и измерения вибрации диска макета блока гребного вала

Fig. 5. Location of resonance vibration absorbers (option 1), vibration excitation points on the propeller shaft block model disk

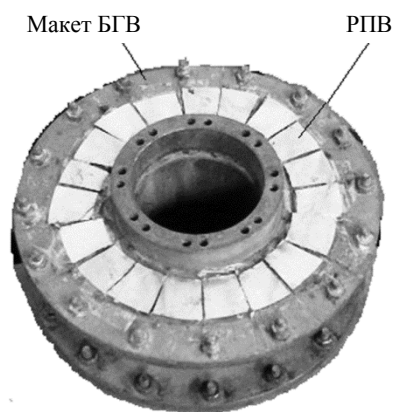


Рис. 6. Расположение резонирующего пластинчатого вибропоглотителя (вариант 2) в виде кольца, разрезанного на 19 секторов, на диске блока гребного вала

Fig. 6. Location of resonance vibration absorbers (option 2) as a ring cut in 19 sectors

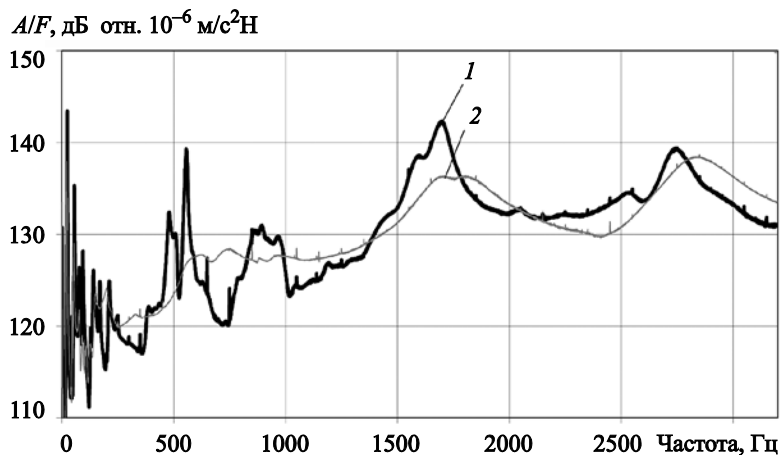


Рис. 7. Спектры вибраций диска блока гребного вала в воде без демпфирования (1) и при установке резонирующего пластинчатого вибропоглотителя по варианту 3 (2)

Fig. 7. Vibration spectra of propeller shaft block disks in water without damping (1) and damping option 3 (2)

3. РПВ в виде варианта 2, на который сверху дополнительно установлен кольцевой РПВ, выполненный в виде варианта 1.

Масса вариантов 1, 2 и 3 РПВ, отнесенная к массе упругой вставки, составляла 1,9, 1,9 и 3,8 %. Размеры стального кольца выбирались с учетом возможности его размещения на диске БГВ и минимизации массы.

Низшая резонансная частота изгибных колебаний кольца РПВ согласно выполненным расчетам составляла около 30 Гц. Резонансные изгибные колебания кольца с полуволновой формой в направлении его ширины (радиальный размер ℓ), при которых ожидалась повышенная (больше 6 дБ) эффективность вариантов 1 и 3 РПВ, прогнозировались согласно расчетам в диапазоне от 700 до 1500 Гц. При расчете указанной резонансной частоты, например, по формуле $f_p = 10^4 h / \lambda_{изг}^2$, где h – толщина кольца, $\lambda_{изг}$ – длина изгибной волны в кольце, имеем $f_p = 1125$ Гц, при $h = 0,18 \cdot 10^{-3}$ м, $\lambda_{изг} = 2\ell = 4 \cdot 10^{-2}$ м.

Согласно расчету, выполненному с использованием метода конечных элементов, резонансные частоты отдельного пластинчатого элемента, на которые разрезано кольцо, составляют 1232, 1672, 2292 и 2953 Гц. Анализ форм колебаний элемента показал, что резонансные колебания с низшей изгибной формой возникают на частоте 1672 Гц.

Последовательная установка вариантов РПВ на внешний диск кормовой упругой вставки (рис. 5, 6) привела к следующему уменьшению уровней резонансных максимумов на частотах 786, 1628, 3122 Гц (рис. 3):

- вариант 1 – на 9, 7 и 7 дБ;
- вариант 2 – на 2, 9 и 7 дБ;
- вариант 3 – на 14, 19 и 7 дБ соответственно.

Эффект существенного уменьшения уровней вибрации диска при установке РПВ наблюдался и на большинстве других резонансных частот его колебаний.

Как и ожидалось, варианты 2 и 3 РПВ имели повышенную эффективность на резонансной частоте 1628 Гц колебаний диска, близкой к резонансной частоте элемента кольцевого РПВ с низшей изгибной формой его колебаний.

Установка варианта 3 РПВ на второй диск кормовой упругой вставки привела к дополнительному уменьшению уровней вибрации возбуждаемого диска на резонансных частотах 786, 1628 и 3122 Гц на 4, 5 и 9 дБ соответственно. Значения коэффициента потерь колебательной энергии при этом на указанных частотах составили 0,017, 0,19 и 0,026, т.е. возросли в сравнении с их исходными значениями при отсутствии РПВ в 8,5, 19 и 6,5 раза соответственно.

Помимо измерений вибраций дисков БГВ в воздухе эффективность варианта 3 РПВ, установленного на обоих дисках кормовой упругой вставки, определялась также при нахождении макета БГВ в воде. Расстояние от поверхности воды до внешнего диска составляло 0,1 м. Уровни наибольшей вибрации внешнего диска на низших резонансных частотах 558, 1703 и 2840 Гц его колебаний в воде уменьшились на 13, 7 и 2 дБ соответственно (рис. 7).

Заключение

Conclusion

Полученные в работе результаты, с учетом масштаба моделирования, свидетельствуют о целесообразности использования разработанных малога-

баритных резонансных поглотителей вибрации для уменьшения резонансных колебаний дисков блока гребного вала с целью снижения уровней вибрации и шума.

Список использованной литературы

1. *Кирпичников В.Ю.* Вред и польза резонансных явлений в элементах судовых конструкций. Санкт-Петербург : Крыловский гос. науч. центр, 2019. 176 с.
2. *Кирпичников В.Ю., Сятковский А.И., Шлемов Ю.Ф.* Высокоэффективные средства низкочастотного вибродемпфирования с упругим элементом из полимерной пленки // Судостроение. 2020. № 1. С. 44–47.

References

1. *Kirpichnikov V.Yu.* Harm and benefit of resonance phenomena in ship structure elements. St. Petersburg : Krylov State Research Centre, 2019. 176 p. (*in Russian*).
2. *Kirpichnikov V.Yu., Syatkovsky A.I., Shlemov Yu.F.* Highly efficient low frequency vibration damping with an elastic polymer film element // Sudostroenie. 2020. No. 1. P. 44–47 (*in Russian*).

Сведения об авторах

Кирпичников Валерий Юлианович, д.т.н., профессор, главный научный сотрудник ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: +7 (812) 415-48-01. E-mail: krylov@krylov.spb.ru.

Савенко Валентин Викторович, к.т.н., старший научный сотрудник, заместитель начальника лаборатории

ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: +7 (812) 415-49-85. E-mail: krylov@krylov.spb.ru.

Смольников Василий Юрьевич, ведущий инженер ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: +7 (812) 415-48-01. E-mail: krylov@krylov.spb.ru.

Яковлева Елена Владимировна, инженер 1-й категории ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: +7 (812) 415-48-01. E-mail: krylov@krylov.spb.ru.

About the authors

Valery Yu. Kirpichnikov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoe sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (812) 415-48-01. E-mail: krylov@krylov.spb.ru.

Valentin V. Savenko, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Deputy Head of Laboratory, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoe sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (812) 415-49-85. E-mail: krylov@krylov.spb.ru.

Vasiliy Yu. Smolnikov, Lead Engineer, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoe sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (812) 415-48-01. E-mail: krylov@krylov.spb.ru.

Elena V. Yakovleva, 1st Category Engineer, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoe sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (812) 415-48-01. E-mail: krylov@krylov.spb.ru.

Поступила / Received: 27.12.21
Принята в печать / Accepted: 04.05.22
© Коллектив авторов, 2022