

СУДОСТРОЕНИЕ, СУДОРЕМОНТ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ФЛОТА

DOI: 10.24143/2073-1574-2020-2-7-14
УДК [621.431.74:621.436.038]:658.58

ПРИМЕНЕНИЕ БЕЗРАЗБОРНОЙ ДИАГНОСТИКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕДУКТОРА ТУРБОЗУБЧАТОГО АГРЕГАТА ЛИХТЕРОВОЗА «СЕВМОРПУТЬ»

К. О. Сергеев, Т. П. Волкова

*Мурманский государственный технический университет,
Мурманск, Российская Федерация*

Рассматриваются результаты безразборной диагностики редуктора главного турбозубчатого агрегата лихтеровоза «Севморпуть». Приводятся основные характеристики и краткое описание конструкции редуктора главного турбозубчатого агрегата. Проиллюстрирована конструктивная схема главного турбозубчатого агрегата проекта 684 ОМ5. Обосновываются методы, которые могут применяться для безразборной диагностики главного турбозубчатого агрегата: контроль уровней вибрации на корпусах подшипников и сравнение их с результатами предыдущего замера, сравнение третьоктавных спектров виброскорости в полосе частот до 500 Гц между потоками мощности бортов и с нормами Российского морского регистра судоходства, контроль температур подшипниковых узлов редуктора и др. Выбор метода безразборной диагностики редуктора главного турбозубчатого агрегата обуславливается особенностями его конструкции. Представлены результаты диагностики. Контроль вибрации проводился дважды: в 1995 г. на ходовых испытаниях, в 2006 г. во время рейса судна в порт Дудинка на штатных ходовых режимах. Отмечено, что разница уровней вибрации незначительная, разброс значений в 2006 г. даже меньше, чем в 1995 г. Изменения в значениях температур и уровней вибрации подшипниковых узлов при замере в 2006 г., по сравнению с замером 1995 г., обусловлены различными мощностными режимами. Главный турбозубчатый агрегат проекта 684 ОМ5 был допущен к дальнейшей эксплуатации после согласования результатов замера с изготовителем ПО «Кировский завод». Сделаны выводы о возможности определения технического состояния сложных объектов методами безразборной диагностики.

Ключевые слова: лихтеровоз, главный турбозубчатый агрегат, диагностика, вибрация, зубчатое зацепление, подшипники.

Для цитирования: *Сергеев К. О., Волкова Т. П.* Применение безразборной диагностики для определения технического состояния редуктора турбозубчатого агрегата лихтеровоза «Севморпуть» // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2020. № 2. С. 7–14. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-2-7-14.

Введение

Освоение арктического побережья России невозможно без использования Северного морского пути, соединяющего Баренцево море с Беринговым. Населенные пункты, расположенные на побережье Северного Ледовитого океана, и промышленные предприятия, имеющие выход к океану через реки Сибири, нуждаются в надежных транспортных средствах для завоза необходимых продуктов, материалов и вывоза готовой продукции. Одним из возможных вариантов транспортных арктических средств могут быть лихтеры – небольшие несамоходные баржи, которые транспортируются в устья рек специальным судном, а затем могут доставляться по рекам до пункта назначения.

Материалы и методы исследования

К лихтеровозу – судну, доставляющему лихтеры по Северному морскому пути до устья рек, – предъявляются жесткие требования: это должно быть судно ледового класса, имеющего большую вместимость.

Примером такого судна может быть лихтеровоз «Севморпуть» (рис. 1).



Рис. 1. Лихтеровоз «Севморпуть»

Лихтеровоз «Севморпуть» был построен на Керченском судостроительном заводе и предназначен для перевозки 74 единиц лихтеров типа ЛЭШ (370 т груза в каждом, размер: $18,75 \times 9,50 \times 4,30$ м). Лихтеры могут перевозиться в трюмах и на верхней палубе с погрузкой и выгрузкой их судовым лихтерным краном [1].

Лихтеровоз имеет атомную энергетическую установку с главным турбозубчатым агрегатом (ГТЗА) ПО «Кировский завод» проекта 684 ОМ5. Редуктор ГТЗА выполнен по уникальной восьмипоточной схеме, при которой поток мощности от каждой из двух паровых турбин раздваивается в первой ступени (рис. 2).

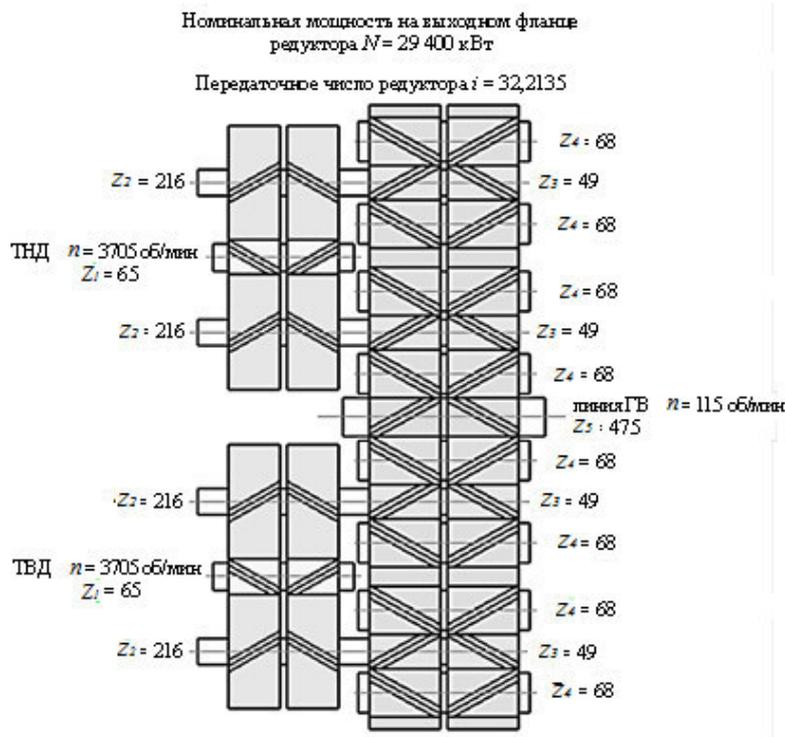


Рис. 2. Конструктивная схема ГТЗА 684 ОМ5:

ТНД – турбина низкого давления; ТВД – турбина высокого давления; ГВ – главный вал;
 z – количество зубьев шестерни; n – частота вращения

Во второй ступени происходит дальнейшее раздвоение каждого из потоков мощности через две паразитные шестерни, передающие крутящий момент от ведущих шестерен второй ступени на большое зубчатое колесо. Ведущие шестерни не имеют собственных подшипников и являются «плавающими», их положение определяется зубчатым зацеплением с паразитными шестернями [1].

Применение восьмипоточной схемы позволило спроектировать агрегат на удвоенную расчетную нагрузку. Для исключения повреждения зубчатых зацеплений при контакте гребного винта со льдом используются специальные торсионные валы. При ударе об лед из строя выходит легко заменяемый торсионный вал и не требуется замена дорогостоящих зубчатых колес и шестерен [1].

Выбор метода безразборной диагностики редуктора ГТЗА определялся уникальностью его конструкции. Российский морской регистр судоходства (РМРС) в части VII «Механические установки» содержит нормы вибрации для определения технического состояния ГТЗА (третьоктавный спектр виброскорости в диапазоне до 500 Гц) [2]. Но учитывая особенности конструкции, использование указанных норм представлялось недостаточным для определения технического состояния и выявления возможных дефектов. Поэтому для определения технического состояния редуктора ГТЗА проекта 684 OM5 использовались следующие методы [3–5]:

- контроль уровней вибрации (виброскорость, среднее квадратичное значение (СКЗ), общий уровень) на корпусах подшипников и сравнение их с результатами предыдущего базового замера в 1995 г.;
- сравнение третьоктавных спектров виброскорости в полосе частот до 500 Гц между потоками мощности левого и правого бортов и с нормой РМРС для ГТЗА;
- сравнение третьоктавных спектров виброускорения в полосе частот до 5 кГц между потоками мощности левого и правого бортов и сравнение с их общетехнической нормой TS;
- контроль температур подшипниковых узлов редуктора;
- анализ спектров огибающей высокочастотной компоненты вибрации подшипниковых узлов для контроля технического состояния подшипников и зубчатого зацепления.

Контроль вибрации для базового замера в 1995 г. проводился на ходовых испытаниях, а в 2006 г. – во время рейса судна в порт Дудинка на штатных ходовых режимах.

Результаты исследования

Уровни вибрации, полученные при замере в 2006 г. (общий уровень виброскорости, СКЗ), несколько больше уровней базового замера, проведенного в 1995 г., но разница уровней не превышает 4,5 мм/с (среднее значение – около 1,5 мм/с), а разброс значений около среднего в 2006 г. даже меньше (табл.).

Результаты замеров уровня вибрации и температур на подшипниковых узлах ГТЗА

Точка контроля	Уровень вибрации I _в , мм/с		Температура t, °С		ΔI _в , мм/с	Δt, °С
	1995 г.	2006 г.	1995 г.	2006 г.		
1	1,5	3,5	49	58	2	9
2	1,6	3,5	48	56	1,9	8
3	3	7,5	50	56	4,5	6
4	2,8	4,5	51	58	1,7	7
5	2,4	4,5	50	69	2,1	19
6	2,4	4,5	54	64	2,1	10
7	2,8	4	54	63	1,2	9
8	2,2	3,5	46	61	1,3	15
9	1,2	3,5	46	60	2,3	14
10	2,4	4	58	70	1,6	12
11	1,6	3	53	70	1,4	17
12	2,6	4,5	51	58	1,9	7
13	4	4,6	51	60	0,6	9
14	4	5,5	48	56	1,5	8
15	2,6	3,1	50	58	0,5	8
16	4,8	2,8	54	64	-2	10
17	2,8	4	51	61	1,2	10
18	5,5	5	48	56	-0,5	8
19	4	5	51	60	1	9
20	1,4	2,5	56	62	1,1	6
21	1,2	3,5	46	59	2,3	13

Окончание табл.

Точка контроля	Уровень вибрации V_b , мм/с		Температура t , °C		ΔV_b , мм/с	Δt , °C
	1995 г.	2006 г.	1995 г.	2006 г.		
22	2	4,5	52	65	2,5	13
23	3,6	4	53	66	0,4	13
24	2,4	4	52	64	1,6	12
25	1,4	3	47	56	1,6	9
26	1,1	2,8	50	60	1,7	10
27	1,6	2,8	57	68	1,2	11
28	1,3	3,5	55	66	2,2	11
Дисперсия	1,33	1,07	10,7	19,7	–	–

Максимальное значение виброскорости зафиксировано на подшипнике редуктора левого борта. Максимальное значение температуры подшипников редуктора – 70 °C. Замер в 2006 г. проводился на другом мощностном режиме, чем и объясняются большие значения температур и уровней вибрации подшипниковых узлов.

Разница в уровнях вибрации между потоками мощности редуктора незначительна, а абсолютные значения не превосходят нормы РМРС категории «А» (состояние при вводе в эксплуатацию) (рис. 3).

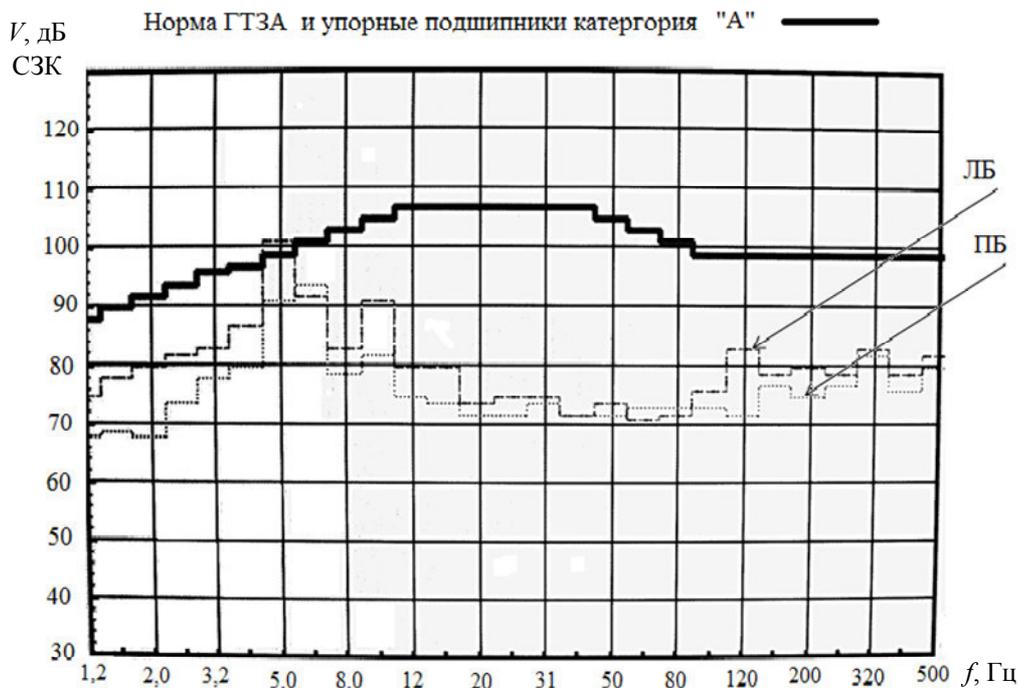


Рис. 3. Спектры виброскорости по потокам мощности второй ступени левого борта (ЛБ) и правого борта (ПБ) (см. нормы РМРС категории «А»)

На всех точках контроля максимальное значение уровня виброскорости отмечается в частотной полосе, соответствующей лопастной частоте гребного винта. Некоторое превышение над нормой объясняется близостью полосы частот к нижней границе динамического диапазона применяемой аппаратуры.

Сравнение трехтактных спектров в полосе частот до 5 кГц подтвердило, что вибрация редуктора в полосах частот, соответствующих частотам зубчатого зацепления, не превышает общетехническую норму TS 4730-0005, но отмечается разница между потоками левого и правого бортов, при этом уровни на левом борту несколько больше (рис. 4, 5).

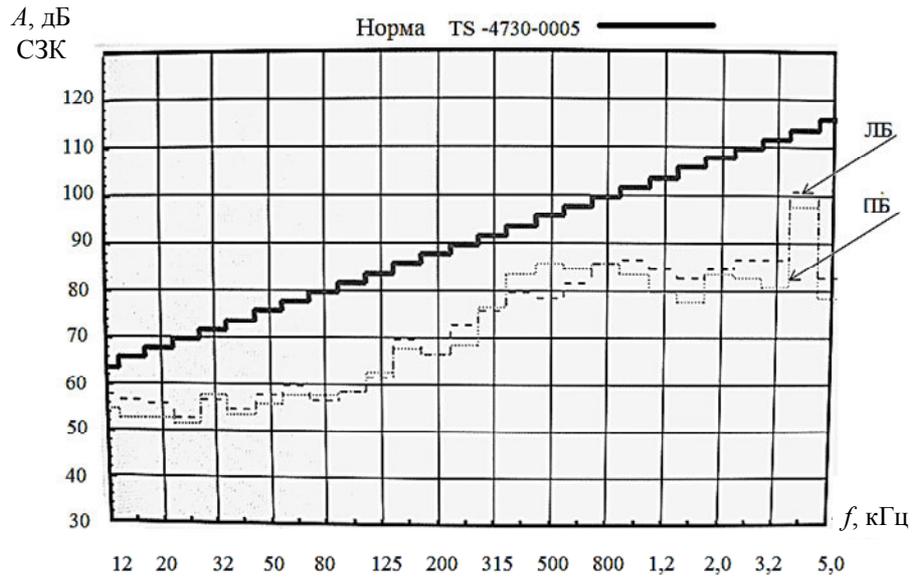


Рис. 4. Спектры виброускорения по потокам мощности первой ступени ЛБ и ПБ (см. общетехническую норму TS 4730-0005)

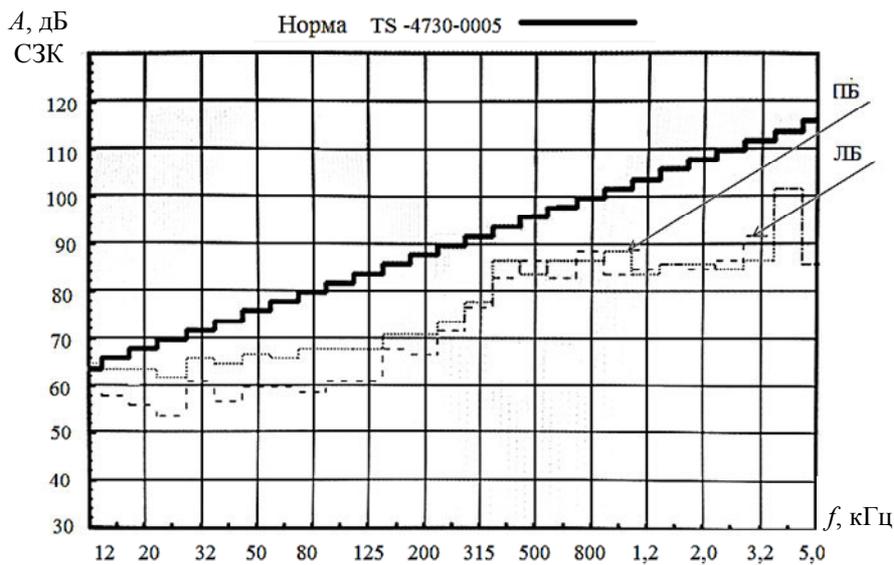


Рис. 5. Спектры виброускорения по потокам мощности второй ступени ЛБ и ПБ (см. общетехническую норму TS 4730-0005)

Для определения причин более высокой вибрации на подшипниках левого борта был проведен анализ спектра огибающей высокочастотной компоненты вибрации в полосе зубчатых частот первой ступени. Анализ подтвердил, что увеличение уровня вибрации вызвано модуляцией зубцовой частоты первой ступени частотами вращения и их высшими гармониками (на ведущей шестерне выявлена гармоника частоты вращения, а на зубчатом колесе – еще и ее высшие гармоники). К аналогичному выводу приводит и изучение спектра огибающей высокочастотной компоненты вибрации (виброускорения) в полосе 6–8 кГц на точках левого борта редуктора.

Огибающая модулирована частотами вращения (и их высшими гармониками) зубчатых колес и шестерен (рис. 6).

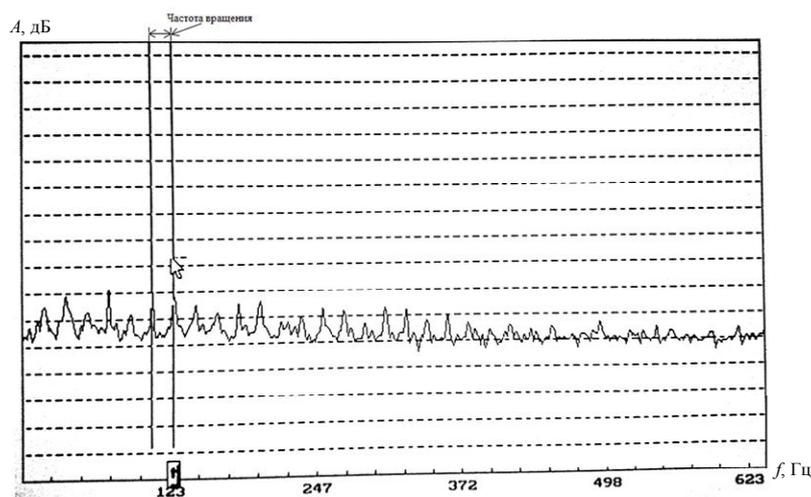


Рис. 6. Спектр огибающей на контрольных точках левого борта редуктора

Причиной указанной модуляции мог быть износ в зубчатом зацеплении или в подшипниках потоков левого борта редуктора.

Для контроля состояния левого борта редуктора специалистами предприятия был выполнен осмотр шестерен, зубчатых колес и части подшипников. Осмотр и измерение зазоров в зацеплении левого борта не выявили значительных износов зубчатого зацепления и повышенных износов подшипников. Результаты замера были согласованы с изготовителем ГТЗА ПО «Кировский завод», после чего ГТЗА проекта 684 ОМ5 был допущен к дальнейшей эксплуатации.

Заключение

Проведенная в 2006 г. диагностика редуктора ГТЗА проекта 684 ОМ5 позволила продлить класс судна Российским морским регистром судоходства без полной разборки агрегата, что существенно снизило затраты на проведение очередного освидетельствования судна.

После модернизации в 2016 г. лихтеровоз «Севморпуть» был введен в действие и безаварийно эксплуатируется до настоящего времени. Оба этих факта подтверждают правильность, достоверность и надежность выбранных методов безразборной диагностики в определении и прогнозировании возможных дефектов механизма (разрушение подшипников, дефекты зубчатых зацеплений, смещений и т. д.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лихтеровоз «Севморпуть» / Росатомфлот. URL: [http // rosatomflot.ru/index. php?menuid](http://rosatomflot.ru/index.php?menuid) / (дата обращения: 28.02.2020).
2. НД:2-020101-114. Правила классификации и постройки морских судов. Ч. VII. Механические установки. СПб.: Изд-во РМРС, 2019. 81 с.
3. Голуб Е. С., Мадорский Е. З., Розенберг Г. Ш. Диагностирование судовых технических средств: справ. М.: Транспорт, 1993. 150 с.
4. Жуков А. С., Сергеев К. О. Проблемы перевода редукторов дизель-редукторных агрегатов на ремонт по состоянию // Эксплуатация мор. трансп. 2012. № 4 (7). С. 45–50.
5. Scheffer C., Girdhar P. Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance. Copyright, IDC Technologies, 2004. 272 p.

Статья поступила в редакцию 12.03.2020

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сергеев Константин Олегович – Россия, 183010, Мурманск; Мурманский государственный технический университет; канд. техн. наук, доцент; доцент кафедры судовых энергетических установок; keprstr@rambler.ru.

Волкова Татьяна Павловна – Россия, 183010, Мурманск; Мурманский государственный технический университет; канд. филос. наук, доцент; доцент кафедры иностранных языков; tvolkovaus@yandex.ru.



APPLICATION OF DIAGNOSTICS-IN-PLACE FOR DETERMINING TECHNICAL CONDITION OF TURBO-GEAR UNIT REDUCTION GEAR OF SEVMORPUT LASH CARRIER

K. O. Sergeev, T. P. Volkova

*Murmansk State Technical University,
Murmansk, Russian Federation*

Abstract. The article discusses the results of diagnostics-in-place of the reduction gear of the main turbo-gear unit (MTGU) of the Sevmorput LASH carrier. The main characteristics and a brief description of the MTGU design are given. The constructive arrangement of the MTGU project 684 OM5 has been illustrated. There are substantiated the methods that can be used for diagnostics-in-place of the turbo-gear units: monitoring vibration levels on bearing housings and comparing them with the results of the previous measurement, comparing the third-octave vibration velocity spectra in the frequency band up to 500 Hz between the power flows of the sides and with the norms of the Russian Maritime Register of Shipping, monitoring the temperature of the bearing assemblies of the gearbox, etc. Choosing the in-situ diagnosis method for the MTGU is determined by the specific features of its design. The diagnostics results are provided. Vibration control was carried out twice: in 1995, on sea trials, and in 2006, during a ship's voyage to the port of Dudinka under normal running conditions. It was noted that the difference in vibration levels is insignificant; the scatter of values in 2006 appears smaller than in 1995. Changes in the values of temperatures and vibration levels of bearing assemblies during measurement in 2006 were caused by different power modes, compared to measurement made in 1995. The MTGU project 684 OM5 has been approved for further operation after agreeing on the measurement results with the manufacturer of Kirovsky Zavod Production Association. It has been inferred that determining the technical condition of such complex objects by methods of diagnostics-in-place is possible.

Key words: LASH carrier, main turbo-gear unit (MTGU), diagnostics, vibration, gearing, bearings.

For citation: Sergeev K. O., Volkova T. P. Application of diagnostics-in-place for determining technical condition of turbo-gear unit reduction gear of Sevmorput LASH carrier. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2020;2:7-14. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2020-2-7-14.

REFERENCES

1. *Lihterovoz «Sevmorput'»* [Sevmorput LASH carrier]. Rosatomflot. Available at: [http // rosatomflot.ru/index. php?menuid /](http://rosatomflot.ru/index.php?menuid/) (accessed: 28.02.2020).
2. ND:2-020101-114. *Pravila klassifikacii i postrojki morskikh sudov. Part VII. Mekhanicheskie ustanovki* [ND: 2-020101-114. Rules for ship classification and construction. Part VII. Mechanical units]. Saint-Petersburg, Izd-vo RMRS, 2019. 81 p.
3. Golub E. S., Madorskij E. Z., Rozenberg G. Sh. *Diagnostirovanie sudovykh tekhnicheskikh sredstv: spravochnik* [Diagnostics of ship technical equipment: reference book]. Moscow, Transport Publ., 1993. 150 p.
4. Zhukov A. S., Sergeev K. O. Problemy perevoda reduktorov dizel'-reduktornykh agregatov na remont po sostoyaniyu [Problems of transferring gearboxes of diesel gear units for overhaul]. *Ekspluatatsiya morskogo transporta*, 2012, no. 4 (7), pp. 45-50.
5. Scheffer C., Girdhar P. *Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance*. Copyright, IDC Technologies, 2004. 272 p.

The article submitted to the editors 12.03.2020

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergeev Konstantin Olegovich – Russia, 183010, Murmansk; Murmansk State Technical University; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Marine Power Plants; kepstr@rambler.ru.

Volkova Tatiana Pavlovna – Russia, 183010, Murmansk; Murmansk State Technical University; Candidate of Philosophical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Foreign Languages; tvolkovaus@yandex.ru.

