

Научная статья

УДК 629.5.00

DOI: <https://doi.org/10.37220/MIT.2024.64.2.012>

Анализ вибрационных параметров винторулевых колонок фирмы Schottel марки SRP 300/226 морского буксира

Герасиди В.В.¹ gerasidi@rambler.ru, Лисаченко А.В.¹ alexx.liss@yandex.ru,
Модина М.А.¹ marishamodina@yandex.ru

¹Государственный морской университет имени Ф.Ф. Ушакова

Аннотация. В работе представлены вибрационные и теплотехнические испытания судовых главных винторулевых колонок различного технического состояния, выполненные на характерных режимах в эксплуатации и в условиях сухого дока. Достоинством контроля состояния по сигналам вибрации является не только возможность получения информации о предполагаемом отказе машины к определенному моменту времени, но и планирования мер по предотвращению этого отказа. В основу анализа входило рассмотрение критериев оценки параметров вибрации элементов главных винторулевых колонок и выявление неисправности, влияющей на повышения температуры масла и самопроизвольного поворота одной из колонки морского буксира. Выполненные исследования позволили выявить основные характерные частоты вибрации, влияющие на техническое состояние элементов главных винторулевых колонок морских буксиров. Приведенный пример измерения вибрации в условиях сухого дока доказал необходимость периодического применения безразборного вибрационного метода контроля для прогнозирования отказа или неисправности узлов подводных частей главных винторулевых колонок морских буксиров.

Проводимые исследования судовых энергетических установок, на основе применения безразборных методов диагностики морских судов в эксплуатации, лежат в основе системы управления автономных судов.

Ключевые слова: винторулевая колонка, анализ, вибрационные параметры, техническое состояние, неисправность, сухой док.

Благодарности: авторы выражают благодарность судовым компаниям Азово-Черноморского побережья за возможность проведения исследований технической эксплуатации двигателей фирмы "Caterpillar".

Для цитирования: Герасиди В.В., Лисаченко А.В., Модина М.А. Анализ вибрационных параметров винторулевых колонок фирмы Schottel марки SRP 300/226 морского буксира, Морские интеллектуальные технологии. 2024. № 2 часть 1, С. 97—106. DOI: 10.37220/MIT.2024.64.2.012

Original article

DOI: <https://doi.org/10.37220/MIT.2024.64.2.012>

Analysis of vibration parameters of Schottel screw steering columns of the SRP 300/226 marine tug

Viktor V. Gerasidi¹ gerasidi@rambler.ru, Aleksey V. Lisachenko¹ alexx.liss@yandex.ru,
Marina A. Modina¹ marishamodina@yandex.ru

¹Admiral Ushakov State Maritime University, Russian Federation

Abstract. The work presents vibration and thermal engineering tests of ship's main rotor columns of various technical conditions, performed under typical operating conditions and in dry dock conditions. The advantage of monitoring the condition by vibration signals is not only the possibility of obtaining information about the expected failure of the machine at a certain point in time, but also planning measures to prevent this failure. The analysis was based on the consideration of criteria for evaluating the vibration parameters of the elements of the main propeller columns and the identification of a malfunction affecting oil temperature increases and spontaneous rotation of one of the columns of a marine tugboat. The performed studies allowed us to identify the main characteristic vibration frequencies that affect the technical condition of the elements of the main propeller columns of marine tugs. The given example of vibration measurement in dry dock conditions proved the need for periodic use of a non-disassembled vibration control method to predict failure or malfunction of nodes of underwater parts of the main propeller columns of marine tugs.

The ongoing research of marine power plants, based on the application of non-selective methods of diagnostics of marine vessels in operation, is the basis of the control system of autonomous vessels.

Key words: screw steering column, analysis, vibration parameters, technical condition, malfunction, dry dock.

Acknowledgments: the authors express their gratitude to the ship companies of the Azov-Black Sea coast for the opportunity to conduct research on the technical operation of Caterpillar engines.

For citation: Viktor V. Gerasidi, Alexey V. Lisachenko, Marina A. Modina. Analysis of vibration parameters of Schottel screw steering columns of the SRP 300/226 marine tug, Marine intellectual technologies. 2024. № 2 part 1, P. 97—106. DOI: 10.37220/MIT.2024.64.2.012

Введение

В настоящее время, на морских судах в качестве движителей установлены главные

винторулевые колонки (ГВПК) различных фирм Schottel, Aqamaster, Roll Roys и т.д. По данным РМРС с 1993 года и по сей день на судах вспомогательного флота установлены различные типы движителей

(рисунок 1). Например, на морских буксирах Азово-черноморского побережья установлены около 62 единиц, большая часть из них наработала более 15 лет.

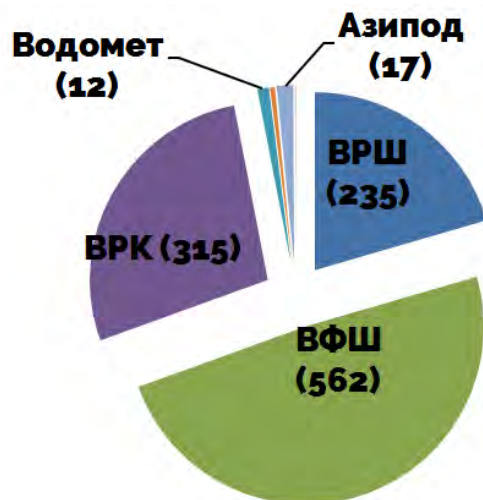


Рис. 1. Круговая гистограмма распределения типов движителей на судах под надзором РМРС с 1993 по 2023 гг.

Анализ технической эксплуатации показывает, что ГВРК имеют большие наработки, и в процессе технической эксплуатации происходят неисправности связанные с разрушением зубьев шестерни и подшипников вала зубчатой передачи [1-5].

На рисунке 2,3 представлены неисправности элементов ГВРК морских буксиров [2-5].

Анализ литературных источников показывает, что существуют научные работы, посвященные исследованиям и изучением механизма усталостного разрушения зубьев к которым относятся: плохая конструкция зубчатых колес, неправильная сборка или несоосность зубчатых колес, перегрузки, непреднамеренное повышение напряжения или поверхностные дефекты в критических зонах, а также использование неправильных материалов и термообработки [2-5].

В трудах [6,7] представлен опыт эксплуатации главных винторулевых колонок судов Азово-Черноморского побережья в течение 25 лет эксплуатации. Представлены отказы элементов ГВРК и разработаны методические аспекты теплотехнического, трибологического и вибрационного безразборного контроля в эксплуатации, которые вошли в основу требованиям инспектора РС [8]. В трудах [9,10] представлен анализ возможного применения современных технологий при эксплуатации судовых технических средств.

Применяя систему мониторинга, можно продлить период между разборками ГВРК для инспектора РС от 10 до 12,5 лет и, таким образом, сократить расходы судовладельца при проведении освидетельствований судна. Введение на судах системы мониторинга состояния СТС позволит судовладельцу сократить эксплуатационные расходы на ремонте СТС до 40%.

В связи с этим, разработка методики безразборного контроля элементов ГВРК морских судов является актуальной задачей.

Объектом исследования являются главные винторулевые колонки типа SRP 300/226 фирмы «Schottel» левого и правого борта морского буксира наработка, которых составила на момент исследования 40 тыс. часов. На ГВРК правого борта была выполнена полностью переборка, включая замену всех подшипников валов и проверкой зазоров в зубчатой передаче. На ГВРК левого борта, из действий по ремонту, в течение 20 лет эксплуатации, выполнялись только замена уплотнительных колец и масла по регламенту.

Методические аспекты экспериментального исследования

Фирмы-изготовители не приводят никаких данных о ресурсе деталей и узлов ГВРК и никак не нормируют показатели технического состояния, кроме рекомендаций о своевременной замене масла и уплотнений элементов ВРК через установленный гарантийный срок службы. Срок службы подшипников устанавливается по данным фирмы-изготовителя подшипников. Срок зубчатых пар фирмой-изготовителем не ограничивается. В процессе эксплуатации ВРК, фирма-изготовитель предусматривает контроль только за температурой смазочного масла и рекомендует проведение плановых осмотров и ремонтов.

Этот вид контроля дает возможность зафиксировать начальное техническое состояние ГВРК и отследить его изменение в процессе эксплуатации. Этот вид диагностики дает возможность обнаружить дефекты подвижных (вращающихся) элементов на этапе их зарождения и проследить за их развитием. На основе таких наблюдений (при условии их регулярности и периодичности) возможна оценка технического состояния ГВРК и прогнозирование состояния на определенный период эксплуатации.

Достоинствами вибрационного метода контроля является [6,7,11]:

- высокая оперативность получения результатов измерений (общая оценка технического состояния может занять от 30 минут до 1 часа непосредственно на борту судна);
- возможность определения места возникновения дефекта;
- возможность определения дефекта на этапе его возникновения, когда другими методами этого сделать невозможно;
- возможность наблюдения за развитием дефекта и недопущения достижения им критических величин и, как следствие, аварийного выхода ГВРК из строя;
- составление прогноза по изменению технического состояния на определенный период, что позволяет своевременно и качественно подготовиться к проведению ремонтных работ, сократить сроки и стоимость ремонта.
- сравнительно невысокая стоимость и мобильность приборного обеспечения методов;
- возможность получения данных о состоянии не только ВРК, но и связанных с ним механизмов, элементов корпуса и т.д.

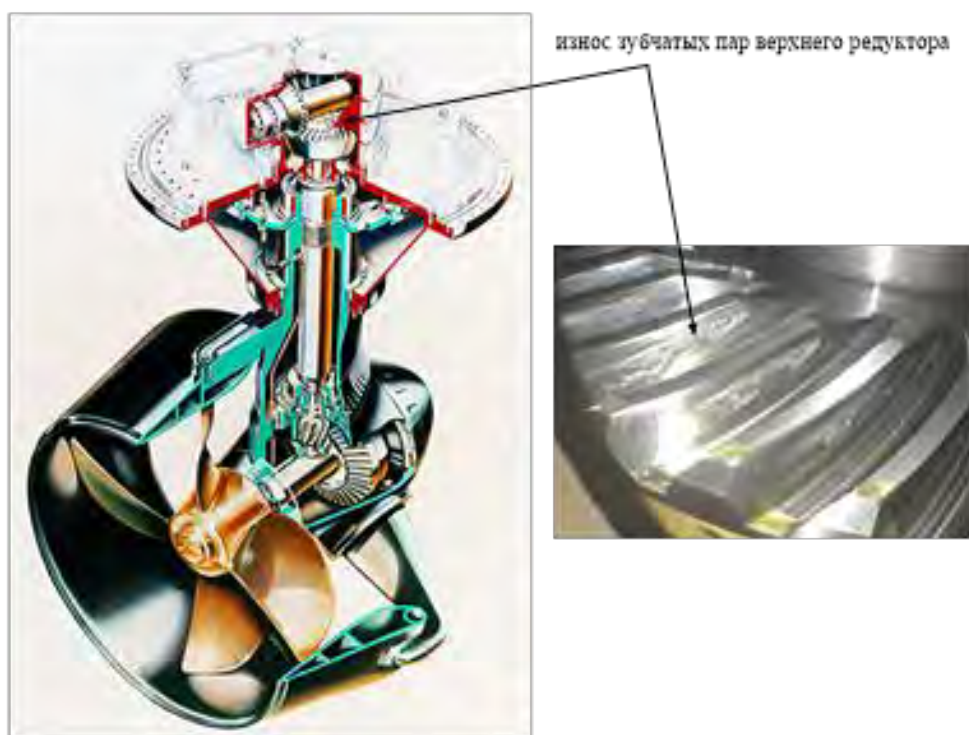


Рис. 2. Износ зубчатых пар верхнего редуктора ГВРК1 фирмы «Schottel»/«Siemens» морского парома [8]

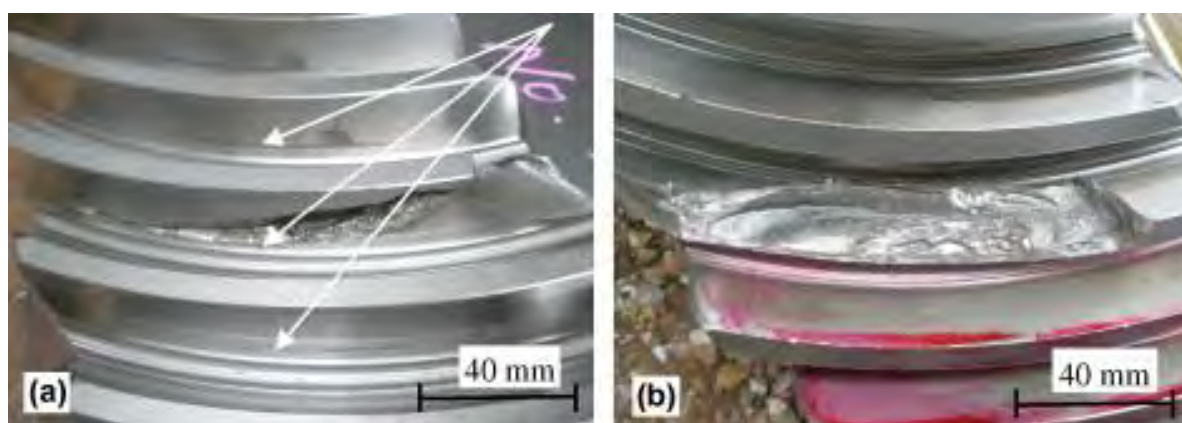


Рис. 3. Сломанное коническое зубчатое колесо ГВРК морского буксира [2-5]

По спектру вибрации можно определить ряд неисправностей как обще механических, так и специфических для редукторов и зубчатых

зацеплений. К неисправностям ГВРК морских судов относят [5,6,7,11]:

1. Расцентровка гребного вала и редуктора: проявляется наведенная вибрация на редуктор от гребного винта, связанная как с плохой центровкой, так и с качеством балансировки собственного гребного винта и его обтеканием потоком воды.

2. Неуравновешенность рабочих колес и шестерен появляется на частотах вращения рабочих колес и шестерен.

3. Износ или повреждения ведущей или ведомой шестерни или колеса: появлением боковых частот.

4. Повреждение подшипников, задевания, недостаточное крепление редуктора к фундаменту, изгиб и бой вала, неисправности муфты.

5. Повреждения маслоагрегата и его привода.

Методика экспериментального исследования вибрационных параметров ГВРК включает:

- расчет основных частот и параметров вибрации рабочих элементов;
- анализ значений параметров вибрации согласно нормативных документов.

В таблице 1 и на рисунке 4,5 представлены основные частоты вибрации рабочих элементов и места установки датчиков вибрации ГВРК типа SRP 300/226 фирмы «Schottel».

Контроль выполнен измерительными средствами:

– анализатор вибрации: Vibro Vision-2, заводской номер 029. Свидетельство об утверждении типа средств измерений С-ВЛК/25-10-2022/196921823 действительно до 24.10.2024;

– тепловизор фирмы Testo 872, Германия, Be su Testo, 2019, серийный номер 62090154. Протокол калибровки, 5137, 23.10.2019.

Критериями, принятыми для оценки вибрации контроля технического состояния, были выполнены

следующие виды обработки вибрационных сигналов в вертикальном (Z), осевом (X) и поперечном (Y) направлениях значения виброскорости v_0 . Пик на рабочих частотах элементов ГВРК и их гармонический ряд [12,13].

Основные причины появления гармоник и субгармоник на рабочих частотах механизма являются [11]:

– дисбаланс, вибрация неуравновешенного ротора;

– изгиб вала, несоосность валов;

– проворот подшипникового кольца на валу или в корпусе;

– наличие зазоров, повышенной податливости деталей и опор, иногда повышенная податливость, зазоры в узлах.

Из таблицы 1 видны основные характерные рабочие частоты и их значения для анализа вибрации элементов ГВРК морских буксиров на различных режимах эксплуатации. Из рисунка 4 видны основные элементы принципиальной схемы с указанием рабочих частот вибрации ГВРК. Например, на промежуточном валу находятся два подшипника, соединение верхнего и нижнего редукторов происходит через шлицевое соединение; движение колонки приводится от двигателя через приводной вал, на котором находятся два подшипника; а за разворот колонки отвечает приводной вал от гидромотора. Из рисунка 5 видно, что проведение экспериментальных исследований влияния параметров вибрации на техническое состояние элементов ГВРК морского буксира выполнялись в эксплуатации на различных режимах и в условиях сухого дока, вращения винта колонки осуществлялось на воздухе.

Таблица 1

Основные частоты вибрации рабочих элементов ГВРК типа SRP 300/226 фирмы «Schottel»

Рабочие частоты вибрации	Обозначение	Формула	Параметр	Режим работы ГД, мин ⁻¹		
				750	1100	1300
Основная частота вибрации ведущего вала, Гц		$f_o = n_o / 60$	v_{po}	12,50	18,33	21,67
Частота вибрации верхнего редуктора, Гц		$f_{ep} = f_o \cdot z_1$	v_{per}	225,00	330,00	390,00
Частота вибрации промежуточного вала, Гц		$f_{np} = n_g / (60 \cdot i_g)$	v_{npr}	9,33	13,68	16,17
Частота вибрации нижнего редуктора, Гц		$f_{nr} = f_{np} \cdot z_3$	v_{npr}	177,24	259,95	307,21
Частота вибрации вала винта, Гц		$f_{es} = n_g / (60 \cdot i_g \cdot i_n)$	v_{es}	4,66	6,84	8,08
Лопастная частота вибрации, Гц		$f_l = f_{es} \cdot Z_l$	v_{pl}	18,66	27,36	32,34
где: n_o – частота вращения двигателя, мин ⁻¹ ; $i_g=1,34$ – передаточное отношение верхнего редуктора; $i_n=2,0$ – передаточное отношение нижнего редуктора; $z_1=16$, $z_2=26$ – число зубьев шестерни и колеса верхнего редуктора; $z_3=19$, $z_4=38$ – число зубьев шестерни и колеса нижнего редуктора; $Z_l=4$ – число лопастей винта						

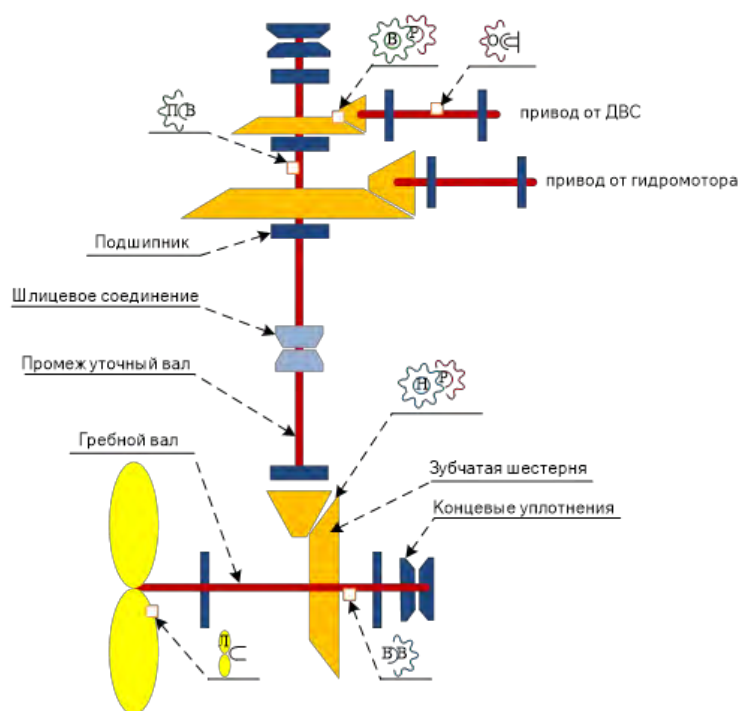


Рис. 4. Принципиальная схема с указанием рабочих частот вибрации элементов ГВРК

а)



б)



Рис. 5. Место установки датчиков вибрации на ГВРК типа SRP 300/226 фирмы «Schottel» правого и левого борта морского буксира в а) процессе эксплуатации; б) сухом доке

Результаты исследования

Ранее, в 2004 году, выполнялись измерения вибрации после переборки исследуемых ГВРК левого и правого борта морского буксира. Эти проводимые измерения были взяты для сравнительного анализа параметров вибрации в процессе эксплуатации ГВРК. В таблице 2

представлены вибрационные параметры, которые были выполнены в 2004 году до и после переборки колонок левого и правого борта. После 20 лет работы (наработка составила 25 тыс. часов), в 2024 году, на ГВРК правого борта был выполнен капитальный ремонт с заменой всех подшипников и инспекцией зубьев шестерен редукторов, а на ГВРК левого борта выполнялись работы только по замене масла.

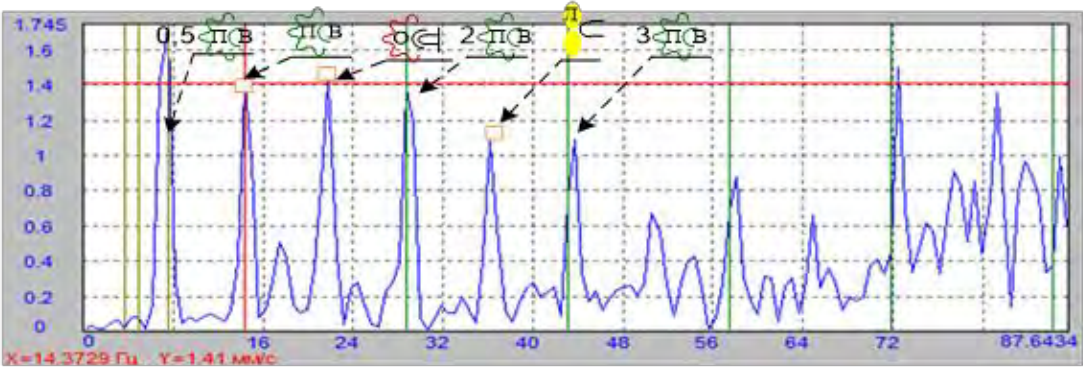
Таблица 2 – Параметры вибрации в точке 1у в поперечном направлении рабочих элементов ГВРК типа SRP 300/226 фирмы «Schottel», полученных после переборки в 2004 году и в настоящее время.

Таблица 2

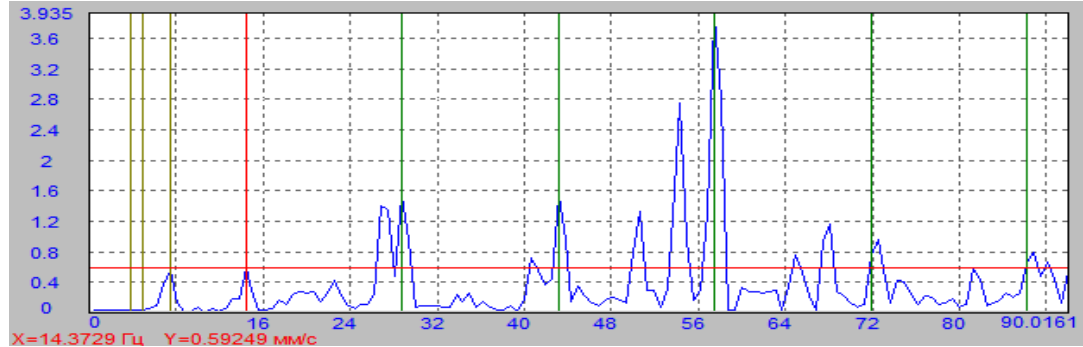
Параметры вибрации в точке 1у рабочих элементов ГВРК типа SRP 300/226 фирмы «Schottel» полученных после переборки в 2004 году и в настоящее время

Параметр вибрации	Режим работы ГД, мин ⁻¹															
	750					1100					1300 110					
	2004 (до и после переборки)		2024		2004(до и после переборки)		2024		2004(до и после переборки)		2024					
Правый борт																
v_{p0}	-	-	0,4		1,4 6	1,96	2,9		0,1	1,2	1,42					
$v_{pвр}$	-	-	0,5		2,1	2,9	2,8		0,1	0,74	1,9					
$v_{pпр}$	-	-	$0,5f_{опр}$	$f_{опр}$	0,2	0,55	$0,5f_{опр}$	$f_{опр}$	$2f_{опр}$	$3f_{опр}$	0,1	$0,5f_{опр}$	$f_{опр}$	$0,5f_{опр}$	$f_{опр}$	$2f_{опр}$
			1,4	0,3			1,4	1,1	2,7	0,9		1,1	1,7	1,4	1,3	1,1
$v_{pнр}$	-	-	0,2		0,1	0,1	0,5		0,1	0,2	0,4					
$v_{вв}$	-	-	0,3				0,4				0,65					
$v_{рл}$	-	-	$f_{ол}$	$f_{ол}$	$2f_{ол}$		2,7					$f_{ол}$	$2f_{ол}$	$3f_{ол}$		
			0,4	2,8								3, 5	0,9	1,3	0,9	
Левый борт																
v_{p0}	-	-	1,2		0,7 9	0,76	2,5		0,8 2	0,23	1,1					
$v_{pвр}$	-	-	0,4		0,8 9	0,2	1,4		0,7	0,3	1					
$v_{pпр}$	-	-	$0,5f_{опр}$	$f_{опр}$	0,4 2	0,32	0,8		0,4	0,3		$0,5f_{опр}$	$f_{опр}$	$2f_{опр}$	$3f_{опр}$	
			1,6	0,6								0,5	1, 5	1,5	3,7	
$v_{pнр}$	-	-	1,4		0,2	0,31	0,5		0,1	0,2	0,3					
$v_{вв}$	-	-	0,6				0,8				0,55					
$v_{рл}$	-	-	2,1				1,8					$f_{ол}$		$2f_{ол}$		
												1,4		2,7		

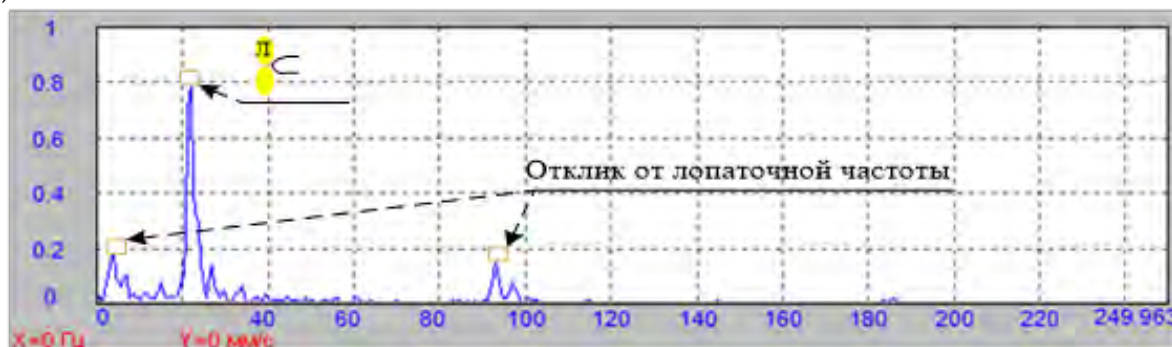
а)



б)



в)



а)

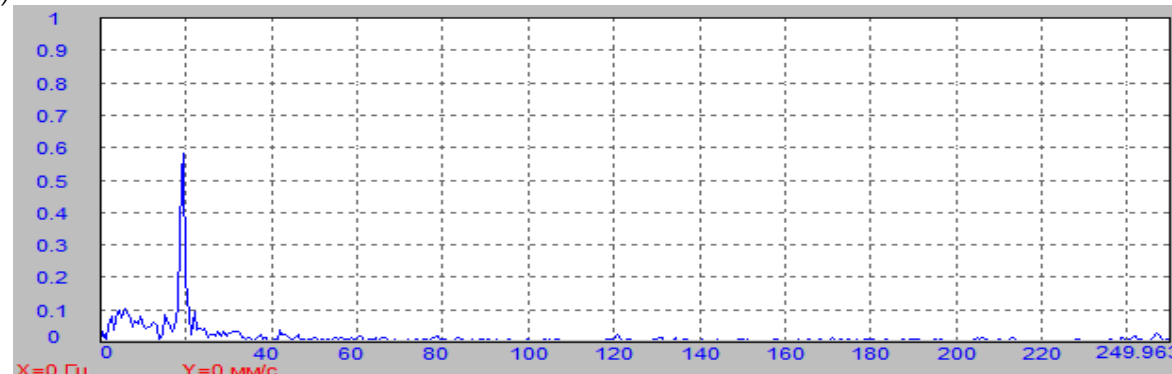


Рис. 6. Спектр виброскорости ГВРК

а,б) в точке 1У при нагрузке главного двигателя левого и правого борта 1300 мин^{-1} ; в,г) в точке 4У обороты главного двигателя в сухом доке

Из таблицы 2 видно, что

– в 2004 году: на режиме 750 мин^{-1} замеры не выполнялись, на остальных режимах уровни вибрации не имеют высоких значений, а максимальное составляет на частоте вращения ведущего вала двигателя. На повышенные значения виброскорости, по-видимому, влияет соединение двигателя с ГВРК карданными валами [7,8];

– в 2024 году: на всех режимах уровни вибрации не имеют высоких значений. Однако если провести анализ гармонических составляющих основных характерных частот ГВРК то видно, например, на режиме 1300 мин^{-1} на частоте промежуточного вала ГВРК обоих бортов, начиная с субгармоники до второй гармоники, составляют для: ГВРК правого борта – $1,7/1,4/1,3/1,1 \text{ мм/с}$ (рисунок 6,а); ГВРК левого борта $0,5/1,5/1,5/3,7 \text{ мм/с}$ (рисунок 6,б), это говорит о наличии несоосности и/или наличии увеличенных зазоров зацепления вала. Отличием значений между ГВРК левого и правого бортов является высокое значение субгармоники, которая показывает, наличие дефекта ГВРК правого борта, а у ГВРК левого борта - значения меньше, но

2-ая гармоника больше, это говорит только о начале развития дефекта.

– значения виброскорости на характерных режимах работы элементов ГВРК левого и правого борта, примерно, одинаковые и не превышают предельно-допустимых норм в соответствии [14,15].

Из рисунка 6в,г видно, что отличием спектров виброскорости правого и левого борта ГВРК являются увеличенные значения виброскорости на лопаточной частоте на ГВРК правого борта, а также появляются два пика на частоте нижнего редуктора и конструктивной низкой частоте. В соответствии [11], для судовых движителей влияет число лопастей гребного винта (3 и более), часто на этих частотах проявляется наведенная вибрация на редуктор от гребного винта, связанная как с плохой центровкой, так и с качеством балансировки собственного гребного винта и его обтекания потоком воды. Все это может приводить к повышенной температуре масла ГВРК в эксплуатации (рисунок 7). Из рисунка 7 видно, что температура масла ГВРК правого борта выше на 20°C по сравнению с ГВРК левого борта на частоте вращения 1300 мин^{-1} главного двигателя морского буксира.

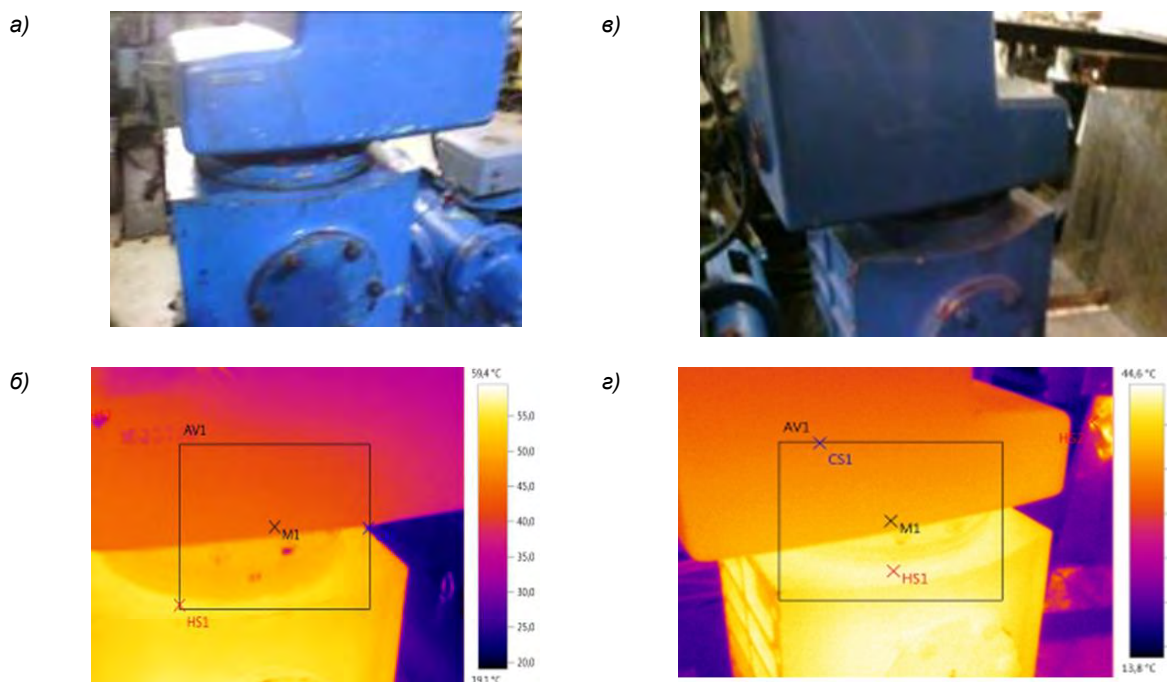


Рис. 7. Фото теплового рассеивания элементов ГВРК типа SRP 300/226 фирмы «Schottel»
а) правого борта; б) левого борта

Заключение

Анализ вибрационных параметров показывает, что значения виброскорости на характерных режимах работы элементов ГВРК левого и правого борта примерно одинаковые и не превышают предельно-допустимых норм в соответствии [14,15].

Выполненные экспериментальные исследования вибрации ГВРК в условиях сухого дока без обтекания забортной водой, показали отличие технического состояния подводной части элементов ГВРК, которые слабо себя проявляют в измерениях в обычных условиях работы в эксплуатации.

Значения параметров вибрации в узкополосном спектре с гармоническими характеристиками позволяют диагностировать признаки причин вибрации и нагрева масла ГВРК правого борта.

Рекомендации завода изготовителя фирмы «Schottel» по анализу параметров вибрации и их нормируемых значений в процессе эксплуатации ГВРК отсутствуют.

Полученные результаты исследования спектрального анализа и гармонического ряда параметров вибрации, на характерных рабочих частотах элементов ГВРК, являются хорошим дополнением существующей методики контроля [15].

Литература

1. P. J. L. Fernandes. Tooth bending fatigue failures in gears. Engineering Failure Analysis, Vol. 3, No. 3, pp. 219-225, 1996.
2. Marcelo R.F., Leonard R.K., Vaz L.A., Pinto L.V., Carlos A.R. Troyman R. Faults prevention for the gear coupling of the azimuth thruster L-drive through a study of shaft alignment measurements. Engineering Failure Analysis 152 (2023) 107504
3. M. Fonte, L. Reis, M. Freitas. Failure analysis of a gear wheel of a marine azimuth thruster. Engineering Failure Analysis. Volume 18, Issue 7, October 2011, Pages 1884-1888. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2011.07.009>.
4. Riku-Pekka Nikula, Mika Ruusunen, Joni Keski-Rahkonen, Lars Saarinen Fredrik Fagerholm. Probabilistic condition monitoring of azimuth thrusters based on acceleration measurements. Machines 2021, 9(2), 39; <https://doi.org/10.3390/machines9020039>.
5. L.E. Alban. Systematic analysis of gear failures. (2nd ed.), ASM, USA (1985) ISBN:0-87170-200-2.
6. К вопросу оценки технического состояния судовых технических средств морских судов по параметрам вибрации / Николаев Н.И., Мышинский Э.Л., Гриценко М.В. // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. 2020. № 60-61. С. 84-90.
7. Мониторинг вибрационного состояния главных винторулевых колонок с механическим приводом морских судов в эксплуатации / Николаев Н.И., Гриценко М.В., Каракаев А.Б. // Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 1-2 (43). С. 97-103.
8. Результаты контроля вибрации судовых технических средств в эксплуатации в соответствии с требованиями правил РС и зарубежных норм / Николаев Н.И., Гриценко М.В., Герасиди В.В. // Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 4-3 (46). С. 96-103.

9. Епихин А.И., Игнатенко А.В., Студеникин Д.Е., Хекерт Е.В. Основные тренды внедрения технологий искусственного интеллекта в управлении морскими автономными надводными судами. Эксплуатация морского транспорта. 2021. № 1 (98). С. 88-96.
10. Каракаев А.Б., Хекерт Е.В., Трапезникова Д.А. Методы оптимизации алгоритмов управления судовыми электроэнергетическими системами с целью повышения качества оптимизации. Эксплуатация морского транспорта. 2022. № 2 (103). С. 76-79.
11. Розенберг Г.Ш., и др. Вибродиагностика. Монография. Санкт-Петербург, 2003.
12. ГОСТ Р ИСО 13373-2-2009 (ИСО 13373-2:2005) Контроль состояния и диагностика машин. Часть 2. Обработка, анализ и представление результатов измерений вибрации». М.: Стандартинформ, 2019.
13. ГОСТ ИСО 10816-1-97. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть I. Общие требования. М.: Издательство стандартов, 1998.
14. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. Часть VII. Механические установки. НД № 2-020101-174. Санкт-Петербург. 2024.
15. Российский морской регистр судоходства. Приложения к руководству по техническому наблюдению за судами в эксплуатации. НД № 2-030101-009. Санкт-Петербург. 2024.

References

1. P. J. L. Fernandes. Tooth bending fatigue failures in gears. Engineering Failure Analysis, Vol. 3, No. 3, pp. 219-225, 1996.
2. Marcelo R.F., Leonard R.K., Vaz L.A., Pinto L.V., Carlos A.R. Troyman R. Faults prevention for the gear coupling of the azimuth thruster L-drive through a study of shaft alignment measurements. Engineering Failure Analysis 152 (2023) 107504
3. M. Fonte, L. Reis, M. Freitas. Failure analysis of a gear wheel of a marine azimuth thruster. Engineering Failure Analysis. Volume 18, Issue 7, October 2011, Pages 1884-1888. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2011.07.009>.
4. Riku-Pekka Nikula, Mika Ruusunen, Joni Keski-Rahkonen, Lars Saarinen Fredrik Fagerholm. Probabilistic condition monitoring of azimuth thrusters based on acceleration measurements. Machines 2021, 9(2), 39; <https://doi.org/10.3390/machines9020039>.
5. L.E. Alban. Systematic analysis of gear failures. (2nd ed.), ASM, USA (1985) ISBN:0-87170-200-2.
6. K вопросу оценки технического состояния судовых технических средств морских судов по параметрам вибрации [On the issue of assessing the technical condition of marine technical means of marine vessels according to vibration parameters] / Nikolaev N.I., Myshinskij E.L., Gricenko M.V. // Nauchno-tekhnicheskij sbornik Rossijskogo morskogo registra sudohodstva. 2020. № 60-61. S. 84-90.
7. Monitoring vibracionnogo sostoyaniya glavnyh vintorulevyh kolonok s mekhanicheskim privodom morskikh sudov v ekspluatatsii [Monitoring of the vibration state of the main power steering columns of marine vessels in operation] / Nikolaev N.I., Gricenko M.V., Karakaev A.B. // Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2019. № 1-2 (43). S. 97-103.
8. Rezul'taty kontrolya vibratsii sudovykh tekhnicheskikh sredstv v ekspluatatsii v sootvetstvii s trebovaniyami pravil RS i zarubezhnykh norm [The results of vibration control of shipboard equipment in operation in accordance with the requirements of the RS rules and foreign standards] / Nikolaev N.I., Gricenko M.V., Gerasidi V.V. // Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2019. № 4-3 (46). S. 96-103.
9. Epihin A.I., Ignatenko A.V., Studenikin D.E., Hekert E.V. Osnovnye trendy vnedreniya tehnologii iskusstvennogo intellekta v upravlenii morskimi avtonomnymi nadvodnymi sudami [The main trends in the introduction of artificial intelligence technologies in the management of marine autonomous surface vessels]. Jekspluatatsiya morskogo transporta. 2021. № 1 (98). S. 88-96.
10. Karakaev A.B., Hekert E.V., Trapeznikova D.A. Metody optimizatsii algoritmov upravleniya sudovymi jelektroenergeticheskimi sistemami s cel'ju povysheniya kachestva optimizatsii [Methods of optimization of algorithms for controlling ship electric power systems in order to improve the quality of optimization]. Jekspluatatsiya morskogo transporta. 2022. № 2 (103). S. 76-79.
11. Rozenberg G.Sh., i dr. Vibrodagnostika [Vibration diagnostics]. Monografiya. Sankt-Peterburg, 2003.
12. GOST R ISO 13373-2-2009 (ISO 13373-2:2005) Kontrol' sostoyaniya i diagnostika mashin. CHast'2. Obrabotka, analiz i predstavlenie rezul'tatov izmerenij vibratsii [Condition monitoring and diagnostics of machines. Part2. Processing, analysis and presentation of vibration measurement results]. M.: Standartinform, 2019
13. GOST ISO 10816-1-97. Vibratsiya. Kontrol' sostoyaniya mashin po rezul'tatam izmerenij vibratsii na nevrashchayushchihsya chastyah. CHast' I. Obshchie trebovaniya [Vibration. Monitoring the condition of machines based on the results of vibration measurements on non-rotating parts. Part II. General requirements]. M.: Izdatel'stvo standartov, 1998
14. Rossijskij morskoy registr sudohodstva. Pravila klassifikatsii i postrojki morskikh sudov. CHast' VII. Mekhanicheskie ustanovki [Rules of classification and construction of sea vessels. Part VII. Mechanical installations]. ND № 2-020101-174. Sankt-Peterburg. 2024.
15. Rossijskij morskoy registr sudohodstva. Prilozheniya k rukovodstvu po tekhnicheskemu nablyudeniyu za sudami v ekspluatatsii [Appendices to the manual on technical supervision of ships in operation]. ND № 2-030101-009. Sankt-Peterburg. 2024.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Герасиди Виктор Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации судовых механических установок, Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 353924, г. Новороссийск, пр-т Ленина, 93, e-mail: gerasidi@rambler.ru

Viktor V. Gerasidi, Ph.D. (Eng), the assistant professor of department operation of marine mechanical installations, Admiral Ushakov State Maritime University Russia, Novorossiysk, Lenin's avenue, 93, e-mail: gerasidi@rambler.ru

Лисаченко Алексей Витальевич, аспирант кафедры эксплуатации судовых механических установок, Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 353924, г. Новороссийск, пр-т Ленина, 93, e-mail: alexx.liss@yandex.ru

Alexey V. Lisahenko, graduate student of department operation of marine mechanical installations, Admiral Ushakov State Maritime University, Russia, Novorossiysk, Lenin's avenue, 93, e-mail: alexx.liss@yandex.ru

Модина Марина Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации судовых механических установок, Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 353924, г. Новороссийск, пр-т Ленина, 93, e-mail: marishamodina@yandex.ru

Marina A. Modina, Ph.D. (Eng), the assistant professor of department operation of marine mechanical installations, Admiral Ushakov State Maritime University Russia, Novorossiysk, Lenin's avenue, 93, e-mail: marishamodina@yandex.ru

Статья поступила в редакцию/the article was submitted 00.00.2024.

Одобрена после рецензирования/approved after reviewing 00.00.2024.

Принята к публикации/accepted for publication 00.00.2024