

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И МАШИННО-ДВИЖИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

SHIP ELECTRIC POWER INSTALLATIONS AND MACHINE-PROPULSIVE COMPLEXES

Научная статья

УДК 534.013

<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-3-60-68>

Анализ работоспособности силиконовых демпферов крутильных колебаний судовых двигателей внутреннего сгорания на основе результатов испытательного центра Marine Technology Service

*Адель Дамирович Ибадуллаев[✉], Константин Олегович Сибряев,
Александр Сергеевич Стукалов*

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, adel.ibadullaev99@mail.ru[✉]*

Аннотация. Приведены результаты анализа изменения работоспособности силиконовых демпферов крутильных колебаний судовых дизелей на основе практических измерений, проведенных испытательным центром Marine Technology Service (ИЦ МТС) ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет». Испытательный центр МТС имеет аккредитацию со стороны отечественного классификационного общества – Российского морского регистра судоходства (РМРС) в области расчета и измерения крутильных колебаний. За период функционирования ИЦ МТС с 2001 года по настоящее время были проведены процедуры торсиографирования машинно-двигательных комплексов более чем для 200 судов. Большой объем полученных данных позволяет провести оценку динамики изменения параметров крутильных колебаний, включая амплитуду и частоту, на основе результатов периодических торсиографирований машинно-двигательных комплексов судов. Изменение технического состояния демпфера крутильных колебаний (снижение эффективности его работы) и отсутствие его постоянного мониторинга приводит к увеличению напряжений в судовом валопроводе и, как следствие, к повышению риска его поломки, что подтверждает актуальность исследования. Приведены фотографические снимки в качестве реальных примеров поломки при эксплуатации судна: излом вала судна Agate, заклинка массы демпфера вследствие утечки силиконовой жидкости, повышение вязкости силиконовой жидкости до состояния суспензии из-за продуктов износа, износ поверхностей маховой массы силиконового демпфера, износ корпуса силиконового демпфера. Проиллюстрировано крепление крышки демпфера Hasse & Wrede посредством болтов.

Ключевые слова: крутильные колебания, судовые дизели, машинно-двигательные комплексы, силиконовые демпферы, главный двигатель

Для цитирования: *Ибадуллаев А. Д., Сибряев К. О., Стукалов А. С.* Анализ работоспособности силиконовых демпферов крутильных колебаний судовых двигателей внутреннего сгорания на основе результатов испытательного центра Marine Technology Service // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2022. № 3. С. 60–68.* <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-3-60-68>.

Original article

Analyzing operability of silicone dampers of torsional vibrations in marine internal combustion engines based on results of Testing Center Marine Technology Service

Adel D. Ibadullaev[✉], *Konstantin O. Sibrayev*, *Aleksandr S. Stukalov*

*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, adel.ibadullaev99@mail.ru*[✉]

Abstract. The article presents the analysis results of changes in the operability of silicone dampers of torsional vibrations of marine diesel engines on the basis of practical measurements carried out by the Testing Center Marine Technology Service under the Astrakhan State Technical University (TC MTS). TC MTS is accredited by the Russian classification society - the Russian Maritime Register of Shipping (RMRS) in the field of calculation and measurement of torsional vibrations. During its functioning (2001 – to date) the TC MTS has conducted torsiographing procedures of the machine-propulsion systems (MPS) of more than 200 vessels. The large amount of data obtained makes it possible to assess the dynamics of changes in the parameters of torsional vibrations, including amplitude and frequency, according to the results of periodic torsiographing the ship MPS. A change in the technical condition of the torsional vibration damper (a decrease in the efficiency of its operation) and the lack of its constant monitoring lead to the increasing stresses in the ship shaft line and, as a result, to a growing risk of its breakdown, which confirms the urgency of the study. There are given the images as real examples of ship operation failure: Aratere ship shaft fracture, damper mass wedging due to silicone fluid leakage, silicone fluid viscosity increasing to suspension state due to wear products, wear of silicone damper flyweight surfaces, silicone damper body wear. The Hasse & Wrede damper cap fastening with bolts is illustrated.

Keywords: torsional vibrations, marine diesel engines, engine-propulsion systems, silicone dampers, main engine

For citation: Ibadullaev A. D., Sibrayev K. O., Stukalov A. S. Analyzing operability of silicone dampers of torsional vibrations in marine internal combustion engines based on results of Testing Center Marine Technology Service. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies.* 2022;3:60-68. (In Russ.) <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-3-60-68>.

Введение

Судовые машинно-двигательные комплексы (МДК) должны быть спроектированы таким образом, чтобы они надежно и безопасно работали в условиях различной нагрузки. Одним из факторов, которые значительно могут снизить надежность судовых МДК, являются опасные динамические нагрузки – продольные, поперечные и крутильные колебания. Для снижения крутильных колебаний обычно на валу дизелей устанавливают гасители (демпферы или антивибраторы), которые снижают амплитуду колебаний и, соответственно, касательные напряжения скручивания в валах и гибких элементах соединительных муфт МДК. Деградация демпфера крутильных колебаний (снижение эффективности работы) приводит к значительному увеличению концентрации напряжений в валах и, как следствие, к повышенному износу и поломке элементов МДК [1].

Актуальность и задача исследования

Для подтверждения актуальности исследования рассмотрим реальный случай при эксплуатации судна Aratere [2]. В 2013 г. при прохождении канала Тори судно потеряло гребной винт (рис. 1),

в связи с чем до ближайшего порта Веллингтон пришлось дойти на одном винте. Экспертная комиссия, которая изучала случившееся происшествие, пришла к выводу о том, что вал не выдержал касательных напряжений, которые в большей степени были вызваны крутильными колебаниями. В связи с наличием в мировой истории судовождения подобных аварий практически все классификационные общества (как отечественные, так и зарубежные) в своих правилах имеют разделы, где прописаны конкретные требования по борьбе с опасными крутильными колебаниями. Следующим подтверждением актуальности исследования является тот факт, что основные зарубежные фирмы-производители демпферов крутильных колебаний (STE, Holset, Geislinger), в связи с тяжелой политической ситуацией в мире, прекратили поставки своей продукции в Россию. Таким образом, актуальной задачей настоящего исследования является максимально точное прогнозирование остаточного ресурса силиконовых демпферов, что позволит снизить затраты судовладельца. Дополнительным стимулом для повышения точности оценки остаточного ресурса является тот факт, что сервисных центров обслуживания фирм-производителей, а соответственно, и их специали-

стов, производящих процедуры дефектации и ремонта демпферов, в России не имеется.



Рис. 1. Излом вала судна Aratere

Fig. 1. Broken shaft of the ship Aratere

Оценка технического состояния силиконовых демпферов согласно результатам торсиографирования

Торсиографирование судовых валопроводов производится в соответствии с методиками и требованиями, которые описаны в правилах Российского морского регистра судоходства (РМРС) [3], Российского речного регистра (РРР) [4] и нормативных документах ISO 3046-5:2001 [5], ГОСТ Р ИСО 3046-5-2004 [6]. Диагностирование и определение остаточного ресурса силиконового демпфера производится в России на основании методик РМРС и РРР.

Рассмотрим примеры оценки технического состояния силиконовых демпферов реальных судов смешанного плавания по методике РМРС, в частности для судна «Ригель» проекта 1570 (тип – нефтерудовоз). Результат диагностики 2017 г. силиконового демпфера модели В-790 главного двигателя (ГД) 6NVD48AU (6ЧРН32/48) правого борта данного судна представлен на рис. 2.

Оценка остаточного ресурса и технического состояния демпфера двигателя правого борта		
Постоянные исходные данные		
Заданный ресурс (если не известен, то 0)	15000	час
Назначенный ресурс $R_{зад}$	15000	час
Допускаемые напряжения	229,9	кг/см ²
Эталонные напряжения	129	кг/см ²
Эталонная частота моторной формы	2678	кол/мин
Уровень надежности демпфера	1	
Наработка за год	2615	час
Наработка за рейс	50	час
Допустимое отклонение амплитуды	0,1	
Допустимое отклонение частоты	0,05	
Результаты диагностирования		
Фактические напряжения	124,8	кг/см ²
Фактическая частота	2793	кол/мин
Определение коэф ффициентов		
Отклонение частоты от нормы	1,043	
Коз ффициент учета надежности	2	2
Коз ффициент учета амплитуды	1,000	
Коз ффициент учета частоты	1	
Заключение		
Расчет сделан для	нормального	уровня надежности
Демпфер имеет	хорошее	техническое состояние
Остаточный ресурс	7500	часов
Число лет	2,87	лет
Число рейсов	150,0	рейсов
Момент инерции демпфера	не изменился	при плохом состоянии нужна дефектация

Рис. 2. Диагностика силиконового демпфера главного двигателя правого борта судна «Ригель» проекта 1570

Fig. 2. Diagnostics of the silicone damper of the main engine of the starboard side of the vessel Rigel of project 1570

Согласно рис. 2 выводы по техническому состоянию демпфера могут определяться по следующим факторам: техническое состояние, остаточный ресурс, число лет эксплуатации и число рейсов. Исходными данными для анализа являются фактическая частота колебаний (реальная частота, установленная по результатам торсиографирования) и фактические напряжения в коленчатом валу (КВ) ГД.

Если рассмотреть судно с отклонениями реаль-

ных значений частоты колебаний и напряжений в КВ двигателя от рассчитанных значений, то в качестве примера можно взять судно «СТФ Спринтер» проекта 0225 (тип – сухогруз), протестированного 22.02.2017 испытательным центром Marine Technology Service (ИЦ МТС), результаты диагностики силиконового демпфера марки Г60 ГД 6ЧРН 36/45 правого борта представлены на рис. 3.

Оценка остаточного ресурса и технического состояния демпфера двигателя правого борта		
Постоянные исходные данные		
Заданный ресурс (если не известен, то 0)	30000	час
Назначенный ресурс $R_{назн}$	15000	час
Допускаемые напряжения	301,9	кг/см ²
Эталонные напряжения	10	кг/см ²
Эталонная частота моторной формы	3154	кол/мин
Уровень надежности демпфера	1	
Наработка за год	3360	час
Наработка за рейс	50	час
Допустимое отклонение амплитуды	0,1	
Допустимое отклонение частоты	0,05	
Результаты диагностирования		
Фактические напряжения	54,1	кг/см ²
Фактическая частота	2970	кол/мин
Определение коэффициентов		
Отклонение частоты от нормы	0,942	
Коэффициент учета надежности	2	2
Коэффициент учета амплитуды	1,000	
Коэффициент учета частоты	0,5	
Заключение		
Расчет сделан для	нормального	уровня надежности
Демпфер имеет	удовлетворительное	техническое состояние
Остаточный ресурс	3750	часов
Число лет	1,12	лет
Число рейсов	75,0	рейсов
Момент инерции демпфера	увеличен	возможна заклинка массы

Записать в ячейку
 0 - при низкой надежности
 1 - при нормальной надежности
 2 - при высокой надежности

Рис. 3. Диагностика силиконового демпфера главного двигателя правого борта судна «СТФ Спринтер» проекта 0225
 Fig. 3. Diagnostics of the silicone damper of the main engine of the starboard side of the vessel STF Sprinter project 0225

Таким образом, техническое состояние силиконового демпфера для ГД правого борта данного судна является удовлетворительным, но остаточный ресурс имеет малое количество часов, кроме того возможна заклинка массы демпфера. Заклинка массы демпфера определена по снижению фактической резонансной частоты колебаний по сравнению с эталонной частотой.

Другим аварийным случаем для силиконовых

демпферов является утечка силиконовой жидкости наполнителя, но в этом случае фактическая частота колебаний будет превышать частоту эталонной моторной формы колебаний более чем на 5 %.

Виды неисправностей силиконовых демпферов крутильных колебаний

При эксплуатации силиконового демпфера можно наблюдать следующие виды поломок:

Ибадуллаев А. Д., Сибряев К. О., Стукалов А. С. Анализ работоспособности силиконовых демпферов крутильных колебаний судовых двигателей внутреннего сгорания на основе результатов испытаний центра Marine Technology Service

- заклинка маховика (маховой массы), обуславливающаяся повышением вязкостных свойств наполнителя (силиконовой жидкости);
- утечка (вытекание) наполнителя демпфера (силиконовой жидкости);
- изнашивание поверхности маховика демпфера, включая царапины, задиры, трещины;
- повреждение корпуса демпфера, вызванное износом маховой массы;
- нарушение (повреждение) креплений демпфера к КВ двигателя.

Изображения дефектных силиконовых демпферов компании Hasse & Wrede представлены на рис. 4 и 5.



Рис. 4. Заклинка массы демпфера из-за утечки силиконовой жидкости

Fig. 4. Damper mass jamming due to silicone fluid leakage



Рис. 5. Повышение вязкости силиконовой жидкости до состояния суспензии из-за продуктов износа

Fig. 5. Increasing the viscosity of the silicone fluid to the state of suspension due to wear products

На рис. 6 представлен вид изношенных поверхностей маховика силиконового демпфера, на рис. 7 – повреждения корпуса силиконового демпфера.



Рис. 6. Износ поверхностей маховой массы силиконового демпфера

Fig. 6. Wear of the surfaces of the flywheel mass of the silicone damper



Рис. 7. Износ корпуса силиконового демпфера

Fig. 7. Wear of the silicone damper case

Внутренние повреждения демпфера идентифицируются после его вскрытия, что зависит от конструкции: в демпферах компании Hasse & Wrede и Geislinger крышка закрепляется на болтах (рис. 8), а для моделей демпферов, например, компании STE крышка завальцовывается или приваривается к корпусу.



Рис. 8. Крепление крышки демпфера Hasse & Wrede при помощи болтов

Fig. 8. Attaching the Hasse & Wrede Damper Cover with Bolts

Анализ остаточного ресурса силиконовых демпферов по результатам периодических торсиографирований ИЦ МТС

Как было отмечено ранее, некоторые суда ИЦ МТС торсиографировались несколько раз, что дает

возможность оценить динамику изменения некоторых параметров крутильных колебаний элементов МДК. Проанализированные данные приведены в табл. 1–6.

Таблица 1

Table 1

Анализ изменения напряжений в коленчатом валу главного двигателя и частоты колебаний судна «Лангепас»

Analysis of the change in stresses in the crankshaft of the main engine and the oscillation frequency of the ship Langepas

Судно «Лангепас», судно обеспечения							
2019 г.				2020 г.			
Напряжения в КВ, МПа		Частота колебаний / мин		Напряжения в КВ, МПа		Частота колебаний / мин	
Правый борт	Левый борт	Правый борт	Левый борт	Правый борт	Левый борт	Правый борт	Левый борт
26,981	26,431	475	475	30,469	29,092	475	475
Допускаемые напряжения, МПа		Расчет: частота колебаний / мин		Допускаемые напряжения, МПа		Расчет: частота колебаний / мин	
36,70	36,70	477	477	36,70	36,70	477	477
Наработка, ч				Наработка, ч			
Правый борт	Левый борт			Правый борт	Левый борт		
62 880	63 000			72 414	72 657		

Таблица 2

Table 2

Анализ изменения напряжений в коленчатом валу главного двигателя и частоты колебаний судна «Расул Гамзатов»

Analysis of the change in stresses in the crankshaft of the main engine and the oscillation frequency of the vessel Rasul Gamzatov

Судно «Расул Гамзатов», тип «Волга», проект 19610							
2016 г.				2019 г.			
Напряжения в КВ, МПа		Частота колебаний / мин		Напряжения в КВ, МПа		Частота колебаний / мин	
Правый борт	Левый борт	Правый борт	Левый борт	Правый борт	Левый борт	Правый борт	Левый борт
17,86	17,50	2 606	2 450	17,26	18,33	2 598	2 523
Допускаемые напряжения, МПа		Расчет: частота колебаний / мин		Допускаемые напряжения, МПа		Расчет: частота колебаний / мин	
24,63	24,63	2 534	2 534	24,64	24,63	2 534	2 534
Наработка, ч				Наработка, ч			
Правый борт	Левый борт			Правый борт	Левый борт		
58 089	58 459			72 892	73 262		

Таблица 3

Table 3

Анализ изменения напряжений в коленчатом валу главного двигателя и частоты колебаний судна «Омский-207»

Analysis of the change in stresses in the crankshaft of the main engine and the oscillation frequency of the ship Omsky-207

Судно «Омский-207», проект А-1743.7, генгруз							
2014 г.				2020 г.			
Напряжения в КВ, МПа		Частота колебаний / мин		Напряжения в КВ, МПа		Частота колебаний / мин	
Правый борт	Левый борт	Правый борт	Левый борт	Правый борт	Левый борт	Правый борт	Левый борт
16,15	18,17	3 000	3 050	23,55	23,66	2 702,6	2 703,6
Допускаемые напряжения, МПа		Расчет: частота колебаний / мин		Допускаемые напряжения, МПа		Расчет: частота колебаний / мин	
22,83	22,83	3 036	3 036	30,15	30,15	2 779	2 779
Наработка, ч				Наработка, ч			
Правый борт	Левый борт			Правый борт	Левый борт		
73 311	73 311			89 177	89 177		

Таблица 4

Table 4

Анализ изменения напряжений в коленчатом валу главного двигателя и частоты колебаний судна «Линда»

Analysis of the change in stresses in the crankshaft of the main engine and the oscillation frequency of the vessel Linda

Судно «Линда», проект 191, генгруз							
2007 г.				2010 г.			
Напряжения в КВ, МПа		Частота колебаний / мин		Напряжения в КВ, МПа		Частота колебаний / мин	
Правый борт	Левый борт	Правый борт	Левый борт	Правый борт	Левый борт	Правый борт	Левый борт
3,18	2,96	383	384	3,19	2,99	374	381
Допускаемые напряжения, МПа		Расчет: частота колебаний / мин		Допускаемые напряжения, МПа		Расчет: частота колебаний / мин	
33,27	33,27	379	379	33,27	33,27	379	379
Наработка, ч				Наработка, ч			
Правый борт	Левый борт			Правый борт	Левый борт		
32 700	32 700			46 587	46 587		

Таблица 5

Table 5

Анализ изменения напряжений в коленчатом валу главного двигателя и частоты колебаний судна «Флестина-2»

Analysis of the change in stresses in the crankshaft of the main engine and the oscillation frequency of the vessel Flestina-2

Судно «Флестина-2», проект 326.1, сухогруз											
2004 г.				2009 г.				2014 г.			
Напряжения в КВ, МПа		Частота колебаний / мин		Напряжения в КВ, МПа		Частота колебаний / мин		Напряжения в КВ, МПа		Частота колебаний / мин	
Правый борт	Левый борт	Правый борт	Левый борт	Правый борт	Левый борт	Правый борт	Левый борт	Правый борт	Левый борт	Правый борт	Левый борт
22,78	21,24	2 956	2 971	22,52	21,14	2 961	2 976	22,52	23,03	3 000	2 975
Допускаемые напряжения, МПа		Расчет: частота колебаний / мин		Допускаемые напряжения, МПа		Расчет: частота колебаний / мин		Допускаемые напряжения, МПа		Расчет: частота колебаний / мин	
26,42	26,42	3 021	3 021	26,42	26,42	3 021	3 021	26,42	26,42	3 021	3 021
Наработка, ч				Наработка, ч				Наработка, ч			
Правый борт	Левый борт			Правый борт	Левый борт			Правый борт	Левый борт		
43 000	43 000			64 015	64 015			82 645	82 645		

Таблица 6

Table 6

Анализ изменения напряжений в коленчатом валу главного двигателя и частоты колебаний судна «Казань Сити»

Analysis of the change in stresses in the crankshaft of the main engine and the oscillation frequency of the vessel Kazan City

Судно «Казань сити», проект 630, танкер							
2007 г.				2014 г.			
Напряжения в КВ, МПа		Частота колебаний / мин		Напряжения в КВ, МПа		Частота колебаний / мин	
Правый борт	Левый борт	Правый борт	Левый борт	Правый борт	Левый борт	Правый борт	Левый борт
19,11	20,4	2 356	2 310	21	21,3	2 250	2 270
Допускаемые напряжения, МПа		Расчет: частота колебаний / мин		Допускаемые напряжения, МПа		Расчет: частота колебаний / мин	
35,5	35,5	2 331	2 331	35,5	35,5	2 331	2 331
Наработка, ч				Наработка, ч			
Правый борт	Левый борт			Правый борт	Левый борт		
33 045	33 045			54 026	54 026		

Согласно табл. 1 за период работы ГД МАК 8М25 судна обеспечения «Лангепас» в 9 596 ч рост напряжений в КВ составил 11,3 %, а частота колебаний осталась неизменной. Отметим, что на данном

судне установлен комбинированный демпфер австрийской компании Geislinger, сочетающий в себе как гидравлическую часть, так и механическую.

Согласно табл. 2 за период работы ГД 8NVD48A-3U (8ЧРН32/48) судна «Расул Гамзатов» в 14 803 ч рост напряжений в КВ составил 6,2 %, а частота колебаний изменилась на 3 %.

В табл. 3 приведен сравнительный анализ результатов торсиографирования МДК судна «Омский-207», который свидетельствует, что за период работы ГД 6NVD548A2U (6ЧРН32/48) в 15 866 ч рост напряжений в КВ составил 45,8 % для ГД правого борта и 30,2 % для ГД левого борта, а частота колебаний снизилась на 9,91 % для ГД правого борта и на 11,36 % для левого борта, т. е. состояние силиконового демпфера изменено. Снижение частоты колебаний подтверждает изменение состояния силиконовой жидкости.

Данные табл. 4 подтверждают, что за период работы ГД MAN B & W 6T23LU-2 (6ЧНСП 22,5/30) судна «Линда» в 13 887 ч рост напряжений в КВ практически не изменился, при этом частота колебаний также не изменилась. За рассмотренный период рост напряжений в КВ составил не более 1 %, а изменение частоты колебаний – не более 2,3 %.

Дополнительную информацию дает анализ изменения напряжений в КВ и изменения частоты колебаний для судна «Флестина-2» (табл. 5): за период работы ГД 8VDS36/24 A1 (8ЧНСП24/36) в 21 000 ч рост напряжений в КВ практически не изменился, при этом частота колебаний также не изменилась. При дальнейшей работе ГД за период в 39 645 ч рост напряжений в КВ составил уже более 8,4 %, а изменение частоты колебаний – 1,5 %.

Согласно анализу изменения напряжений для судна «Казань Сити» проекта 630 (танкер) в табл. 6 за период работы ГД 8NVD548A2U (8ЧРН32/48) в 21 000 ч рост напряжений в КВ составил не более 9,9%, а изменение частоты колебаний – не более 4,5 %.

Заключение

В результате проведенного анализа экспериментальных исследований можно отметить следующие зависимости наработки силиконового демпфера от касательных напряжений и частоты колебаний:

- при наработке 30 000–40 000 ч работы рост напряжений варьируется $\approx 5-7$ %, изменение частоты колебаний составляет около 1,5–2 %;
- при наработке 40 000–50 000 ч работы рост напряжений варьируется $\approx 8-10$ %, изменение частоты колебаний составляет около 2,3 %;
- при наработке 60 000–70 000 ч работы рост напряжений варьируется $\approx 10-11$ %, изменение частоты колебаний составляет около 3 %;
- при наработке 70 000–90 000 ч работы рост напряжений варьируется $\approx 11-15$ %, изменение частоты колебаний составляет около 4–5 %.

Таким образом, при повышении наработки демпфера крутильных колебаний идет рост как напряжений, так и частоты колебаний. При работе демпфера более 90 000 ч рост напряжений составляет около 15 %, а изменение частоты колебаний может достигнуть 5 % и более, что приведет к необходимости диагностики и ремонта силиконовых демпферов.

Список источников

1. Сибряев К. О., Покусаев М. Н., Горбачев М. М., Ибадуллаев А. Д. Работоспособность механических демпферов крутильных колебаний судовых двигателей внутреннего сгорания // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2022. № 1. С. 35–41.
2. Goran Vizentin, Goran Vukelić, Mateo Srok. Common failures of ship propulsion shafts // Scientific Journal of Maritime Research. 2017. N. 31. P. 85–90.
3. НД №2-020101-152. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки

- морских судов. Ч. VII. Механические установки. СПб.: Изд-во РМРС, 2022. 119 с.
4. Российский речной регистр. Правила классификации и постройки судов (ПКПС). М.: Изд-во РРР, 2015. Т. 3. 176 с.
5. ISO 3046-5:2001. Reciprocating internal combustion engines – Performance. Part 5: Torsional vibrations. 2011. 16 p. URL: <https://standards.globalspec.com/std/825003/ISO%203046-5> (дата обращения: 05.06.2022).
6. ГОСТ Р ИСО 3046-5-2004. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Характеристики. Ч. 5. Крутильные колебания. М.: Изд-во стандартов, 2004. 7 с.

References

1. Sibriaev K. O., Pokusaev M. N., Gorbachev M. M., Ibadullaev A. D. Rabotosposobnost' mekhanicheskikh dempferov krutit'nykh kolebaniy sudovykh dvigatelei vnutrennego sgoraniia [Performance of mechanical dampers of torsional vibrations of marine internal combustion engines]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaiia tekhnika i tekhnologiia*, 2022, no. 1, pp. 35-41.
2. Goran Vizentin, Goran Vukelić, Mateo Srok. Common failures of ship propulsion shafts. *Scientific Journal of Maritime Research*, 2017, no. 31, pp. 85-90.

3. ND №2-020101-152. Rossiiskii morskoi registr sudokhodstva. Pravila klassifikatsii i postroiiki morskikh sudov. Part VII. Mekhanicheskie ustanovki [ND No. 2-020101-152. Russian Maritime Register of Shipping. Rules for the classification and construction of sea vessels. Part VII. Mechanical installations]. Saint-Petersburg, Izd-vo RMRS, 2022. 119 p.
4. Rossiiskii rechnoi registr. Pravila klassifikatsii i postroiiki sudov (PKPS) [Russian river register. Rules for the Classification and Construction of Ships (RCCS)]. Moscow, Izd-vo RRR, 2015. Vol. 3. 176 p.

5. ISO 3046-5:2001. *Reciprocating internal combustion engines – Performance. Part 5: Torsional vibrations*. 2011. 16 p. Available at: <https://standards.globalspec.com/std/825003/ISO%203046-5> (accessed: 05.06.2022).

6. GOST R ISO 3046-5-2004. *Dvigateli vnutrennego sgoraniia porshnevye. Kharakteristiki. Part 5. Krutil'nye kolebaniia* [GOST R ISO 3046-5-2004. Piston internal combustion engines. Characteristics. Part 5. Torsional vibrations]. Moscow, Izd-vo standartov, 2004. 7 p.

Статья поступила в редакцию 28.06.2022; одобрена после рецензирования 15.07.2022; принята к публикации 10.08.2022
The article was submitted 28.06.2022; approved after reviewing 15.07.2022; accepted for publication 10.08.2022

Информация об авторах / Information about the authors

Адель Дамирович Ибадуллаев – ассистент кафедры эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; adel.ibadullaev99@mail.ru

Adel D. Ibadullaev – Assistant of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; adel.ibadullaev99@mail.ru

Константин Олегович Сибряев – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; evt2006@rambler.ru

Konstantin O. Sibrayev – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; evt2006@rambler.ru

Александр Сергеевич Стукалов – студент кафедры эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; stukalov_sashuta@mail.ru

Aleksandr S. Stukalov – Student of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; stukalov_sashuta@mail.ru

