

Научная статья
УДК [629.5-752.2:534.013]:[621.431.74:621.436]
<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-4-67-72>
EDN IELNHS

Оценка технического состояния силиконовых демпферов крутильных колебаний машинно-двигательных комплексов судов

**Константин Олегович Сибряев, Михаил Николаевич Покусаев,
Максим Михайлович Горбачев, Адель Дамирович Ибадуллаев**[✉]

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

Аннотация. Рассматриваются вопросы оценки технического состояния силиконовых демпферов крутильных колебаний машинно-двигательных комплексов судов. Приведены статические данные зарубежной компании Holset по средним срокам проведения профилактических ремонтов силиконовых демпферов, отражены показатели эффективности работы данных устройств. Определены показатели технического состояния силиконовых демпферов. Отмечено, что производить замену демпферов крутильных колебаний, исходя из опыта технической эксплуатации, необходимо только при явных признаках их неисправной работы и повреждений. Проанализированы основные способы диагностики технического состояния силиконовых демпферов (диагностика и определения остаточного ресурса на основе результатов процедуры торсиографирования валопровода судна, отбор пробы наполнителя демпфера (силиконовой жидкости) с последующим проведением процедуры физико-химического анализа). Выявлены и проанализированы ключевые факторы, оказывающие влияние на работоспособность силиконовых демпферов (состояние наполнителя полиметилсилоксановой жидкости (ПМС-жидкости), утечка ПМС-жидкости, конструктивное исполнение силиконового демпфера, резонансные режимы работы главного двигателя). Сделаны выводы о необязательном соответствии указанных сроков работы силиконовых демпферов крутильных колебаний и показателей их технического состояния; необходимости периодического, своевременного устранения неполадок и повреждений; неэффективности определения работоспособности и технического состояния устройства путем взятия пробы наполнителя (силиконовой жидкости).

Ключевые слова: крутильные колебания, судовые дизели, машинно-двигательные комплексы, силиконовые демпферы, безопасность мореплавания

Для цитирования: Сибряев К. О., Покусаев М. Н., Горбачев М. М., Ибадуллаев А. Д. Оценка технического состояния силиконовых демпферов крутильных колебаний машинно-двигательных комплексов судов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2022. № 4. С. 67–72. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-4-67-72>. EDN IELNHS.

Original article

Assessing operating conditions of silicone torsional vibration dampers of ship propulsion systems

Konstantin O. Sibrayev, Mikhail N. Pokusaev, Maksim M. Gorbachev, Adel D. Ibadullaev

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

Abstract. The article considers the assessment of operational conditions of silicone torsional vibration dampers of ship propulsion systems. The static data of the foreign company “Holset” on the average time of preventive repairs of silicone dampers with removable covers are given, the performance indicators of these devices are presented. The parameters of efficiency and technical state of the silicone dampers are determined. As it has been found out from the technical operation, the replacement of torsional vibration dampers is needed only if there appear any clear signs of their malfunction or damage. The main methods of diagnostics of operating condition of silicone dampers are analyzed (diagnostics and determination of the residual resource based on the results of the torsionography procedure of the ship shafting, sampling the damper filler (silicone liquid) with further conducting the physico-chemical analysis. The key factors affecting the performance of silicone dampers are considered (state of the filler of polymethylsiloxane liq-

uid (PMS-liquid), leakage of PMS-liquid, design of the silicone damper, resonant modes of the main engine operation). Conclusions are drawn about the optional correspondence of the appointed terms of operation of torsional vibration silicone dampers and their technical state; the need for periodic, timely troubleshooting; inefficient determining the operability and technical state of the dampers based on sampling the filler (silicone liquid).

Keywords: torsional vibrations, marine diesel engines, engine-propulsion systems, silicone dampers, safety of navigation

For citation: Sibrayev K. O., Pokusaev M. N., Gorbachev M. M., Ibadullaev A. D. Assessing operating conditions of silicone torsional vibration dampers of ship propulsion systems. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2022;4:67-72. (In Russ.) <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-4-67-72>. EDN IELNHS.

Введение

Ключевой идеологией функционирования всех классификационных обществ, от российских (Российский морской регистр судоходства (PMPC) [1] и Российский речной регистр (PPP) [2]) до зарубежных (DNV + GL, LR, ABS, BV и др.), является обеспечение безопасности мореплавания судов. Однако существуют определенные факторы, которые могут привести к нарушению безопасности мореплавания. Одним из них являются крутильные колебания, предшествующие аварийным ситуациям [3]. Особенно опасны они для судовых установок ответственного назначения – от главных двигателей до элементов машинно-двигательного комплекса. Широко распространенным способом подавления данных опасных динамических нагрузок является установка демпфера (силиконового, механического, комбинированного и др.) в состав дизеля. Должная и своевременная оценка технического состояния демпфера крутильных колебаний

значительно повысит навигационную надежность судна, и, соответственно, будут выполняться основные требования всех классификационных обществ касательно безопасности мореплавания.

Периодичность ремонтов и показатели технического состояния силиконовых демпферов

Российский морской регистр судоходства требует проведения проверки технического состояния силиконовых демпферов после 24–30 тыс. ч работы (в зависимости от модели). По истечении гарантийного периода остаточный ресурс определяют специалисты испытательных центров, аккредитованные классификационными обществами, на основе результатов торсиографирования машинно-двигательного комплекса. В табл. 1 отражены средние сроки периодичности проведения профилактических ремонтов силиконовых демпферов со съёмными крышками фирмы Holset [4].

Таблица 1

Table 1

Периодичность проведения профилактических ремонтов силиконовых демпферов со съёмными крышками согласно статистическим данным фирмы-производителя Holset
Frequency of preventive repairs of silicone dampers with removable covers, according to the statistics of the manufacturer Holset

Частота вращения дизеля, мин ⁻¹	Периодичность проведения профилактических ремонтов силиконового демпфера, тыс. ч
> 800	20
200–800	30
< 200	50

Ограничение периодичности проведения профилактических ремонтов силиконовых демпферов с заваренными или завальцованными крышками составляет 20 тыс. ч.

Колоссальный и длительный опыт эксплуатации силиконовых демпферов, а также анализ их повреждений позволяют сделать вывод о том, что назначенные сроки периодичности проверки технического состояния не всегда в полном объеме отражают их работоспособность. Для дизельных судовых силовых установок, работающих на маневренных режимах, назначенные сроки следует

сократить в 1,5 раза. Это обусловлено тем, что на данных режимах происходит более интенсивный износ трущихся поверхностей демпфера. При отсутствии видимых повреждений корпуса, крышки, уплотнений и признаков протекания жидкости техническое состояние демпфера можно оценить рядом показателей и сравнить их с заводскими данными или с требованиями правил технической эксплуатации и классификационных обществ.

В табл. 2 приведены показатели эффективности работы и технического состояния силиконовых демпферов, доступные для измерения специаль-

ными приборами технических служб судовладельцев. К таким показателям относятся амплитуды крутильных колебаний носового конца коленчатого

вала, напряжения в опасных участках валопровода от крутильных колебаний и вязкость силиконовой жидкости.

Таблица 2

Table 2

Показатели эффективности и технического состояния силиконовых демпферов

Indicators of the efficiency and the technical state of silicone dampers

Показатель	Исходное значение	Браковочный признак
Максимальная амплитуда крутильных колебаний, рад: – длительная работа – кратковременная работа	< 0,0075 < 0,0200	> 0,0085 > 0,0250
Максимальное напряжение в валопроводе для резонансных частот вращения	< 85 % допускаемых	> 85 % допускаемых
Вязкость силиконовой жидкости	Паспортная величина	±30 % от первоначальной вязкости, желеобразное или твердое состояние

В табл. 3 представлены косвенные показатели эффективности работы и технического состояния силиконовых демпферов. Данные показатели можно измерить при помощи штатных судовых приборов для оценки состояния отдельных компонентов

и узлов системы валопровода: состояние силиконовой жидкости, температура отдельных элементов валопровода, состояние зубчатых передач и вибрация остова дизеля.

Таблица 3

Table 3

Косвенные показатели эффективности работы и технического состояния демпферов

Indirect indicators of the performance and technical state of dampers

Параметр	Исходное значение	Браковочный признак
<i>Силиконовая жидкость</i>		
Содержание механических примесей, %	Отсутствуют	> 3 или наличие видимых частиц металла
Температура вспышки, °С	> 200	< 200
Содержание воды	Отсутствует	Следы желтовато-коричневого или темного цвета с осадком
Цвет жидкости	Бесцветная	
Наличие газа в жидкости	Отсутствует	Пузырьки газа в пробах жидкости
Давление жидкости внутри	Отсутствует	Жидкость выдавливается при взятии проб из корпуса демпфера
<i>Температура корпуса демпфера, °С</i>		
Демпфер внутри картера дизеля	Температура неработающего дизеля	> 75–85
Выносной демпфер	Температура машинного отделения	> 10–15 температуры машинного отделения
Скорость нарастания температуры корпуса	Температура машинно-котельного отделения	Не более 50 – от исходной величины за 1 ч работы дизеля, не более 5 – от среднеэксплуатационной
<i>Температура элементов валопровода, °С</i>		
Упругие муфты с элементами резины подшипников	Температура машинно-котельного отделения или неработающего дизеля	70
<i>Вибрация остова дизеля в районе демпфера</i>		
Виброперемещение при частоте колебаний до 250 колебаний/мин, мм	< ±0,35	> ±0,35
Виброскорость при частоте колебаний 250–2 000 колебаний/мин, мм/с	< ±5,5	> ±17,0
Виброускорение при частоте колебаний > 2 000 колебаний/мин, м/с ²	< ±2,5	> ±3,5

Измерения показателей, осуществляемые при работе дизеля, выполняются на одном или нескольких спецификационных режимах в зависимости от назначения и условий эксплуатации судна. При анализе измерений следует иметь в виду, что результаты сравнения показателей с головными судами могут иметь различия даже для сопоставимых условий испытаний из-за технологических допусков изготовления, балансировки, сборки деталей и регулировки рабочего процесса в цилиндрах дизеля.

Выход непосредственных показателей за пределы эксплуатационных норм свидетельствует о неисправной работе силиконового демпфера, а изменения косвенных показателей зависят как от технического состояния демпфера, так и от состояния других элементов дизельной установки, включая рабочий процесс в цилиндрах дизеля, состояния гребного винта, зубчатых передач, влияние которых следует учесть для окончательного суждения.

Сравнительный анализ эффективно выполнять периодически, через 1/2 интервала времени между профилактическими ремонтами силиконового демпфера по истечении наработки. Исходя из многолетнего опыта технической эксплуатации производить замену демпферов крутильных колебаний необходимо только при явных признаках их неисправной работы, повреждений или поломок. В остальных же случаях можно поддерживать демпферы в удовлетворительном техническом состоянии профилактическими мероприятиями, используя штатные приборы судна для контроля работы демпферов.

Во время эксплуатации энергетической установки необходимо вести наблюдение за силиконовыми демпферами и своевременно устранять возможные неполадки в их работе во избежание повреждений или разрушений как деталей самих демпферов, так и деталей валопровода и подшипников.

Выход из строя силиконового демпфера бывает вызван двумя основными причинами:

- утечка наполнителя в виде силиконовой жидкости;
- отсутствие вращения маховой массы внутри корпуса демпфера.

Первый случай – демпфер не поглощает энергию колебаний за счет вязкого трения в слое силиконовой жидкости, во втором случае – из-за отсутствия относительного перемещения между маховиком и корпусом демпфера.

Разгерметизация демпфера может предшествовать утечке наполнителя (силиконовой жидкости) вследствие неплотности прилегания между крышкой и корпусом устройства либо в местах технологического отверстия, через которые осуществляется наполнение жидкостью. Нарушение технологии изготовления основных конструктивных деталей демпфера, непосредственное повреждение, вмяти-

на, износ или поломка – все это обуславливает отсутствие относительного движения маховика внутри корпуса.

Способы диагностики технического состояния силиконовых демпферов крутильных колебаний

Для снижения амплитуды крутильных колебаний судовой энергетической установки широко используются классические силиконовые демпферы крутильных колебаний, которые требуют периодической оценки работоспособности технического состояния. Данная поверка сегодня выполняется двумя способами без полной разборки и дефектации демпфера:

I способ – диагностика и определения остаточного ресурса силиконовых демпферов на основе результатов процедуры торсиографирования валопровода судна с последующим анализом по признанной методике классификационных обществ. Данный способ позволит дать приблизительную оценку технического состояния демпфера и его остаточного ресурса.

II способ – отбор пробы наполнителя демпфера (силиконовой жидкости) с последующим проведением процедуры физико-химического анализа. Ключевым недостатком данного способа является неточность оценки технического состояния, однако он используется и одобрен РМРС.

Важным преимуществом I способа является признание ряда классификационных обществ, включая РМРС и РРР. Недостаток II способа заключается в отсутствии признания со стороны РРР, а также специалистов в области крутильных колебаний.

Определение технического состояния демпфера по анализу состояния жидкости наполнителя

Следует отметить, что определение работоспособности технического состояния силиконового демпфера крутильных колебаний посредством взятия пробы наполнителя (силиконовой жидкости) не является полнообъемным и достоверным. Во-первых, подобного рода диагностика не имеет одобрения РРР. Во-вторых, по мнению ведущих специалистов в области крутильных колебаний Центрального научно-исследовательского института им. А. Н. Крылова, германской фирмы-производителя демпферов SKL, ОАО «РЦПКБ «Стапель», российского академика Л. В. Ефремова, данный способ диагностирования также является необъективным.

В руководстве Р.043-2016 «Оценка работоспособности силиконовых демпферов крутильных колебаний судовых двигателей внутреннего сгорания» РРР, которое было введено с 02.10.2016, присутствует категоричное утверждение относительно данного метода: «...результаты определения технического состояния демпфера по результатам

анализа проб силиконовой жидкости не принимаются во внимание...» [5, с. 4].

Физико-химический анализ силиконовый жидкости демпфера дает только приблизительную оценку общего технического состояния устройства. Для отбора пробы необходимо провести серьезные монтажные работы, чтобы иметь доступ к сливным отверстиям демпфера. Также нельзя забывать о том, что после проведения подобной процедуры необходимо дополнить обратно силиконовую жидкость с аналогичными характеристиками, что чаще всего является невозможным из-за отсутствия технической документации на судах относительно применяемой жидкости в демпфере.

Факторы, оказывающие влияние на работоспособность силиконовых демпферов крутильных колебаний

Рассмотрим те факторы, которые могут повлиять на надежность работы силиконового демпфера крутильных колебаний.

1. Состояние наполнителя силиконового демпфера, ПМС-жидкости.

Одним из факторов, влияющих на надежность работы силиконового демпфера, является текущее состояние наполнителя демпфера, ПМС-жидкости. Непосредственное влияние оказывают вязкостные характеристики силиконовой жидкости, а именно ее изменение при эксплуатации демпфера, «старение» наполнителя, происходящее за счет влияния как динамических, так и вибрационных нагрузок. Все это приводит к существенному уменьшению вязкости. Изменение характеристик силиконовой жидкости также во многом зависит от концентрации продуктов уплотнения и нерастворимых веществ, что доказано результатами проводимых исследований. Экспериментальные исследования свидетельствуют о том, что при эксплуатации высокофорсированных дизелей, а именно одновременном увеличении частоты вращения коленчатого вала и давления наддува, наблюдается потеря механической стабильности ПМС-жидкости при сильно возбужденных колебаниях в дизельной установке, в состав которой входит силиконовый демпфер. Данный факт также влияет на вязкостные свойства наполнителя демпфера, а соответственно, и на его работоспособность.

Ссылаясь на инструкцию немецкой фирмы SKL, можно выделить следующие явления, при которых демпфер будет считаться неработоспособным:

- помутнение ПМС-жидкости;
- явный запах метанола;

– изменение вязкостных характеристик ПМС-жидкости (отклонение на 25 % от номинала).

По мнению ведущего специалиста России в области крутильных колебаний Л. В. Ефремова, контрольная операция по оценке свойств силиконо-

го наполнителя считается не полностью объемно-достоверной для оценки работоспособности и назначения остаточного ресурса силиконового демпфера [6].

2. Утечка наполнителя силиконового демпфера.

Следующим фактором, оказывающим влияние на работоспособность гасителя крутильных колебаний (силиконового демпфера), является утечка ПМС-жидкости. Она приводит к росту амплитуд крутильных колебаний, а также изменению частоты колебаний.

3. Конструктивное исполнение силиконового демпфера.

Надежная работа силиконового демпфера во многом также зависит от его конструктивного исполнения: размер маховой массы (маховика), зазор между корпусом демпфера и маховика, геометрическая форма обода маховика, момент инерции маховика и ступицы.

4. Эксплуатация судна на резонансных режимах главного двигателя в сложных условиях.

Сложные условия эксплуатации судна (погодные, штормовые, ледовые условия) увеличивают риск возникновения резонансных частот крутильных колебаний дизеля, несмотря на работу демпферов крутильных колебаний (как силиконовых, так и механических). Обусловлено это увеличением концентрации напряжений в валах дизеля, изменением частоты крутильных колебаний, которые в комплексе могут привести к различным видам аварий. Во избежание этого рекомендуется не эксплуатировать двигатели на резонансных режимах.

Выводы

1. Назначенные сроки периодичности поверки технического состояния силиконовых демпферов крутильных колебаний не всегда в полном объеме отражают их работоспособность.

2. Исходя из многолетнего опыта технической эксплуатации производить замену демпферов крутильных колебаний необходимо только при явных признаках их неисправной работы, повреждений или поломок.

3. По мнению ведущих специалистов в области крутильных колебаний Центрального научно-исследовательского института им. А. Н. Крылова, германской фирмы-производителя демпферов SKL, ОАО «РЦПКБ «Стапель», российского академика Л. В. Ефремова, определение работоспособности технического состояния силиконового демпфера крутильных колебаний посредством взятия пробы наполнителя (силиконовой жидкости) является необъективным.

4. Основными причинами снижения эффективности работы силиконовых демпферов являются утечка силиконовой жидкости из демпфера, отсутствие относительного движения маховика внутри корпуса.

Список источников

1. НД 2-020101-152. Правила классификации и постройки морских судов. Ч. VII. Механические установки. СПб.: Изд-во РМРС, 2022. 119 с.
2. Правила классификации и постройки судов (ПКПС). М.: Изд-во РРР, 2015. 176 с.
3. 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.
4. Vollett Eric Malcolm. Torsional vibration damper / Holset Engineering Co Ltd. № 9224489 (26.05.1993).
5. Руководство Р.043-2016. Оценка работоспособности силиконовых демпферов крутильных колебаний судовых двигателей внутреннего сгорания. М.: Изд-во РРР, 2016. 74 с.
6. Ефремов Л. В. Теория и практика исследования крутильных колебаний силовых установок с применением компьютерных технологий. СПб.: Наука, 2007. 276 с.

References

1. ND 2-020101-152. Pravila klassifikatsii i postroiki morskikh sudov. Part VII. Mekhanicheskie ustanovki [ND 2-020101-152. Rules for the classification and construction of sea vessels. Part VII. Mechanical installations]. Saint-Petersburg, Izd-vo Rossiiskogo morskogo registra sudokhodstva, 2022. 119 p.
2. Pravila klassifikatsii i postroiki sudov (PKPS) [Rules for Classification and Construction of Ships (RCCS)]. Moscow, Izd-vo Rossiiskogo rechnogo registra, 2015. 176 p.
3. 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: Morskaia tekhnika i tekhnologiya, 2022, no. 1, pp. 35-41.
4. Vollett Eric Malcolm. Torsional vibration damper. Holset Engineering Co Ltd. No. 9224489 (26.05.1993).
5. Rukovodstvo R.043-2016. Otsenka rabotosposobnosti silikonovykh dempferov krutit'nykh kolebaniy sudovykh dvigatelei vnutrennego sgoraniia [Guideline R.043-2016. Evaluation of the performance of silicone dampers of torsional vibrations of marine internal combustion engines]. Moscow, Izd-vo Rossiiskogo rechnogo registra, 2016. 74 p.
6. Efremov L. V. Teoriia i praktika issledovaniia krutit'nykh kolebaniy silovykh ustanovok s primeneniem komp'iuternykh tekhnologii [Theory and practice of studying torsional vibrations of power plants by using computer technologies]. Saint-Petersburg, Nauka Publ., 2007. 276 p.

Статья поступила в редакцию 28.06.2022; одобрена после рецензирования 15.07.2022; принята к публикации 28.09.2022
The article was submitted 28.06.2022; approved after reviewing 15.07.2022; accepted for publication 28.09.2022

Информация об авторах / Information about the authors

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

Михаил Николаевич Покусаев – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; evt2006@rambler.ru

Максим Михайлович Горбачев – кандидат технических наук; доцент кафедры эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; max9999_9@mail.ru

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

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

Mikhail N. Pokusaev – Doctor of Sciences in Technology, Professor; Head of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; evt2006@rambler.ru

Maksim M. Gorbachev – Candidate of Sciences in Technology; Assistant Professor of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; max9999_9@mail.ru

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

