

Научная статья
УДК [621.431.74-752.2:534.013]:629/5/03-8
<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-1-35-41>

Работоспособность механических демпферов крутильных колебаний судовых двигателей внутреннего сгорания

Константин Олегович Сибряев¹, Михаил Николаевич Покусаев²,
Максим Михайлович Горбачев³, Адель Дамирович Ибадуллаев⁴✉

¹⁻⁴ Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, adel.ibadullaev99@mail.ru ✉

Аннотация. Опасность крутильных колебаний в судовых энергетических установках признается ведущими специалистами судостроительной, двигателестроительной и судоремонтной отраслей и надзорными органами – Российским морским регистром судоходства (РМРС), Российским речным регистром (РРР), а также зарубежными классификационными обществами. Существует ряд факторов, которые могут привести к тяжелым авариям из-за крутильных колебаний, поэтому на коленчатых валах судовых двигателей устанавливаются демпферы (жидкостные или механические), которые снижают амплитуды колебаний и касательные напряжения скручивания в валах и гибких элементах соединительных муфт машинно-двигательного комплекса. Поскольку гарантийный срок работы демпферов составляет 30 000 ч, судовладельцам необходимо производить периодические измерения (в среднем через 15 000 ч) методом торсиографирования, по итогам которых устанавливается ориентировочный остаточный ресурс демпферов до следующей проверки. Особенностью эксплуатации механических демпферов в судовых дизелях является отсутствие одобренной надзорными органами (РМРС и РРР) методики по безразборной оценке остаточного ресурса механических демпферов, поскольку ранее механические демпферы не применялись столь широко в судовых дизелях. Проведен анализ факторов и критериев, которые оказывают влияние на работоспособность механических демпферов крутильных колебаний и могут быть использованы при разработке методики безразборной диагностики и назначения остаточного ресурса механических демпферов крутильных колебаний судовых двигателей внутреннего сгорания.

Ключевые слова: крутильные колебания, судовые дизели, машинно-двигательные комплексы, механические демпферы, винторулевые колонки

Для цитирования: Сибряев К. О., Покусаев М. Н., Горбачев М. М., Ибадуллаев А. Д. Работоспособность механических демпферов крутильных колебаний судовых двигателей внутреннего сгорания // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2022. № 1. С. 35–41. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-1-35-41>.

Original article

Efficiency of mechanical dampers of torsional vibrations of marine internal combustion engines

Konstantin O. Sibrayev¹, Mikhail N. Pokusaev², Maksim M. Gorbachev³,
Adel D. Ibadullaev⁴✉

¹⁻⁴ Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russian Federation, adel.ibadullaev99@mail.ru ✉

Abstract. The article considers the danger of torsional vibrations in ship power plants, which is recognized by leading specialists of the shipbuilding, engine-building and ship repair industries and supervisory authorities – the Russian Maritime Register of Shipping (RMRS), the Russian River Register (RRR), as well as foreign classification societies. There are a number of factors that can lead to serious accidents due to torsional vibrations, therefore, dampers (liquid or mechanical) are installed on the crankshafts of marine engines to reduce the oscillation amplitudes and tangential twisting stresses in the shafts and flexible elements of the coupling couplings of the engine-propulsion complex. Since the warranty period of the dampers is 30,000 hours, the shipowners need to make periodic measurements (on average, after 15,000 hours) using a torsionography method, upon the results of which an approximate residual life of the dampers is established until the next check. A special feature in the operation of mechanical dampers in marine diesel engines is the lack of methods approved by the supervisory authorities – RMRS and RRR for the non-selective assessment of the residual life of mechanical dampers, due to the fact that previously mechanical dampers were not used so wide-

ly in marine diesels. There have been analyzed the factors and criteria that affect the performance of mechanical torsional vibration dampers and can be used in the development of a method for non-selective diagnostics and assignment of the residual life of mechanical torsional vibration dampers of marine internal combustion engines.

Keywords: torsional vibrations, marine diesel engines, machine-propulsion systems, mechanical dampers, azimuth thrusters

For citation: Sibrayev K. O., Pokusaev M. N., Gorbachev M. M., Ibadullaev A. D. Efficiency of mechanical dampers of torsional vibration of marine internal combustion engines. Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies. 2022;1:35-41. (In Russ.) <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-1-35-41>.

Введение

В судовых дизелях современных судов все чаще устанавливаются механические демпферы крутильных колебаний, конструкция и принцип работы которых отличаются от традиционных силиконовых демпферов, широко применяемых сегодня. Российский морской регистр судоходства (РМРС) признает возможность использования в судовых двигателях внутреннего сгорания (ДВС) механических демпферов крутильных колебаний, что подтверждается пунктом 8.8.4 требований РМРС «Правила классификации и постройки морских судов. Часть VII. Механические установки» [1]. Демпфер, или антивибратор, должен обеспечивать снижение напряжений (моментов) на резонансах, на которые он настроен, не менее чем до 85 % соответствующих допускаемых значений.

Механические демпферы крутильных колебаний фирмы Geislinger (Австрия) применяются, в частности, в судовых дизелях MAK 8M25 (суда обеспечения морских буровых платформ типа «Лангепас», «Когалым»), Wartsila 6L20 (суда проектов RST-22, RST-22M, RST-25, RST-54, RSD-49, RSD-59 и др.) и т. д. Количество такого рода дизелей увеличивается, т. к. суда проектов RST, RSD строят для замены устаревших судов типа «Волгонефть» (проекты 550А, 1577), «Нефтерудовоз» (проект 1570) и др. На судах старых проектов используются дизели фирмы SKL модельного

ряда NVD, которые имеют силиконовые демпферы компании STE, HOLSET, Geislinger и других фирм.

Особенностью эксплуатации механических демпферов в судовых дизелях является отсутствие одобренной надзорными органами (РМРС и Российским речным регистром (РРР)) методики по безразборной оценке остаточного ресурса механических демпферов.

Типовые судовые схемы машинно-двигательных комплексов с механическими демпферами судов проектов RST и RSD

Для замены танкеров типа «Волгонефть» и сухогрузов типа «Волго-Дон» в России были спроектированы суда серии RST (22, 22M, 27, 27M, 54 и т. д.) (рис. 1) и RSD (44, 49 и т. д.) (рис. 2).

В состав машинно-двигательных комплексов (МДК) судна RST-27 входят следующие элементы:

- главный двигатель Wartsila 6L20 с демпфером Geislinger D60/14/2;
- муфта эластичная Vulkan RATO-R 212Z;
- промежуточный вал;
- гибкий вал Centa CL-70;
- муфта Schottel K 1012;
- винторулевые колонки (ВРК) Schottel SRP 1012 FP;
- гребной винт фиксированного шага.



Рис. 1. Общий вид танкера-химовоза «ВФ Танкер-17» проекта RST-27

Fig. 1. General view of the chemical tanker VF Tanker-17 project RST-27



Рис. 2. Общий вид сухогруза «Капитан Рузманкин» проекта RSD-44

Fig. 2. General view of the dry cargo ship Kapitan Ruzmankin project RSD-44

Если на танкерах устаревших проектов водоизмещением до 7 000 т применялись простые схемы со среднеоборотными двигателями SKL NVD и прямой передачей мощности на гребной винт фиксированного шага, то использование ВПК с высокооборотными двигателями Wartsila 6L20 для повышения маневренных свойств судна существенно усложнило их МДК. Пропульсивный ком-

плекс судов проекта RST, RSD плавания «река – море» с использованием ВПК состоит из двух среднеоборотных главных двигателей, соединенных с ВПК промежуточными валами небольшой длины. На рис. 3 представлена схема расположения элементов главной энергетической установки в машинном отделении (МО) судна проекта RST.

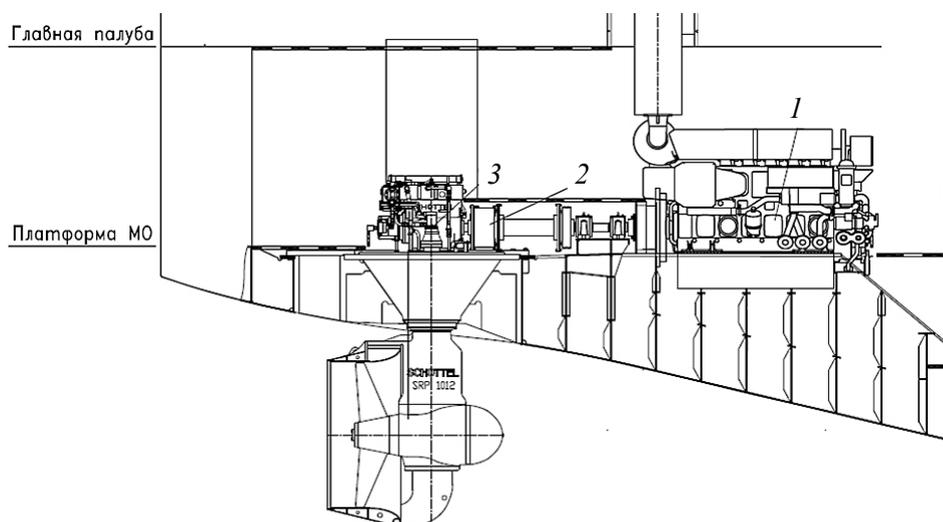


Рис. 3. Расположение элементов главной энергетической установки в машинном отделении судна проекта RST:

1 – главный двигатель; 2 – валопровод с муфтой, 3 – ВПК

Fig. 3. Location of the power plant elements onboard the small size vessel RST project: 1 - main engine; 2 - shaft line with coupling; 3 - propeller-driven rotor

Дизели Wartsila 6L20 имеют комбинированные демпферы производства компании Geislinger с масляным жидкостным наполнителем и пружинами. Подобная конструкция позволяет сочетать достоинства как жидкостных, так и механических демпферов. На судовых двигателях модели Wartsila 6L20

наиболее часто используются механические демпферы крутильных колебаний компании Geislinger модели D60/14/2 или D60/16/2, которые сочетают в себе функции antivibratora и демпфера. Устройство данного демпфера представлено на рис. 4.

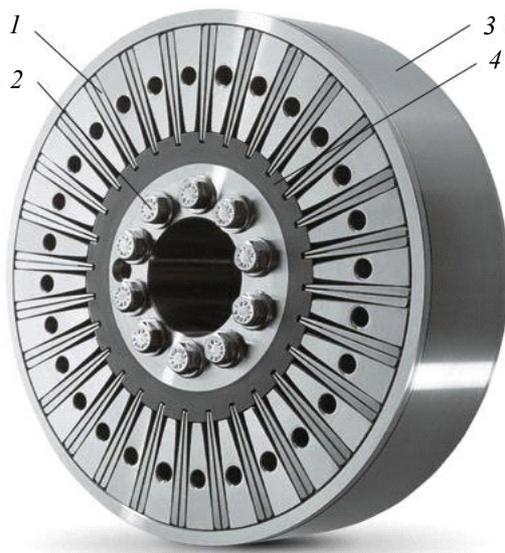


Рис. 4. Устройство демфера Geislinger модели D60/14/2: 1 – пакет пружинных пластин; 2 – болты крепления корпуса демфера к валу двигателя; 3 – внешний обод демфера; 4 – корпус демфера

Fig. 4. Damper device Geislinger model D60 / 14/2: 1 - a set of spring reeds; 2 - bolts for fastening the damper housing to the engine shaft; 3 - outer rim of the damper; 4 - damper housing

Типовые конструктивные и эксплуатационные особенности работы судовых машинно-двигательных комплексов с механическими демферами

Использование ВРК с высокооборотными двигателями Wartsila 6L20 для повышения маневренных свойств судов проектов RSD, RST существенно усложнило конструкцию их МДК, что оказывает влияние на характер крутильных колебаний, возник-

ающих в валах и элементах МДК. Это связано с наличием у МДК проекта RST-27М муфт и гибкого вала, в которых податливости будут иметь большие значения, а также наличием верхнего и нижнего редукторов в составе ВРК, что оказывает влияние на характер крутильных колебаний.

Дискретная крутильная схема МДК судна проекта RST-27М, представленная на рис. 5, имеет большое количество составных элементов.

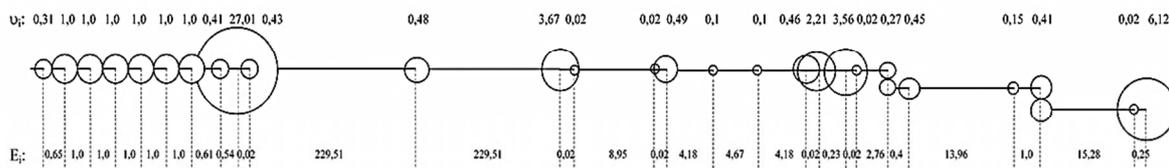


Рис. 5. Дискретная крутильная схема МДК судна проекта RST-27М для расчета крутильных колебаний

Fig. 5. Discrete torsional scheme of a propulsion unit of the ship project RST-27M for calculating torsional vibrations

Согласно ГОСТ Р ИСО 3046-5-2004 «Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Характеристики. Часть 5. Крутильные колебания» [2], крутильные колебания – это колебательные угловые деформации (скручивание) валопровода при вращении.

С позиции крутильных колебаний схема МДК судна проекта RST-27М имеет риски возникновения опасных явлений в судовых элементах:

- повреждение валов от крутильных колебаний;
- повреждение гибких элементов муфт валопровода;

– повреждение редукторов верхних и нижних ВРК.

Номинальная частота вращения главного двигателя Wartsila 6L20 составляет 1 000 об/мин, а диапазон рабочих частот – от 450 до 1 100 об/мин, при этом запретных зон для частот вращения не установлено.

Еще более сложной конструкцией и эксплуатацией обладают МДК судов «Когалым» и «Лангепас», дискретная схема которых изображена на рис. 6.

КРУТИЛЬНАЯ СХЕМА МДК СУДНА ОБЕСПЕЧЕНИЯ «КОГАЛЫМ» (абсолютные параметры схемы)

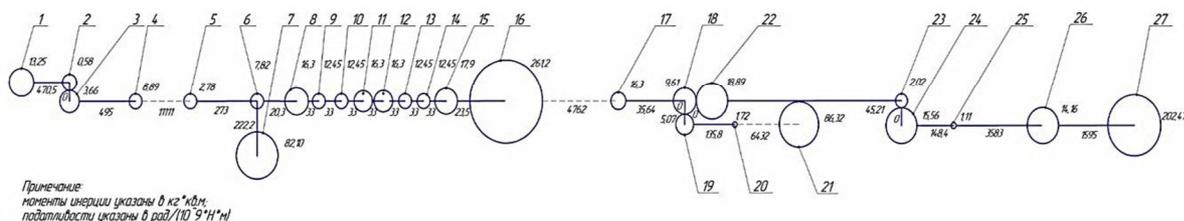


Рис. 6. Дискретная крутильная схема МДК судна «Когалым» для расчета крутильных колебаний:

- 1 – пожарный насос; 2 – ведомая шестерня мультипликатора;
- 3 – ведущая шестерня мультипликатора и муфта сцепления мультипликатора;
- 4 – ведущая часть муфты; 5 – ведомая часть муфты; 6 – внутренняя часть пружинного демпфера;
- 7 – внешняя часть пружинного демпфера; 8–15 – цилиндры двигателя;
- 16 – маховик и ведущая часть муфты; 17 – ведомая часть муфты;
- 18 – ведущая шестерня мультипликатора привода валогенератора;
- 19 – ведомая шестерня мультипликатора привода валогенератора;
- 20 – ведущая часть муфты валогенератора; 21 – валогенератор и ведомая часть муфты;
- 22 – муфта сцепления редуктора; 23 – ведущая шестерня редуктора привода гребного винта;
- 24 – ведомая шестерня привода гребного винта; 25 – фланцевая муфта промежуточного вала и редуктора;
- 26 – фланцевая муфта промежуточного и гребного вала; 27 – гребной винт регулируемого шага

Fig. 6. Discrete torsional scheme of a propulsion unit of the ship Kogalym for calculating torsional vibrations:

- 1 - fire pump; 2 - multiplier driven gear; 3 - multiplier drive gear and multiplier clutch; 4 - driving part of the clutch;
- 5 - driven part of the clutch; 6 - inner part of the spring damper; 7 - outer part of the spring damper; 8 - 15 - engine cylinders;
- 16 - flywheel and driving part of the clutch; 17 - driven part of the clutch; 18 - driving gear of the shaft generator drive multiplier;
- 19 - driven gear of the shaft generator drive multiplier; 20 - driving part of the shaft generator coupling;
- 21 - shaft generator and driven part of the clutch; 22 - reducer clutch; 23 - driving gear of the propeller drive reducer;
- 24 - driven gear wheel of the propeller drive; 25 - flange coupling of the intermediate shaft and gearbox;
- 26 - flange coupling of the intermediate and propeller shafts; 27 - adjustable pitch propeller

При работе судна возможны различные варианты схем работы МДК:

Основная конструктивная схема МДК: работа МДК, включая привод на валогенератор и гребной винт, без привода на пожарный насос.

Дополнительные конструктивные схемы МДК:

- работа МДК, включая привод на пожарный насос, валогенератор и гребной винт;
- работа МДК, включая привод на валогенератор и пожарный насос, без привода на гребной винт;
- работа МДК, включая привод на валогенератор, без привода на пожарный насос и гребной винт.

Судно «Когалым» имеет столь сложную схему по нескольким причинам:

- данное судно имеет многоцелевое назначение, в том числе и как судно спасатель, это поясняет наличие мощного пожарного насоса с приводом непосредственно от главного двигателя судна;
- судно имеет систему динамического позиционирования, что позволяет ему оставаться на заданной точке с точностью до 1 м (при условиях низкого волнения), это необходимо, например, при удержании на точке челночного танкера при бункеровке от плавучего нефтехранилища на месторождении им. Ю. Корчагина (Северный Каспий).

Еще одной особенностью судов типа «Когалым», «Лангепас» является наличие запретных зон для частот вращения главных двигателей: от 0 до

450 об/мин и от 550 до 650 об/мин согласно классификационному свидетельству РМРС и расчету производителя двигателей МАК.

Таким образом, дизели Wartsila 6L20, МАК 8M25 имеют комбинированные демпферы производства компании Geislinger с масляным жидкостным наполнителем и пружинами. Подобная конструкция позволяет сочетать достоинства как жидкостных, так и механических демпферов. При работе таких комбинированных демпферов обращают внимание на рост вибрации в носовой части двигателей, на давление масла, поступающего в демпфер, и его температуру. Заклинка пружин или их полусухое трение без смазочного масла может привести к опасному росту амплитуд крутильных колебаний.

Согласно инструкции по эксплуатации дизелей МАК 8M25 [3], техническое состояние механических демпферов Geislinger производится путем вскрытия и оценки состояния пружин через каждые 15 000 ч работы, однако подобный ремонт требует участия специалистов фирмы-производителя, что не всегда возможно. Фирма Geislinger в технических документах указывает на необходимость измерения величины крутильных колебаний в дизелях с установленными пружинными демпферами, но не отмечает торсиографию в качестве дальнейшего способа оценки их технического состояния.

Схемы МДК крупных серий транспортного флота относительно крутильных колебаний усложняются, и это приводит к необходимости установки демпферов крутильных колебаний комбинированной конструкции.

Факторы и критерии, влияющие на работоспособность механических демпферов

Рассмотрим те факторы и критерии, которые могут оказывать влияние на работоспособность механического демпфера крутильных колебаний.

1. Поломка или потеря упругости пружин демпфера.

Согласно исследованиям Л. В. Ефремова, характерным повреждением пружинного механического демпфера является поломка или потеря упругости элементов пакетов пружин (или листовых рессор) в зависимости от типа конструкции [4]. Косвенным критерием оценки деформации пружин принято считать максимальную просадку (сжатие) пружин. Периодическое техническое обслуживание механических демпферов является обязательным при освидетельствовании судов. Дефектация пакетов пружин и измерения зазоров – основные контрольные операции. Но даже постоянное техническое обслуживание демпферов не является гарантией от поломки. В случае аварии рекомендовано блокировать массы демпфера, что превращает демпфер в одну массу, которая также увеличивает амплитуды крутильных колебаний, но не приводит к возникновению промежуточных резонансных режимов. При этом происходит и изменение частоты колебаний.

2. Падение давления или утечка масла в комбинированных демпферах.

По аналогии с силиконовыми демпферами утечки жидкости приводят к росту амплитуд крутильных колебаний и изменению частоты колебаний. Поскольку вязкость масла ниже, чем вязкость силикона, то снижение амплитуд от гидравлического эффекта будет ниже, чем в классическом силиконовом демпфере.

3. Неправильный выбор модели и нарушение технологии монтажа механического демпфера в колебательной системе.

Превышение допустимых пределов напряжений в пружинах демпферов приводит к их усталостным

разрушениям. Таким образом, расчет крутильных колебаний валопровода всей установки является обязательным условием при установке механических демпферов.

На основных режимах работы дизеля не следует допускать расположение резонанса, который является опасным для пакетов пружин демпфера.

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

Резонансные режимы крутильных колебаний опасны высокими амплитудами крутильных колебаний, которые снижаются до уровня не менее 85 % от максимальных величин, но при эксплуатации судна в сложных метеорологических условиях, штормовых условиях, ледовых условиях и т. д. рост амплитуд может превышать максимальные значения даже при работе демпфера (подобные прецеденты наблюдались как с силиконовыми, так и с механическими демпферами крутильных колебаний главных двигателей судов). Во избежание этого не рекомендуется эксплуатировать главные двигатели на резонансных режимах.

Выводы

1. Для разработки методики диагностики технического состояния пружинных демпферов в качестве прямого критерия остается разборка демпфера и оценка технического состояния пружин и зазоров согласно технической документации на демпфер.

2. Для разработки методики безразборной оценки технического состояния пружинных демпферов рекомендуем учитывать следующие факторы:

– амплитуду напряжений в валах и элементах валопровода и сравнение величин с допускаемыми в соответствии с Правилами РМРС;

– частоту колебаний и отклонение ее от расчетной величины;

– вибрацию корпуса двигателя в максимальной близости от демпфера.

3. В процессе эксплуатации двигателя с демпфером механического типа следует оценивать вибрацию, давление масла, поступающего в демпфер, амплитуду и частоту крутильных колебаний, что возможно при установке системы непрерывного мониторинга крутильных колебаний.

Список источников

1. *НД №2-020101-124*. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. Ч. VII. Механические установки. СПб., 2021. 106 с.

2. *ГОСТ Р ИСО 3046-5-2004*. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Характеристики. Ч. 5. Крутильные колебания. М.: Изд-во стандартов, 2004. 7 с.

3. *МАК M25*. General-Engine operating instructions. Type M25, 1999. 1966 p.

4. *Ефремов Л.В.* Теория и практика исследования крутильных колебаний силовых установок с применением компьютерных технологий. СПб.: Наука, 2007. 276 с.

References

1. *ND №2-020101-124*. Rossiiskii morskoi registr sudokhodstva. Pravila klassifikatsii i postroiki morskikh sudov. Part VII. Mekhanicheskie ustanovki [ND No. 2-020101-124.

Russian Maritime Register of Shipping. Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships. Part VII. Mechanical installations]. Saint-Petersburg, 2021. 106 p.

2. GOST R ISO 3046-5-2004. Dvigateli vnutrennego sgoraniia porshnevye. Kharakteristiki. Chast' 5. Krutil'nye kolebaniia [GOST R ISO 3046-5-2004. Internal combustion engines are piston. Specifications. Part 5. Torsional vibrations]. Moscow, Izd-vo standartov, 2004. 7 p.

3. MAK M25. General-Engine operating instructions. Type M25, 1999. 1966 p.

4. Efremov L. V. Teoriia i praktika issledovaniia krutil'nykh kolebaniil silovykh ustanovok s primeneniem komp'iuternykh tekhnologii [Theory and practice of research of torsional vibrations of power plants using computer technologies]. Saint-Petersburg, Nauka Publ., 2007. 276 p.

Статья поступила в редакцию 04.10.2021; одобрена после рецензирования 15.10.2021; принята к публикации 26.10.2021
The article was submitted 04.10.2021, approved after reviewing 15.10.2021, accepted for publication 26.10.2021

Информация об авторах / Information about the authors

Константин Олегович Сибряев – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16; evt2006@rambler.ru

Михаил Николаевич Покусаев – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16; evt2006@rambler.ru

Максим Михайлович Горбачев – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16; max9999_9@mail.ru

Адель Дамирович Ибадуллаев – ассистент кафедры эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16; adel.ibadullaev99@mail.ru

Konstantin O. Sibrayev – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; 414056, Astrakhan, Tatishcheva St., 16; evt2006@rambler.ru

Mikhail N. Pokusaev – Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; 414056, Astrakhan, Tatishcheva St., 16; evt2006@rambler.ru

Maksim M. Gorbachev – Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; 414056, Astrakhan, Tatishcheva St., 16; max9999_9@mail.ru

Adel D. Ibadullaev – Assistant of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; 414056, Astrakhan, Tatishcheva St., 16; adel.ibadullaev99@mail.ru

