

Научная статья
УДК 001.891.53+504.4.054
<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-3-34-39>

Анализ вредных сбросов в гидросферу от дизельного подвесного лодочного мотора Yanmar D27

М. Н. Покусаев, А. А. Хмельницкая, К. Е. Хмельницкий[✉], М. М. Горбачев, Е. Г. Ильина

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, chuchera80@mail.ru[✉]*

Аннотация. Обосновывается необходимость исследований загрязнения атмосферы и гидросферы вследствие работы моторов морского транспорта и введения в Российской Федерации соответствующих нормативных документов. В настоящее время проблемы вредных выбросов в окружающую среду рассматриваются бессистемно, имеются немногочисленные исследования зарубежных авторов. С 2016 г. на кафедре эксплуатации водного транспорта в ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» проводится изучение экологических характеристик подвесных лодочных моторов в лабораторных и научных условиях. Представлены результаты практических измерений вредных сбросов в гидросферу от подвесного лодочного мотора Yanmar D2. Перечислены основные характеристики мотора Yanmar D2 (номинальная мощность, номинальная частота вращения, количество цилиндров, используемое топливо и т. д.), проиллюстрирован общий вид подвесного лодочного мотора. Приведено подробное описание лабораторного оборудования и перечислены технические характеристики контрольно-измерительных приборов (концентратомер КН-3 и спектрофотометр ПЭ-5400ВИ). Отмечено, что малый опытовый бассейн лаборатории имеет патенты на полезную модель; приведена принципиальная схема бассейна. Получены новые данные по сбросам пленочных и растворенных нефтепродуктов, фосфат-ионов и общего фосфора в гидросферу, разработаны эмпирические формулы, которые позволяют рассчитать ожидаемый уровень сбросов от дизельного подвесного лодочного мотора в зависимости от времени его работы.

Ключевые слова: проблемы загрязнения гидросферы, экологические характеристики, дизельный подвесной лодочный мотор, маломерное судно, проведение эксперимента

Для цитирования: Покусаев М. Н., Хмельницкая А. А., Хмельницкий К. Е., Горбачев М. М., Ильина Е. Г. Анализ вредных сбросов в гидросферу от дизельного подвесного лодочного мотора Yanmar D27 // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2022. № 3. С. 34–39. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-3-34-39>.

Original article

Analysis of harmful discharges into hydrosphere from Yanmar D27 diesel outboard motor

M. N. Pokusaev, A. A. Khmel'nitskaya, K. E. Khmel'nitskiy[✉], M. M. Gorbachev, E. G. Ilyina

*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, chuchera80@mail.ru[✉]*

Abstract. The article considers the necessity of studying the atmosphere and hydrosphere pollution due to the operation of marine transport engines and the introduction of relevant regulatory documents in the Russian Federation is substantiated. Today the problems of harmful emissions into the environment are considered haphazardly, there are few foreign authors studying the problem. Since 2016, the environmental characteristics of outboard motors in laboratory and scientific conditions have been studied at the Department of Water Transport Operation at the Astrakhan State Technical University. The results of practical measurements of harmful discharges into the hydrosphere from the Yanmar D2 outboard motor are presented. General characteristics of the Yanmar D2 engine are listed (rated power, rated speed, number of cylinders, fuel used, etc.), the general view of the outboard motor is illustrated. A detailed description of the laboratory equipment is given and the technical characteristics of control and measuring instruments (concentrator KN-3 and spectrophotometer PE-5400VI) are listed. It is pointed out that the small experimental pool of the laboratory has patents for a utility model; a schematic diagram of the pool is given. New data on discharges

of film and dissolved petroleum products, phosphate ions and total phosphorus into the hydrosphere have been obtained, empirical formulas for calculating the expected level of discharges from a diesel outboard motor depending on its operation time have been developed.

Keywords: problems of pollution of the hydrosphere, environmental characteristics, diesel outboard motor, small boat, carrying out the experiment

For citation: Pokusaev M. N., Khmel'nitskaya A. A., Khmel'nitsky K. E., Gorbachev M. M., Ilyina E. G. Analysis of harmful discharges into hydrosphere from Yanmar D27 diesel outboard motor. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies.* 2022;3:34-39. (In Russ.) <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-3-34-39>.

Введение

На частных некоммерческих маломерных судах в качестве главных двигателей чаще всего используются бензиновые двухтактные и четырехтактные подвесные лодочные моторы, однако для коммерческих маломерных судов, используемых, например, для рыбодобычи, в качестве транспорта для перевозки людей и грузов и других целей, применяются и дизельные моторы, которые обладают более высокой экономичностью по сравнению с бензиновыми. Такие страны, как США, Австралия, Новая Зеландия и другие, обладающие большим количеством маломерных судов, уже давно серьезно рассматривают не только экологические проблемы, связанные с вредными выбросами от подвесных лодочных моторов в атмосферу, но и проблемы загрязнения гидросферы, которое происходит от выхлопа отработавших газов подвесных моторов в воду. Подобные исследования в области изучения экологических характеристик современных подвесных моторов производили, в частности, Чарлз Келли из США [1] и греческие специалисты Анастасиос Карканис, Чаралампос Арапатсакос, Кристина Анастасиаду [2].

В России проблемы вредных сбросов в гидросферу от подвесных лодочных моторов пока

не имеют надлежащего надзора и рассматриваются несистемно, также отмечается недостаток практических исследований с момента распада СССР. В ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» на кафедре «Эксплуатация водного транспорта» с 2016 г. проводится изучение экологических характеристик подвесных лодочных моторов как в лабораторных, так и в натуральных условиях, в результате которого было опубликовано несколько работ [3–7].

Объект исследования

В качестве объекта исследований был выбран дизельный подвесной лодочный мотор Yanmar D27 (рис. 1), который устанавливается на рыбодобывающих коммерческих маломерных судах при эксплуатации на реке Волге и в Каспийском море. Основные технические характеристики мотора Yanmar D27: номинальная мощность – 27 л. с. (19,9 кВт); номинальная частота вращения – 4 500 об/мин; четырехтактный; количество цилиндров – 4 шт.; подводная система выпуска отработанных газов; используемое топливо – дизельное топливо марки Л по ГОСТ 305-2013 «Топливо дизельное. Технические условия» [8].



Рис. 1. Общий вид подвесного лодочного мотора Yanmar D27

Fig. 1. General view of the Yanmar D27 outboard motor

Лабораторное оборудование и контрольно-измерительные приборы

Малый опытовый бассейн имеет патенты на полезную модель № 201293 от 08.12.2020, RU 196596 U1 от 06.03.2020 [9, 10]. Принципиальная схема (рис. 2) включает малый опытовый бассейн 1, обводную трубу 2, подвесной лодочный мотор 3, внешний транец 4, поворотную стрелу 5, стропу 6, крюк чалочного типа 7, лебедку 8, подвижный транец 9, крючкообразные ограничители 10, датчик упора винта 11, счетчик объема воды 12, уровнемер 13, теплообменный аппарат 14, тензометрический (весовой) датчик 15, расходную ем-

кость 16, платформу со ступенями 17, газоанализатор 18, сифонный газоотвод 19, логистический контроллер упора винта 20, весовой логистический контроллер 21, логистический контроллер тахометра 22. Для обработки в программе «ТестМотор» (см. свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 20186185338), установленной на персональном компьютере 23, система дренирования 24, штуцер 25, термометр 26 с термopарами внутри емкости 27, вытяжная вентиляция 28, приточная вентиляция 29, поворотная штанга 30, шумомер 31, транспортёр 32.

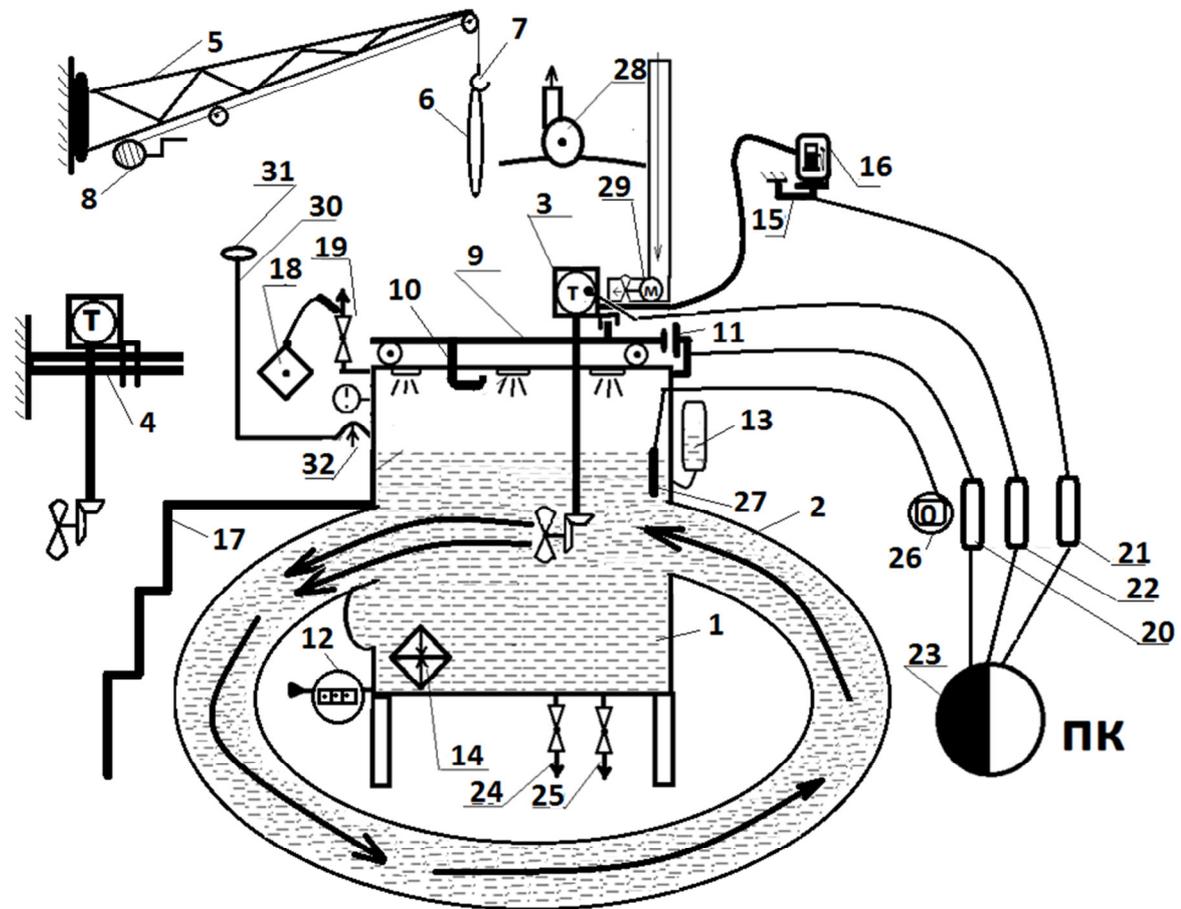


Рис. 2. Принципиальная схема малого опытового бассейна

Fig. 2. Schematic diagram of the small experimental pool

Для определения вредных сбросов в гидросферу применялись концентратомер КН-3 и спектрофотомер ПЭ-5400ВИ.

Концентратомер КН-3 предназначен для измерения массовых концентраций нефтепродуктов, жиров, неионогенных поверхностно-активных веществ в природных объектах, включая пробы пи-

тьевых, природных, сточных и очищенных сточных вод.

Технические характеристики концентратомера КН-3 в области измерений нефтепродуктов в воде:

– определяемые значения массовых концентраций веществ в природных объектах нефтепродуктов в водах: 0,02–1 000 мг/дм³;

– пределы допускаемой основной абсолютной погрешности прибора при соблюдении нормальных условий для нефтепродуктов: $\pm(0,5 + 0,05C_x)$ мг/дм³, где C_x – измеряемое значение массовой концентрации вещества в экстрагенте;

– объем измерительной кюветы: 2,8 мл.

Спектрофотометр ПЭ-5400ВИ используется для экологического контроля, в том числе контроля воды.

Технические характеристики спектрофотометра ПЭ-5400ВИ:

– спектральный диапазон: 315–1 000 нм;

– спектральная ширина щели: 4 нм;

– погрешность установки длины волны: не более ± 1 нм;

– воспроизводимость установки длины волны: $\pm 0,5$ нм;

– пределы допускаемой абсолютной погрешности при измерении спектральных коэффициентов направленного пропускания: $\pm 0,5$ %;

– диапазон измерений: оптическая плотность – от 3,000 до 0,000; коэффициент направленного пропускания – от 0,0 до 100,0 %.

Для измерения частоты вращения коленчатого вала подвесного лодочного мотора использовался лазерный тахометр СЕМ АТ-6.

Проведение эксперимента и его результаты

Перед проведением экспериментов в малом опытовом бассейне был осуществлен анализ кон-

трольной пробы воды на содержание нефтепродуктов (пленочного и растворенного), фосфат-ионов и общего фосфора.

При проведении экспериментов подвесной лодочный мотор Yanmar 27D без перерыва проработал на следующих режимах работы:

– прогрев: 5 мин (частота вращения – 1 235 об/мин);

– холостой ход: 10 мин (частота вращения – 933 об/мин);

– малый ход: 10 мин (частота вращения – 1 280 об/мин);

– средний ход: 10 мин (частота вращения – 2 400 об/мин);

– полный ход: 3 мин (частота вращения – 4 640 об/мин);

– холостой ход: 3 мин (частота вращения – 930 об/мин);

– средний ход: 65 мин (частота вращения – 2 100 об/мин).

В итоге общее время испытаний насчитывает 106 мин.

Наиболее длительный режим работы составил 65 мин, при этом частота вращения поддерживалась на постоянном уровне – 2 100 об/мин, что соответствует наиболее характерному среднему режиму работы мотора при его реальной эксплуатации.

Результаты эксперимента приведены в таблице.

Результаты оценки вредных сбросов в воду от подвесного лодочного мотора Yanmar D27

Assessment results of harmful discharges to water from the outboard motor Yanmar D27

Параметр	Величина
<i>Контроль параметров чистой воды</i>	
Пленочный нефтепродукт, г/м ²	0
Растворенный нефтепродукт, мг/дм ³	0,007
Фосфат-ион, мг/дм ³	0,08
Фосфат общий, мкг/дм ³	28
<i>Испытания подвесного мотора в течение 106 мин</i>	
Пленочный нефтепродукт, г/м ²	0,1347
Растворенный нефтепродукт, мг/дм ³	2,206
Фосфат-ион, мг/дм ³	0,16
Фосфат общий, мкг/дм ³	56

Согласно данным таблицы сбросы в гидросферу увеличились в следующих объемах:

– пленочные нефтепродукты – на 0,1347 г/м²;

– растворенные нефтепродукты – на 2,199 мг/дм³ (в 315 раз);

– фосфат-ион – на 0,08 мг/дм³ (в 2 раза);

– фосфат общий – на 28 мкг/дм³ (в 2 раза).

Рассчитаем средние сбросы в воду от подвесного лодочного мотора Yanmar D27 в минуту (с учетом уже имеющихся в воде загрязнений перед экспериментами):

– пленочные нефтепродукты – 0,00127 г/м² в мин;

– растворенные нефтепродукты – 0,02074 мг/дм³ в мин;

– фосфат-ион – на $75,47 \cdot 10^{-5}$ мг/дм³ в мин;

– фосфат общий – на 0,26415 мкг/дм³ в мин.

Полученные результаты позволяют использовать их при расчете ожидаемых сбросов в воду от дизельного подвесного лодочного мотора Yanmar, в зависимости от времени работы, при допущении линейной зависимости накопления сбросов.

Предлагаемые формулы для расчета оценочных сбросов в воду дизельного подвесного лодочного мотора Yanmar D27 будут иметь следующий вид:

1. Пленочные нефтепродукты $ПН_p$, г/м²:

$$ПН_p = 0,00127t + ПН_{исх},$$

где $ПН_{исх}$ – исходное содержание пленочных нефтепродуктов в воде, г/м²; t – время работы подвесного мотора, мин.

2. Растворенные нефтепродукты $РН_p$, мг/дм³:

$$РН_p = 0,02074t + РН_{исх},$$

где $РН_{исх}$ – исходное содержание растворенных нефтепродуктов в воде, мг/дм³.

3. Фосфат-ион $ФИ_p$, мг/дм³:

$$ФИ_p = 75,47 \cdot 10^{-5}t + ФИ_{исх},$$

где $ФИ_{исх}$ – исходное содержание фосфат-ионов в воде, мг/дм³.

Фосфат общий $ФО_p$, мкг/дм³:

$$ФО_p = 0,26415t + ФО_{исх},$$

где $ФО_{исх}$ – исходное содержание общего фосфата в воде, мкг/дм³.

Выводы

1. Практические измерения вредных сбросов позволяют получить реальные данные по вредным сбросам от подвесных лодочных моторов в гидросферу.

2. Высокий рост загрязнений, полученный согласно результатам экспериментов, свидетельствует о необходимости введения норм для защиты гидросферы от подвесных лодочных моторов маломерных судов.

3. Получены расчетные формулы для оценки ожидаемых вредных сбросов в гидросферу от дизельных подвесных лодочных моторов с подводным выхлопом.

Список источников

1. Kelly Ch. *Analysis of the Underwater Emissions from Outboard Engines*. Queensland University Technology, Brisbane, Australia. 2004. 207 p.

2. Karkanis A., Arapatsakos Ch., Anastasiadou Ch. Experimental measurement of load and exhaust gas emissions on an outboard engine // *Advances in Environmental Sciences, Development and Chemistry*, 2014. P. 221–227.

3. Хмельницкая А. А., Покусаев М. Н., Сибряев К. О., Ковалёв О. П., Булгаков В. П. Экспериментальная оценка загрязнения гидросферы нефтепродуктами подвесным лодочным мотором «Ветерок-8М» // *Вестн. Волж. гос. акад. вод. трансп.* 2019. № 58. С. 54–60.

4. Хмельницкая А. А., Покусаев М. Н., Хмельницкий К. Е. Разработка малого опытового бассейна для проведения испытаний подвесных лодочных моторов маломерных судов // *Мор. интеллектуал. технологии*. 2018. № 1 (39). С. 129–134.

5. Хмельницкая А. А., Покусаев М. Н., Ильина Е. Г. Статистика и экологические нарушения подвесных моторов маломерных судов на территории Астраханской области // *Материалы 61-й Междунар. науч. конф. науч.-пед. работников Астрахан. гос. техн. ун-та (Астрахань, 24–28 апреля 2017 г.)*. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2017. С. 177. 1 CD-диск.

URL: <http://www.astu.org/Content/Page/5833> (дата обращения: 19.05.2022). № гос. регистрации 0321702684.

6. Хмельницкая А. А., Покусаев М. Н. Использование малых опытовых бассейнов для оценки вредных выбросов подвесных лодочных моторов в гидросферу // *Водный транспорт – перспективы повышения конкурентоспособности: материалы Нац. науч.-практ. конф. (Новосибирск, 24 апреля 2019 г.)*. Новосибирск: Изд-во СГУВТ, 2019. С. 150–152.

7. Хмельницкая А. А., Покусаев М. Н. Количественная оценка загрязнения гидросферы подвесными лодочными моторами // *Технические науки: проблемы и решения: сб. ст. XXII Междунар. науч.-практ. конф. (Москва, 15 мая 2019 г.)*. М.: Интернаука, 2019. С. 126–131.

8. *ГОСТ 305-2013*. Топливо дизельное. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2019. 10 с.

9. Пат. RU 182049 U1 Рос. Федерация. Малый опытовый бассейн / Покусаев М. Н., Хмельницкий К. Е., Хмельницкая А. А. № 2017140540; заявл. 21.11.2017; опубл. 01.08.2018.

10. Пат. RU 196596 U1 Рос. Федерация. Малый опытовый бассейн / Покусаев М. Н., Хмельницкий К. Е., Хмельницкая А. А. № 2019130712; заявл. 26.09.2019; опубл. 06.03.2020.

References

1. Kelly Ch. *Analysis of the Underwater Emissions from Outboard Engines*. Queensland University Technology, Brisbane, Australia. 2004. 207 p.

2. Karkanis A., Arapatsakos Ch., Anastasiadou Ch. Experimental measurement of load and exhaust gas emissions on an outboard engine. *Advances in Environmental Sciences, Development and Chemistry*, 2014. Pp. 221-227.

3. Khmel'nitskaia A. A., Pokusaev M. N., Sibriaev K. O., Kovalev O. P., Bulgakov V. P. Eksperimental'naiia otsenka zagriazneniia gidrosfery nefteproduktami podvesnym lodochnym motorom «Veterok-8M» [Experimental assessment of hydrosphere pollution with oil products by Veterok-8M

outboard motor]. *Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta*, 2019, no. 58, pp. 54-60.

4. Khmel'nitskaia A. A., Pokusaev M. N., Khmel'nitskii K. E. Razrabotka malogo opytovogo basseina dlia provedeniia ispytaniia podvesnykh lodochnykh motorov malomernykh sudov [Development of small experimental pool for testing outboard motors of small boats]. *Morskiiye intellektual'nye tekhnologii*, 2018, no. 1 (39), pp. 129-134.

5. Khmel'nitskaia A. A., Pokusaev M. N., Il'ina E. G. Statistika i ekologicheskie narusheniia podvesnykh motorov malomernykh sudov na territorii Astrakhanskoi oblasti [Statistics and environmental violations of outboard motors

of small boats in Astrakhan region]. *Materialy 61-i Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii nauchno-pedagogicheskikh rabotnikov Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Astrakhan', 24–28 apreliia 2017 g.)*. Astrakhan', Izd-vo AGTU, 2017. P. 177. 1 CD-disk. Available at: <http://www.astu.org/Content/Page/5833> (accessed: 19.05.2022). № gosudarstvennoi registratsii 0321702684.

6. Khmel'nitskaia A. A., Pokusaev M. N. Ispol'zovanie malykh opytovykh basseinov dlia otsenki vrednykh vybrosov podvesnykh lodochnykh motorov v gidrosferu. Vodnyi transport – perspektivy povysheniia konkurentosposobnosti [Use of small experimental pools to assess harmful emissions of outboard boat motors into hydrosphere. Water transport: prospects for increasing competitiveness]. *Materialy Natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Novosibirsk, 24 apreliia 2019 g.)*. Novosibirsk, Izd-vo SGUVT, 2019. Pp. 150-152.

7. Khmel'nitskaia A. A., Pokusaev M. N. Kolichestvennaia otsenka zagriazneniia gidrosfery podvesnymi lodochnymi motorami. Tekhnicheskie nauki: problemy i resheniia [Quantitative assessment of pollution of hydrosphere by outboard boat motors. Engineering sciences: problems and solutions]. *Sbornik statei XXII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Moskva, 15 maia 2019 g.)*. Moscow, Internauka Publ., 2019. Pp. 126-131.

8. GOST 305-2013. *Topливо dizel'noe. Tekhnicheskie usloviia* [GOST 305-2013. Diesel fuel. Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 10 p.

9. Pokusaev M. N., Khmel'nitskii K. E., Khmel'nitskaia A. A. *Malyi opytovyi bassein* [Small experimental pool]. Patent RF № 2017140540; 01.08.2018.

10. Pokusaev M. N., Khmel'nitskii K. E., Khmel'nitskaia A. A. *Malyi opytovyi bassein* [Small experimental basin]. Patent RF № 2019130712; 06.03.2020.

Статья поступила в редакцию 25.05.2022; одобрена после рецензирования 04.07.2022; принята к публикации 08.08.2022
The article was submitted 25.05.2022; approved after reviewing 04.07.2022; accepted for publication 08.08.2022

Информация об авторах / Information about the authors

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

Анастасия Александровна Хмельницкая – кандидат технических наук; доцент кафедры эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; evt2006@rambler.ru

Константин Евгеньевич Хмельницкий – кандидат технических наук; ассистент кафедры эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; chuchera80@mail.ru

Максим Михайлович Горбачев – кандидат технических наук; доцент кафедры эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; evt2006@rambler.ru

Елена Георгиевна Ильина – кандидат экономических наук; доцент кафедры эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; ilyinaeg@mail.ru

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

Anastasia A. Khmel'nitskaya – Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; evt2006@rambler.ru

Konstantin E. Khmel'nitskiy – Candidate of Technical Sciences; Assistant of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; chuchera80@mail.ru

Maksim M. Gorbachev – Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; evt2006@rambler.ru

Elena G. Ilyina – Candidate of Economics; Assistant Professor of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; ilyinaeg@mail.ru

