

РАЗРАБОТКА И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЛУШИТЕЛЯ ШУМА ГАЗОВЫХЛОПНОЙ СИСТЕМЫ ПОДВЕСНОГО ЛОДОЧНОГО МОТОРА SEA PRO 2.5

М. Н. Покусаев, К. Е. Хмельницкий, А. А. Кадин, А. В. Сергеев

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Российская Федерация*

Проанализированы результаты разработки и оценки эффективности применения глушителя шума газовыхлопной системы подвесного мотора SEA PRO 2.5 (производство Китая). Эксперименты проводились в большом опытовом бассейне ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» с применением шумомера-анализатора спектра «Экофизика-110» первого класса, с программным обеспечением Signal+3G Light. При теоретическом анализе разработки выдвинуто предположение, что эффективность использования глушителей выхлопных систем подвесных моторов будет производить меньший эффект, чем для автомобилей, поскольку при подводном выхлопе снижение шума будет происходить также и от слоя воды при погружении мотора. Доказано, что применение глушителя в системах подводного выхлопа подвесных моторов может увеличить аэродинамическое сопротивление для газов и снизить мощность. Для проверки теоретических предположений была произведена разработка глушителя шума газовыхлопной системы подвесного мотора SEA PRO 2.5 из стальной нержавеющей перфорированной губки. Определенно, что чистый эффект от глушителя (без учета глушения шума водой) проявляется на низких звуковых частотах до 125 Гц и составляет до 12,7 дБА на полном ходу мотора. Средний эквивалентный уровень звука снижается не более чем на 4,5 дБА на малом ходу, а на полном ходу подвесного мотора – практически не проявляется. Дополнительно оценено снижение уровня шума подвесного мотора водой, которое составило на полном ходу до 22 дБА для частот выше 2 000 Гц, а для среднего эквивалентного уровня шума – 15 дБА. Сочетание снижения шума водой с глушителем позволяет уменьшить шум и на низких и на высоких звуковых частотах, что является положительным эффектом от разработанного устройства.

Ключевые слова: маломерное судно, подвесной лодочный мотор, глушитель шума газовыхлопной системы, эффективность, уровень шума.

Для цитирования: Покусаев М. Н., Хмельницкий К. Е., Кадин А. А., Сергеев А. В. Разработка и оценка эффективности глушителя шума газовыхлопной системы подвесного лодочного мотора SEA PRO 2.5 // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2021. № 1. С. 81–87. DOI: 10.24143/2073-1574-2021-1-81-87.

Введение

Шум маломерных судов с подвесными лодочными моторами негативно влияет на окружающую среду, экипаж и пассажиров судов. Внешний шум маломерных судов регламентируется в следующей нормативной документации: технический регламент таможенного союза ТР ТС 026/2012 «О безопасности маломерных судов» [1], ГОСТ 28556-2016 «Моторы лодочные подвесные. Общие требования безопасности» [2] и др. Нормы шума для экипажей маломерных судов не оговариваются фактически ни в одном документе, при этом для морских, речных и судов смешанного плавания такого рода ограничения существуют.

Материалы и методы исследования

Шум маломерного судна с подвесным мотором будет состоять из отдельных составляющих (рис. 1).

Проведенные нами ранее исследования [3, 4] доказали эффективность снижения воздушного шума посредством применения капотов, а структурного шума корпуса судна – при помощи виброизоляционных транцевых накладок для подвесного мотора. Далее было принято решение по разработке и оценке эффективности глушителя шума, устанавливаемого в газовыхлопной системе подвесного мотора.



Рис. 1. Составляющие шума маломерного судна с подвесным мотором

Применение подобного устройства позволит снизить шум выхлопа и фильтровать механические загрязнения, несгоревшие частицы топливо-масляной смеси, особенно для двухтактных моторов. При теоретическом анализе мы предположили, что эффективность от использования глушителей для выхлопных систем подвесных моторов будет иметь меньший эффект, чем для автомобилей, поскольку при подводном выхлопе, вероятнее всего, снижение шума будет происходить не только по причине применения глушителя, но и от слоя воды при погружении мотора. Кроме того, применение глушителя в системах подводного выхлопа подвесных моторов может увеличить аэродинамическое сопротивление для газов (и без того высокое из-за сопротивления гидросферы), что увеличивает риск снижения мощности.

Подвесной мотор SEA PRO 2.5, который был выбран в качестве объекта испытаний, имеет следующие технические характеристики:

- номинальная мощность – 2,5 л.с. (1,84 кВт);
- номинальная частота вращения коленчатого вала – 5 000 об/мин;
- расход топлива – 1,5 л/ч.

Особенностью при эксплуатации мотора является отсутствие холостого хода.

Подвесной мотор SEA PRO 2.5 является весьма популярным среди водомоторников, поскольку его регистрация в надзорных органах не требуется, он имеет достаточную мощность для привода небольших маломерных судов, отличается низкой ценой и приемлемым качеством. Выбор данной модели подвесного мотора в качестве объекта испытаний был обусловлен как его популярностью, так и высокой шумностью, которая отмечается пользователями. Подвесной мотор не имеет большого маховика; соответственно, присутствуют высокие вибрации и структурный шум, а конструкция его проточной части газовыхлопной системы простая и позволяет разместить в ней устройство для глушения шума.

Для проверки теоретических предположений была произведена разработка глушителя шума подвесного мотора SEA PRO 2.5 путем заполнения части пространства в газовыхлопном кожухе стальной нержавеющей перфорированной губкой (рис. 2).

Материал был выбран на основании следующих соображений:

1. Согласно исследованиям Н. И. Иванова [5], глушители с перфорированными материалами более эффективны, чем со сплошными материалами;
2. Стальная нержавеющая губка не будет подвергаться коррозии;
3. Перфорированная структура позволит газам проходить через заполняемое губкой пространство и дополнительно фильтровать их от сажи, несгоревшего топлива и масла, снижая вредное воздействие подвесного мотора на окружающую среду.

Для проверки эффективности глушителя для подвесного мотора SEA PRO 2.5 были проведены следующие эксперименты:

- измерение шума мотора без глушителя в большом опытовом бассейне Астраханского государственного технического университета (АГТУ) (рис. 3);
- измерение шума мотора с глушителем в большом опытовом бассейне АГТУ;

- измерение шума мотора без глушителя на открытом пространстве в воздухе;
- измерение шума мотора с глушителем на открытом пространстве в воздухе.

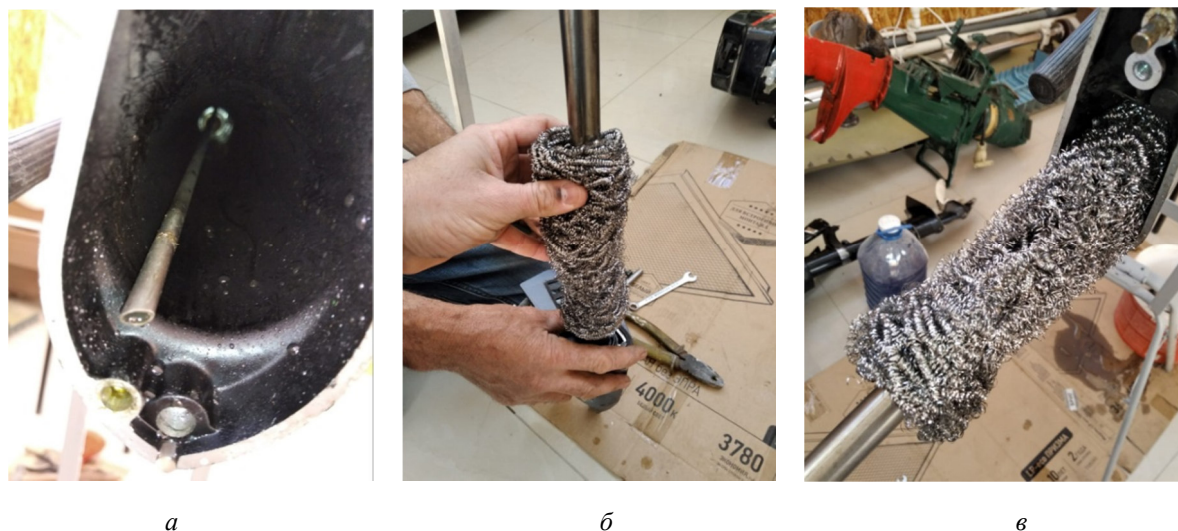


Рис. 2. Разработанный глушитель шума для подвесного мотора SEA PRO 2.5:
а – вид газовыхлопной полости мотора; б – монтаж металлической губки; в – глушитель в сборе

Измерения производились на трех режимах работы подвесного мотора (малый, средний и полный ход), что обеспечивалось перемещением позиционной рукоятки газа.

Используемые контрольно-измерительные приборы и программное обеспечение:

- шумомер-вибромметр, анализатор спектра «Экофизика-110А» (белая) [6];
- акустический калибратор АК-1000 [7];
- программное обеспечение: Signal+3G Light производства ООО «ПКФ Цифровые приборы».

Измерительное оборудование соответствует требованиям ГОСТ ISO 14509-1-2015 [8].

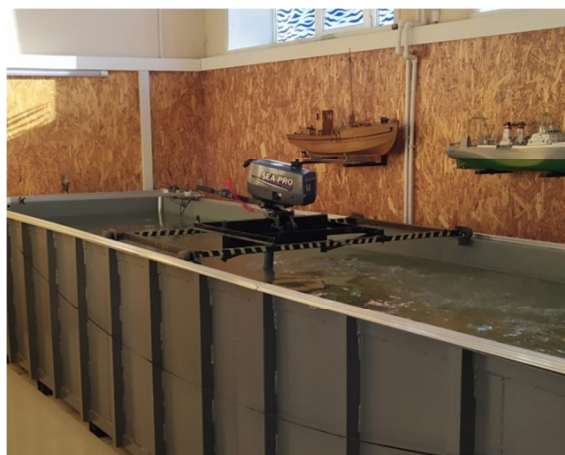


Рис. 3. Измерение шума подвесного лодочного мотора SEA PRO 2.5
в большом опытном бассейне АГТУ

Перед испытаниями была произведена поверка шумомера портативным калибратором на частоте 1 000 Гц с уровнем звука 114 дБ, измеренный уровень составил 114,3 дБ, что не превышает погрешности в 1 дБ согласно ГОСТ ISO 14509-1-2015 [8], поэтому испытания производились без дополнительной настройки прибора.

Разница между уровнем шума подвесного лодочного мотора и фона составляла более 10 дБА, что является допустимой величиной, поэтому корректировка результатов испытаний на фоновый шум не требовалась. Результаты измерений не требовали также корректировки по расстоянию от микрофона до источника шума, поскольку оно составляло не более 1 м.

Результаты эксперимента

Результаты проведенных измерений на всех режимах работы подвесного мотора и при различных условиях представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты проведенных измерений с применением глушителя шума
газовыхлопной системы подвесного мотора SEA PRO 2.5**

Режим работы мотора	Частота звука, Гц								Средний эквивалентный уровень шума, дБА
	63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000	
Без глушителя в опытовом бассейне, дБА									
Малый ход	55,2	72,5	75,9	74,5	74,8	69,1	63,7	57,8	80,9
Средний ход	59,5	76	74,2	78,2	78,1	72,1	68	59,5	83,6
Полный ход	63,2	76	81,3	84,1	88,7	81	75,8	65,4	91,4
На открытом воздухе без глушителя, дБА									
Малый ход	56,2	72,9	77	87,2	87,8	84,1	73,2	65,4	91,6
Средний ход	57,7	74,4	79,1	88,6	90,5	86,5	74,3	67,3	93,7
Полный ход	62,7	82,5	85,8	99,7	103,1	101,1	97,6	83,8	106,9
С глушителем в опытовом бассейне, дБА									
Малый ход	45,7	60,9	68,4	71,3	71	66,4	60,1	53,6	76
Средний ход	47,2	66	73,3	75	74	70,1	64,2	57,3	79,9
Полный ход	50,5	69,5	80,5	83,8	89,9	80,8	75,3	60,2	91,8
На открытом воздухе с глушителем, дБА									
Малый ход	49,2	63,3	71,2	83,5	80,2	70	60,5	54,6	85,1
Средний ход	58,5	68,3	74,8	91,1	84	78	68,1	59,8	92,1
Полный ход	57,7	77,6	87,1	97,5	96,7	92,8	88,3	77,3	101,3

Для оценки эффективности глушителя шума газовыхлопной системы подвесного мотора SEA PRO 2.5 и снижения шума водой была составлена табл. 2.

Таблица 2

**Оценка эффективности глушителя шума газовыхлопной системы
подвесного мотора SEA PRO 2.5 и снижения шума водой**

Снижение уровня шума водой (без глушителя), шум на воздухе с вычетом шума мотора в воде, дБА									
Режим работы мотора	Частота звука, Гц								Средний уровень, дБА
	63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000	
Малый ход	1,00	0,40	1,10	12,7	13,00	15,00	9,50	7,60	10,70
Средний ход	-1,80	-1,60	4,90	10,4	12,4	14,4	6,30	7,80	10,10
Полный ход	-0,50	6,50	4,50	15,6	14,4	20,1	21,8	18,4	15,50
Снижение уровня шума водой и глушителем, шум на воздухе с вычетом шума мотора в воде, дБА									
Режим работы мотора	Частота звука, Гц								Средний уровень, дБА
	63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000	
Малый ход	3,50	2,40	2,80	12,2	9,20	3,60	0,40	1,00	9,10
Средний ход	11,3	2,30	1,50	16,1	10,0	7,90	3,90	2,50	12,20
Полный ход	7,20	8,10	6,60	13,7	6,80	12,0	13,0	17,1	9,50
Эффективность глушителя в бассейне, шум без глушителя с вычетом шума мотора с глушителем, дБА									
Режим работы мотора	Частота звука, Гц								Средний уровень, дБА
	63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000	
Малый ход	9,50	11,6	7,50	3,20	3,80	2,70	3,60	4,20	4,90
Средний ход	12,3	10,0	0,90	3,20	4,10	2,00	3,80	2,20	3,70
Полный ход	12,7	6,50	0,80	0,30	-1,20	0,20	0,50	5,20	-0,40
Эффективность глушителя в воздухе, шум без глушителя с вычетом шума мотора с глушителем, дБА									
Режим работы мотора	Частота звука, Гц								Средний уровень, дБА
	63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000	
Малый ход	7,00	9,60	5,80	3,70	7,60	14,1	12,7	10,8	6,50
Средний ход	-0,80	6,10	4,30	-2,50	6,50	8,50	6,20	7,50	1,60
Полный ход	5,00	4,90	-1,3	2,20	6,40	8,30	9,30	6,50	5,60

В результате проведенных исследований было определено, что чистый эффект от глушителя (без учета глушения шума водой) проявляется на низких звуковых частотах до 125 Гц и составляет до 12,7 дБА на полном ходу. Средний эквивалентный уровень звука снижается не более чем на 4,5 дБА на малом ходу, а на полном ходу подвесного мотора практически не проявляется. Дополнительно было оценено снижение уровня шума подвесного мотора водой (без глушителя), которое на полном ходу мотора для частот выше 2 000 Гц достигало до 22 дБА, для среднего эквивалентного уровня шума – 15 дБА. Сочетание эффекта снижения шума водой и глушителем позволяет уменьшить шум и на низких и на высоких звуковых частотах, что является положительной стороной применения разработанного устройства (рис. 4).

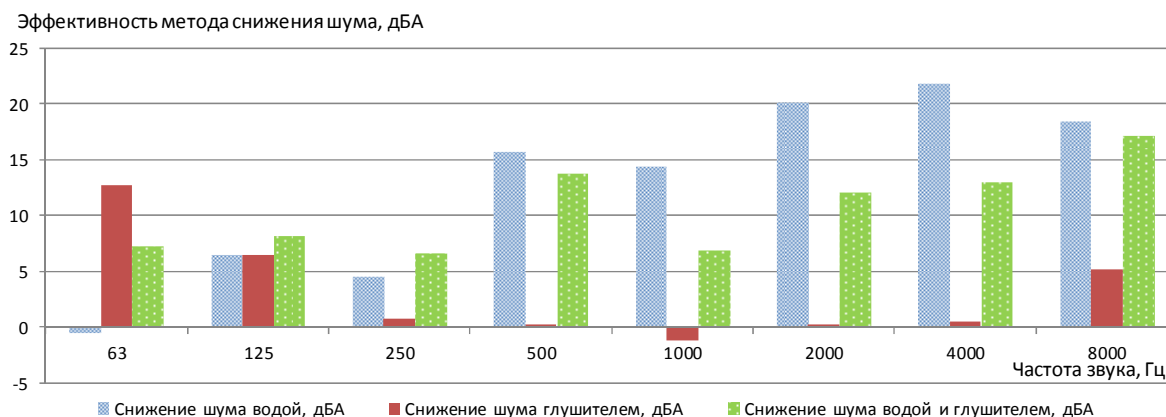


Рис. 4. Эффективность снижения шума водой, глушителем и их сочетанием, дБА

После разборки подвесного мотора загрязнение глушителя было незначительное, что может объясняться небольшим временем работы подвесного мотора при проведении эксперимента.

Заключение

Разработка и применение глушителей для снижения уровня шума газовыхлопной системы подвесного лодочного мотора требуют оценки его эффективности как фильтрующего элемента, оценки снижения мощности из-за повышения аэродинамического сопротивления и других дополнительных исследований, позволяющих сделать более глубокие выводы об эффективности разработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Технический регламент таможенного союза ТР ТС 026/2012 «О безопасности маломерных судов»*. 2012. 38 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293793/4293793541.htm> (дата обращения: 11.01.2021).
2. *ГОСТ 28556-2016*. Моторы лодочные подвесные. Общие требования безопасности. М.: Стандартинформ, 2016. 8 с.
3. *Покусаев М. Н., Хмельницкий К. Е., Ильина Е. Г.* Оценка эффективности капотов подвесных моторов маломерного судна в реальных условиях эксплуатации // *Вестн. Инженер. шк. Дальневосточ. федерал. ун-та*. 2020. № 3 (44). С. 87–92.
4. *Покусаев М. Н., Хмельницкий К. Е., Кадин А. А.* Оценка эффективности использования виброизолирующих устройств для подвесных лодочных моторов // *Науч. проблемы вод. трансп.* 2020. № 64. С. 124–130.
5. *Иванов Н. И.* Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом. М.: Университетская книга, Логос, 2008. 424 с.
6. *Шумомер-виброметр*, анализатор спектра «Экофизика-110А». Паспорт ПКДУ 411000.001.02ПС. М.: ООО «ПКФ Цифровые приборы», 2014. 12 с.
7. *Паспорт* на калибратор акустический АК-1000. М.: ООО «ПКФ Цифровые приборы», 2015. 8 с.
8. *ГОСТ ISO 14509-1-2015*. Суда малые. Измерение шума малых моторных прогулочных судов. Ч. 1. Измерение шума проходящего судна. М.: Стандартинформ, 2016. 19 с.

Статья поступила в редакцию 28.01.2021

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Покусаев Михаил Николаевич – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; д-р техн. наук, профессор; зав. кафедрой эксплуатации водного транспорта; evt2006@rambler.ru.

Хмельницкий Константин Евгеньевич – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; аспирант кафедры эксплуатации водного транспорта; chuchera80@mail.ru.

Кадин Алексей Алексеевич – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; магистрант кафедры эксплуатации водного транспорта; evt2006@rambler.ru.

Сергеев Алексей Викторович – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; студент кафедры эксплуатации водного транспорта; evt2006@rambler.ru.



DESIGN AND EVALUATING EFFICIENCY OF GAS EXHAUST SYSTEM SILENCER OF OUTBOARD MOTOR SEA PRO 2.5

M. N. Pokusaev, K. E. Khmel'nitsky, A. A. Kadin, A. V. Sergeev

*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russian Federation*

Abstract. The article presents the results of developing and evaluating the effectiveness of the silencer of outboard motor SEA PRO 2.5 made in China. The experiments were carried out in a large experimental pool of Astrakhan State Technical University, with the use of a noise meter-spectrum analyzer Ecophysics-110 of the first class, with the software Signal+3G Light. In the theoretical analysis of the development, it has been suggested that the efficiency of silencers of exhaust systems of outboard motors could have a smaller effect than with cars, since at underwater exhaust the noise reduction will occur from the water layer when the motor is submerged. It has been proved that using a silencer in underwater exhaust systems of outboard motors can increase the aerodynamic drag for gases and reduce power. To test the theoretical assumptions, there was made a silencer for the gas exhaust system of the outboard motor SEA PRO 2.5 from stainless steel perforated sponge. It was determined that the net effect of the silencer (excluding water silencing) could be heard at low frequencies (up to 125 Hz) and makes up to 12.7 dba at full speed of the motor. The average equivalent sound level is reduced up to 4.5 dba at low speed, and at full speed of the outboard motor is practically not evident. In addition, the outboard motor noise level was reduced by water and made at full speed up to 22 dba for frequencies over 2000 Hz; for average equivalent noise level it made 15 dba. The combination of noise reduction by water and by a silencer helps to reduce noise at low and high sound frequencies, which is a positive effect of the developed device.

Key words: small boat, outboard motor, gas exhaust system silencer, efficiency, sound level.

For citation: Pokusaev M. N., Khmel'nitsky K. E., Kadin A. A., Sergeev A. V. Design and evaluating efficiency of gas exhaust system silencer of outboard motor SEA PRO 2.5. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies.* 2021;1:81-87. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2021-1-81-87.

REFERENCES

1. *Tekhnicheskii reglament tamozhennogo soiuza TR TS 026/2012 «O bezopasnosti malomernykh sudov»* [Technical regulation of the Customs Union TR CU 026/2012 “On safety of small vessels”]. 2012. 38 p. Available at: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293793/4293793541.htm> (accessed: 11.01.2021).
2. *GOST 28556-2016. Motory lodochnye podvesnye. Obshchie trebovaniia bezopasnosti* [GOST 28556-2016. Outboard motors. General safety requirements]. Moscow, Standartinform Publ., 2016. 8 p.
3. Pokusaev M. N., Khmel'nitskii K. E., Il'ina E. G. Otsenka effektivnosti kapotov podvesnykh motorov malomernogo sudna v real'nykh usloviyakh ekspluatatsii [Estimation of efficiency of outboard engine hoods of small boat in real operating conditions]. *Vestnik Inzhenernoï shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta*, 2020, no. 3 (44), pp. 87-92.

4. Pokusaev M. N., Khmel'nitskii K. E., Kadin A. A. Otsenka effektivnosti ispol'zovaniia vibroizoliruiushchikh ustroystv dlia podvesnykh lodochnykh motorov [Evaluating effectiveness of vibration isolating devices for outboard motors]. *Nauchnye problemy vodnogo transporta*, 2020, no. 64, pp. 124-130.

5. Ivanov N. I. *Inzhenernaia akustika. Teoriia i praktika bor'by s shumom* [Engineering acoustics. Theory and practice of noise control]. Moscow, Universitetskaia kniga, Logos Publ., 2008. 424 p.

6. *Shumomer-vibrometr, analizator spektra «Ekofizika-110A». Pasport PKDU 411000.001.02PS* [Noise meter-vibrometer, spectrum analyzer “Ekophysika-110A”. Passport PKDU 411000.001.02PS]. Moscow, OOO «PKF Tsifrovye pribory», 2014. 12 p.

7. *Pasport na kalibrator akusticheskii AK-1000* [Passport for acoustic calibrator AK-1000]. Moscow, OOO «PKF Tsifrovye pribory», 2015. 8 p.

8. *GOST ISO 14509-1-2015. Suda malye. Izmerenie shuma malykh motornykh progulochnykh sudov. Part 1. Izmerenie shuma prokhodiashchego sudna* [GOST ISO 14509-1-2015. Small boats. Measuring noise of small motor recreational vessels. Part 1. Measuring noise of passing ship]. Moscow, Standartinform Publ., 2016. 19 p.

The article submitted to the editors 28.01.2021

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

Khmel'nitsky Konstantin Evgenievich – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Postgraduate Student of the Department of Water Transport Operation; chuchera80@mail.ru.

Kadin Alexei Alekseevich – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Master's Course Student of the Department of Water Transport Operation; evt2006@rambler.ru.

Sergeev Alexei Viktorovich – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Student of the Department of Water Transport Operation; evt2006@rambler.ru.

