

## АНАЛИЗ ЧАСТОТНОГО СПЕКТРА ШУМА ПОДВЕСНОГО ЛОДОЧНОГО МОТОРА HANGKAI 4.0 ПРИ КАПОТИРОВАНИИ

*М. Н. Покусаев, К. Е. Хмельницкий*

*Астраханский государственный технический университет,  
Астрахань, Российская Федерация*

Рассматриваются результаты экспериментов по измерению подвесного лодочного мотора Hangkai 4.0 при использовании различных видов шумоизолирующих капотов. Испытания проводились, в соответствии с ГОСТ ISO 14509-1-2015 «Суда малые. Измерение шума малых моторных прогулочных судов. Часть 1. Измерение шума проходящего судна», на полном ходу судна с частотой вращения коленчатого вала 4 500 об/мин и мощностью мотора 4 л.с. Измерения осуществлялись при движении судна на расстоянии 25 м обоими бортами с разными вариантами капотирования подвесного лодочного мотора. Установлен средний уровень шума, его частотный спектр, проведена оценка эффективности различных видов капотов. В ходе эксперимента были использованы штатный пластиковый капот мотора Hangkai 4.0, шумоизолирующий капот (пластиковый капот, внутри обклеенный автомобильной фольгированной шумоизоляцией) и авторский комбинированный шумоизолирующий капот «Капонистр». Представлено описание, и рассматриваются структурные элементы «Капонистра»; отмечено, что на конструкцию капота в 2019 г. получен патент на полезную модель. В результате проведенных экспериментов определено, что уровень внешнего шума подвесного лодочного мотора Hangkai 4.0 (без капотирования) 74,3 дБА не превышает допустимую величину (75 дБА), но находится на ее границе, что обуславливает невозможность эксплуатации мотора без стандартного капота. Наиболее распространенный интервал шума у подвесного лодочного мотора – частоты от 300 до 2 500 Гц. Сделаны выводы о том, что каждый вид капотирования (стандартный, шумоизолирующий, комбинированный, без капота) приводит к снижению уровня шума подвесного лодочного мотора; наибольший эффект снижения внешнего шума наблюдается при использовании комбинированного капота «Капонистр» на частоте 800 Гц – на 19,4 дБА, или на 27 %. В процессе исследований были использованы контрольно-измерительные приборы (шумомер-виброметр, анализатор спектра «Экофизика-110 (белая)»; акустический калибратор АК-1000) и программное обеспечение Signal+3G Light производства ООО «ПКФ Цифровые приборы».

**Ключевые слова:** шумоизоляция, подвесные лодочные моторы, маломерные суда, судовые энергетические установки, капотирование.

**Для цитирования:** Покусаев М. Н., Хмельницкий К. Е. Анализ частотного спектра шума подвесного лодочного мотора Hangkai 4.0 при капотировании // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2020. № 3. С. 33–39. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-3-33-39.

### Введение

Снижение шума судовых энергетических установок, в том числе и подвесных лодочных моторов маломерных судов, является важной задачей не только для защиты окружающей среды, но и для предотвращения утомления экипажа и рулевого и, как следствие, – высокого риска возникновения ошибок при судовождении и тяжелых аварий. Шум подвесных лодочных моторов весьма разнообразен по своему спектру и имеет диапазон фактически во всей слышимой человеком области звуковых частот: от 20 до 20 000 Гц. Диапазон мощности современных подвесных лодочных моторов составляет от 2 до 350 л.с. Согласно нормативной документации допустимые параметры шума могут различаться в зависимости от его частоты. Например, в соответствии с требованиями санитарных норм для машинных отделений морских судов с постоянной вахтой, допустимый уровень звукового давления на частоте 31 Гц составляет 109 дБА, а на частоте 8 000 Гц – уже 74 дБА [1]. Это свидетельствует о необходимости измерения уровня шума не только по средней величине, но и по отдельным частотам. Согласно исследованиям [2, 3] уровень шума современных подвесных лодочных моторов составляет до 95 дБ и выше, что может превышать допустимые санитарные нормы.

### Эксперимент по оценке частотного спектра шума подвесного лодочного мотора Hangkai 4.0

Для оценки параметров шума популярного подвесного лодочного мотора Hangkai 4.0 при использовании капотирования были произведены испытания на маломерном судне длиной 3 400 мм и шириной 1 230 мм в акватории реки Волги (населенный пункт – пос. Приволжье, г. Астрахань).

Используемые контрольно-измерительные приборы:

- шумомер-вибромметр, анализатор спектра «Экофизика-110 (белая)» [4];
- акустический калибратор АК-1000 [5].

Программное обеспечение: Signal+3G Light производства ООО «ПКФ Цифровые приборы».

Перед испытаниями и после них была проведена калибровка шумомера по уровню шума 114 дБ, отклонения реальных измеренных значений не превышали 0,44 %. По результатам калибровки изменение настроечных параметров шумомера не требовалось.

Испытания проводили, в соответствии с ГОСТ ISO 14509-1-2015 [6], на полном ходу судна с частотой вращения коленчатого вала 4 500 об/мин и мощностью мотора 4 л.с. Измерения выполняли при движении судна на расстоянии 25 м обоими бортами с разными вариантами капотирования подвесного лодочного мотора.

Капоты, которые использовались для проведения эксперимента:

- штатный пластиковый капот мотора Hangkai 4.0;
- шумоизолирующий капот (пластиковый капот, обклеенный внутри автомобильной фольгированной шумоизоляцией);

- авторский комбинированный шумоизолирующий капот «Капонистр».

Комбинированный капот «Капонистр» включает два основных элемента: капот, выполняющий оградительную и шумоизолирующую функцию, и канистра (емкость) для топлива (на конструкцию капота в 2019 г. получен патент на полезную модель [7]). «Капонистр» выполнен из стеклопластика, армированного стекломатом, в виде литой емкости, заполненной топливом.

Результаты измерений приведены в табл. 1 и на рис. 1.

Таблица 1

Результаты измерений шума подвесного лодочного мотора Hangkai 4.0

Вид капота	Максимальный уровень шума, дБА	Шум фона, дБА
Без капота	74,3	55
Стандартный	67,4	
Шумоизолирующий	66,8	
Комбинированный	65	

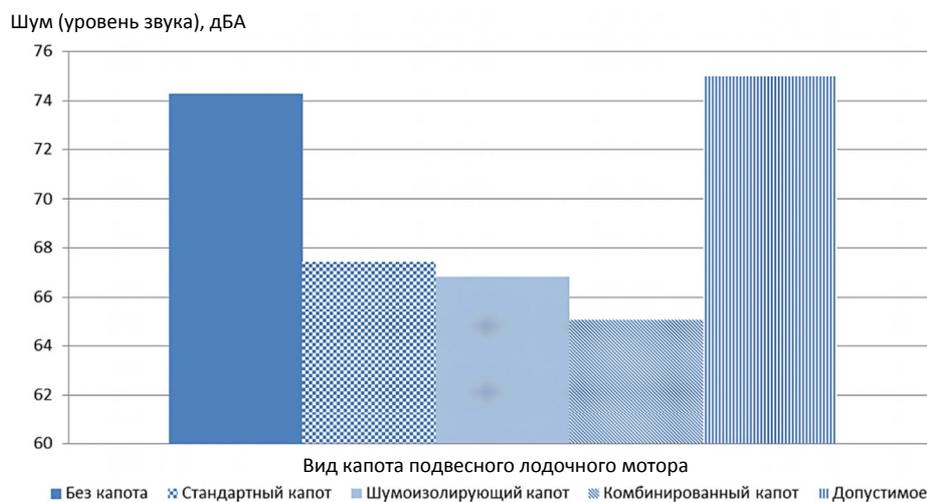


Рис. 1. Диаграмма результатов измерений шума подвесного лодочного мотора Hangkai 4.0

Разница между минимальным уровнем измеренного для различных вариантов капота шума и уровнем фона составляла 10 дБА, что является допустимой величиной согласно ГОСТ ISO 14509-1-2015 [6], поэтому корректировка результатов испытаний не требовалась.

Допустимый уровень шума по техническому регламенту Таможенного союза ТР ТС 026/2012 «О безопасности маломерных судов» [8], по ГОСТ 17.2.4.04-82 [9] для подвесных лодочных моторов, изготовленных ранее 01.01.2017 г., составляет 75 дБА.

Наиболее интересные результаты получены в результате анализа спектра шума в программе Signal+3G Light (табл. 2).

Таблица 2

Анализ спектра шума подвесного лодочного мотора и зависимость эквивалентного уровня шума от частоты шума

Капотирование \ Частоты, Гц	25	50	100	200	400	800	1 600	3 150	6 300	16 000
Без капота, дБА	11	20,8	34,3	47,8	60,1	71,9	66	54,5	47,2	27,6
Стандартный капот, дБА	19,2	30,6	40	52,6	55,7	57,7	55,2	50,6	44,1	29,4
Шумоизолирующий капот, дБА	17,9	27,1	34,3	47,6	55,3	56,9	55,3	47,6	39	26,3
Комбинированный капот, дБА	24,3	37,2	44,9	50,8	55	52,5	53,1	51,1	42,5	25,1

На рис. 2 проиллюстрирована эффективность капотов, определенная как разница между уровнем шума мотора без капотирования и с капотированием.

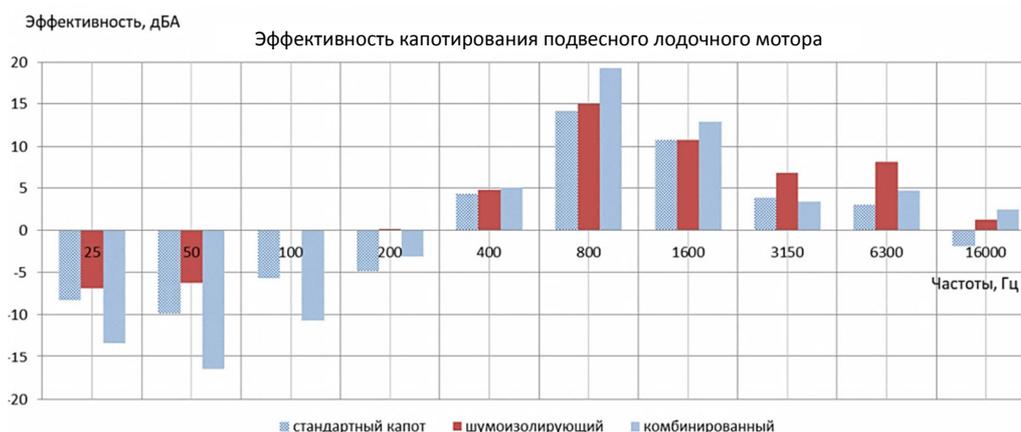


Рис. 2. Эффективность капотов различных видов для подвесных лодочных моторов

В соответствии с табл. 2 и рис. 2 шумоизолирующий и комбинированный виды капота «Капонистр» имеют наибольший эффект, он проявляется при звуковых частотах выше 100 Гц, что можно объяснить возникновением низкочастотного шума от вибрации корпуса лодки, а не подвесного лодочного мотора. Наибольшее снижение шума обеспечивается комбинированным капотом «Капонистр» на частоте 800 Гц с величиной 19,4 дБА. Скриншоты программы Signal+3G Light при анализе спектра шума ( $L_{eq}$  – эквивалентный уровень шума, скорректированный по характеристике А) для различного варианта капотов и измерений шума подвесного лодочного мотора Hangkai 4.0 представлены на рис. 3.

Как можно заметить, наибольшие амплитуды шума у подвесного лодочного мотора наблюдаются в диапазоне частот от 300 до 2 500 Гц.

Были проведены также эксперименты по измерению уровня внутреннего шума для экипажа моторной лодки. Для измерения шума от подвесного лодочного мотора Hangkai 4.0 на воде для экипажа лодки в соответствии с ГОСТ ISO 14509-3-2015 [10] была использована связка из двух судов: основного, с подвесным лодочным мотором Hangkai 4.0, и второго, с которого производились измерения. Испытания производились на холостом, малом, среднем и полном ходу судна. Результаты измерений приведены в табл. 3 и на рис. 4.

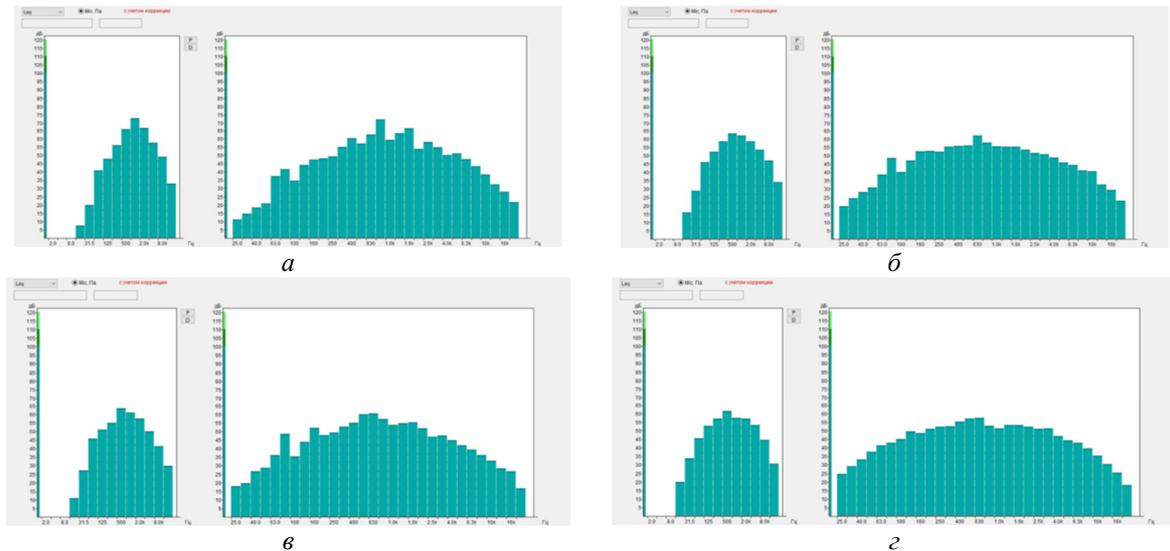


Рис. 3. Результаты анализа спектра шума подвесного лодочного мотора Hangkai 4.0 в программном продукте Signal+3G Light: *а* – без капота; *б* – стандартный капот; *в* – шумоизолирующий капот; *г* – комбинированный капот

Таблица 3

**Результаты измерений внутреннего шума для экипажа при различных видах капотирования подвесного лодочного мотора Hangkai 4.0**

Вид капота	Режим работы	Уровень шума, дБА			
		Холостой ход	Малый ход	Средний ход	Полный ход
Без капота		76,6	78,5	83,8	87,0
Стандартный		81,5	82,4	86,4	86,8
Шумоизолирующий		75,8	81,5	82,8	83,9
Комбинированный		74,4	74,9	82,7	86,1

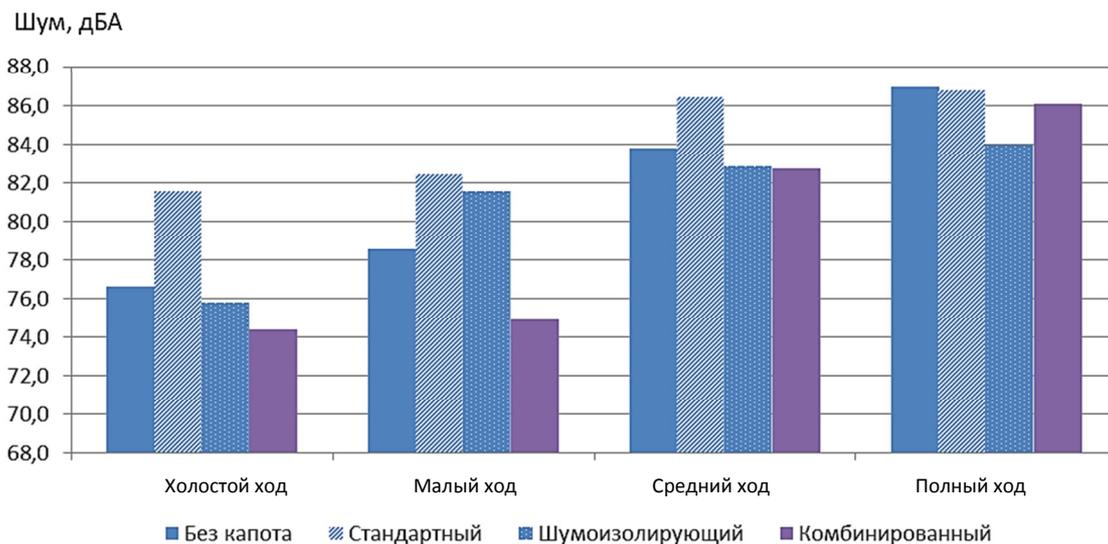


Рис. 4. Результаты измерений шума для экипажа при различных видах капотирования подвесного лодочного мотора Hangkai 4.0 на воде

Таким образом, комплексные измерения шума с анализом спектра позволяют достаточно точно оценить эффективность различного вида капотирования подвесных лодочных моторов.

### Выводы

Перечислим следующие выводы по измерению шума подвесного лодочного мотора Hangkai 4.0:

1. Уровень внешнего шума подвесного лодочного мотора Hangkai 4.0 (без капотирования) 74,3 дБА не превышает допустимую величину в 75 дБА, но находится на границе этой величины, поэтому эксплуатация мотора без стандартного капота не разрешается.

2. Преобладающим диапазоном шума у подвесного лодочного мотора являются частоты от 300 до 2 500 Гц.

3. Любой вид капотирования приводит к снижению уровня шума подвесного лодочного мотора.

4. Наибольший эффект снижения внешнего шума наблюдается при использовании комбинированного капота «Капонистр» на частоте 800 Гц – на 19,4 дБА, или на 27 %.

5. При работе подвесного лодочного мотора Hangkai 4.0 отмечено более приятное для восприятия звучание при использовании комбинированного капота, чем при капотировании другими способами.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СН 2.5.2.047-96. Уровни шума на морских судах: санитарные нормы (утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 21.02.1996 г.). 2.5.2. Водный транспорт. М.: Моркнига, 2018. 19 с.

2. Тест подвесных лодочных моторов 15 л.с. URL: <http://www.tohatsu.by/article/test-podvesnykh-lodochnykh-motorov-15-ls> (дата обращения: 05.07.2020).

3. Сравнительные испытания подвесных моторов мощностью 115 л.с. URL: <http://www.motopilot.ru/test-drive> (дата обращения: 05.07.2020).

4. Шумомер-виброметр, анализатор спектра «Экофизика-110А». Паспорт ПКДУ.411000.001.02ПС. М.: ООО «ПКФ Цифровые приборы», 2014. 12 с.

5. Калибратор акустический АК-1000. Паспорт ПКДУ 411100.001.033 ПС. М.: ООО «ПКФ Цифровые приборы», 2015. 8 с.

6. ГОСТ ISO 14509-1-2015. Суда малые. Измерение шума малых моторных прогулочных судов. Ч. 1. Измерение шума проходящего судна. М.: Стандартинформ, 2016. 19 с.

7. Пат. 194855 U1 Рос. Федерация. Шумоизолирующий капот для подвесного лодочного мотора / Хмельницкий К. Е., Покусаев М. Н.; опубл. 25.12.2019.

8. О безопасности маломерных судов: технический регламент Таможенного союза ТР ТС 026/2012 (принят решением Совета Евразийской экономической комиссии от 15.06.2012 № 33). URL: [https://sudact.ru/law/reshenie-soveta-evraziiskoi-ekonomicheskoi-komissii-ot-15062012\\_1/](https://sudact.ru/law/reshenie-soveta-evraziiskoi-ekonomicheskoi-komissii-ot-15062012_1/) (дата обращения: 05.07.2020).

9. ГОСТ 17.2.4.04-82. Охрана природы (ССОП). Атмосфера. Нормирование внешних шумовых характеристик судов внутреннего и прибрежного плавания. М.: Стандартинформ, 2004. 5 с.

10. ГОСТ ISO 14509-3-2015. Суда малые. Измерение шума малых моторных прогулочных судов. Ч. 3. Оценка шума при помощи расчетов и измерений. М.: Стандартинформ, 2016. 14 с.

Статья поступила в редакцию 06.07.2020

### 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](mailto:evt2006@ Rambler.ru).

**Хмельницкий Константин Евгеньевич** – Россия, 414056, Астрахань, Астраханский государственный технический университет; аспирант кафедры эксплуатации водного транспорта; [chuchera80@mail.ru](mailto:chuchera80@mail.ru).



## ANALYSIS OF FREQUENCY SPECTRUM OF OUTBOARD MOTOR HANGKAI 4.0 NOISE WHEN NOSING

*M. N. Pokusaev, K. E. Khmel'nitsky*

*Astrakhan State Technical University,  
Astrakhan, Russian Federation*

**Abstract.** The article deals with the results of experiments on measuring the Hangkai 4.0 outboard motor when using various types of noise-insulating hoods. The tests were carried out in accordance with GOST ISO 14509-1-2015 “Small Vessels. Noise measurement of small motor pleasure craft. Part 1. Noise of a passing ship” at full speed with the engine speed 4500 rev/min and motor power 4 HP. Measurements were carried out when the vessel was at a distance of 25 metres both sides with different options covering outboard motor. The average noise level and its frequency spectrum were measured, and the effectiveness of various types of hoods was evaluated. In the course of the experiment there was used a standard plastic hood of the Hangkai 4.0 engine, a noise-insulating hood (plastic hood, glued inside with automotive foil noise insulation) and an author's combined noise-insulating hood Kaponistr. Description and structural elements of Kaponistr are presented; it has been stated that the hood design was patented as a useful model in 2019. In the result of conducted experiments it has been inferred that the external noise level of the Hangkai 4.0 outboard motor (without hood) does not exceed 74.3 dBA, but is at the level of the permissible value of 75 dBA, so, when operating, the motor needs a standard hood. The prevailing frequency range of an outboard boat motor is within 300 - 2500 Hz. It has been inferred that each type of nosing (standard, sound-proof, combined, without hood) reduces the noise level of the outboard motor. The greatest effect of reducing external noise is observed when using a combined hood Kaponistr at a frequency of 800 Hz by 19.4 dBA or by 27%. In the research there were used the control and measuring devices (sound level meter, vibrometer, spectrum analyzer Ekofizika-110 (white); acoustic calibrator AK-1000) and software (Signal+3G Light manufactured by PKF Digital Instruments, LLC).

**Key words:** noise insulation, outboard boat motors, small vessels, marine power plants, nosing.

**For citation:** Pokusaev M. N., Khmel'nitsky K. E. Analysis of frequency spectrum of outboard motor Hangkai 4.0 noise when nosing. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2020;3:33-39. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2020-3-33-39.

### REFERENCES

1. SN 2.5.2.047-96. *Urovni shuma na morskikh sudakh: sanitarnye normy (utv. Postanovleniem Goskomsanepidnadzora Rossii ot 21.02.1996 g.). 2.5.2. Vodnyi transport [SN 2.5.2.047-96. Noise levels on ships: sanitary standards (approved by the Decree of the State Committee for Sanitary and Epidemiological Supervision of Russia dated 02.21.1996). 2.5.2. Water transport]*. Moscow, Morkniga Publ., 2018. 19 p.
2. *Test podvesnykh lodochnykh motorov 15 l.s* [Testing outboard motors with capacity of 15 hp]. Available at: <http://www.tohatsu.by/article/test-podvesnykh-lodochnykh-motorov-15-ls> (accessed: 05.07.2020).
3. *Sravnitel'nye ispytaniia podvesnykh motorov moshchnost'iu 115 l.s* [Comparative tests of 115 hp outboard motors]. Available at: <http://www.motopilot.ru/test-drive> (accessed: 05.07.2020).
4. *Shumomer-vibrometr, analizator spektra «Ekofizika-110A»*. *Pasport PKDU.411000.001.02 PS* [Sound level meter-vibrometer, spectrum analyzer Ekofizika-110A. Equipment Certificate 411000.001.02 PS]. Moscow, OOO «PKF Tsifrovye pribory», 2014. 12 p.
5. *Kalibrator akusticheskii AK-1000*. *Pasport PKDU 411100.001.033 PS* [Acoustic calibrator AK-1000. Equipment Certificate 411100.001.033 PS]. Moscow, OOO «PKF Tsifrovye pribory», 2015. 8 p.
6. *GOST ISO 14509-1-2015. Sudamalye. Izmerenie shuma malyykh motornykh progulochnykh sudov. Part 1. Izmerenie shuma prokhodiashchego sudna* [GOST ISO 14509-1-2015. Small vessels. Measurement of noise of small motorized pleasure craft. Part 1. Measurement of passing ship noise]. Moscow, Standartinform Publ., 2016. 19 p.
7. Khmel'nitskii K. E., Pokusaev M. N. *Shumoizoliruiushchii kapot dlia podvesnogo lodochnogo motora* [Sound insulating hood for outboard motor]. Patent RF, no. 194855 U1, 25.12.2019.
8. *O bezopasnosti malomernykh sudov: tekhnicheskii reglament Tamozhennogo soiuzu TR TS 026/2012 (priniat resheniem Soveta Evraziiskoi ekonomicheskoi komissii ot 15.06.2012 № 33)* [On safety of small vessels: technical regulations of the Customs Union TR CU 026/2012 (adopted by the decision of the Council of the Eurasian Economic Commission of 15.06.2012 No. 33)]. Available at: [https://sudact.ru/law/reshenie-soveta-evraziiskoi-ekonomicheskoi-komissii-ot-15062012\\_1/](https://sudact.ru/law/reshenie-soveta-evraziiskoi-ekonomicheskoi-komissii-ot-15062012_1/) (accessed: 05.07.2020).

9. *GOST 17.2.4.04-82. Okhranaprirody (SSOP). Atmosfera. Normirovanie vneshnikh shumovykh kharakteristik sudov vnutrennego i pribrezhnogo plavaniia* [GOST 17.2.4.04-82. Nature Conservancy (SSOP). Atmosphere. Standardization of external noise characteristics of inland and coastal vessels]. Moscow, StandartinformPubl., 2004. 5 p.

10. *GOST ISO 14509-3-2015. Suda malye. Izmerenie shuma malykh motornykh progulochnykh sudov. Part 3. Otsenka shuma pri pomoshchi raschetov i izmerenii* [GOST ISO 14509-3-2015. Small vessels. Measurement of noise from small motorized pleasure craft. Part 3. Assessment of noise by calculations and measurements]. Moscow, Standartinform Publ., 2016. 14 p.

The article submitted to the editors 06.07.2020

### **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.

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

