

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СНИЖЕНИЯ ВИБРАЦИИ КОРПУСА ЛОДКИ ПРИ ПОМОЩИ МНОГОСЛОЙНОЙ ТРАНЦЕВОЙ НАКЛАДКИ ДЛЯ ПОДВЕСНОГО МОТОРА

*М. Н. Покусаев, Т. В. Хоменко, К. Е. Хмельницкий, А. А. Кадин*

*Астраханский государственный технический университет,  
Астрахань, Российская Федерация*

Рассматриваются результаты экспериментов по измерению вибрации корпуса маломерного судна при различных методах виброизоляции подвесных лодочных моторов SEA PRO 5.0 (номинальная мощность – 5 л. с.) и SEA PRO 2.5 (номинальная мощность – 2,5 л. с.). Отмечено вредное влияние длительного воздействия вибрации на человеческий организм, а также на корпус лодки и подвесной мотор. Проведено измерение пикового уровня вибрации, представлена оценка эффективности различных видов виброизоляции. Эксперименты проводились с помощью виброметра российского производства «Экофизика-110А» (относительная погрешность измерения составляет  $\pm 0,5$  дБ) и виброметра китайского производства AR63A (относительная погрешность измерения:  $\pm 5$  %). Представлены иллюстрации используемых виброметров. Установлено, что многослойная транцевая накладка является достаточно эффективным способом снижения вибрации корпуса моторной лодки. Наибольшая эффективность была достигнута для подвесного лодочного мотора SEA PRO 5.0 при его работе на полном ходу, зафиксировано снижение вибрации на 17,3 % при использовании относительной величины виброускорения (дБ). Зафиксировано снижение вибрации на 9,5 % при использовании относительной величины виброускорения (дБ) при работе на среднем ходу для подвесного лодочного мотора SEA PRO 2.5. Сделан вывод о перспективности исследований по снижению вибрации подвесных лодочных моторов, необходимости проведения научных и экспериментальных исследований и выработки норм по допустимой вибрации корпуса моторных лодок, ограничивающих ее вредное влияние на экипаж, конструкцию лодки и на подвесной лодочный мотор. Приведена формула логарифмических уровней виброускорения в относительных единицах в соответствии с общепринятыми санитарными правилами и нормами.

**Ключевые слова:** виброизоляция, подвесные лодочные моторы, маломерные суда, вибрация корпуса лодки, виброускорение.

**Для цитирования:** Покусаев М. Н., Хоменко Т. В., Хмельницкий К. Е., Кадин А. А. Оценка эффективности снижения вибрации корпуса лодки при помощи многослойной транцевой накладки для подвесного мотора // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2020. № 4. С. 16–22. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-4-16-22.

### Введение

Вибрация корпусных судовых конструкций являлась предметом изучения многих специалистов, среди которых О. В. Щербакова [1], С. А. Худяков [2], С. В. Дятченко [3], А. М. Барановский [4] и другие, однако их исследования касаются крупных морских и речных судов и не рассматривают вибрацию маломерных. При этом количество моторных лодок и прогулочных катеров в России, по данным Государственной инспекции по маломерным судам (ГИМС), в 2018 г. достигает 1,5 млн шт. Вибрация корпуса маломерного судна негативно влияет на его экипаж и пассажиров, ослабляет крепежные детали конструкции, приводит к возникновению структурного шума. Основная вибрация возникает из-за работы подвесных лодочных моторов, которые являются наиболее распространенным типом главных двигателей для маломерных судов. Конечно, не стоит при этом отбрасывать и другие причины вибрации корпуса лодки: скоростной неравномерный поток воды при ее движении, периодическое волнение, ветровая нагрузка, резонансные колебания вспомогательного оборудования, например якорей, весел и т. д.

Возможные причины вибрации в подвесных лодочных моторах:

- малая масса маховика или его отсутствие;
- применение одноцилиндровых конструкций;

- горизонтальное расположение цилиндропоршневой группы;
- неуравновешенные силы инерции кривошипно-шатунного механизма;
- неравномерность потока набегающей воды на гребной винт;
- пульсирующий поток выхлопных газов, проходящих через корпус мотора и выбрасываемых в воду;
- соударения зубьев в шестеренных парах в редукторе и другие причины.

Таким образом, подвесной мотор является механизмом, который генерирует основные вибрации в системе «лодка – мотор». Вибрации от подвесного мотора передаются через его крепления на корпус лодки и далее через сидения на экипаж и пассажиров.

Длительное воздействие вибрации на человека может привести к возникновению нарушений в работе его сердечно-сосудистой и нервной системах, опорно-двигательного аппарата и другим негативным явлениям. Относительно лодки и подвесного мотора – длительная вибрация приводит к снижению ресурса и повреждениям, ослаблению крепежа, возникновению усталостных трещин, поэтому задача снижения вибрации на маломерных судах является важной и актуальной.

### **Нормативно-техническая документация**

Для маломерных судов с подвесными лодочными моторами (моторное судно, скоростное прогулочное судно, моторная лодка, катер и т. д.) в России фактически отсутствуют требования по уровню вибрации корпуса, что может являться предметом исследования для отдельной статьи. Согласно проведенному нами анализу наиболее близкими по области применения к маломерным судам являются санитарные правила и нормы СанПиН 2.5.2-703-98 «Суда внутреннего и смешанного (река-море) плавания» [5] и СН 2.5.2.048-96 «Уровни вибрации на морских судах: санитарные нормы» [6]. Следует отметить, что существуют нормы по вибрации на румпеле (рукоятке управления) подвесного лодочного мотора согласно ГОСТ 28556-2016 «Моторы лодочные подвесные. Общие требования безопасности» [7], но они применимы для контроля локальной вибрации, воздействующей на рулевого.

Для машинных отделений судов с постоянной вахтой, к которым можно с некоторыми допущениями отнести и место рулевого моторной лодки, установлены следующие допустимые нормы по уровню общей вибрации:

- согласно [5] скорректированный уровень среднеквадратичного значения – не более 63 дБ; максимальный уровень на частоте 63 Гц составляет 78 дБ;
- согласно [6] скорректированный уровень среднеквадратичного значения – не более 56 дБ; максимальный уровень на частоте 63 Гц составляет 71 дБ.

### **Эксперименты по измерению вибрации лодки с подвесными лодочными моторами SEA PRO 5.0 и SEA PRO 2.5**

Вибрация от подвесного мотора передается через его крепления на корпус лодки, поэтому изоляция двигателя на транце приведет к снижению ее величины.

Для определения эффективности такого способа снижения вибрации был проведен ряд экспериментов с лодкой по типу Riverboat 36 Chirok (длиной 3 400 мм и шириной 1 230 мм), оснащенной двумя вариантами изоляции крепления подвесного лодочного мотора: с разработанной авторами настоящей статьи транцевой многослойной накладкой и с резиотехническим полотном марки БК-2045. Транцевая виброизолирующая накладка (с толщиной 4,5 мм) имеет пятислойную конструкцию – слои прорезиненной ткани УНКЛ-3 (0,5 мм), силиконового герметика (1,5 мм), армирующей металлической сетки (0,5 мм), силиконового герметика (1,5 мм), прорезиненной ткани УНКЛ-3 (0,5 мм).

Моторная лодка имеет фанерный транец толщиной 40 мм, а для экспериментов использовались подвесные лодочные моторы SEA PRO 5.0 и SEA PRO 2.5 с номинальной мощностью 5 и 2,5 л. с.

Данные модели китайского производства имеют одноцилиндровую конструкцию и обладают, по отзывам пользователей из открытых источников, повышенной вибрацией и шумом. Очевидно, это обусловлено тем, что они не имеют достаточную компенсирующую массу маховика, последнее вызвано стремлением производителя уменьшить вес и габариты всего подвесного мотора. Выбор данных моделей был связан также с несколькими причинами: китайские моторы имеют невысокую стоимость; мощность не превышает 5 л. с., что не требует их обязательной

регистрации в ГИМС, и это определяет их широкую популярность среди водомоторников. При экспериментах были измерены пиковые значения виброускорения (на частоте до 1 000 Гц) корпуса лодки согласно схеме (рис. 1).

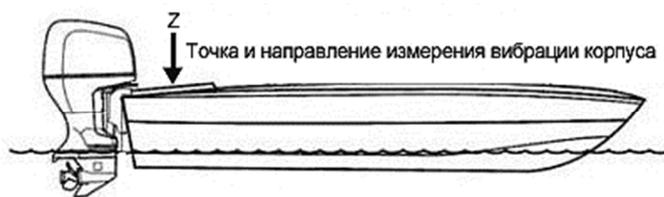


Рис. 1. Точка измерения вибрации корпуса моторной лодки

При испытаниях были предприняты следующие меры для снижения погрешностей, влияющих на точность экспериментальных данных:

- исследования проводили в спокойную погоду без волнения на водоеме, что снизило влияние периодических волновых и ветровых вибраций;
- испытания проводили на водоеме при глубине более 2 м для избежания неравномерности попутного потока воды;
- были убраны или надежно закреплены вспомогательные средства на лодке (якоря, весла) для исключения их вибраций;
- измерения производили несколько раз с целью исключения случайных погрешностей при установке прибора.

#### Контрольно-измерительные приборы

Для основного измерения вибрации использовался виброметр «Экофизика-110А» (рис. 2) российского производства с относительной погрешностью измерения  $\pm 0,5$  дБ.



Рис. 2. Общий вид виброметра «Экофизика-110А»

Для дополнительных измерений использовался виброметр AR63A (рис. 3) китайского производства с относительной погрешностью  $\pm 5$  %.



Рис. 3. Общий вид виброметра AR63A

Согласно санитарным правилам и нормам [5, 6] логарифмические уровни виброускорения в относительных единицах, дБ, определяются по формуле

$$L_a = 20 \cdot \lg\left(\frac{a}{a_0}\right),$$

где  $a$  – величина виброускорения,  $\text{м/с}^2$ ;  $a_0$  – величина виброускорения,  $\text{м/с}^2$ , принимаемая за стандартную, равная  $3 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$  и соответствующая 0 дБ, согласно документам [5, 6].

Результаты измерения вибрации корпуса лодки в зависимости от варианта виброизоляции и режима работы подвесного лодочного мотора SEA PRO 2.5 представлены в табл. 1, а мотора SEA PRO 5.0 – в табл. 2.

Таблица 1

Результаты измерения вибрации корпуса лодки с подвесным лодочным мотором SEA PRO 2.5

Вид виброизоляции	Режим работы подвесного мотора, дБ		
	Малый ход	Средний ход	Полный ход
Без виброизоляции	94,6	99,9	100,5
С резинотехническим полотном	93,1	100,6	94,9
С вибронакладкой	87,5	90,4	92,2

Таблица 2

Результаты измерения вибрации корпуса лодки с подвесным лодочным мотором SEA PRO 5.0

Вид виброизоляции	Режим работы подвесного мотора, дБ		
	Малый ход	Средний ход	Полный ход
Без виброизоляции	89,3	103,3	101,5
С резинотехническим полотном	88,5	103,7	99,1
С вибронакладкой	80,3	87,4	83,9

Результаты данных табл. 1 и 2 изображены на рис. 4 в виде столбчатых диаграмм.

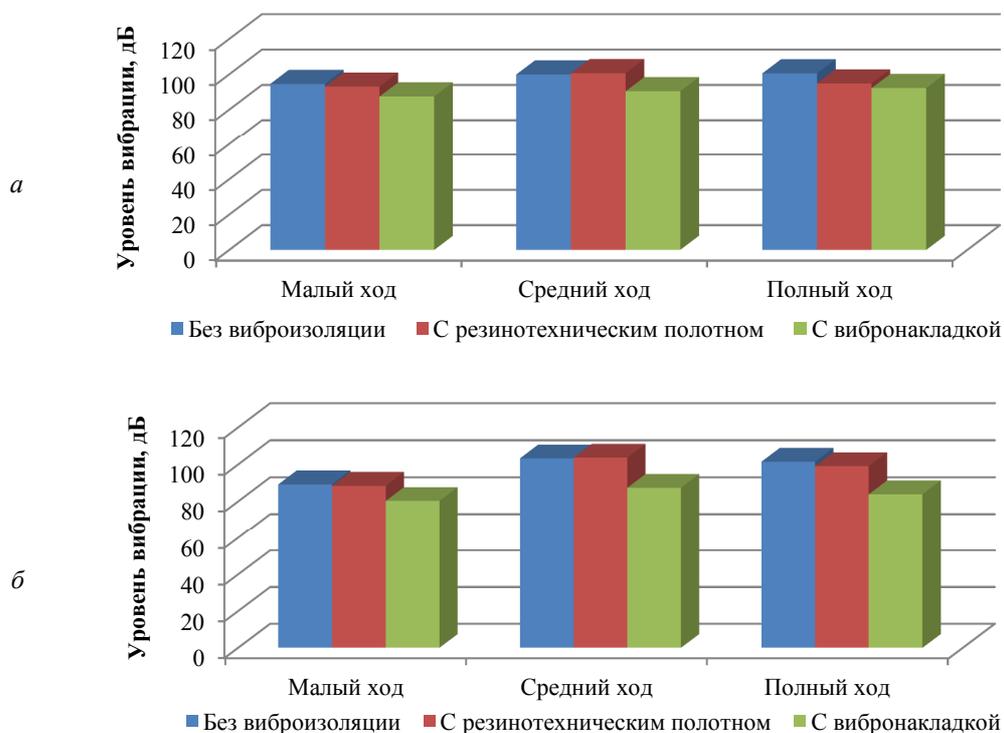


Рис. 4. Результаты измерения вибрации корпуса лодки с подвесным лодочным мотором: а – SEA PRO 2.5; б – SEA PRO 5.0

Согласно результатам измерений уровень вибрации корпуса лодки без применения изоляции весьма высок и на полном ходу для обеих моделей подвесных лодочных моторов (SEA PRO 2.5 и SEA PRO 5.0) не отличается более чем на 1 дБ. Таким образом, различие по мощности моделей в два раза не влияет на вибрацию лодки. Вероятно, это связано с особенностью одноцилиндровой конструкции подвесных лодочных моторов фирмы SEA PRO и недостаточной уравновешенностью их кривошипно-шатунного механизма.

Виброизоляция при помощи резинотехнического полотна оказалась недостаточно эффективна (максимальное снижение вибрации на полном ходу составляет 5,5 %), при этом на среднем ходу подвесных лодочных моторов вибрация не снижается, а даже начинает повышаться на 0,7 %.

Многослойная транцевая накладка является достаточно эффективным способом снижения вибрации корпуса моторной лодки. Наибольшая эффективность была достигнута для подвесного лодочного мотора SEA PRO 5.0 при его работе на полном ходу, при этом зафиксировано снижение на 17,3 % вибрации при использовании относительной величины виброускорения, дБ.

При работе подвесного лодочного мотора SEA PRO 2.5 на среднем ходу зафиксировано снижение вибрации на 9,5 % при использовании относительной величины виброускорения, дБ.

Если использовать в качестве допустимых критериев максимальный уровень вибрации по [5] в 78 дБ, то даже при использовании вибрационной накладки рекомендуемая величина не была достигнута, а превышение допустимого уровня составляет от 3 до 18,2 %.

### **Заключение**

Результаты проведенного исследования позволяют говорить о перспективности снижения вибрации подвесных лодочных моторов при помощи многослойной накладки.

В целом, следует рекомендовать проведение дальнейших научных и экспериментальных исследований и выработки норм по допустимой вибрации корпуса моторных лодок, которые могут ограничить ее вредное влияние на экипаж, пассажиров, конструкцию лодки и на подвесной мотор.

Необходимы научно-исследовательские работы с анализом спектра вибрации для определения наиболее характерных частот, на которых могут возникнуть резонансы корпуса и вспомогательных устройств и механизмов лодки.

В конечном итоге необходима разработка норм по уровню вибрации для экипажа и пассажиров моторной лодки и внесения соответствующих изменений в современную нормативную базу для маломерных судов.

### *СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

1. *Щербакова О. В.* Виброизоляция структурного шума на судах: дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2014. 149 с.
2. *Худяков С. А.* Вибростойкость и конструирование упругих систем судовых энергетических установок: дис. ... д-ра техн. наук. Комсомольск-на-Амуре, 2014. 318 с.
3. *Дятченко С. В.* Разработка методов проектного обеспечения нормативных характеристик вибрации на судах промыслового флота: дис. ... д-ра техн. наук. Калининград, 2011. 435 с.
4. *Барановский А. М.* Теоретические основы эффективной виброизоляции на судах: дис. ... д-ра техн. наук. Новосибирск, 2000. 316 с.
5. *СанПиН 2.5.2-703-98.* Суда внутреннего и смешанного (река-море) плавания: санитарные правила и нормы (утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 30.04.1998 № 16). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293852/4293852274.htm> (дата обращения: 20.09.2020).
6. *СН 2.5.2.048-96.* Уровни вибрации на морских судах: санитарные нормы (утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 21.02.1996 № 4). 2.5.2. Водный транспорт. М.: Моркнига, 2018. 21 с.
7. *ГОСТ 28556-2016.* Моторы лодочные подвесные. Общие требования безопасности. М.: Стандартинформ, 2016. 8 с.

Статья поступила в редакцию 24.09.2020

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

**Хоменко Татьяна Владимировна** – Россия, 414056, Астрахань, Астраханский государственный технический университет; д-р техн. наук, профессор; профессор кафедры высшей и прикладной математики; vipm@astu.org.

**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.



## EVALUATION OF HULL VIBRATION REDUCTION USING MULTI-LAYER TRANSOM COVER FOR OUTBOARD MOTOR

*M. N. Pokusaev, T. V. Homenko, K. E. Khmel'nitsky, A. A. Kadin*

*Astrakhan State Technical University,  
Astrakhan, Russian Federation*

**Abstract.** The article discusses the results of experiments on measuring vibration of the hull of a small vessel using various methods of vibroinsulation of outboard motors SEA PRO (nominal capacity 5 h.p.) and SEA PRO (nominal capacity 2.5 h.p.). There have been recorded the harmful effects of prolonged exposure to vibration on the human body, as well as on the boat hull and outboard motor. The peak vibration level was measured and the effectiveness of different types of vibroinsulation was evaluated. The experiments were carried out using a vibrometer Ekofizika-110A made in Russia (relative measurement error  $\pm 0.5$  dB) and a vibrometer AR63A made in China (relative measurement error  $\pm 5\%$ ). The illustrations of the vibrometers used are presented. It was determined that a multi-layer transom cover is a fairly effective way to reduce the vibration of the motor boat hull. The highest efficiency was achieved for the outboard motor SEA PRO 5.0 when it was running at full speed; a 17.3% reduction in vibration was recorded when using the relative value of vibration acceleration (dB). For the outboard motor SEA PRO 2.5 running at medium speed the decreased vibration (9.5%) was recorded when using the relative value of vibration acceleration (dB). The conclusion has been made about the prospects of reducing the vibration of outboard motors and the need for scientific and experimental research, as well as for the development of standards for permissible vibration of the motor boat hull, which can limit the harmful effect on the crew, the boat structure and the outboard motor. The formula of the logarithmic levels of vibration acceleration in relative units is given in accordance with generally accepted sanitary rules and regulations.

**Key words:** vibroinsulation, boat outboard motors, small vessels, boat hull vibrations, vibroacceleration.

**For citation:** Pokusaev M. N., Homenko T. V., Khmel'nitsky K. E., Kadin A. A. Evaluation of hull vibration reduction using multi-layer transom cover for outboard motor. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2020;4:16-22. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2020-4-16-22.

### REFERENCES

1. Shcherbakova O. V. *Vibroizoliatsiia strukturnogo shuma na sudakh: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Vibroinsulation of structure-borne noise on ships: diss. abstr.... cand. tech. sci.]. Novosibirsk, 2014. 149 p.

2. Khudiakov S. A. *Vibrostoikost' i konstruirovaniye uprugikh sistem sudovykh energeticheskikh ustanovok: dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Vibration resistance and design of elastic systems of ship power plants: diss. ... dr. tech. sci.]. Komsomol'sk-na-Amure, 2014. 318 p.
3. Diatchenko S. V. *Razrabotka metodov proektnogo obespecheniia normativnykh kharakteristik vibratsii na sudakh promyslovogo flota: dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Development of methods for design support of standard vibration characteristics on ships of the fishing fleet: diss. ... dr. tech. sci.]. Kaliningrad, 2011. 435 p.
4. Baranovskii A. M. *Teoreticheskie osnovy effektivnoi vibroizolatsii na sudakh: dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Theoretical foundations of effective vibroinsulation on ships: diss. ... dr. tech. sci.]. Novosibirsk, 2000. 316 p.
5. SanPiN 2.5.2-703-98. *Suda vnutrennego i smeshannogo (reka-more) plavaniia: sanitarnye pravila i normy (utv. Postanovleniem Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha Rossiiskoi Federatsii ot 30.04.1998 № 16)* [SanPiN 2.5.2-703-98. Inland and mixed (river-sea) vessels: sanitary rules and regulations (approved by the Decree of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation of 30.04.1998 No. 16)]. Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293852/4293852274.htm> (accessed: 20.09.2020).
6. SN 2.5.2.048-96. *Urovni vibratsii na morskikh sudakh: sanitarnye normy (utv. Postanovleniem Goskomsanepidnadzora Rossii ot 21.02.1996 № 4). 2.5.2. Vodnyi transport* [CH 2.5.2.048-96. Vibration levels on sea vessels: sanitary standards (approved by the Decree of the State Committee for Sanitary and Epidemiological Supervision of Russia dated February 21, 1996 No. 4). 2.5.2. Water transport]. Moscow, Morkniga Publ., 2018. 21 p.
7. GOST 28556-2016. *Motory lodochnye podvesnye. Obshchie trebovaniia bezopasnosti* [GOST 28556-2016. Outboard motors. General safety requirements]. Moscow, Standartinform Publ., 2016. 8 p.

The article submitted to the editors 24.09.2020

#### 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; pokusaevmn@mail.ru.

**Homenko Tatiana Vladimirovna** – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Higher and Applied Mathematics; vipm@astu.org.

**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.

