

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПОДЕСНЫХ ЛОДОЧНЫХ МОТОРОВ

М.Н. Покусаев

Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Россия

К.Е. Хмельницкий

Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Россия

А.А. Кадин

Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Россия

Аннотация: Шум, образующийся на корпусе лодки в результате воздействия вибрации подвесных лодочных моторов, является актуальной проблемой, так как негативно воздействует на экипаж судна и на окружающую среду.

Воздушный шум можно снизить при помощи капотирования, а структурный шум – при помощи виброизоляции. В качестве технического решения для виброизоляции можно предложить использование виброизолирующих накладок между трубцинами, прижимной пластиной подвесного мотора и транцем лодки. Сегодня существуют жесткие накладки на транец, которые предотвращают повреждение корпуса лодки от вворачивания трубцин, но это не предотвращает распространение вибрации от мотора. В своем исследовании мы попытались оценить эффективность применения различных по конструкции виброизолирующих транцевых накладок. Экспериментально установлено, что применение для подвесного лодочного мотора «SEA PRO 5.0» накладки из резины марки БК-2045 с толщиной 5 мм максимально снижает шум на 11,2 дБА (11,4%), применение многослойной накладки толщиной 4,5 мм, дает снижение шума на 24,2 дБА (24,5 %), что говорит о перспективности подобных разработок.

Ключевые слова: шум, вибрация, маломерное судно, подвесной лодочный мотор, виброизоляция.

Введение

Снижение уровня шума и вибрации подвесных лодочных моторов является сложной и в то же время актуальной инженерной и экологической задачей. На сегодня изучение шума двигателей внутреннего сгорания различного назначения рассматривается в работах Шатрова М.Г.: [1], Руссинковского В.С.: [2], Krisztina Uzuneanu, Ion V. Ion: [3], David A. Bies, Colin H. Hansen: [4] и других. Шум и вибрация подвесных лодочных моторов нормируются рядом документов: Технический регламент таможенного союза ТР ТС 026/2012 «О безопасности маломерных судов» [5]; ГОСТ 28556-2016 «Моторы лодочные подвесные. Общие требования безопасности» [6]; ГОСТ 17.2.4.04-82 «Охрана природы (ССОП). Атмосфера. Нормирование внешних шумовых характеристик судов внутреннего и прибрежного плавания» [7]; также превышение шума моторов является правонарушением согласно статье 8 Кодекса РФ об административных правонарушениях [8]. Измерение уровня воздушного внешнего шума подвесных лодочных моторов производится в соответствии с ГОСТ ИСО 14509-1:2008 «Суда малые. Измерение распространяющегося по воздуху звука, производимого моторными прогулочными судами. Часть 1. Методика измерения внешнего шума», [9], а измерение локальной вибрации на румпеле управления согласно ГОСТ 31192.1-2004 «Вибрация. Измерение локальной вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1. Общие требования», [10].

Для оценки эффективности применения виброизолирующих транцевых накладок были проведены испытания на открытой воде, на реке Волга. В качестве испытуемого объекта была взята металлическая моторная лодка с длиной 3400 мм и шириной 1230 мм, оснащенная популярными одноцилиндровыми подвесными лодочными моторами «SEA PRO 2.5», «SEA PRO 5.0» китайского производства, имеющими по отзывам из открытых источников повышенную вибрацию и шум. Повышенная вибрация вышеуказанных моторов связана с тем, что двигатели, имеющие одноцилиндровую конструкцию, не имеют достаточную компенсирующую маховую массу из-за не всегда оправданной борьбы производителей за уменьшение веса и размеров моторов.

Цель и новизна исследования

Целью исследования являлось проведение сравнительных испытаний по снижению шума подвесных лодочных моторов при помощи виброизоляции. Для этого был проведен практический эксперимент с подвесными лодочными моторами марок «SEA PRO 5.0» и «SEA PRO 2.5» в условиях реальной эксплуатации в акватории река Волга.

Основные объекты для эксперимента

Предыдущие исследования кафедры «Эксплуатация водного транспорта» Астраханского государственного технического университета в области снижения шума подвесных лодочных моторов привели к созданию ряда моделей капотов, но в процессе экспериментов было выявлено, что шум возникает не только от работы подвесного мотора, но и от вибрации, передаваемой через жесткое крепление от мотора к лодке, в связи с чем было принято решение подойти к проблеме снижения уровня шума комплексно – как с точки зрения воздушного, так и структурного шума. В ходе решения этой проблемы была создана транцевая виброизолирующая накладка в виде пятислойной конструкции. Наружным слоем является прорезиненная ткань УНКЛ-3, которая представляет собой капроновую основу с каучуковой пропиткой. Подобную ткань используют при производстве ПВХ лодок, рыбацких сапог и общевойсковых защитных комплектов химической защиты ОЗК. Следующий слой выполнен из прозрачного силиконового герметика, который накладывался поверх УНКЛ-3. Герметик обладает следующими свойствами: стойкостью к внешнему воздействию (что очень важно в местах крепления струбцин подвесного мотора); способностью к деформации (что позволит транцевой плоской накладке плотно прилегать к поверхности транца лодки); устойчивостью к ультрафиолетовому излучению и воздействию агрессивных горюче-смазочных материалов; устойчивостью к перепадам температур от -50° до $+300^{\circ}$ C (что повышает его эффективность в условиях эксплуатации рабочей температуры двигателя); нейтральностью к появлению плесени и бактерий (так как транцевые доски изготавливаются из биологического материала: дерева, фанеры и т.д.). После высыхания герметика, был наложен слой металлической сетки с шириной ячейки 0,04 мм, выполненной из нержавеющей стали марки 08X17H13M2T. Сетка была применена для армирования конструкции транцевой накладки и для формирования эффекта «запоминания» формы транца, что облегчает работу при многократном демонтаже подвесного мотора с транца. На армирующую сетку далее был нанесен слой силиконового герметика, который сверху был покрыт тканью УНКЛ-3. После этого, транцевая накладка была помещена под пресс для высыхания. Таким образом, транцевая накладка с общей толщиной 4,5 мм состоит из слоев: прорезиненной ткани УНКЛ-3 с толщиной 0,5 мм; силиконового герметика с толщиной 1,5 мм; армирующей металлической сетки с толщиной 0,5 мм; силиконового герметика с толщиной 1,5 мм, прорезиненной ткани УНКЛ-3 с толщиной 0,5 мм.

Моторная лодка для испытаний подвесных лодочных моторов имеет фанерный транец с толщиной 40 мм.

Для экспериментов использовались следующие подвесные лодочные моторы:

1. «SEA PRO 5.0» со следующими техническими характеристиками:

- тип двигателя: двухтактный карбюраторный;
- мощность двигателя: 5 л.с.;
- масса: 25 кг.

2. «SEA PRO 2.5» со следующими техническими характеристиками:

- тип двигателя: двухтактный карбюраторный;
- мощность двигателя: 2,5 л.с.;
- масса: 10 кг.

Для работы обоих моторов использовалась смесь бензина АИ-92 по ГОСТ 32513-2013 «Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия» [11] с маслом «Yamalube2» в пропорции 1/50.

Виброизолирующие устройства, используемые для проведения эксперимента:

- разработанная транцевая многослойная вибронакладка;
- резино-техническое полотно марки БК-2045.

Контрольно-измерительные приборы

Основные измерения шума производились при помощи комплекса «Экофизика-110А», трехканального виброметра-шумомера, анализатора спектра, предназначенного для оценки вибрации и шума, внесенного с номером 48433-11 в Госреестр средств измерения РФ. Согласно паспорту ПКДУ.411000.001.02ПС на измерительный комплекс «Экофизика-110А» [12], при использовании прибора в качестве шумомера достигаются следующие технические характеристики: класс 1 по МЭК 61260; наименование встроенного программного обеспечения: EPH-V; набор фильтров: октавные, 1/3-октавные фильтры; номинальные среднегеометрические частоты октавных фильтров: 1; 2; 4; 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000 Гц; погрешность измерения: 0,4 дБ; минимальный уровень измеряемого шума: 22 дБА; максимальный уровень измеряемого шума: 139 дБА. В состав измерительного комплекса также входит микрофонный предусилитель P200 [13], акустический калибратор АК-1000 [14], микрофонный капсуль ВМК-205: [15], программное обеспечение «Signal +».

Измерение вибрации производилось при помощи портативного виброметра модели AR63A с основными техническими характеристиками виброметра: диапазон измерения виброскорости: от 0,1 до 1999,9 мм/с; диапазон измерения виброперемещения: от 0,001 до 1,999 мм; диапазон измерения виброускорения: от 0,1 до 199,9 м/с²; частотный отклик виброускорения: 10 Hz – 1 KHz (LO), 1 KHz – 15 KHz; частотный отклик скорости / перемещения: 10 Hkz – 1 KHz; погрешность: $\pm 5\%$, ± 2 цифры.

Также применялся вспомогательный шумомер «Uniontest» SM135, который имеет следующие технические характеристики: четырёхразрядный цифровой дисплей; динамический диапазон: 30~130 дБ; частотный диапазон: 31,5 Гц ~ 8,5 кГц; диапазон измерений: 30–130 дБ; основная погрешность: ±1,5 дБ (при уровне звука 94 дБ, 1 кГц); разрешение: 0,1 дБ.

Скорость ветра при измерениях шума измерялась анемометром Union GM8901 с погрешностью не более 3%.

Процедура проведения эксперимента

Перед проведением испытаний была произведена оценка условий окружающей среды: скорость ветра не превышала 1,1 м/с; дождь и иные осадки отсутствовали; высота речной волны в районе испытаний не превышала 0,1 м; температура воздуха +30 °С.

Разница между уровнем измеренного шума и уровнем фона (49,1 дБА) составила более 10 дБА, что является допустимой величиной, поэтому корректировка результатов испытаний не требовалась. Перед и после проведением испытаний шумомер «Экофизика-110А» подвергался калибровке по уровню звука 114 дБА при помощи виброкалибратора и погрешность составила не более 0,44%, поэтому результаты могут быть признаны достоверными.

Микрофон основного и дополнительных шумомеров располагались в кормовой части лодки на уровне органов слуха рулевого, управляющего румпелем подвесного лодочного мотора. Измерения проводились на следующих режимах работы подвесных лодочных моторов: холостой, малый, средний, полный ход для следующих вариантов установки подвесного лодочного мотора: без виброизолирующих накладок, с виброизолирующей многослойной накладкой, с резиновой накладкой.

Результаты эксперимента

Обработанные при помощи методов математической статистики и программного обеспечения «Signal +» результаты измерений уровня шума подвесных лодочных моторов «SEA PRO 2.5» и «SEA PRO 5.0» представлены в таблицах 1 и 2 и в виде графиков на рисунках 1 и 2. Следует отметить, что у подвесного лодочного мотора «SEA PRO 2.5» не предусмотрен режим холостого хода.

Таблица 1

Результаты экспериментов с подвесным лодочным мотором «SEA PRO 2.5»

Режим работы	С многослойной накладкой	Без демпфирования	С резиной	С накл. %	С рез., %	С накл., дБА	С рез., дБА
Малый ход	85,2	97	95,2	-12,2	-1,9	11,8	1,8
Средний ход	91,2	98,4	97,3	-7,3	-1,1	7,2	1,1
Полный ход	100,8	103,9	102,7	-3,0	-1,2	3,1	1,2

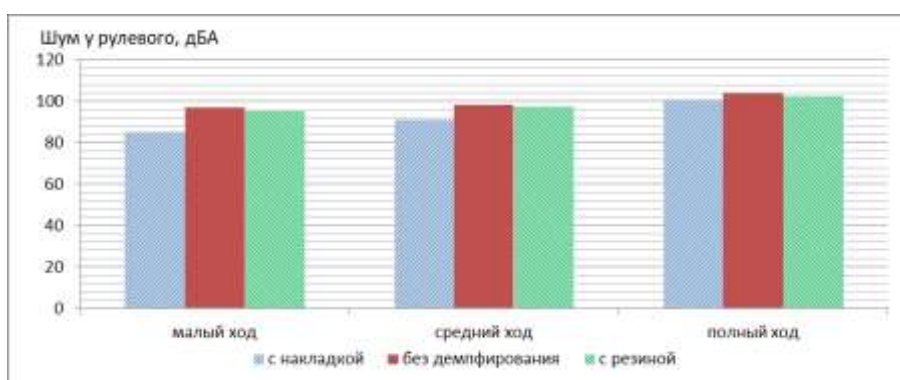


Рис. 1. Результаты экспериментов с подвесным лодочным мотором «SEA PRO 2.5»

Таблица 2

Результаты экспериментов с подвесным лодочным мотором «SEA PRO 5.0»

Режим работы	С многослойной накладкой	Без демпфирования	С резиной	С накл. %	С рез., %	С накл., дБА	С рез., дБА
Холостой ход	79	97	89,7	-18,6	-7,5	18	7,3

Малый ход	74,4	98,6	87,4	-24,5	-11,4	24,2	11,2
Средний ход	85	102,6	91,5	-17,2	-10,8	17,6	11,1
Полный ход	93,8	105,5	98,8	-11,1	-6,4	11,7	6,7

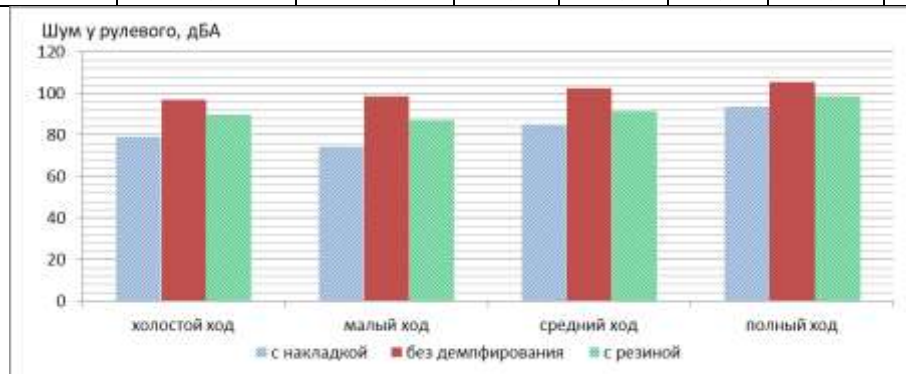


Рис. 2. Результаты экспериментов с подвесным лодочным мотором «SEA PRO 5.0»

Заключение

Установка виброизолирующих накладок на транец позволяет снизить шум подвесного лодочного мотора. Эффективность виброизоляции для снижения шума уменьшается при росте частоты вращения подвесного лодочного мотора, что можно объяснить снижением его вибрации. Эффективность виброизоляции для мотора с мощностью 5 л.с. выше, чем для мотора с мощностью 2,5 л.с.

Экспериментально установлено, что применение для подвесного лодочного мотора «SEA PRO 5.0» накладки из резины марки БК-2045 с толщиной 5 мм максимально снижает шум на 11,2 дБА (11,4%), применение многослойной накладки толщиной 4,5 мм с резиной и силиконовым слоем, дает снижение шума на 24,2 дБА (24,5 %).

Результаты эксперимента говорят о перспективности подобных разработок на водном транспорте. Следует отметить, что применение многослойных накладок на транец требует проведение дальнейшего анализа на предмет нахождения оптимальной толщины для обеспечения эффективного снижения шума и сохранения надежности крепления мотора на транце.

Список литературы:

1. Моделирование двигателя внутреннего сгорания как источника акустического излучения. Яковенко А.Л., Микерин Н.А., Глазков А.О., Кузнецов С.М., Шатров М.Г. В сборнике: Волны и вихри в сложных средах 9-ая международная конференция – школа молодых ученых. Сборник материалов школы, 2018. с. 184 – 187.
2. Руссинковский В.С. Разработка метода расчета вибрации и структурного шума корпусных деталей автомобильных дизелей: дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук / В.С. Руссинковский. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 182 с.
3. Krisztina Uzuneanu, Ion V. Ion. Impact of noise and vibrations on the ship microclimate // Proceedings of the 3rd International Conference of Thermal Equipment, Renewable Energy and Rural Development (TE-RE-RD 2014), Mamaia – Romania, 12-14 June 2014, – 4 s.
4. David A. Bies, Colin H. Hansen. Engineering Noise Control: Theory and Practice, Fourth Edition, 2009. – 745 s.
5. Технический регламент таможенного союза ТР ТС 026/2012. О безопасности маломерных судов, 2012. – 38 с.
6. ГОСТ 28556-2016. Моторы лодочные подвесные. Общие требования безопасности. М.: Стандартинформ, 2016. – 8 с.
7. ГОСТ 17.2.4.04-82. Охрана природы (ССОП). Атмосфера. Нормирование внешних шумовых характеристик судов внутреннего и прибрежного плавания. М.: Стандартинформ, 2004. – 5 с.
8. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях. Текст с последними изменениями и дополнениями на 1 октября 2018 года. М.: Эскмо, 2018. – 544 с.
9. ГОСТ ISO 14509-1-2015. Суда малые. Измерение шума малых моторных прогулочных судов. Ч. 1. Измерение шума проходящего судна. М.: Стандартинформ, 2016. – 19 с.
10. ГОСТ 31192.1-2004. Вибрация. Измерение локальной вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2010. – 24 с.
11. ГОСТ 32513-2013. Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. – 12 с.
12. Шумомер-вибромметр, анализатор спектра «Экофизика-110А». Паспорт ПКДУ. 411000.001.02ПС. «ПКФ Цифровые приборы». М., 2014. – 12 с.
13. Паспорт формуляр на микрофонный предусилитель P200. ООО «ПКФ Цифровые приборы». М., 2018. – 4 с.
14. Паспорт на калибратор акустический АК-1000. ООО «ПКФ Цифровые приборы». М., 2015. – 8 с.
15. Протокол испытаний капсуля микрофонного конденсаторного ВМК-205, №6115. М., 2017. – 1 с.

EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF VIBRATION-INSULATING DEVICES USE FOR OUTBOARD MOTORS

Mikhail N. Pokusaev

Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

Konstantin E. Khmel'nitsky

Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

Aleksey A. Kadin

Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

Abstract: Noise generated on the boat hull, as a result of outboard motors vibration, is an urgent problem as it negatively affects the ship's crew and the environment.

Air noise can be reduced by cowling, and structural noise can be reduced by vibration isolation. As a technical solution for vibration isolation, the use of vibration-insulating pads between the clamps, the outboard motor pressure plate and the boat transom can be offered. Today, there are rigid transom linings preventing damage to the boat's hull from screwing in the clamps, but this does not prevent motor vibration spreading. In our study we tried to evaluate the effectiveness of using various vibration-insulating transom linings. It has been experimentally established that the use of an outboard motor «SEA PRO 5.0» lining made of 5 mm rubber BK-2045 reduces noise by 11.2 dBA (11.4%), the use of a 4.5 mm multi-layer lining gives a noise reduction of 24.2 dBA (24.5 %), which indicates the prospects of such developments.

Keywords: noise, vibration, small vessel, outboard motor, vibration isolation.

References:

1. Modeling of the internal combustion engine as a source of acoustic radiation. Yakovenko A.L., Mikerin N.A., Glazkov A.O., Kuznetsov S.M., Shatrov M.G. in the collection: Waves and vortices in complex environments 9th international conference-school of young scientists. Collection of school materials, 2018. pp. 184-187.
2. Russinkovsky V.S. Development of a method for calculating vibration and structural noise of body parts of automobile diesels: dis. on competition of a scientific degree Cand. tech. V. S. Russinkovsky, Moscow: Bauman Moscow state technical University, 2005, 182 p.
3. Krisztina Uzuneanu, Ion V. Ion. Impact of noise and vibrations on the ship microclimate // Proceedings of the 3rd International Conference of Thermal Equipment, Renewable Energy and Rural Development (TE-RE-RD 2014), Mamaia – Romania, 12-14 June 2014, – 4 s.
4. David A. Bies, Colin H. Hansen. Engineering Noise Control: Theory and Practice, Fourth Edition, 2009. – 745 s.
5. Technical regulations of the customs Union TR CU 026/2012. On the safety of small vessels, 2012, 38 p.
6. GOST 28556-2016. Outboard boat motors. General safety requirements. Moscow: standardinform, 2016. – 8 p.
7. GOST 17.2.4.04-82. Nature protection (SSOP). Atmosphere. Normalization of external noise characteristics of inland and coastal vessels. Moscow: standardinform, 2004. – 5 p.
8. the Code of administrative offences of the Russian Federation. Text with the latest changes and additions as of October 1, 2018. Moscow: Eskmo, 2018. – 544 p.
9. GOST ISO 14509-1-2015. Small vessels. Measuring the noise of small motor pleasure craft. Part 1. Measuring the noise of a passing vessel. Moscow: standardinform, 2016. – 19 p.
10. GOST 31192.1-2004. Vibration. Measurement of local vibration and assessment of its impact on a person. Part 1. General requirements. Moscow: standardinform, 2010. – 24 p.
11. GOST 32513-2013. Motor fuels. Unleaded petrol. Technical conditions. Moscow: standardinform, 2014. – 12 p.
12. noise Meter-vibrometer, spectrum analyzer «Ekofizika-110A». Passport PKDU.411000.001. 02 PS. «PKF Digital devices», Moscow, 2014, 12 p.
13. Passport form for microphone preamp P200. LLC «PKF Digital devices». Moscow, 2018. – 4 p.
14. Passport for the AK-1000 acoustic calibrator. LLC «PKF Digital devices». Moscow, 2015. – 8 p.
15. test Report of the microphone condenser capsule VMK-205, no. 6115. M., 2017. – 1 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Покусаев Михаил Николаевич, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Эксплуатация водного транспорта», Астраханский государственный технический университет (ФГБОУ ВО «АГТУ»), 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16 e-mail: evt@astu.org

Mikhail N. Pokusaev, doctor of technical Sciences, Professor, head of the Department «Operation of water transport», Astrakhan state technical University (AGTU), 16, Tatishchev st., Astrakhan, 414056 e-mail: evt@astu.org

Хмельницкий Константин Евгеньевич, аспирант кафедры «Эксплуатация водного транспорта», Астраханский государственный технический университет (ФГБОУ ВО «АГТУ»), 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16

Konstantin E. Khmel'nitsky postgraduate student of the Department «Operation of water transport», Astrakhan state technical University (AGTU), 16, Tatishchev st., Astrakhan, 414056 e-mail: chuchera80@mail.ru

e-mail: chuchera80@mail.ru

Кадин Алексей Алексеевич, магистрант
кафедры «Эксплуатация водного транспорта»,
Астраханский государственный технический
университет (ФГБОУ ВО «АГТУ»),
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16
e-mail: alexeik1@mail.ru

Aleksey A. Kadin master's student of the
Department «Operation of water transport»,
Astrakhan state technical University (AGTU),
16, Tatishchev st., Astrakhan, 414056
e-mail: alexeik1@mail.ru