

DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-6-983-991

EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF THE PROPERTIES OF MOTOR OILS ON THE VIBRATION AND NOISE LEVELS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

K. E. Khmel'nitsky, O. P. Kovalev, V. P. Bulgakov

Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation

Abstract. The article discusses the results of an experimental study of the effect of the properties of domestic engine oils with copper-based additives produced by Kupper on the vibration and noise levels of marine propulsion systems using the example of a 3D6 diesel engine. 3D6 diesels are representatives that widely cover both the transport and marine sectors of power plants, which explains their choice as an object of research. Increased noise and vibration levels on ships negatively affect crew members and passengers and lead to fatigue and distraction of the watchmen. The engine oil used was standard MS-20 oil, which is used for high-speed marine diesel engines and an innovative oil with copper-based additives. Comparative measurements of vibration and noise were carried out on a Yaroslavets-class vessel using an authorized vibration and noise meter of the first class Ecophysics-110A. As a result of the study, it was found that vibrations in the most vibro-active modes of operation of the 3D6 diesel engine are reduced by 30–50 % when using oil with copper-based additives. The use of oil with copper-based additives also has an effect on reducing noise in the engine room, but in the high-frequency spectrum with a frequency of more than 1000 Hz. More effectively, engine oil with copper-based additives affects the reduction of the overall noise level in the wheelhouse of the vessel and as a result, an effect of about 3 dB was achieved, which reduces the effect of noise by 1.4 times in terms of physical perception for humans.

Keywords: internal combustion engine, engine oil, copper additives, vibration, noise

For citation:

Khmel'nitsky, Konstantin, O. P. Kovalev and V. P. Bulgakov "Experimental study of the effect of the properties of motor oils on the vibration and noise levels of internal combustion engines." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 16.6 (2024): 983–991. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-6-983-991.

УДК 629.12

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВОЙСТВ МОТОРНЫХ МАСЕЛ НА УРОВЕНЬ ВИБРАЦИИ И ШУМА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

К. Е. Хмельницкий, О. П. Ковалев, В. П. Булгаков

Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Российская Федерация

В статье рассмотрены результаты экспериментального исследования влияния свойств отечественных моторных масел с присадками на основе меди, выпускаемых компанией Куппер, на уровень вибрации и шума судовых двигательных установок на примере дизеля 3Д6. Выбор этих дизелей в качестве объекта исследования объясняется тем, что они являются частью транспортного и судового секторов энергетических установок. Отмечается, что повышенный уровень шума и вибрации на судах оказывает негативное влияние на членов экипажа и пассажиров и приводит к возникновению усталости и рассеиванию внимания вахтенных. В исследовании в качестве моторного масла использовалось стандартное масло MS-20, применяемое для высокооборотных судовых дизелей, и инновационное масло с присадками на основе меди. Сравнительные измерения вибрации и шума выполнялись на судне типа «Ярославец» при помощи поверенного вибромметра-шумомера первого класса «Экофизика-110А». В результате проведенного исследования было установлено, что вибрации на наиболее виброактивных режимах работы дизеля 3Д6 снижаются на 30–50 % при использовании масла с присадками на основе меди. Кроме того, использование масла с присадками на основе меди также оказывает влияние на снижение шума в машинном отделении,

но только в высокочастотном спектре с частотой более 1000 Гц. Результат наиболее эффективного влияния моторного масла с присадками на основе меди на снижение общего уровня шума в рулевой рубке судна составил порядка 3 дБ, что по физическому восприятию для человека снижает влияние шума в 1,4 раза.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, моторное масло, присадки меди, вибрация, шум, дизель-генераторы, ударные нагрузки.

Для цитирования:

Хмельницкий К. Е. Экспериментальное исследование влияния свойств моторных масел на уровень вибрации и шума двигателей внутреннего сгорания / К. Е. Хмельницкий, О. П. Ковалев, В. П. Булгаков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2024. — Т. 16. — № 6. — С. 983–991. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-6-983-991.

Введение (Introduction)

Моторные масла в настоящее время выпускаются в широком ассортименте и в большинстве случаев отличаются набором присадок, которые оказывают влияние на антифрикционные, антипенные, окислительные, вязкостные и другие свойства масел. Немаловажную роль для транспортных дизелей играет способность масел снижать ударные нагрузки в деталях дизелей, а соответственно, вибрации и шум, которые определяют как технические, так и экологические характеристики судовых дизелей. Наиболее часто вопросы снижения шума и вибрации при помощи присадок для моторных масел исследуются для автомобильных двигателей [1]–[3], однако для судовых двигателей, на наш взгляд, проблема снижения шума и вибрации играет также большую роль.

Согласно проведенным исследованиям авторов [4], [5], шум в машинном отделении современных судов достигает 90 дБа, что выше допустимых норм 85 дБа и требует работы судовых механиков в защитных наушниках, что снижает внимание человека и оказывает влияние на принятие оперативных решений. Одним из направлений снижения вибрации и шума является применение смазочных масел, позволяющих уменьшить удары в сочленениях деталей цилиндро-поршневой группы дизелей. Проведенные авторами данной работы практические измерения уровней вибрации судовых дизелей отечественного и зарубежного производства MAN 12V175D (Германия, мощность 1740 кВт), MAN D2676 LE322 (Германия, 280 кВт), ЯМЗ-238Б (Россия, 220 кВт), Д-243 (Белоруссия, 57 кВт) и других показали, что уровень вибрации небольших по мощности и габаритам дизелей зачастую превышает нормы, установленные правилами классификационных обществ: Российского морского регистра судоходства (РМРС) и Российского классификационного общества (РКО) в большей степени, чем мощные двигатели. Также год производства дизелей оказывает незначительное влияние на уровень их вибрации и снижение вибрации — это задача непростая, связанная с разработкой технических мер, среди которых чаще всего применяется установка дизелей на амортизационных устройствах, центровка валопровода, балансировка и другие, которые снижают, но не устраняют вибрацию полностью.

В процессе работы были проведены исследования, связанные с влиянием характеристик смазочных масел на увеличение частоты вращения подвесных лодочных моторов маломерных судов [6], которые показали, что при использовании моторного масла с присадками меди уменьшается неравномерность частоты вращения коленчатого вала, что может свидетельствовать об уменьшении трения, возникающего в подвижных сочленениях двигателей и редукторов, что приводит к снижению уровня шума и вибрации.

Влияние различных факторов, включая свойства смазочных масел, на виброакустические характеристики энергетического оборудования рассматривалось в источниках [7]–[10], но разнообразие агрегатов и механизмов, применяемых в технике, не позволяет выявить общие зависимости параметров вибрации от видов масел, поэтому исследования проводятся для каждого вида энергетического оборудования индивидуально.

Был проведен ряд измерений вибрации модернизированных судовых дизель-генераторов с новыми дизелями Д-243, устанавливаемыми на плавкранах, речных буксирах типа РТ и других судах под надзором РКО вместо дизелей 4ЧН11/12.5. В результате было определено, что для новых

дизелей Д-243 характерны превышения норм по виброскорости (мм/с) в верхней части (на цилиндровой крышке) на частотах 25, 50, 100 Гц. Характерно, что нормы РКО для категории А (новое оборудование или после ремонта) превышены в среднем до 25 %. Можно предположить, что повышенные вибрации возникает от недостаточной приработанности деталей цилиндро-поршневой группы и газораспределительного механизма дизелей на стадии обкатки и могут быть снижены при помощи применения инновационных масел.

Необходимо отметить, что в настоящее время для проведения анализа результатов виброакустических исследований часто используются методы вейвлет-анализа и применение нейронных сетей, которые могут выявить особенности развития вибрации в ДВС при влиянии на них неучитываемых в традиционной виброакустике параметров, включая демпфирующие свойства масел [11], [12].

Методы и материалы (Methods and Materials)

Для оценки влияния сорта смазочного масла на вибрацию и шум стационарного судового двигателя был выбран дизель ЗДб (6Ч15/18), являющийся главным двигателем на судне «РК-2091», в состав одновального машинно-двигательного комплекса которого входят: дизель ЗДб, реверс-редуктор, гребной вал, гребной винт фиксированного шага. Дизель ЗДб имеет номинальную мощность 110 кВт (150 л. с.) при номинальной частоте вращения КВ 1500 мин⁻¹.

В качестве измерительного оборудования был использован поверенный шумомер-виброметр первого класса «Экофизика-110А», занесенный в Госреестр СИ РФ и используемый при проведении виброакустических измерений в лаборатории и на реальных судах.

Характеристики виброметра «Экофизика-110А»:

- трехканальный виброметр, шумомер, анализатор спектра, предназначенный для оценки вибрации и шума;
- регистрационный номер в Госреестре средств измерения РФ: 48906–12;
- прибор соответствует требованиям ГОСТ ИСО 8041–2006, ГОСТ 12.1.012–2004, ГОСТ 31192.1–2004, ГОСТ 31191.1–2004, ГОСТ 31191.2–2004;
- изготовитель виброметра: ООО «ПКФ Цифровые приборы» (г. Москва);
- заводской номер: БФ180629;

Для проверки необходимости дополнительной калибровки виброметра использовано устройство воспроизведения вибрации КВ-160 и устройство для воспроизведения звука АК-1000. Также было использовано программное обеспечение для обработки вибросигналов Signal+ 3G Light (входит в комплект виброметра «Экофизика-110А»). Измерительная аппаратура позволяет производить идентификацию каждого конкретного измерения.

Для оценки вибрации (виброскорости, мм/с) верхней части дизеля использовалась схема размещения измерительных точек (№ 1–4), приведенная на рис. 1 согласно Правилам РКО.

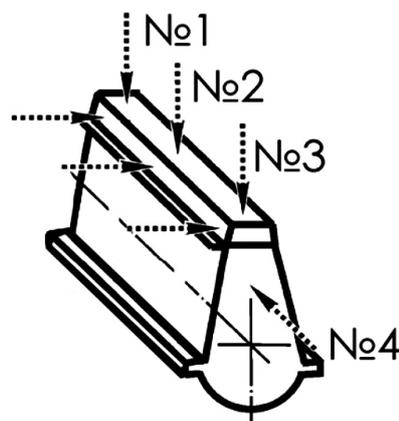


Рис. 1. Схема размещения измерительных точек на двигателе

Эксперимент выполнялся в следующем порядке:

1. Замер вибрации и шума при эксплуатации двигателя на стандартном моторном масле МС-20, рекомендованного для использования инструкцией по эксплуатации дизеля ЗД6 [13].
2. Промывка масляной системы нейтральным маслом.
3. Замер вибрации и шума при эксплуатации двигателя на инновационном моторном масле с присадками меди отечественного производства (рис. 2).

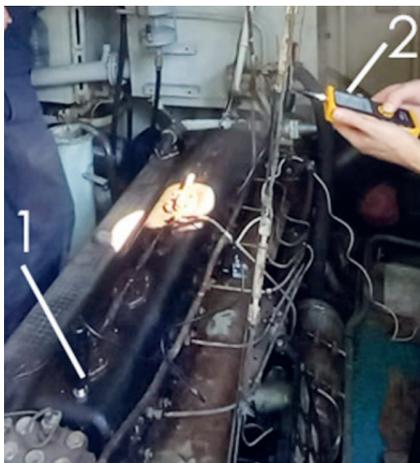


Рис. 2. Процедура измерения вибрации на судне «РК-2091»:
 1 — дизель ЗД6; 2 — виброметр

Процедура измерения вибрации и шума производилась в соответствии с рекомендациями производителя виброметра-шумомера.

Результаты (Results)

Результаты измерений вибрации при использовании стандартного масла МС-20 и инновационного моторного масла с присадками меди приведены в табл. 1. Для оценки уровня шума двигателя при использовании «паспортного» масла и CUPPER измерялись как уровень звука (дБА), так и октавные уровни звукового давления (дБА) на стандартных звуковых частотах. Результаты измерения октавных уровней звукового давления (дБА) приведены в табл. 2–3.

Таблица 1

Результаты измерения вибрации дизеля ЗД6 при использовании разных сортов масел

Марка используемого масла	Частота вращения, об/мин	Измерительные точки и направление						
		1		2		3		4
		Верт.	Гориз.	Верт.	Гориз.	Верт.	Гориз.	Осевое
Масло М20	500 (холостой ход)	6,6	29,4	5,7	32,3	7,1	34,7	5,9
Масло с присадками меди		5,7	20,9	4	23	4,4	23,6	4,3
Разница, мм/с		0,9	8,5	1,7	9,3	2,7	11,1	1,6
Масло М20	703	14,1	36,9	7,6	42,4	15,3	45,4	15,9
Масло с присадками меди		13,3	46,3	9,3	46,5	12,2	44,2	13,1
Разница, мм/с		0,8	-9,4	-1,7	-4,1	3,1	1,2	2,8
Масло М20	882	12,8	39,6	7,8	47	10,1	49,1	13,8
Масло с присадками меди		12,5	41	7,7	45	9,8	49	13
Разница, мм/с		0,3	-1,4	0,1	2	0,3	0,1	0,8
Масло М20	1158	9,6	21	8,1	20,4	9,5	21,9	5,9
Масло с присадками меди		7,3	27,7	7,6	25,5	11	27,6	9
Разница, мм/с		2,3	-6,7	0,5	-5,1	-1,5	-5,7	-3,1
Масло М20	1494	9,1	20,7	8,4	17,5	14,4	15,5	9,3
Масло с присадками меди		6,7	21,7	5,6	21,2	10,2	21,6	8,5
Разница, мм/с		2,4	-1	2,8	-3,7	4,2	-6,1	0,8

Таблица 2

**Результаты измерения октавных уровней звукового давления (дБА)
 в машинном отделении при использовании масла МС-20**

Частота, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Холостой ход, частота вращения гребного вала — 0 об/мин	45,8	62,8	73,2	75,7	83,4	90,6	88,5	82,4	75,9	59,5
Малый ход, частота вращения гребного вала — 343 об/мин	45	67,8	80,1	90,1	89,6	94,4	93,4	85,7	77,5	60,6
Средний ход, частота вращения гребного вала — 430 об/мин	50,1	69,5	78,1	88,8	91,1	95,3	94,1	86,6	79,5	63,1
Промежуточный ход, частота вращения гребного вала — 565 об/мин	58,7	69,3	77,7	86,8	91,2	95,3	94,8	89,2	83	67,5
Полный ход, частота вращения гребного вала — 729 об/мин	48,9	67,1	84,2	92	95,9	97,9	97,3	92,1	85,4	71

Таблица 3

**Результаты измерения октавных уровней звукового давления (дБА)
 в машинном отделении при использовании масла с присадками меди**

Частота, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Холостой ход, частота вращения гребного вала — 0 об/мин	46,2	66,8	73,7	79,9	86,4	90,3	88,5	83,4	74,8	58,3
Малый ход, частота вращения гребного вала — 397 об/мин	56,5	71,5	81,8	89,5	93,5	96,8	95,1	88,3	79,8	63,6
Средний ход, частота вращения гребного вала — 450 об/мин	57,4	75,4	85,3	89,7	94,9	98	96,4	90,3	82,4	66,4
Промежуточный ход, частота вращения гребного вала — 585 об/мин	61,7	69,2	81,6	89,9	92	97,4	96,2	90,1	83,9	68,2
Полный ход, частота вращения гребного вала — 730 об/мин	45,9	68,8	89,6	91,7	94,5	98,7	98,2	91,9	84,2	69,3

Проведенная калибровка перед измерениями показала, что отклонения показаний шумомера «Экофизика-110» от уровня эталонного сигнала, генерируемого акустическим калибратором, составили не более 0,2 дБА, что не превышает допустимой величины 0,5 дБА. Это свидетельствует об идентичности настройки шумомера при проведении обоих испытаний.

Параметры шума в рулевой рубке судна измерялись для оценки его воздействия на рулевого, несущего постоянную вахту в рулевой рубке. Результаты измерений приведены в табл. 4 и 5.

Таблица 4

**Результаты измерения уровня звука в рулевой рубке судна
 при использовании масла МС-20**

Частота вращения гребного вала, об/мин	Уровень звука, дБА
0	64,1
343	68,9
430	72,7
565	64,3
729	67,0

**Результаты измерения уровня звука в рулевой рубке судна
при использовании масла с присадками меди**

Частота вращения гребного вала, об/мин	Уровень звука, дБА
0	61,2
397	71,1
450	68,6
585	65,2
730	64,7

При сравнительных измерениях уровня шума в обоих сериях экспериментов частота вращения гребного вала не изменялась более чем на $\pm 10\%$ для отдельных режимов работы в целях обеспечения идентичности характера работы машинно-двигательного комплекса.

Обсуждение (Discussion)

Анализ табл. 1 показывает, что в большинстве случаев наблюдается снижение вибрации при использовании моторного масла с присадками меди. Максимальный эффект снижения вибрации при использовании масла с присадками меди составляет 11,1 мм/с, противоположный эффект увеличения вибрации — 9,4 мм/с. Очевидно, что эффект от применения смазочного масла с присадками меди будет по-разному проявляться при различных режимах работы, что видно по данным, приведенным в табл. 1, однако на наиболее виброактивных режимах: холостом ходу и долевых режимах, он достаточно большой — до 11,1 мм/с. На режиме среднего хода при использовании обоих видов масел уровни вибрации практически идентичны. При режимах работы, близких к номинальным, эффект от использования масла с присадками меди становится менее заметным. Это, вероятно, связано с влиянием других факторов, оказывающих влияние на развитие вибрации, а также снижением влияния ударных составляющих от работы систем и узлов двигателя.

Из табл. 2 и 3 видно, что масло с присадками меди снижает уровень шума на высоких частотах (от 1000 Гц и выше) в среднем на 2–3 дБ на полном ходу, на остальных режимах работ уровень шума практически не зависит от вида масла. Уровень шума в рулевой рубке практически на всех режимах работы энергетической установки при работе на масле с присадками меди снижается. Максимальный эффект достигается на холостом ходу и составляет 2,9 дБА.

Выводы

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Уровень звука в рулевой рубке практически на всех режимах работы энергетической установки при работе на масле с присадками меди снижается с максимальным эффектом 2,9 дБА на режиме холостого хода.
2. Максимальный зафиксированный уровень звука в диапазоне частоты вращения коленчатого вала дизеля от 400 до 440 об/мин при работе на масле с присадками меди составляет 71,1 дБА, при работе на масле МС-20 масле — 72,7 дБА, т. е. на 1,6 дБА выше.
3. Незначительное повышение уровня звука при использовании масла с присадками меди отмечено в диапазоне частоты вращения от 270 до 400 об/мин и от 530 до 610 об/мин с максимальным значением 2 дБА.
4. Октавные уровни звукового давления при использовании масла с присадками меди на некоторых режимах работы выше, чем при работе на масле МС-20.
5. Масло с присадками меди снижает уровень шума на высоких частотах (от 1000 Гц) до 3 дБ при работе дизеля на полном ходу, на остальных режимах работ уровень шума практически не зависит от сорта масла.

6. Для развития вибрации эффект от применения смазочного масла с присадками меди будет по-разному проявляться на различных режимах работы, но при работе в наиболее виброактивных режимах наблюдается снижение виброскорости на 30–40 %. На режиме среднего хода при использовании обоих видов масел параметры вибрации практически идентичны. При режимах работы, близких к номинальным, эффект от использования масла с присадками меди становится менее заметным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шатров М. Г.* Шум автомобильных двигателей внутреннего сгорания: учеб. пособие / М. Г. Шатров, А. Л. Яковенко, Т. Ю. Кричевская. — М.: Московский автомобильно-дорожный государственный техн. ун-т (МАДИ), 2014. — 68 с. — EDN SGBRUR.
2. *Долотов А. А.* Вероятностная оценка шумности легковых автомобилей: дис. ... канд. техн. наук: специальность 25.11.00 / Александр Александрович Долотов. — Волгоград: Волгоградский государственный техн. ун-т, 2022. — 169 с. — EDN IKWPNO.
3. *Иванов Н. И.* Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник. — М.: Университетская книга; Логос, 2008. — 424 с. — EDN QMFTIT.
4. *Покусаев М. Н.* 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 // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2021. — № 1. — С. 81–87. DOI: 10.24143/2073-1574-2021-1-81-87. — EDN FFQNBA.
5. *Покусаев М. Н.* Методы и способы снижения шума маломерных судов с подвесными лодочными моторами / М. Н. Покусаев, К. Е. Хмельницкий // 65-я Междунар. научная конференция Астраханского государственного технического университета: материалы конференции. Астрахань, 26–30 апреля 2021 года. — Астрахань, 2021. — С. 826–830. — EDN RICGCR.
6. *Покусаев М. Н.* Влияние смазочных масел на частоту вращения коленчатого вала подвесных лодочных моторов / М. Н. Покусаев, К. Е. Хмельницкий, А. А. Хмельницкая [и др.] // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2021. — № 4. — С. 84–90. DOI: 10.24143/2073-1574-2021-4-84-90. — EDN BOGGTP.
7. *Яковенко А. Л.* Исследование структурного шума дизеля с использованием современных технологий / А. Л. Яковенко, М. Г. Шатров, Л. Н. Голубков [и др.] // Двигателестроение. — 2022. — № 1(287). — С. 45–54. — EDN VVFQOA.
8. *Мачнев В. А.* Формирование вибрационных сигналов в коробке передач трактора / В. А. Мачнев, А. В. Мачнев, В. А. Комаров, В. В. Салмин // Нива Поволжья. — 2015. — № 1(34). — С. 50–55. — EDN SBBWLP.
9. *Кузнецов Р. В.* Особенности гидродинамического расчета высоконагруженных подшипников скольжения тяжелых судовых редукторных передач / Р. В. Кузнецов, В. Б. Чистов, Н. М. Вихров // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 5. — С. 820–833. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-5-820-833. — EDN VEAQUK.
10. *Тузов Л. В.* Вибрация судовых двигателей внутреннего сгорания / Л. В. Тузов, О. К. Безюков, О. В. Афанасьева; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Западный государственный заочный технический университет». — СПб.: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2012. — 348 с. — EDN QNYGXR.
11. *Быков В. В.* Диагностика двигателя внутреннего сгорания с использованием метода виброакустической эмиссии / В. В. Быков, Д. А. Мокрушин, А. И. Петров // 8-е Луканинские чтения. Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса: сборник трудов Междунар. науч.-техн. конф., Москва, 31 января 2019 года. — М., 2019. — С. 526–537. — EDN ZHFHVR.
12. *Щеглов В. А.* О возможности диагностики цилиндро-поршневой группы ДВС методом частотно-амплитудного анализа сигнала вибрации с использованием вейвлет-анализа / В. А. Щеглов // Вестник науки и образования Северо-Запада России. — 2015. — Т. 1. — № 3. — С. 49–56. — EDN VPIFWX.
13. *Вершинина В. Ф.* Судовые дизели типа ЗДб и 7Дб. Приложение к книге «Дизели типа Дб» / В. Ф. Вершинина, З. С. Трумуль. — М.: В/О «Судоимпорт», 1972. — 88 с.

REFERENCES

1. Shatrov, M. G., A. L. Yakovenko and T. Yu. Krichevskaya. *Shum avtomobilnykh dvigatelej vnutrennego sgoraniya: Uchebnoe posobie*. Moskva: Moskovskij avtomobilno-dorozhnyj gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet (MADI), 2014.
2. Al. Dolotov Al. Veroyatnostnaya otsenka shumnosti legkovykh avtomobilej: spetsialnost 25.11.00. PhD diss. Volgograd: Volgogradskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2022.
3. Ivanov N. I. *Inzhenernaja akustika. Teorija i praktika bor'by s shumom: uchebnik*. M.: Universitetskaja kniga; Logos, 2008.
4. Pokusaev, M. N., K. E. Khmel'nitskij, A. A. Kadin and A. V. Sergeev "Razrabotka i Otsenka effektivnosti glushitelya shuma gazovykhlopnnoj sistemy podvesnogo lodochnogo motora SEA PRO 2.5." *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya* 1 (2021): 81–87. DOI: 10.24143/2073-1574-2021-1-81-87.
5. Pokusaev, M. N. and K. E. Khmel'nitskij "Metody i sposoby snizheniya shuma malomernykh sudov s podvesnymi lodochnymi motorami." *65-ya mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta: materialy konferentsii, Astrakhan, 26–30 aprelya 2021 goda*. Astrakhan: Astrakhanskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2021: 826–830.
6. Pokusaev, M. N., K. E. Khmel'nitskij and A. A. Khmel'nitskaya et al. "Vliyanie smazochnykh masel na chastotu vrashcheniya kolenchatogo vala podvesnykh lodochnykh motorov." *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya* 4 (2021): 84–90. DOI: 10.24143/2073-1574-2021-4-84-90.
7. Yakovenko, A. L., M. G. Shatrov and L. N. Golubkov et al. "Issledovanie strukturnogo shuma dizelya s ispolzovaniem sovremennykh tekhnologij." *Dvigatelistroenie* 1(287) (2022): 45–54.
8. Machnev, V. A., A. V. Machnev, V. A. Komarov and V. V. Salmin "Formirovanie vibratsionnykh signalov v korobke peredach traktora." *Niva Povolzhya* 1(34) (2015): 50–55.
9. Kuznetsov, R. V., V. B. Chistov and N. M. Vikhrov "Osobennosti gidrodinamicheskogo rascheta vysokonagruzhennykh podshipnikov skolzheniya tyazhelykh sudovykh reduktornykh peredach." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova* 15.5 (2023): 820–833. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-5-820-833.
10. Tuzov, L. V., O. K. Bezyukov, O. V. Afanaseva; Ministerstvo obrazovaniya i nauki Rossijskoj Federatsii and Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego professionalnogo obrazovaniya "Severo-Zapadnyj gosudarstvennyj zaochnyj tekhnicheskij universitet". *Vibratsiya sudovykh dvigatelej vnutrennego sgoraniya*. Sankt-Peterburg: Federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Sankt-Peterburgskij politekhnicheskij universitet Petra Velikogo", 2012.
11. Bykov, V. V., D. A. Mokrushin and A. I. Petrov "Diagnostika dvigatelya vnutrennego sgoraniya s ispolzovaniem metoda vibroakusticheskoy emissii." *8-e Lukaninskie chteniya. Problemy i perspektivy razvitiya avtotransportnogo kompleksa: Sbornik trudov Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Moskva, 31 yanvarya 2019 goda*. Moskva: Moskovskij avtomobilno-dorozhnyj gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet (MADI), 2019: 526–537.
12. Shcheglov, V. A. "O vozmozhnosti diagnostiki tsilindro-porshnevoj grupy DVS metodom chastotno-amplitudnogo analiza signala vibratsii s ispolzovaniem vejvlet-analiza." *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii* 1.3 (2015): 49–56.
13. Vershinina V. F. and Trumul' Z. S. *Sudovye dizeli tipa 3D6 i 7D6. Prilozhenie k knige «Dizeli tipa D6»*. M.: V/O «Sudoimport», 1972.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Хмельницкий Константин Евгеньевич — кандидат технических наук
ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»,
414025, Российская Федерация, г. Астрахань,
ул. Татищева, 16
e-mail: chuchera80@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Khmel'nitsky, Konstantin E. —
PhD
FSBEI HE «Astrakhan State
Technical University»
414056, Russian Federation, Astrakhan,
Tatishcheva, 16
e-mail: chuchera80@mail.ru

Ковалев Олег Петрович —

доктор технических наук, профессор
Дмитровский рыбохозяйственный технический
институт (филиал) ФГБОУ ВО Астраханского
государственного технического университета
141821, Российская федерация, Московская область,
Дмитровский городской округ,
посёлок Рыбное, д. 36
e-mail: kovalev47@mail.ru

Булгаков Владимир Петрович —

доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Астраханский государственный
технический университет»
414025, Российская Федерация, г. Астрахань,
ул. Татищева, 16
e-mail: mbulgak@mail.ru

Kovalev, Oleg P. —

Dr. Sci. (Eng), Professor
Dmitrov Fisheries Technical Institute (branch)
FSBEI HE Astrakhan State
Technical University
141821, Russian Federation, Moscow region,
Dmitrov city district,
Rybnoye settlement, 36,
e-mail: kovalev47@mail.ru

Bulgakov, Vladimir P. —

Dr. Sci. (Eng), Professor
FSBEI HE «Astrakhan State
Technical University»
414056, Russian Federation, Astrakhan,
Tatishcheva, 16
e-mail: mbulgak@mail.ru

Статья поступила в редакцию 12 ноября 2024 г.

Received: Nov. 12, 2024.