

Научная статья
УДК [621.431.74:621.436-752.2]:534.013
doi: 10.24143/2073-1574-2021-4-84-90

Влияние смазочных масел на частоту вращения коленчатого вала подвесных лодочных моторов

*М. Н. Покусаев¹, К. Е. Хмельницкий²✉, А. А. Хмельницкая³, М. М. Горбачев⁴,
А. А. Кадин⁵, Е. В. Кадина⁶, М. А. Толочин⁷, С. А. Прудков⁸*

¹⁻⁸ Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, chuchera80@mail.ru ✉

Аннотация. Наиболее эффективная оценка качества трансмиссионных и моторных смазочных масел для судовых двигателей в целом и подвесных лодочных моторов в частности осуществляется путем практических испытаний на реальных двигателях. Важным фактором для повышения технических характеристик подвесных лодочных моторов за счет снижения трения в подвижных сочленениях двигателя внутреннего сгорания и редуктора является правильный выбор наиболее подходящего смазочного масла. Стабильность частоты вращения коленчатого вала двигателя, снижение уровня шума и вибрации в период эксплуатации подвесного лодочного мотора могут свидетельствовать о хороших смазочных свойствах применяемого моторного и трансмиссионного масла. Приводятся результаты сравнительных испытаний подвесных лодочных моторов SEA-PRO T2.5 (двухтактный) и YAMAHA F4B (четырёхтактный) с применением смазочного масла, наиболее распространенного на рынке, и масла производства ООО «Куппер» (Россия). Представлены иллюстрации подвесных лодочных моторов марок SEA-PRO T2.5 и YAMAHA F4B. Испытания проводились в лабораторных условиях, в малом опытовом бассейне, специалистами учебно-научно-производственной лаборатории «Подвесные лодочные моторы» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет». Применялись контрольно-измерительные приборы: тахометр SEA-PRO TSP-02, газоанализатор «Инфракар-А-02» со встроенным тахометром. Сделаны выводы о прямой зависимости частоты вращения коленчатого вала во время длительной эксплуатации подвесного лодочного мотора от качества и характеристик смазочного масла. Отмечена вероятность исследований на стационарных двигательных установках на водном транспорте.

Ключевые слова: испытания, трансмиссионное масло, моторное масло, подвесной лодочный мотор, маломерное судно

Для цитирования: Покусаев М. Н., Хмельницкий К. Е., Хмельницкая А. А., Горбачев М. М., Кадин А. А., Кадина Е. В., Толочин М. А., Прудков С. А. Влияние смазочных масел на частоту вращения коленчатого вала подвесных лодочных моторов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2021. № 4. С. 84–90. doi: 10.24143/2073-1574-2021-4-84-90.

Original article

Lubricating oils impact crankshaft rotation speed in outboard motors

*M. N. Pokusaev¹, K. E. Khmelnsky²✉, A. A. Khmelnskaya³, M. M. Gorbachev⁴,
A. A. Kadin⁵, E. V. Kadina⁶, M. A. Tolochin⁷, S. A. Prudkov⁸*

¹⁻⁸ Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, chuchera80@mail.ru ✉

Abstract. The most effective assessment of the quality of transmission and motor lubricating oils for marine engines in general and of outboard motors in particular can be given by practical tests on real engines. An important factor for improving the technical characteristics of outboard motors by reducing friction in the movable joints of the internal combustion engine and gearbox is the right choice of a lubricating oil. The stability of the engine crankshaft rotating speed, reducing noise and vibration during the outboard motor operation indicate good lubricating properties of the

engine and transmission oil used. There are shown the results of comparative tests of outboard motors SEA-PRO T2.5 (two-stroke) and YAMAHA F4B (four-stroke) using the most common on the market lubricating oil and the oil produced by KUPPER, LLC (Russia). There are presented the illustrations of outboard motors SEA-PRO T2.5 and YAMAHA F4B. The tests were carried out in the laboratory conditions in a small experimental pool by specialists from the Outboard Motors Research and Production Laboratory of Astrakhan State Technical University. The control and measuring devices used were: a tachometer SEA-PRO TSP-02, a gas analyzer "Infrakar-A-02" with a built-in tachometer. It has been inferred that there is a direct dependence of the crankshaft rotation speed during long-term operation of the outboard motor on the quality and characteristics of the lubricating oil. The probability of the research on stationary propulsion systems in water transport is indicated.

Keywords: testing, transmission oil, engine oil, outboard motor, small vessel

For citation: Pokusaev M. N., Khmel'nitsky K. E., Khmel'nitskaya A. A., Gorbachev M. M., Kadin A. A., Kadina E. V., Tolochin M. A., Prudkov S. A. Lubricating oils impact crankshaft rotation speed in outboard motors. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2021;4:84-90. (In Russ.) doi: 10.24143/2073-1574-2021-4-84-90.

Введение

Обеспечение эффективной работы подвесных лодочных моторов (ПЛМ) с безотказным пуском, исключение несанкционированных остановок двигателя, максимальная стабильность частоты вращения коленчатого вала во время длительной эксплуатации ПЛМ – сложные и актуальные задачи для исследований. Использование наиболее эффективных смазочного трансмиссионного и моторного масел немаловажно для стабильной работы ПЛМ. Проведенные ранее (в лабораторных условиях и на реке Волге) эксперименты специалистов учебно-научно-производственной лаборатории «Подвесные лодочные моторы» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» (АГТУ) позволили выделить некоторые особенности двухтактных ПЛМ небольшой мощности, например нестабильность частоты вращения, а в отдельных случаях и остановку двигателя при минимальном положении рукоятки регулировки дроссельной заслонки. В связи с этим было принято решение провести комплексные испытания со смазочными маслами различных марок и определить их влияние на изменение частоты вращения коленчатого вала ПЛМ.

Цель настоящего исследования – проведение сравнительных испытаний ПЛМ SEA-PRO T2.5 и YAMAHA F4B в лабораторных условиях при использовании трансмиссионного и моторного смазочных масел, производимых ООО «Куппер», и смазочных масел, наиболее распространенных на рынке.

Объекты исследования и экспериментальное оборудование

Для оценки эффективности и влияния на технические характеристики ПЛМ смазочных масел различных марок специалистами учебно-научно-производственной лаборатории «Подвесные лодочные моторы» АГТУ был проведен ряд испытаний в лабораторных условиях в специально разработанном запатентованном устройстве – малом опытовом бассейне [1], который включает систему контроля параметров на базе контроллера «ОВЕН ПР200» и авторской программы для ЭВМ «ТестМотор» [2]. Испытания проводили в соответствии с требованиями ГОСТ ISO 8178-4-2013 [3], который устанавливает режимы работы двигателя на испытаниях (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Цикл серии E4 для испытания подвесных лодочных моторов с искровым зажиганием
E4 series test cycle for outboard motors with spark ignition

Номер режима (цикл E4)	1	2	3	4	5
Частота вращения, %	100	80	60	40	Холостой ход

В качестве объектов исследований были использованы популярные одноцилиндровые ПЛМ SEA-PRO T2.5 китайского производства (данный мотор является аналогом ПЛМ YAMAHA 2.6 и DYNAMIK 2.5) и YAMAHA F4B французского производства (рис.).



Общий вид подвесных лодочных моторов: *a* – SEA-PRO T2.5; *б* – YAMAHA F4B
General view of outboard motors: *a* - SEA-PRO T2.5; *б* - YAMAHA F4B

Подвесные лодочные моторы типа SEA-PRO T2.5 при эксплуатации, согласно отзывам водомоторников на различных форумах, имеют нестабильную частоту вращения коленчатого вала двигателя в основном на холостом ходу и на режиме малого хода, что наблюдалось у других испытанных специалистами учебно-научно-производственной лаборатории «Подвесные лодочные моторы» марок (Hangkai, Mercury, Tohatsu), работающих по двухтактному циклу. Также отмечались случаи периодической несанкционированной остановки двигателя SEA-PRO T2.5 при работе на малом ходу. Подвесной лодочный мотор YAMAHA F4B имеет более стабильную частоту вращения на всех режимах работы, поэтому моторы, работающие по четырехтактному циклу, чаще используются судовладельцами, применяющими малый и средний ход маломерного судна, например для троллинговой рыбалки или передвижения в условиях, ограничивающих скоростной режим, – мелководье, камышовые заросли и т. д.

Подвесной лодочный мотор SEA-PRO T2.5 обладает следующими техническими характеристиками и особенностями конструкции:

- тип двигателя – двухтактный карбюраторный;
- номинальная мощность двигателя – 2,5 л. с. (1,84 кВт);
- масса – 9 кг;
- обеспечение смазки двигателя – использованием масляно-топливной смеси в соотношении 1:50;
- рекомендуемое трансмиссионное масло – SAE 90 API GL-4 (для смазывания гипоидной зубчатой передачи);
- рекомендуемая марка моторного масла – TC-W3;
- объем масла для коробки передач – 0,04 л;
- пусковая система – ручная;
- частота вращения на полном ходу ПЛМ – 4 000–5 000 об/мин.

Подвесной лодочный мотор YAMAHA F4B обладает следующими техническими характеристиками:

- тип двигателя – четырехтактный карбюраторный;

- мощность двигателя – 4 л. с. (2,94 кВт);
- масса – 27 кг;
- система смазки – с мокрым картером;
- рекомендуемое трансмиссионное масло – SAE 90 API GL-4 (для смазывания гипоидной зубчатой передачи);
- объем масла для коробки передач – 0,100 л;
- рекомендуемая марка моторного масла – YAMALUBE 4;
- пусковая система – ручная;
- частота вращения на полном ходу ПЛМ – 4 000–5 000 об/мин.

Для работы обоих моторов использовался бензин марки АИ-92 по ГОСТ 32513-2013 «Топлива моторные. Бензин неэтилированный» [4].

Смазочные материалы, используемые для проведения эксперимента, промаркированы в соответствии с ГОСТ 17479.1-2015 «Масла моторные, Классификация и обозначение» [5].

- Смазочные масла, используемые для проведения эксперимента с ПЛМ SEA-PRO T2.5:
 - образец № 1 (масло, имеющее наибольшее распространение на рынке): моторное масло TC-W3, трансмиссионное масло SAE 90GL-4;
 - образец № 2 (масла ООО «Куппер»): моторное масло TC-W3, трансмиссионное масло SAE 90GL-4.

- Смазочные масла, используемые для проведения эксперимента с ПЛМ YAMAHA F4B:
 - образец № 1 (масло, имеющее наибольшее распространение на рынке): моторное масло SAE 10W-40 для четырехтактных моторов, трансмиссионное масло SAE 90 API GL-4 для гипоидных зубчатых передач;
 - образец № 2 (масла ООО «Куппер»): беззольное моторное масло 10W-40, трансмиссионное масло SAE 90 API GL-4.

Контрольно-измерительные приборы

1. Тахометр SEA-PRO TSP-02.

Для измерения частоты вращения коленчатого вала ПЛМ использовался тахометр SEA-PRO TSP-02, откалиброванный по поверенному сертифицированному тахометру, встроенному в газоанализатор «Инфракар-А-02».

Технические характеристики тахометра TSP-02:

- тип подвесных моторов – двухтактные и четырехтактные;
- измеряемые параметры: частота вращения коленчатого вала, общее время наработки, остаток времени до очередного технического обслуживания ПЛМ;
- степень защиты – IP-65;
- диапазон измерения частоты вращения – 0–20 000 об/мин;
- точность измерения частоты вращения – ± 10 об/мин;
- диапазон измерения времени наработки – 0–200 ч.

2. Газоанализатор «Инфракар-А-02».

Для определения количественного состава вредных выбросов ПЛМ в атмосферу, измерения частоты вращения коленчатого вала использовался поверенный сертифицированный переносной газоанализатор «Инфракар-А-02» (погрешность измерений ± 5 %) со встроенным тахометром, который используется и специалистами Государственной инспекции по маломерным судам (ГИМС) МЧС России по субъектам Российской Федерации.

Процедура проведения эксперимента

Испытания с двухтактным ПЛМ SEA PRO T2.5 проводили в период с 28.05.2021 по 02.06.2021 при следующих условиях окружающей среды: температура окружающей среды: $+28 \div 30$ °С; атмосферное давление – 755 мм ртутного столба; влажность воздуха – 31 %. Испытания с четырехтактным ПЛМ YAMAHA F4B проводили в период с 13.10.2021 по 15.10.2021 при следующих условиях окружающей среды: температура окружающей среды: $+22 \div 24$ °С; атмосферное давление – 760 мм ртутного столба; влажность воздуха – 52 %. Измерения проводили на следующих режимах работы для ПЛМ YAMAHA F4B: холостой, малый, средний, полный ход; а для ПЛМ SEA-PRO 2.5: малый, средний, полный ход (данная марка ПЛМ не имеет

холостого хода). Режим работы обоих ПЛМ выбирался в соответствии с отметками на рукоятках регулировки дроссельной заслонки. Обеспечивалась продолжительность каждого из режимов (кроме холостого хода) не менее 10 мин, продолжительность режима холостого хода – не менее 4 мин. После проведения контрольных испытаний на масле образца № 1 была произведена наработка обоих ПЛМ на образце масла № 2 в течение 10 ч (без перерыва), далее проведены контрольные испытания, после чего была произведена дальнейшая наработка обоих ПЛМ на образце масла № 2 в течение последующих 10 ч (без перерыва). Таким образом, общая наработка обоих ПЛМ на масле образца № 2 составила по 20 ч.

Результаты испытаний

Результаты испытаний ПЛМ SEA PRO T2.5, YAMAHA F4B на масле образца № 1 и № 2 (с учетом различного времени наработки) приведены в табл. 2.

Таблица 2
Table 2

Результаты испытаний подвесных лодочных моторов марок SEA PRO T2.5 и YAMAHA F4B
Test results of outboard motors SEA PRO T2.5, YAMAHA F4B

Режим работы ПЛМ	Марка ПЛМ					
	SEA PRO T2.5			YAMAHA F4B		
	Частота вращения коленчатого вала, об/мин					
	Образец масла № 1	Образец масла № 2		Образец масла № 1	Образец масла № 2	
	Эксплуатация на штатном масле	После наработки 10 ч	После наработки 20 ч	Эксплуатация на штатном масле	После наработки 10 ч	После наработки 20 ч
Холостой ход	Холостой ход отсутствует			1 360	1 660	1 940
Малый ход	1 020	1 475	1 375	1 340	1 420	1 540
Средний ход	3 220	3 125	2 795	3 750	3 850	4 600
Полный ход	3 810	4 000	3 910	5 360	5 540	5 700
Максимальные значения*	4 000	4 850	6 180	5 450	5 600	5 800

* Частота вращения коленчатого вала ПЛМ при максимальном положении рукоятки регулировки дроссельной заслонки

Согласно табл. 2 частота вращения коленчатого вала обоих ПЛМ при использовании масла образца № 2 в большинстве случаев повышается, что связано, вероятно, со снижением трения в сочленениях двигателей и редукторов. Повышение максимальной частоты вращения коленчатого вала ПЛМ SEA PRO T2.5 составило 54,5 %, что существенно может повысить максимальную мощность ПЛМ. Повышение максимальной частоты вращения коленчатого вала ПЛМ YAMAHA F4B составило 6,4 %, что существенно ниже, чем для двухтактного ПЛМ SEA PRO T2.5, что свидетельствует как о хорошем качестве конструкции самого ПЛМ, так и о небольшом износе его деталей. При проведении испытаний ПЛМ SEA PRO T2.5 с использованием смазочного масла образца № 1 были зафиксированы три несанкционированные остановки двигателя. Отмечено, что использование смазочного материала образца № 2 стабилизирует частоту вращения коленчатого вала двигателя.

Заключение

Экспериментально установлено, что применение для ПЛМ SEA-PRO T2,5 и YAMAHA F4B моторного масла образца № 2 стабилизирует частоту вращения коленчатого вала. Повышение частоты вращения коленчатого вала двигателя обоих моторов при использовании масла образца № 2 может свидетельствовать об уменьшении трения, возникающего в подвижных сочленениях двигателей и редукторов, что, возможно, приведет к увеличению мощности ПЛМ. Результаты эксперимента свидетельствуют о перспективности подобных исследований не только на ПЛМ, но и на стационарных двигательных установках, используемых на водном транспорте.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пат. РФ № 2019130712. Малый опытовый бассейн / Хмельницкий К. Е., Покусаев М. Н., Хмельницкая А. А.; опубл. 06.03.2020.
2. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2018618538. Заявка № 2018615762 от 06.06.2018. Тестмотор / Хмельницкий К. Е., Покусаев М. Н., Хмельницкая А. А., Сулейманов И. З., Куликов С. А.; опубл. 13.07.2018.
3. ГОСТ ISO 8178-4-2013. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Измерение выброса продуктов сгорания. Часть 4. Испытательные циклы для двигателей различного применения на установившихся режимах. М.: Стандартинформ, 2015. 103 с.
4. ГОСТ 32513-2013. Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. 12 с.
5. ГОСТ 17479.1-2015. Масла моторные, Классификация и обозначение. М.: Стандартинформ, 2019. 8 с.

REFERENCES

1. Khmel'nitskii K. E., Pokusaev M. N., Khmel'nitskaia A. A. *Malyi opytovyi bassein* [Small experimental pool]. Patent RF, no. 2019130712, 06.03.2020.
2. Khmel'nitskii K. E., Pokusaev M. N., Khmel'nitskaia A. A., Suleimanov I. Z., Kulikov S. A. *Svidetel'stvo o registratsii programmy dlia EVM RU 2018618538. Testmotor* [Certificate of registration of the computer program RU 2018618538. Application No. 2018615762 dated 06.06.2018. Testmotor]. Zaiavka № 2018615762 ot 06.06.2018, 13.07.2018.
3. *GOST ISO 8178-1-2013. Dvigateli vnutrennego sgoraniia porshnevyye. Izmerenie vybrosov produktov sgoraniia. Chast' 4. Ispytatel'nye tsikly dlia dvigatelei razlichnogo primenenii na ustanovivshikhsia rezhimakh* [GOST ISO 8178-1-2013. Internal combustion engines are piston. Measurement of the emission of combustion products. Part 4. Test cycles for engines of various applications in steady-state conditions]. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 103 p.
4. *GOST 32513-2013. Topliva motornyye. Benzin neetilirovannyi. Tekhnicheskie usloviia* [GOST 32513-2013. Motor fuels. Unleaded petrol. Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 12 p.
5. *GOST 17479.1-2015. Masla motornyye, Klassifikatsiia i oboznachenie* [GOST 17479.1-2015. Motor oils, classification and designation]. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 8 p.

Статья поступила в редакцию 15.10.2021; одобрена после рецензирования 29.10.2021; принята к публикации 02.11.2021.
The article was submitted 15.10.2021; approved after reviewing 29.10.2021; accepted for publication 02.11.2021.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Михаил Николаевич Покусаев – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16; SPIN: 9543-2110; evt@astu.org

Константин Евгеньевич Хмельницкий – аспирант кафедры эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16; chuchera80@mail.ru

Анастасия Александровна Хмельницкая – кандидат технических наук; старший преподаватель кафедры эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16; khmelnitskayaaa@mail.ru

Максим Михайлович Горбачев – кандидат технических наук; доцент кафедры эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16; max9999_9@mail.ru

Алексей Алексеевич Кадин – магистрант кафедры эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16; alexeik1@mail.ru

Елена Валерьевна Кадина – магистрант кафедры эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16; e.kadina@mail.ru

Максим Александрович Толочин – магистрант кафедры эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16; mr.strong.30@inbox.ru

Станислав Александрович Прудков – магистрант кафедры эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16; chipideilspeshat@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Mikhail N. Pokusaev – Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; 414056, Astrakhan, Tatishcheva St., 16; SPIN: 9543-2110; evt@astu.org

Konstantin E. Khmelnskiy – Postgraduate Student of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; 414056, Astrakhan, Tatishcheva St., 16; chuchera80@mail.ru

Anastasia A. Khmelnskiy – Candidate of Technical Sciences; Senior Lecturer of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; 414056, Astrakhan, Tatishcheva St., 16; khmelnskiyaaa@mail.ru

Maksim M. Gorbachev – Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; 414056, Astrakhan, Tatishcheva St., 16; max9999_9@mail.ru

Aleksey A. Kadin – Master's Course Student of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; 414056, Astrakhan, Tatishcheva St., 16; alexeik1@mail.ru

Elena V. Kadina – Master's Course Student of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; 414056, Astrakhan, Tatishcheva St., 16; e.kadina@mail.ru

Maksim A. Tolochin – Master's Course Student of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; 414056, Astrakhan, Tatishcheva St., 16; mr.strong.30@inbox.ru

Stanislav A. Prudkov – Master's Course Student of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; 414056, Astrakhan, Tatishcheva St., 16; chipideilspeshat@gmail.com

