

**МЕТОДИКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ
ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ГИЛЬЗАМИ,
ИМЕЮЩИМИ АНТИКАВИТАЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ**

**METHOD OF EXPLOITATIVE TESTS WITH DIESEL ENGINES
AND SLEEVES HAVING ANTI-CAVITATION COATING**

Проведены стендовые испытания дизельных двигателей с гильзами, имеющими на наружной поверхности антикавитационные покрытия. Двигатели, подвергнутые испытанию, использовались на различных судах в условиях обычной эксплуатации. На гильзы цилиндров дизельных двигателей наносились специальные антикавитационные покрытия из специальной бронзовой проволоки методом электроискровой обработки. Для сравнения на гильзы цилиндров также наносилось медное покрытие холодным газодинамическим напылением. Дизельные двигатели, подвергнутые капитальному ремонту, прошли испытания на специальных обкаточно-тормозных устройствах. При испытании дизеля были снабжены необходимым обслуживающим оборудованием. В дизелях вместо воздухоочистителя, системы выпуска отработанных газов и радиатора системы охлаждения применяли соответствующие устройства, предусмотренные на испытательном стенде. Каждый двигатель испытывался в течение 20 часов циклами по 4 часа. После окончания испытаний изучали крутящий момент и часовой расход топлива. Выведена формула для определения остаточного ресурса двигателя.

Stand tests of diesel engines have been carried out with sleeves having anti-cavitation coating on the outside surface. The engines exposed to test were used on different vessels in the situations of usual exploitation. Special anti-cavitation coating of special bronze wire were laid on sleeves of the cylinder of diesel engines by the method of electrospark machining. For comparison copper coating were also laid on sleeves of the cylinder by the method of gas-dynamic spattering. Diesel engines exposed to basic repair passed tests on special rolling breaking devices. During testing diesels were provided with necessary service equipment. For the diesels instead of air clearer systems of release of outgoing gases and heat radiator of the system of cooling were applied appropriate devices foreseen on stand test.

Each engine was tested during 20 hours' period with the cycles for 4 hours. At the end of the test hourlong rotation torque and fuel consumption in an hour were studied. A formula has been found out for identifying the remaining resource of engine.

Ключевые слова: эксплуатационные испытания, двигатель, крутящий момент, антикавитационные покрытия, диагностика, расход топлива.

Key words: exploitative test, engine, torque consumption, anti-cavitation coating, diagnostics, fuel consumption.

Введение

Основным критерием оценки гильз судовых двигателей, имеющих на наружной поверхности антикавитационные покрытия, может служить эксплуатационное испытание двигателей на специальных стендах. При этом гильзы имели два вида покрытия: бронзовое, полученное электроискровой обработкой их поверхности бронзовой проволокой, и медное, нанесенное на поверхность гильзы холодным газодинамическим напылением медьсодержащего порошка.

Испытаниям подвергались двигатели, прошедшие капитальный ремонт, поскольку только такие двигатели могут дать более точную оценку качества антикавитационных покрытий.

Обсуждение методики экспериментов

Для проверки результатов лабораторных исследований были проведены стендовые испытания ранее проведенных дизельных двигателей с гильзами, имеющими на наружной поверхности антикавитационные покрытия, выполненные в зоне максимальных кавитационных разрушений.

Дизельные двигатели, прошедшие капитальный ремонт, испытывали на обкаточно-тормозных стендах [1]–[3]. На пяти двигателях первой группы были установлены экспериментальные гильзы цилиндров. Пять двигателей второй группы комплектовались серийными гильзами. Дизеля во время испытаний были укомплектованы необходимым обслуживающим оборудованием. Вместо воздухоочистителя системы выпуска отработавших газов и радиатора системы охлаждения использовали соответствующие устройства испытательного стенда. Топливный насос был отрегулирован согласно техническим условиям, и впоследствии его регулировка не изменилась в течение всего периода испытаний.

Перед испытанием двигатели проходили технологическую обкатку. Двигатели во время испытаний заправляли летним дизельным топливом плотностью $830 \pm 10 \text{ кг/м}^3$; температура охлаждающей жидкости и картерного масла составляла $85\text{--}95^\circ\text{C}$.

Каждый двигатель испытывался в течение 20 часов циклами по 4 часа. Продолжительность остановки и охлаждения двигателя между циклами составляла 10 минут. Режим работы двигателя в течение цикла:

1. Работа без нагрузки с частотой вращения коленчатого вала $n = 1850\text{--}1950 \text{ мин}^{-1}$ – 10 минут.
2. Работа с нагрузкой 125 кВт с частотой вращения коленчатого вала $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ – 10 минут.
3. Работа с нагрузкой 125 кВт с частотой вращения коленчатого вала $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ – 210 минут.
4. Работа без нагрузки с частотой вращения коленчатого вала $n = 1850\text{--}1950 \text{ мин}^{-1}$ – 10 минут.

После окончания испытаний определяли крутящий момент и часовой расход топлива при различной частоте вращения коленчатого вала с целью построения регуляторной характеристики. Крутящий момент определяли по показаниям весового механизма стенда, а часовой расход топлива — с помощью прибора АИР-50.

Для выполнения поставленных задач определялось необходимое количество экспериментальных гильз цилиндров для эксплуатационных испытаний.

Известно[1], [2], [4], что распределение случайной величины износа подчиняется нормальному закону. Поэтому определение наименьшего числа объектов исследований при неизвестной генеральной совокупности и дисперсии производится по формуле

$$N = \left(\frac{t_{\beta} \cdot V}{E_{\beta}} \right)^2, \quad (1)$$

где t_{β} — параметр распределения Стьюдента при доверительной вероятности; V — коэффициент вариации; E_{β} — относительная ошибка среднего значения случайной величины.

Для определения числа объектов испытаний согласно [1], [2], [5] задаются надежность и точность определения этой величины. Принимаем коэффициент вариации $V = 0,32$, коэффициент надежности (доверительная вероятность) $\beta = 90\%$, относительную ошибку случайных величин $E = 0,08$.

Так как параметр t_{α} зависит от объема выборки, то для определения количества объектов N использовали литературные табличные данные и рассчитывали по формуле

$$\frac{t_{\alpha}}{N} = \frac{E_{\alpha}}{V}. \quad (2)$$

Согласно принятым E_{α} и V соотношение $\alpha = 0,9$, при котором $N = 26$.

Таким образом, для проведения эксплуатационных испытаний количество экспериментальных гильз равно 26. Испытывались 5 двигателей с 8 экспериментальными гильзами в каждом и 5 двигателей, укомплектованных серийными гильзами двигателей.

Экспериментальные двигатели использовались на различных судах в условиях рядовой эксплуатации. Перед сборкой выполнялся микрометрический гильз цилиндров и поршневых колец. Микрометрический гильз цилиндров выполнялся с помощью нутрометра НИ100-160, оснащенного индикатором 1 МИГП с точностью измерения 1 мкм. Все измерения проводились при постоянной температуре с трехкратной повторяемостью [6].

После сборки двигатели проходили обкатку.

В период проведения работ выполнялось диагностирование технического состояния деталей цилиндропоршневой группы по количеству газов, прорвавшихся в картер. Измерения проводили индикатором расхода газов КИ-13671 при температуре охлаждающей жидкости 65–100 °С, герметичной системе вентиляции картера и номинальной частоте вращения вала дизеля $N = 1700$ об./мин.

Испытания проводились по плану NUT(ГОСТ 27.002-83), по которому одновременно испытывают N объектов. Отказавшие во время испытаний объекты не восстанавливают и не заменяют, испытания прекращают по истечению времени T для каждого не отказавшего объекта.

Эффективную мощность рассчитывали по формуле

$$N_e = \frac{M_k n}{9550}, \quad (3)$$

где N_e — эффективная мощность, кВт; M_k — крутящий момент, Н·м; n — частота вращения коленчатого вала, мин⁻¹.

Удельный расход топлива определяется по формуле

$$g_y = \frac{1000 G_T}{N_e}, \quad (4)$$

где g_y — удельный расход топлива, г/кВт·ч; G_T — часовой расход топлива, кг/ч.

Износ гильз определяется с учетом [6], а замеры выбросов вредных веществ дизелей производилась согласно [7].

Обработку экспериментальных данных проводили с использованием компьютера с помощью MS Excel 2000.

Пробег судов, оснащенных экспериментальными двигателями, за время испытаний составил 55 000–75 000 км. Контроль состояния деталей цилиндропоршневой группы осуществляется методами безразборного диагностирования во время проведения работ СТО. По результатам диагностирования определялся остаточный ресурс двигателя.

В качестве параметра, характеризующего состояние сопряжения, был выбран расход картерных газов [8], [9].

Остаточный ресурс сопряжения определяли по формуле

$$T_{\text{ост}} = T_{\text{тек}} \left(\left(\frac{S_{\text{пр}} - S_{\text{нач}}}{S_{\text{тек}} - S_{\text{нач}}} \right)^{1/\alpha} - 1 \right), \quad (5)$$

где $T_{\text{ост}}$ — остаточный ресурс, ч; $T_{\text{тек}}$ — наработка двигателя, ч; $S_{\text{пр}}$, $S_{\text{нач}}$, $S_{\text{тек}}$ — предельное и текущее значения выбросов картерных газов, л/мин; α — показатель степени, характеризующий скорость изменения параметра (до замены поршневых колец $\alpha = 1,3$).

Количество газов, прорвавшихся в картер при номинальной частоте вращения холостого хода: $S_{\text{пр}} = 135$ л/мин, $S_{\text{нач}} = 50$ л/мин.

Полученный по результатам диагностирования расчетный остаточный ресурс двигателей, укомплектованных экспериментальными и серийными гильзами, приведен в табл. 1, 2.

Таблица 1

Результаты эксплуатационных испытаний дизелей с серийными гильзами

№ группы и двигателя	Серийные двигатели					
	Прорыв газов, л/мин			Остаточный ресурс, ч		
	20 000 км	30 000 км	40 000 км	20 000 км	30 000 км	40 000 км
1-1	75	100	120	37582	24225	12150
1-2	80	103	121	29516	21056	11200
1-3	71	100	120	46430	24225	12150
1-4	75	102	124	37582	22076	8485
1-5	76	102	120	35750	22076	12150
Среднее значение	75,4	101,4	121	36833	22705	11227

Таблица 2

Результаты эксплуатационных испытаний дизелей с экспериментальными гильзами

№ группы и двигателя	Экспериментальные двигатели					
	Прорыв газов, л/мин			Остаточный ресурс, ч		
	20 000 км	30 000 км	40 000 км	20 000 км	30 000 км	40 000 км
2-1	70	91	121	48231	38743	11200
2-2	67	92	119	58012	32879	13125
2-3	68	90	116	54102	40201	16205
2-4	72	90	117	47329	40201	15151
2-5	70	91	118	48231	38743	14125
Среднее значение	69,4	90,8	118,2	51181	38152	13961

За время проведения эксплуатационных испытаний отказов цилиндропоршневой группы не наблюдалось.

Эксплуатационные испытания подтверждают выводы по исследованию гильз с дополнительно нанесенными антикавитационными покрытиями на УЗВ: повышение расчетного ресурса составило 19,6 % по сравнению с серийными двигателями.

Выводы

1. Проведенные эксплуатационные испытания показали повышение ресурса работы дизельных двигателей, оснащенных гильзами с антикавитационными покрытиями, по сравнению с серийными приблизительно 20 %.

2. В качестве параметра, характеризующего состояние сопряжения цилиндропоршневой группы, был выбран расход картерных газов. Исходя из этого выведена формула для определения остаточного ресурса дизеля.

3. Определено количество газов, прорвавшихся в картер при нормальной частоте вращения холостого хода.

Список литературы

1. Комплексная система технического обслуживания и ремонта машин в сельском хозяйстве. — М.: ГОСНИТИ, 1985. — 108 с.
2. Кучель Р. Б. Методика выбора количества изделий для ресурсных испытаний и оценки достоверности их результатов / Р. Б. Кучель, Ю. Н. Благовещенский — М.: НАТИ, 1992. — 160 с.
3. Рыбакова Л. М. Структура и износ покрытий при финишной антифрикционной обработке гильз цилиндров ДВС / Л. М. Рыбакова // Трение и износ. — 1994. — № 25. — С. 909–921.
4. Григорьев М. А. Износ и долговечность автотракторных двигателей / М. А. Григорьев. — М.: Машиностроение, 1996. — 248 с.
5. Волков К. Н. Прогнозирование надежности механических систем / К. Н. Волков — Л.: Машиностроение, 1989. — 208 с.
6. ГОСТ 8.051-81. «Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм».
7. ГОСТ 12.2.2.02.98 «Охрана природы. Атмосфера. Нормы и методы измерения выбросов вредных веществ с отработавшими газами транспортных и комбайновых дизелей».
8. Головатенко А. Г. Повышение экологичности и экономичности автотракторных двигателей / А. Г. Головатенко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2004 — № 9. — С. 16–18.
9. Колчин А. В. Экологическая безопасность эксплуатации МТП / А. В. Колчин. — М.: ГОСНИТИ, 1991. — 65 с.

УДК 629.5.022

М. А. Москаленко,

д-р техн. наук, профессор,
Морская академия Морского государственного
университета им. адм. Г. И. Невельского;

З. М. Субботин,

аспирант,
Морская академия Морского государственного
университета им. адм. Г. И. Невельского;

Л. В. Захарина,

доцент,
Сахалинское высшее мореходное училище
им. Т. Б. Гуженко — филиал Морского государственного
университета им. адм. Г. И. Невельского

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ КОРПУСА МОРСКИХ СУДОВ МАЛОЙ ТОННАЖНОЙ ГРУППЫ

ASSESSMENT OF THE EFFECTIVE FEASIBILITY MODERNIZATION OF HULL MARINE VESSELS OF SMALL TONNAGE

В статье представлены результаты оценки возможности и целесообразности модернизации корпуса морских судов малой тоннажной группы (МТГ). Изложены предпосылки их размерной модернизации. Отмечается, что такие суда сегодня являются наиболее востребованными и широко используются в трамповом судоходстве. Выявлено существование проблемы, связанной с необходимостью повышения эксплуатационной эффективности работы возрастных судов. Повышение их конкурентноспособности представляется возможным обеспечить через осуществление одномерной модернизации их корпуса.