

Научная статья
УДК 621.891
<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2023-1-37-44>
EDN LGZWGQ

Исследование антифрикционных и противоизносных свойств смазочных материалов судового назначения, содержащих слоистый модификатор трения

В. А. Чанчиков[✉], И. Н. Гужвенко, А. И. Андреев, М. С. Прямухина, М. А. Шулимова

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, bazelius87@mail.ru[✉]*

Аннотация. Приводятся результаты проведения антифрикционных и противоизносных испытаний образцов смазочных сред, содержащих слоистый модификатор трения – диселенид молибдена. Основными переменными условиями испытаний выбраны нагрузка на испытательные образцы, объемная концентрация слоистого модификатора трения в смазочном масле, время предварительного хранения смазочной композиции до проведения испытаний. Основными оценочными критериями выбраны массовый износ образцов, интенсивность изнашивания, коэффициент трения. Каждый из восьми циклов испытания реализован на триботехнической установке оригинальной конструкции по цилиндрическому типу контакта. Оценивались показатели ресурса, переносимые с модельных условий проводимых испытаний на реальный трибологический узел «кольцо – цилиндр» судового дизеля 6ЧСП 18/22. По результатам триботехнических исследований выявлено влияние увеличения нагрузки на модельный узел трения установки, содержащий цилиндрическую истирающуюся пару из легированного серого чугуна, в результате чего массовый износ кольцевого подвижного образца увеличивается, а ресурс, переносимый на реальное трибологическое сопряжение судового дизеля «кольцо – цилиндр», уменьшается в 1,13–1,23 раза. Отмечено, что наибольшее влияние на показатели износа модельных образцов и ресурса, переносимого на реальное сопряжение «кольцо – цилиндр» судового дизеля, оказывает время предварительного хранения смазочной композиции, содержащей в качестве присадки диселенид молибдена. Доказано, что на ухудшение антифрикционных свойств (повышение средней температуры поверхности сегментного образца и силы трения) в значительной степени влияет уменьшение объемной концентрации противоизносной присадки в масле. Выявлено, что серьезные изменения указанных оценочных параметров справедливы для наименьшего шага нагрузки на образцы. Сформулированы общие рекомендации для использования противоизносной присадки, рассматриваемой в исследованиях. Установлено, что существует возможность хранения смазочных композиций с присадками на период не более 3–4 суток при заданных объемных концентрациях в диапазоне 0,5–1,0 %, поскольку в случае превышения данного периода на 25–40 % возможно снижение ресурса цилиндропоршневой группы дизеля вдвое при повышении изнашивания его поршневых колец и цилиндрических втулок.

Ключевые слова: слоистый модификатор, трибологический узел, триботехнические испытания, диселенид молибдена, весовой износ, интенсивность изнашивания, скорость изнашивания, ресурс, судового дизель

Для цитирования: Чанчиков В. А., Гужвенко И. Н., Андреев А. И., Прямухина М. С., Шулимова М. А. Исследование антифрикционных и противоизносных свойств смазочных материалов судового назначения, содержащих слоистый модификатор трения // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2023. № 1. С. 37–44. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2023-1-37-44>. EDN LGZWGQ.

Original article

Studying anti-friction and anti-wear properties of marine lubricants containing layered friction modifier

V. A. Chanchikov[✉], I. N. Guzhvenko, A. I. Andreev, M. S. Pryamukhina, M. A. Shulimova

*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, bazelius87@mail.ru[✉]*

Abstract. The paper highlights the results of anti-friction and anti-wear tests of samples of lubricating media containing a layered friction modifier - molybdenum diselenide. The main variable test conditions are the load on the test samples, volume concentration of the layered friction modifier in the lubricating oil, preliminary storage time of the lubricating composition before testing. The main evaluation criteria are the mass wear of samples, wear intensity, friction coefficient. Each of the eight test cycles was implemented on a tribotechnical installation of an original design using a cylindrical contact type. The resource indicators transferred from the model conditions of the tests to the real tribological unit “ring-cylinder” of a marine diesel engine 6ChSP 18/22 were evaluated. According to the results of tribological studies, the effect of increasing the load on the model friction unit of the installation, containing a cylindrical wear pair of alloyed gray cast iron, was revealed, as a result of which the mass wear of the annular movable sample increases, and the resource transferred to the real tribological interface of the marine diesel engine “ring-cylinder” decreases in 1.13-1.23 times. The greatest influence on the wear indicators of model samples and the resource transferred to the real “ring-cylinder” interface of a marine diesel engine is the time of preliminary storage of a lubricant composition containing molybdenum diselenide as an additive. It has been proven that the deterioration of anti-friction properties (an increase in the average surface temperature of a segment sample and the friction force) is largely affected by a decrease in the volume concentration of an anti-wear additive in the oil. It has been found out that serious changes in the indicated estimated parameters are valid for the smallest loading step on the samples. General recommendations are formulated for the use of antiwear additives considered in the studies. It has been proved that storing lubricating compositions with additives is possible for a period of no longer than 3-4 days at given volume concentrations in the range of 0.5-1.0%, since if this period is exceeded by 25-40%, the diesel CPG resource may be halved with increased wear of its piston rings and cylinder liners.

Keywords: layered modifier, tribological assembly, tribotechnical tests, molybdenum diselenide, weight wear, wear intensity, wear rate, service life, marine diesel

For citation: Chanchikov V. A., Guzhvenko I. N., Andreev A. I., Pryamukhina M. S., Shulimova M. A. Studying anti-friction and anti-wear properties of marine lubricants containing layered friction modifier. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies.* 2023;1:37-44. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2023-1-37-44>. EDN LGZWGQ.

Введение

Эффективность слоистых модификаторов трения (СМТ) как самостоятельной твердосмазочной среды достаточно широко рассмотрена в научной фундаментальной и периодической литературе [1–6]. Наряду с этим использование СМТ в транспортном двигателестроении (особенно в судовых дизелях) сдерживается свойствами дисульфида молибдена MoS_2 , имеющего худшие триботехнические качества, чем диселенид молибдена MoSe_2 . Последний в качестве противоизносных присадок в картерных смазочных системах дизельных двигателей не применяется по ряду причин: высокая стоимость, сложность стабилизации в объеме жидкого смазочного масла и т. д. Прочие СМТ для картерных систем смазки не подходят в принципе. Так, дисилицид молибдена MoSi_2 приводит к высоким механическим потерям на трение смазываемых поверхностей, кристаллический графит С опасен по причине высокой вероятности загрязнения фильтрующих элементов и сепараторов крупнодисперсными частицами.

Исследования авторов в области применения диселенида молибдена в качестве одной из составляющих модификатора трения, направленного на уменьшение износа деталей цилиндропоршневой и кривошипно-шатунной группы, показали его высокую триботехническую эффективность. В работе [7] установлено, что добавление до 1,0 % в объемном отношении СМТ, содержащего диселенид молибдена MoSe_2 , стабилизированный пакетом жирных ненасыщенных кислот, значительно

понижает износ чугунных образцов, имитирующих цилиндропоршневую группу. Однако положительная триботехническая эффективность достигается только в случае хранения разработанной противоизносной присадки [8] в составе смазочного масла на период 2–4 суток. В работе определена цель выявления триботехнической эффективности разработанной присадки [8] в диапазоне периода хранения от 5 до 7 суток. При этом диапазон уровней исследования расширен переменными условиями нагружения чугунных испытуемых образцов и различными концентрациями противоизносной присадки в масле судового назначения по объему.

Постановка цели и задач исследования

Целью исследования является анализ противоизносных и антифрикционных свойств чугунных образцов в смазочной среде с добавкой СМТ.

Задачи исследования:

- измерение весового износа чугунных образцов, имитирующих поршневое кольцо судового дизеля;
- измерение средней температуры чугунного образца за цикл противоизносного испытания;
- измерение силы сопротивления движению чугунного образца в виде кольца в корпусе чугунной втулки с целью расчета коэффициента трения на контакте испытательных образцов;
- оценка эффективности слоистого модификатора трения типа диселенида молибдена MoSe_2 в составе смазочной композиции с жидким цирку-

ляционным маслом М16Г2ЦС судового назначения в зависимости от трех уровней переменных параметров: нагрузки на образцы (P), концентрации модификатора трения в масле (C), срока хранения противоизносной присадки (T).

Объектом исследования является смазочное масло М16Г2ЦС (ГОСТ 12337-2020) с добавкой противоизносного модификатора трения на основе диселенида молибдена [8].

Техническая характеристика и конструктивные особенности триботехнической установки

Установка для испытания образцов на трение (рисунок) базируется на раме 1, где закреплены электродвигатель 2 и направляющая 5 крейцкопфа 4, а также направляющая 8 испытательного цилиндра 7. Технические характеристики испытательной установки приведены в табл. 1.

Электродвигатель имеет выход на кривошипный вал 3 с шатуном. Шатун приводит в возврат-

но-поступательное движение крейцкопф 4 и поршень 6 с размещенными на нем испытуемыми сегментами чугуных колец. Сегменты истираются о чугунный съемный цилиндр 7. В цилиндре на момент начала и в течение всего цикла испытания содержится до 5 см³ смазочного масла.

Цилиндр расположен на направляющей 8 и способен скользить по ней, сопротивляясь ходу подвижного сегментного образца и, соответственно, упираясь в изгибаемую тензометрическую балку 9. Таким образом, выполняется движение корпуса цилиндра с ограниченным люфтом Δ , не превышающим значения 1,5 мм благодаря жесткости тензобалки 9. Внутри поршня расположена разжимная пружина 10, дающая возможность прикладывать радиальную нагрузку с истираемых сегментов чугуных колец на цилиндр 7. Общий разрез узла испытательного цилиндра приведен на рисунке.

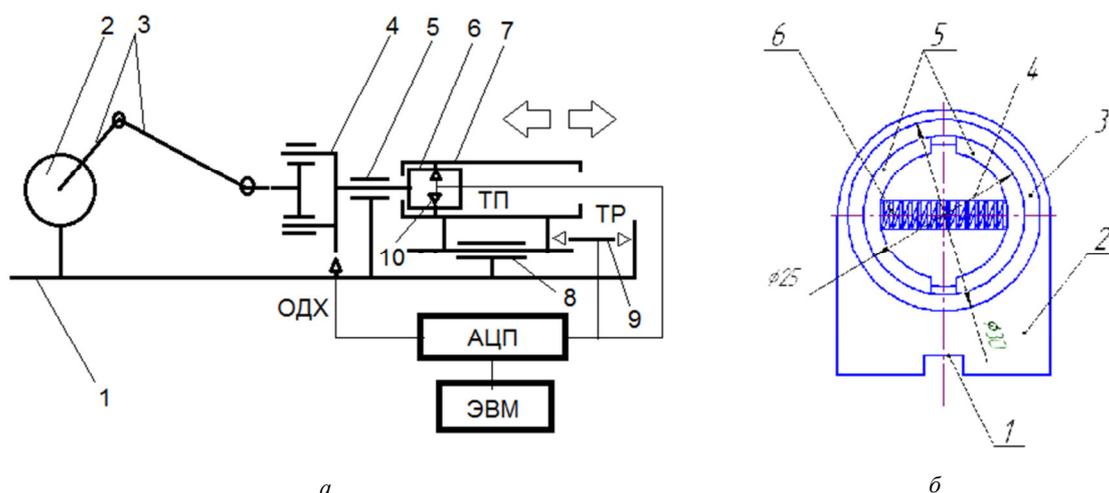


Схема испытательной установки (а) и ее узла трения (б): ТР – тензорезистор; ТП – термопара; ОДХ – отметчик двойных ходов; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь

Layout of the test setup (а) and its friction unit (б): ТР – strain gauge; ТП – thermocouple; ОДХ – marker of double moves; АЦП – analog-to-digital converter

Таблица 1

Table 1

Технические характеристики испытательной установки

Technical characteristics of the test setup

Параметр	Значение
Мощность приводного электродвигателя N , кВт	0,8
Частота вращения кривошипного вала n , об/мин	375 ⁻⁵
Радиус кривошипа R , мм	18,5
Длина шатуна L , мм	92,5
Ход поршня S , мм	37
Диаметр соприкосновения истираемых поверхностей (сегмент кольца / цилиндр) D , мм	25 ^{+0,03} /25 ^{+0,05}

Параметр	Значение
Наружный диаметр съемной чугунной втулки d , мм	30
Наибольший люфт корпуса цилиндра Δ , мм	1,0–1,5
Дискретность измерения температуры / диапазон измерения t/d_p , °C/°C	0,1/0,1–999
Дискретность измерения двойных ходов крейцкопфа s , двойной ход	1,0
Сопротивление измерительного тензорезистора R , Ом	$99,2 \pm 0,1$
Коэффициент усиления тензорезистора k	2,17
Примерная шероховатость рабочих поверхностей чугунных истираемых образцов (сегмент кольца и съемная втулка) Ra , мкм	0,32
Нагрузка на сегменты кольца при их истирании P , Н	$200^{+0,5}/400^{+0,5}$
Реализуемое контактное давление на сопряжении поверхностей «кольцевой сегмент – втулка» p (нагрузка $P = 200/400$ Н), МПа	$0,85^{-0,03}/1,7^{-0,01}$

Испытательный цилиндр имеет в корпусе 2 расточку внутреннего отверстия под съемную втулку 3. С внутренней поверхностью чугунной втулки соприкасаются два сегмента кольца 5, разжимаемых радиально во взаимно противоположные стороны цилиндрической пружиной 6. Пружина представлена в испытаниях двумя видами: с нагрузкой 200 и 400 Н, что представляет собой один из уровней противоизносного испытания. Сегменты кольца и втулка изготовлены из серого легированного чугуна ЧНХМД (ГОСТ 7769-82). С учетом того, что в истирании участвуют сразу два сегмента, выполняется представительность противоизносных испытаний. Корпус 2 имеет прямоугольный паз 1 для скольжения по направляющей при нагрузке тензометрической измерительной балки установки. Тензометрическая балка имеет четыре тензорезистора КФ5П1-20-100-Б-12 (ТУ 25-06.2002-80), соединенных по полной мостовой схеме. Для фиксации измерительных элементов используется клей типа ВС-350.

Измерительными элементами установки (кроме тензорезистора) являются термопара (спай располо-

жен на глубине 1,0 мм от внутреннего диаметра сегмента кольца) и отметчик (счетчик) двойных ходов. Все указанные электрические измерители имеют выход на АЦП, отдающий конечный цифровой сигнал на ЭВМ. В качестве АЦП используется восьмиканальная тензостанция ZET017-T8 с программным комплексом ZETLab, размещенным на ЭВМ.

Результаты противоизносных испытаний оцениваются по весовому износу сегментов кольца, антифрикционные параметры – по параметрам сопротивления тензометрической балки и температуре, создаваемой на спае термопары.

Технология проведения противоизносных и антифрикционных испытаний, обработка их результатов

Оба вида испытаний выполнялись за один непрерывный цикл работы пропульсивного комплекса испытательной установки: $T_{и} = 1\,000$ ч. Путь трения испытательных образцов в виде сегментов цилиндра за это время: $S_T = 1\,665\,000$ м, или $2,25 \cdot 10^7$ двойных ходов. В организации испытательных циклов предусмотрены три уровня испытаний (табл. 2).

Таблица 2

Table 2

Уровни испытательных циклов

Levels of test cycles

Обозначение	Уровень	Значение: наименьший/наибольший
a	Нагрузка на испытательные образцы, Н	$P_1 = 200$
		$P_2 = 400$
b	Объемная концентрация модификатора трения в смазочном масле, %	$C_1 = 0,5$
		$C_2 = 1,0$
c	Время хранения смазочной композиции, содержащей модификатор трения, ч	$T_1 = 120$
		$T_2 = 168$

Таким образом, общее число испытательных циклов составляет:

$$i_{ц} = X^{(a+b+c)} = 2^{(1+1+1)} = 8,$$

где X – число испытаний на отдельном уровне (два для каждого); a, b, c – количество отдельных уровней испытания по нагрузке на образцы P (a), объемной концентрации модификатора трения в масле C (b), времени хранения смазочной композиции T , содержащей рассматриваемый модификатор трения слоистого типа (c).

Разработанная технология проведения испытаний заключается в следующем:

1. Включается в работу триботехническая установка, описанная выше, с выполнением указанных наработок по времени испытаний $T_{и}$ и пути трения S_T на каждом из восьми циклов испытания.

2. В течение цикла испытания измеряются путь трения по числу двойных ходов s , температура t , °С, на поверхности контакта кольцевого сегмента с цилиндром, сила трения $P_{тр}$, Н, по показаниям сопротивления R , Ом, резистивного моста на тензометрической балке (данное показание калибруется по эталонному значению, определяется действительная сила трения).

3. С остановленной по окончании цикла испытания установки снимаются образцы цилиндрического типа из подвижного корпуса цилиндра и два сегмента кольцевого типа.

4. Износ двух подвижных сегментов кольцевого типа измеряется на весах HL-1000AnD с точностью до 10^{-3} г (образцы предварительно очищаются и обезжириваются). Значение износа за конкретный цикл испытания вычисляется как среднее арифметическое между значениями износа двух образцов.

5. Коэффициент трения подвижных сегментов по сопротивляющемуся перемещению цилиндра в первом приближении возможно определить по выражению

$$f = P_{тр} / P,$$

где $P_{тр}$ – сила трения, Н, соотнесенная с калибровочной кривой сопротивления резистора $P_{тр} = f(R)$; P – сила нагружения, Н, кольцевого сегмента разжимающей пружиной, известная заранее по выбранной для цикла испытания пружине (200 или 400 Н).

6. Составляется трибологический рейтинг из полученных восьми циклов испытания, где наименьший износ h , интенсивность изнашивания I и коэффициент трения f являются наилучшими показателями для смазочной композиции.

Также определяется ресурс R_i ходимости (временной предел сохранения зазора между деталями, удовлетворяющий нормальному циклу эксплуатации трибологического сопряжения) настоящего узла трения по показателям износа h_i в каждом цикле испытания. За реальный узел в данной работе принято сопряжение «кольцо – цилиндр» судового

дизеля 6ЧСП 18/22 с максимальным значением зазора $h_{max} = 250$ мкм [9].

К значению ресурса ходимости узла трения приходят путем расчета следующих выражений:

1. Весовой (массовый) износ сегментного образца, м:

$$h_i = (m_i / \rho) / A,$$

где m_i – масса изношенного металла за цикл испытания, г; $\rho = 7,7 \cdot 10^6$ – плотность чугуна для образцов сегментного типа, г/м³; $A = 2,36 \cdot 10^{-4}$ – площадь контурной поверхности трения на цилиндрической сегментной поверхности подвижного образца, м².

2. Интенсивность изнашивания сегментного образца:

$$I_i = h_i / S_T,$$

где $S_T = 166\,500$ – путь трения за цикл испытания, м.

3. Скорость изнашивания сегментного образца, мкм/ч:

$$V_i = h_i \cdot 10^{-3} / T_{и},$$

где $T_{и} = 1\,000$ – время проведения цикла испытания, ч.

4. Ресурс ходимости узла по предельному зазору между реальными деталями (пара «кольцо – цилиндр») судового дизеля 6ЧСП 18/22), ч:

$$R_{цпгi} = h_{max} / V_i,$$

где $h_{max} = 250$ – предельный зазор, мкм, удовлетворяющий нормальным (безаварийным) условиям эксплуатации пары трения «кольцо – цилиндр» (по износу кольца) судового дизеля 6ЧСП 18/22; V_i – скорость изнашивания материала сегментного образца, мкм/ч.

Результаты проведения триботехнических исследований

Основные результаты исследования противоизносных свойств приведены в табл. 3, антифрикционных свойств – в табл. 4.

В качестве оценочных показателей противоизносных свойств кольцевого сегмента в каждом цикле испытания выступают следующие параметры [10]:

- линейный износ поверхности образца h_i , м;
- безразмерная интенсивность изнашивания I_i ;
- скорость изнашивания поверхности V_i , мкм/ч;
- остаточный ресурс реального сопряжения «кольцо – цилиндр» по зазору R_i , ч.

В качестве оценочных показателей антифрикционных свойств кольцевого сегмента выступают следующие параметры:

- средняя температура t_{cp} , °С, поверхности за цикл;
- коэффициент трения f между подвижным кольцевым сегментом и цилиндрическим образцом.

Таблица 3

Table 3

Основные показатели противозносных свойств

Main indicators of antiwear properties

№ в рейтинге	Обозначение цикла испытаний	m_i , г	h_i , м	I_i	V_i , мкм/ч	R_i , ч
1	$P_1C_2T_1$	0,04	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$1,322 \cdot 10^{-11}$	0,02201	11 357,5
2	$P_1C_1T_1$	0,044	$2,421 \cdot 10^{-5}$	$1,454 \cdot 10^{-11}$	0,02421	10 325
3	$P_2C_2T_1$	0,049	$2,697 \cdot 10^{-5}$	$1,62 \cdot 10^{-11}$	0,02697	9 271,43
4	$P_2C_1T_1$	0,05	$2,752 \cdot 10^{-5}$	$1,653 \cdot 10^{-11}$	0,02752	9 086
5	$P_1C_2T_2$	0,084	$4,623 \cdot 10^{-5}$	$2,776 \cdot 10^{-11}$	0,04623	5 408,33
6	$P_1C_1T_2$	0,085	$4,678 \cdot 10^{-5}$	$2,809 \cdot 10^{-11}$	0,04678	5 344,71
7	$P_2C_2T_2$	0,087	$4,788 \cdot 10^{-5}$	$2,875 \cdot 10^{-11}$	0,04788	5 221,84
8	$P_2C_1T_2$	0,088	$4,843 \cdot 10^{-5}$	$2,909 \cdot 10^{-11}$	0,04843	5 162,5

Таблица 4

Table 4

Основные показатели антифрикционных свойств

Main indicators of antifriction properties

№ в рейтинге	Обозначение цикла испытаний	$P_{тр}$, Н	P , Н	f	t_{cp} , °С
1	$P_1C_2T_1$	1,88	200	0,009	186,3
2	$P_1C_1T_1$	2,48	200	0,012	213,3
3	$P_2C_2T_1$	2,6	200	0,013	216,4
4	$P_2C_1T_1$	2,68	200	0,014	217,3
5	$P_1C_2T_2$	4,86	400	0,012	222,1
6	$P_1C_1T_2$	5,56	400	0,014	230,8
7	$P_2C_2T_2$	5,83	400	0,015	231,7
8	$P_2C_1T_2$	6,23	400	0,016	232,1

В отношении противозносных свойств наилучшей позицией в трибологическом рейтинге обладают циклы испытания с наименьшими значениями h_i , I_i , V_i , но наибольшими значениями R_i . Благоприятный рейтинг антифрикционных свойств складывается для наименьших значений f и t_{cp} . Обозначения уровней циклов испытаний в табл. 3 и 4 по нагрузке P_{1-2} , объемной концентрации C_{1-2} и времени предварительного хранения T_{1-2} сходны с указанными в табл. 2.

Выводы

В результате проведенных триботехнических исследований можно сделать следующие основные выводы:

1. При увеличении нагрузки на модельный узел трения установки, содержащий цилиндрическую истирающуюся пару из легированного серого чугуна, массовый износ кольцевого подвижного образца увеличивается, а ресурс, переносимый на реальное трибологическое сопряжение судового дизеля «кольцо – цилиндр» уменьшается на 13–23 % (внутри шага T_1 времени предварительного хранения смазочной композиции перед испытанием).

2. При вариации условий трения между шагами T_{1-2} предварительного хранения исследуемой смазочной среды общее значение ресурса реального сопряжения цилиндропоршневой группы судового дизеля может снизиться в 2,2 раза, однако внутри шага $T_2 = 168$ ч при вариации нагрузки P_{1-2} ресурс уменьшается незначительно (до 1,05 раз) в зависимости от объемной концентрации противозносной присадки в циркуляционном масле.

3. Вариация значений объемной концентрации C_{2-1} присадки в смазочном масле дает достаточно большой диапазон значений ресурса (различие значений до 1,25 раз) внутри шага предварительного хранения смазочной среды, но только для шага $T_1 = 120$ ч.

4. Различие полученных значений ресурса реального сопряжения в модельных образцах по сравнению с заводскими данными (текущий ресурс цилиндропоршневой группы дизеля 6ЧСП 18/22 – $R = 9\ 000$ ч) может составлять до 1,01–1,26 раз при значении шага предварительного хранения $T_1 = 120$ ч, однако при втором значении шага $T_2 = 168$ ч ухудшается в 1,66–1,74 раз.

5. Проведенные исследования доказывают, что наибольшее влияние на показатели износа модель-

ных образцов и ресурса, переносимого на реальное сопряжение «кольцо – цилиндр» судового дизеля, оказывает величина времени T предварительного хранения смазочной композиции, содержащей в качестве присадки диселенид молибдена.

6. На ухудшение антифрикционных свойств (повышение средней температуры поверхности сегментного образца и силы трения) влияет в значительной степени уменьшение объемной концентрации C_i противоизносной присадки в масле. Однако серьезные изменения указанных оценочных параметров справедливы для наименьшего шага нагрузки на образцы $P_1 = 200$ Н и практически не наблюдаются на наибольшем шаге давления. Изменения коэффициента трения f значительны для изменения шага T_i предварительного хранения и со-

ставляют 1,14–1,33 раз соответственно на наименьшем и наибольшем шаге нагрузки на образцы.

7. Общей рекомендацией для использования рассматриваемой в исследованиях противоизносной присадки следует считать возможность хранения смазочных композиций не более 3–4 суток в диапазоне объемных концентраций $C_{1-2} = 0,5-1,0$ %. В случае превышения данного срока даже на 1-2 суток хранения возможно снижение ресурса цилиндропоршневой группы дизеля вдвое при повышении изнашивания его поршневых колец и цилиндрических втулок. Данное обстоятельство объясняется стремлением диселенида молибдена, взвешенного в объеме присадки и смазочного масла, к седиментации и укрупнению основных частиц размером менее 0,1–0,25 до 0,5 мкм и более.

Список источников

1. Лобова Т. А., Марченко Е. А. Взаимодействие поверхностей трения со смазочными материалами типа 2Н-МоS₂ // Трение и износ. 2008. Т. 29. № 4. С. 391–398.
2. Марченко Е. А., Лобова Т. А. Использование диселенидов тугоплавких металлов для обеспечения стабильности работы узлов трения // Вестн. науч.-техн. развития. 2009. № 5 (21). С. 16–21.
3. Марченко Е. А. О механизме изнашивания диселенида молибдена // Трение и износ. 2000. Т. 21. № 4. С. 438–443.
4. Буяновский И. А., Лобова Т. А., Марченко Е. А., Чулков И. П. Применение мелкодисперсного диселенида вольфрама для улучшения трибологических характеристик масел и пластичных смазок // Механизация строительства. 2014. № 5. С. 11–14.
5. Воронков, Б. Д. Подшипники сухого трения. Л.: Машиностроение, 1968. 139 с.
6. Цветков Ю. Н., Власов М. Ю., Дехтярь Л. И. Оценка молекулярной структуры смазочных масел комбинированным методом // Вестн. Волж. гос. акад. вод. трансп. 2019. № 59. С. 186–193.

7. Чанчиков В. А., Гужвенко И. Н., Прямухина Н. В., Прямухина М. С., Ковалев О. П. Экспериментальное исследование ресурса цилиндропоршневой группы судовых двигателей внутреннего сгорания при использовании различных смазочных композиций // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2022. № 3. С. 69–76.
8. Пат. 2570643 Рос. Федерация, МПК С10М 169/04, С10М 125/22. Противоизносная присадка / Перекрестов А. П., Дроздов Ю. Н., Чанчиков В. А., Гужвенко И. Н., Свекольников С. А.; заявл. 22.07.2014; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 34.
9. Технические условия на ремонт дизелей 6ЧСП 18/22, 6ЧСПН 18/22, 8ЧСПН 18/22 и дизель-генераторов ДГР 100/750, ДГР 150/750. М.: Внешторгиздат, 1982. 207 с.
10. Кулагин А. В. Формирование информационных потоков при диагностировании судовых энергетических установок // Науч. проблемы вод. трансп. 2022. № 70. С. 77–86.

References

1. Lobova T. A., Marchenko E. A. Vzaimodeistvie poverkhnostei treniia so smazochnymi materialami tipa 2N-MoS₂ [Interaction of friction surfaces with lubricants of 2N-MoS₂ type]. *Trenie i iznos*, 2008, vol. 29, no. 4, pp. 391-398.
2. Marchenko E. A., Lobova T. A. Ispol'zovanie diselenidov tugoplavkikh metallov dlia obespecheniia stabil'nosti raboty uzlov treniia [Using diselenides of refractory metals to ensure stability of friction units operation]. *Vestnik nauchno-tekhnicheskogo razvitiia*, 2009, no. 5 (21), pp. 16-21.
3. Marchenko E. A. O mekhanizme iznashivaniia diselenida molibdena [On wear mechanism of molybdenum diselenide]. *Trenie i iznos*, 2000, vol. 21, no. 4, pp. 438-443.
4. Buianovskii I. A., Lobova T. A., Marchenko E. A., Chulkov I. P. Primenenie melkodispersnogo diselenida vol'frama dlia uluchsheniia tribologicheskikh kharakteristik masel i plastichnykh smazok [Application of finely dispersed tungsten diselenide to improve tribological characteristics of oils and greases]. *Mekhanizatsiia stroitel'stva*, 2014, no. 5, pp. 11-14.

5. Voronkov, B. D. *Podshipniki sukhogo treniia* [Dry friction bearings]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1968. 139 p.
6. Tsvetkov Iu. N., Vlasov M. Iu., Dekhtiar' L. I. Otsenka molekuliarnoi struktury smazochnykh masel kombinirovannym metodom [Evaluation of molecular structure of lubricating oils by combined method]. *Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta*, 2019, no. 59, pp. 186-193.
7. Chanchikov V. A., Guzhvenko I. N., Priamukhina N. V., Priamukhina M. S., Kovalev O. P. Eksperimental'noe issledovanie resursa tsilindroporshnevoi gruppy sudovykh dvigatelei vnutrennego sgoraniia pri ispol'zovanii razlichnykh smazochnykh kompozitsii [Experimental study of resource of cylinder-piston group of marine internal combustion engines using various lubricant compositions]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaiia tekhnika i tekhnologiia*, 2022, no. 3, pp. 69-76.

8. Perekrestov A. P., Drozdov Iu. N., Chanchikov V. A., Guzhvenko I. N., Svekol'nikov S. A. *Protivoiznosnaia prisadka* [Antiwear additive]. Patent RF, no. 2570643, 10.12.2015.

9. *Tekhnicheskie usloviia na remont dizelei 6ChSP 18/22, 6ChSPN 18/22, 8ChSPN 18/22 i dizel'-generatorov DGR 100/750, DGR 150/750* [Specifications for repair of diesel engines 6ChSP 18/22, 6ChSPN 18/22, 8ChSPN

18/22 and diesel generators DGR 100/750, DGR 150/750]. Moscow, Vneshtorgizdat, 1982. 207 p.

10. Kulagin A. V. Formirovanie informatsionnykh potokov pri diagnostirovanii sudovykh energeticheskikh ustanovok [Formation of information flows in diagnosing ship power plants]. *Nauchnye problemy vodnogo transporta*, 2022, no. 70, pp. 77-86.

Статья поступила в редакцию 16.01.2023; одобрена после рецензирования 03.02.2023; принята к публикации 15.02.2023
The article was submitted 16.01.2023; approved after reviewing 03.02.2023; accepted for publication 15.02.2023

Информация об авторах / Information about the authors

Василий Александрович Чанчиков — кандидат технических наук; доцент кафедры судостроения и энергетических комплексов морской техники; Астраханский государственный технический университет; bazelius87@mail.ru

Иван Николаевич Гужвенко — ассистент кафедры техники и технологий наземного транспорта; Астраханский государственный технический университет; ivan.3123@yandex.ru

Александр Иванович Андреев — аспирант кафедры теплоэнергетики и холодильных машин; Астраханский государственный технический университет; aresut79@mail.ru

Мария Сергеевна Прямухина — преподаватель факультета среднего профессионального образования; Астраханский государственный технический университет; pryamuhina.masha@mail.ru

Марина Александровна Шулимова — кандидат экономических наук, доцент; доцент кафедры финансов и учета; Астраханский государственный технический университет; mshulimova@mail.ru

Vasiliy A. Chanchikov — Candidate of Sciences in Technology; Assistant Professor of the Department of Shipbuilding and Energy Complexes of Marine Engineering; Astrakhan State Technical University; bazelius87@mail.ru

Ivan N. Guzhvenko — Lecturer of the Department of Engineering and Technology of Land Transport; Astrakhan State Technical University; ivan.3123@yandex.ru

Alexander I. Andreev — Postgraduate Student of the Department of Heat Power Engineering and Refrigerating Machines; Astrakhan State Technical University; aresut79@mail.ru

Mariya S. Pryamukhina — Lecturer of the Faculty of Secondary Professional Education; Astrakhan State Technical University; pryamuhina.masha@mail.ru

Marina A. Shulimova — Candidate of Sciences in Economics, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Finance and Accounting; Astrakhan State Technical University; mshulimova@mail.ru

