

РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Чанчиков В.А., Гужвенко И.Н., Козлов А.А., Прямухина Н.В.
Астраханский государственный технический университет, Астрахань

Ключевые слова: противоизносная присадка, дизельный двигатель, топливный насос высокого давления, цилиндропоршневая группа, кривошипно-шатунный механизм, машина трения.

Аннотация. В работе представлены сведения о технологических аспектах разработки, апробации и испытаниях в лабораторных условиях противоизносных присадок для дизельных топлив и смазочных масел. Показаны и охарактеризованы последовательные этапы технологических методов разработки присадок и оценки их основных функциональных свойств в различных смазочных материалах с использованием разработанных экспериментальных установок и машин трения, общая характеристика которых также приведена в работе.

DEVELOPMENT OF EQUIPMENT FOR ASSESSING THE TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF MODIFIED LUBRICANTS

Chanchikov V.A., Guzhvenko I.N., Kozlov A.A., Pryamukhina N.V.
Astrakhan State Technical University, Astrakhan

Keywords: anti-wear additive, diesel engine, high-pressure fuel pump, cylinder-piston group, crank mechanism, friction machine.

Abstract. The work presents information on the technological aspects of the development, testing and laboratory testing of anti-wear additives for diesel fuels and lubricating oils. The successive stages of technological methods for developing additives and assessing their basic functional properties in various lubricants using developed experimental installations and friction machines, the general characteristics of which are also given in the work, are shown and characterized.

Введение. Задачи исследования

Как известно, на величины износа и интенсивности изнашивания узлов и деталей дизельных двигателей внутреннего сгорания (ДВС), равно как и на их ресурс, в значительной степени влияет комплекс следующих факторов: эксплуатационные режимы, технологические методы упрочнения отдельных деталей и триботехническая эффективность смазочных материалов [1, 2].

Режимы эксплуатации ДВС не должны выходить за критические значения отдельных параметров, таких как нагрузка и скорость вращения коленчатого вала.

Технология упрочнения основных деталей ДВС, в частности, деталей кривошипной (КШМ) и цилиндропоршневой групп (ЦПГ), регламентируется производителем и при эксплуатации дизеля на этот фактор влиять невозможно, кроме случаев дорогостоящего периода межремонтных простоев, когда может быть восстановлена глубина и пределы прочности материала при его упрочнении.

Смазочная среда в виде картерного масла может содержать различные присадки и добавки, которые влияют при активации своих положительных свойств на триботехнические показатели смазочных масел. Примечательно, что в качестве смазочной среды может выступать не только масло, но и дизельное

топливо, что позволяет вводить трибологически активные компоненты в топливную систему двигателя для повышения ресурса топливного насоса высокого давления (ТНВД) и узла форсунки. Эта задача становится особенно актуальной при использовании малосернистых дизельных топлив в ДВС, поскольку в топливах стандартов выше Евро-3, в результате глубокой гидроочистки при производстве, минимизируется количество серы и сернистых соединений, которые способствуют повышению смазочной способности дизельных топлив [3].

Необходимо отметить, что увеличение ресурса судового дизеля на этапе нормальной эксплуатации, поддержание интенсивности изнашивания его основных узлов на уровне $I=10^{-10} \dots 10^{-11}$ и снижение скорости изнашивания узлов путем применения эффективных присадок, добавляемых в малом количестве в смазочный материал, также является актуальной научно-технической задачей [4].

Область исследования

По существующей классификации присадок к смазочным маслам и дизельным топливам (реметаллизанты, полимеросодержащие, кондиционеры, минеральные и слоистые модификаторы трения) наиболее эффективным классом можно признать слоистые модификаторы трения, способные эффективно заполнить микронеровности истираемой поверхности из чугуна или стали и предотвратить режим граничного трения [5].

Авторским коллективом в работах [6-9] отражены исследования по разработке, триботехническому и физико-химическому анализу слоистых модификаторов трения линейки «НАНОТЕКС» (табл. 1), разработанных на основе наноразмерной формулы трибосоставов, стабилизированных жирными кислотами.

Табл. 1. Общая характеристика присадок «НАНОТЕКС»

| Наименование присадки | Область применения | Компонентный состав | Рекомендуемая концентрация |
|-------------------------------------|--|---|----------------------------|
| НАНОТЕКС-10 (Патент РФ №2276681) | Малосернистые дизельные топлива (узлы ТНВД и форсунок) | 1. Оксид железа Fe_3O_4 (магнетит). 2. Стабилизатор (олеиновая кислота $C_{16}H_{34}O_2$). | 0,001...0,005% |
| НАНОТЕКС-11 (Патент РФ №2525404) | Система смазки узлов и деталей ЦПГ и КШМ | 1. Кобальтированный магнетит $CoFe_2O_4$. 2. Стабилизатор (олеиновая кислота $C_{16}H_{34}O_2$) | 1,0...1,5% |
| НАНОТЕКС-12 (Патент РФ №2570643) | Система смазки узлов и деталей ЦПГ и КШМ | 1. Диселенид молибдена $MoSe_2$. 2. Стабилизирующая смесь олеиновой $C_{16}H_{34}O_2$ и стеариновой $C_{18}H_{36}O_2$ кислот. | 1,0...2,0% |

В настоящее время получены положительные результаты триботехнических исследований модифицированных смазочных масел и дизельных топлив в узлах трения ЦПГ, КШМ, ТНВД и судовых валопроводов современных речных и морских судов. Применение присадок НАНОТЕКС позволяет:

- снизить износ узлов трения машин и механизмов на 15-20%;
- повысить ресурс и надежность узлов трения машин и механизмов, ДВС, топливной дизельной аппаратуры на 15-20%;

- снизить затраты на проведение ремонтно-восстановительных работ судового оборудования на 30%;
- снизить токсичность отработанных газов судовых ДВС на 10-15%.

Положительная апробация данных противоизносных присадок позволяет сделать вывод о широких перспективах их применения в наземной и судовой технике.

Оборудование для разработки и триботехнических исследований модифицированных смазочных материалов

Для успешной реализации процесса разработки, апробации и испытаний противоизносных присадок «НАНОТЕКС» используется поэтапная технологическая схема (табл. 2).

Табл. 2. Технологическая схема апробации противоизносных присадок «НАНОТЕКС»

| № | Наименование технологического этапа | Используемое оборудование | Задачи технологического этапа |
|---|---|--|--|
| 1 | Приготовление раствора присадки | Роторно-пульсационная установка РПУ-0,8-55А-2,2 | Гомогенизация раствора и измельчение твердой фазы |
| 2 | Проверка степени измельчения | Анализатор размера частиц Horiba 550 LB Микроскоп Quanta Dual Beam | Определение размеров частиц твердой фазы (контролируемый параметр – не более 100 нм) |
| 3 | Составление первичного трибологического рейтинга присадки | Машина трения вращательного действия «сфера-цилиндр» (Патент РФ №162210) | Определение износа испытуемых образцов |
| 4 | Проверка триботехнической эффективности присадки | Машина трения 2070 СМТ-1 (патент РФ №115917), машина трения возвратно-поступательного движения | Определение износа испытуемых образцов |

Роторно-пульсационная установка РПУ-0,8-55А-2,2 (рис. 1) является, устройством, которое выполняет следующие функции.

1. Перемешивание ультрадисперсных порошков в объеме жидких растворов с целью гомогенизации и измельчения до требуемого размера частиц. Характерный размер частиц твердых составляющих раствора определяется, прежде всего, временем обработки раствора.

2. Гомогенизация компонентов раствора, находящихся в смесительной камере до однородного состояния.

3. Пульсационная высокочастотная обработка раствора, находящегося в смесительной камере при непрерывном его перемешивании.

Таким образом, роторно-пульсационная установка представляет собой ротационный диспергатор-гомогенизатор, состоящий из собственно роторно-пульсационного аппарата (РПА), содержащего роторную смесительную камеру 7 и соединенного с электродвигателем 5, а также бункерной части 10, предназначенной для загрузки исходных компонентов раствора, соединенной с РПА циркуляционным контуром, состоящим из трубопровода 9 и вентиля 8 для перекачки обрабатываемого раствора. Характеристики роторно-пульсационной установки приведены в таблице 3.

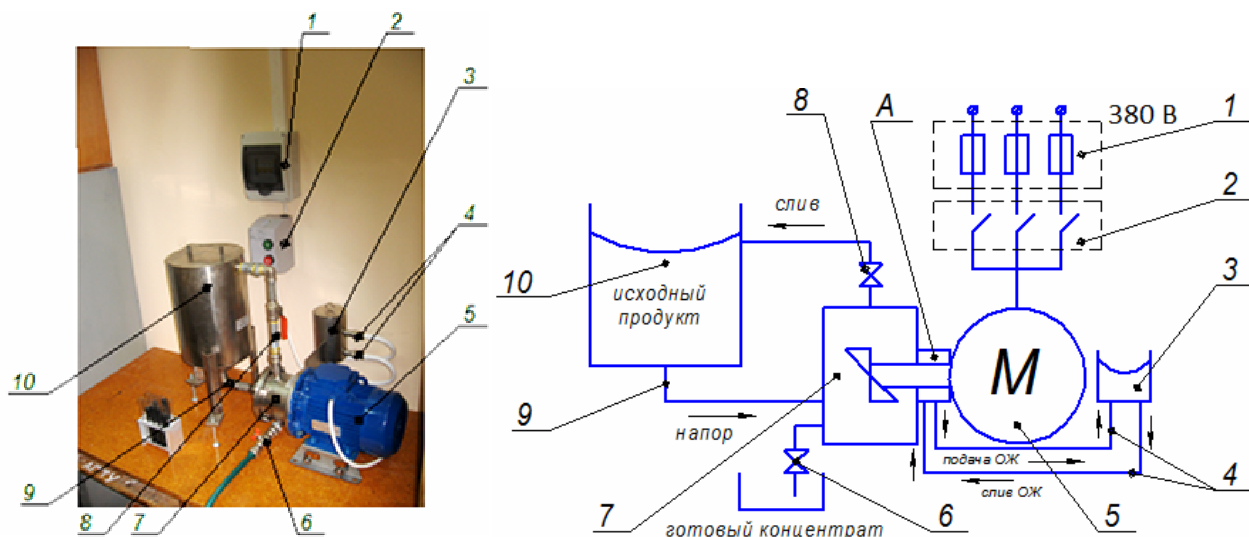


Рис. 1. Общий вид и схема роторно-пульсационной установки РПУ-0,8-55А-2,2:
 1 – защитный предохранитель, 2 – контактор включения, 3 – бак, 4 – контур охлаждения, 5 – приводной электродвигатель, 6 – расходный вентиль, 7 – смесительная камера, 8 – циркуляционный вентиль, 9 – линия подачи, 10 – бак для загрузки компонентов, А – торцевое уплотнение смесительной камеры

Табл. 3. Общая характеристика роторно-пульсационной установки РПУ-0,8-55А-2,2

| Наименование параметра | Единица измерения | Значение |
|--|--------------------|-------------|
| Производительность при номинальной мощности электродвигателя 2,2 кВт | м ³ /ч | 0,8 |
| Напор при номинальной производительности, не менее | м | 4 |
| Давление на входе в диспергатор: минимальное максимальное | кг/см ² | 0,05 2,0 |
| Мощность электродвигателя номинальная | кВт | 2,2 |
| Скорость ротора при номинальной мощности | об/мин | 2900 |
| Максимальная температура перекачиваемой жидкости | °С | 95 |
| Уровень шума при работе | дБ | 95 |
| Кинематическая вязкость перекачиваемой среды, не более | мм ² /с | 200 |
| Разовый объем заправки смесительного бака, не более | л | 10 |
| Габаритные размеры: длина/ширина/высота | мм | 780/400/600 |

Оценка триботехнической эффективности модифицированных смазочных материалов проводится по конформной схеме контакта поверхностей «колодка-ролик» в течение 2,5 часов для каждого шага испытаний для смазочных композиций с пробами раствора противоизносной присадки «НАНОТЕКС». Машина трения 2070 СМТ-1 состоит из блока управления 1 и основного корпуса 2 с приводными агрегатами (рис. 2). Дополнительным измерительным комплексом машины трения являются коммутационные провода 3 датчика температуры 5, соединенные с регистрирующим устройством 4 и преобразователем 5.

Преобразователь 5 имеет коммутационную связь 6 с персональным компьютером 7. В передней части машины трения расположена испытательная камера 1 (рис. 2,б), в которой на выходном валу машины трения расположен

подвижный образец 3 (втулка), поджимаемый неподвижным образцом 2 (колодкой), расположенной в держателе образцов 4.

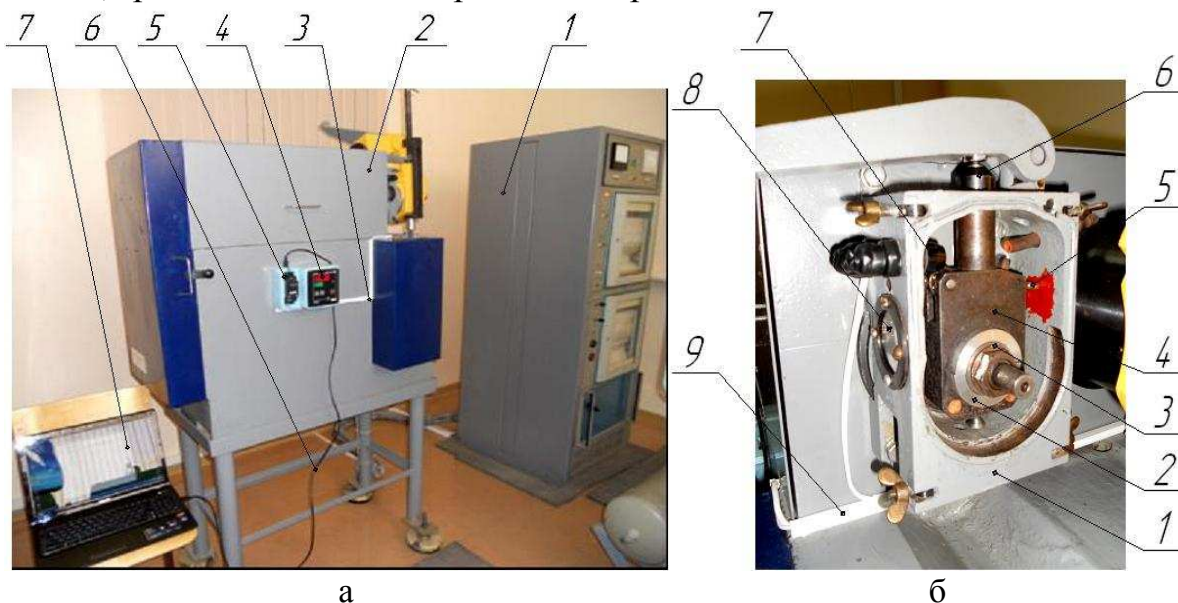


Рис. 2. Машина трения 2070 СМТ-1: а – общий вид: 1 – блок управления машиной трения; 2 – машина трения; 3 – коммутационные провода, соединяющие температурный датчик с регистратором; 4 – регистрирующее устройство; 5 – преобразователь; б – коммутационные провода; 7 – персональный компьютер; б – испытательная камера: 1 – корпус; 2 – неподвижный образец; 3 – подвижный образец; 4 – держатель образцов; 5 – датчик температуры; 6 – узел нагружения; 7 – лампы освещения; 8 – окошко; 9 – коммутационные провода

Датчик температуры 5 входит в стенку испытательной камеры и необходим для измерения температуры смазочного масла. В верхней части камеры над держателем образцов расположен узел нагружения б неподвижного образца. Для освещения внутренней части камеры во время работы установки в ней предусмотрены лампы 7 и смотровое окно 8. Коммутационные провода 9 передают сигнал от термопары в приемник сигнала на корпусе машины трения. Материалами для подвижного и неподвижного образцов указанной модельной пары трения выбираются серые чугуны, использующиеся в судовом двигателестроении: СЧХН и СЧХНМД (ГОСТ 1412-85). Указанные материалы моделировали соответственно цилиндровую втулку и поршневое компрессионное кольцо. Основные параметры эксперимента на машине трения приведены в таблице 4.

Табл. 4. Основные параметры ресурсного эксперимента

| Наименование параметра | Ед. изм. | Значение |
|------------------------------|----------|----------------------------|
| Тип контакта | - | Конформный (колодка/ролик) |
| Тип движения | - | Вращательный |
| Угловая скорость | рад/с | 117,75 |
| Диаметр образцов | мм | 35 ^{+0,5} |
| Диапазон контактных давлений | МПа | 0,5...2,5 |
| Шаг контактного давления | МПа | 0,5 |
| Путь трения | м | 55636,88 |

Техника обработки результатов триботехнических испытания на данной машине имеет следующий вид.

До момента проведения ресурсных испытаний на неподвижный образец «колодка» наносятся искусственные базы индентором по методу Роквелла. Угол вершины у внедряемой алмазной пирамиды составляет 120° , погружение индентора выполняется на глубину не более 1,5 мм для уменьшения остаточных деформаций на поверхности образца. Данные углубления выполняются в трех местах по ширине колодки: в центре и на равноотстоящей длине в 5 мм с обеих сторон центрального углубления. Величина линейного износа h образца для перевода его в весовой Δm измеряется по разнице площадей S четырехугольного основания углубления до и после проведения эксперимента. Соответственно потерю массы за время проведения эксперимента находят по следующему выражению:

$$\Delta m = (0,333 \cdot a_0^2 \cdot h_0 \cdot \rho - 0,333 \cdot a_1^2 \cdot h_1 \cdot \rho) \cdot 10^3, \text{ г} \quad (1)$$

где a_0 и a_1 – длины сторон основания углубления, м, h_0 и h_1 – высота погружения пирамиды, м, $\rho = 7700$ кг/м – плотность материала образца. Индексы 0 и 1 обозначают неизношенный и изношенный образец.

Высота погружения h индентора не может быть замерена непосредственно. Поэтому площадь основания S и высота погружения находятся как функции длины стороны основания пирамиды a , которая может быть найдена в ходе микрометрических измерений полученного до и после ресурсных испытаний углубления микроскопом, к примеру – «Лабомет-24».

Схема машины трения с возвратно-поступательным движением образцов в смазочной среде с присадками «НАНОТЕКС» представлена на рисунке 3. От приводного электродвигателя 1 через кривошипный вал 2 и шатун 3 вращательное движение преобразуется в возвратно-поступательное движение тележки 8, посредством гладкого штока 4 и двухопорной направляющей 5. Тележка 8 соединена со штоком 4 пластиной 6 и изгибающейся двухопорной тензометрической балкой 7. Тележка 8 с подвижным образцом 10 перемещается в герметичной термостатической камере 13, закрываемой верхней шарнирной крышкой.

Роль опоры тележки 8 в камере 13 выполняют две пары роликов 9. Процесс истирания производится в смазочной среде между подвижным образцом 10 и неподвижным 11. Последний поджат шарнирной штангой нагружения 12 с набором мерных грузов на одном из концов.

Смазывание образцов выполняется специальным дозирующим устройством 18 со скоростью истечения смазочного материала, равной $5 \text{ см}^3/\text{ч}$. Нагрев термостатической камеры 13 выполняется посредством двух терморезистивных элементов 17. Температура истирания образцов 10 и 11 в зоне контакта регистрируется посредством термопары, встроенной в неподвижный образец 11, и регистрирующего аналого-цифрового устройства 15.

Сила сопротивления движению образца 10 при трении с образцом 11 регистрируется тензометрическим датчиком, наклеенным на силомерную балку 7 и аналого-цифровым преобразователем 14. Число двойных возвратно-поступательных ходов штока 4 и пластины 6 регистрируется посредством аналого-цифрового устройства 16, получающего электрический сигнал от

индуктивного датчика, закрепленного на пластине 6. Смазочное масло, стекающее с подвижного образца 10 при его возвратно-поступательном движении, удаляется из термостатической камеры 13 через капиллярные дренажные отверстия в ее нижней части. Строгое поступательное движение неподвижного образца 11 вниз по направлению к подвижному 10 выполняется посредством двух гладких направляющих штоков в шарнирной крышке, закрывающей камеру 13. Приемным устройством для 14, 15, 16 является восьмиканальная тензометрическая станция ZET017-T8 с входным напряжением 12 В. Оценочным параметром для сравнения триботехнической эффективности испытуемых смазочных материалов является весовой износ образцов по окончанию испытания. Параметры триботехнических испытаний на данной машине трения приведены в таблице 5.

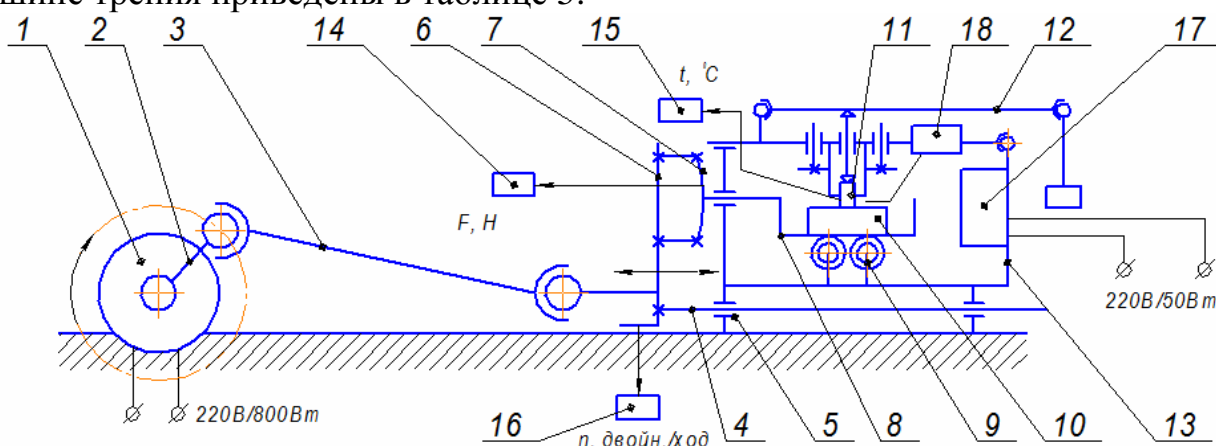


Рис. 3. Схема возвратно-поступательной машины трения: 1 – электродвигатель, 2 – вал кривошипный, 3 – шатун, 4 – шток направляющий, 5 – опоры скольжения, 6 – соединительная пластина, 7 – тензометрическая балка, 8 – держатель образца, 9 – роликовые опоры, 10 – подвижный образец, 11 – неподвижный образец, 12 – штанга нагружения, 13 – термостатическая камера, 14 – приемник сигнала тензобалки, 15 – приемник сигнала термопары, 16 – приемник сигналов датчика двойных ходов, 17 – нагревательный элемент, 18 – дозирующее устройство

Табл. 5. Параметры ресурсных испытаний

| Наименование параметра | Ед. изм. | Значение |
|-------------------------------|----------|--------------------------|
| Тип контакта образцов | - | Конформный |
| Тип движения образцов | - | Возвратно-поступательный |
| Скорость движения кривошипа | рад/с | 37,8 |
| Ход подвижного образца | мм | 36,8 |
| Диаметр контакта образцов* | мм | 360/360 ^{+0,05} |
| Давление на контакте образцов | МПа | 0,5...1,2 |
| Путь трения | м | 953856 |
| Материал образцов* | - | А-ХМ/СЧ-24 ГОСТ 1412-85 |

* - в числителе – для неподвижного образца, имитирующего поршневое кольцо, в знаменателе – для подвижного образца, имитирующего цилиндрую втулку.

Трибологический рейтинг смазочных композиций с присадками «НАНОТЕКС» по ограниченному ряду параметров составляется на машине трения оригинальной конструкции. Техническое описание машины трения (рис. 4) с контактом образцов типа «шар-цилиндр» приводится ниже.

Приводится в действие установка электродвигателем 2, установленным на чугунной раме 1. Электродвигатель развивает частоту вращения $n = 1450$ об/мин, для понижения указанного параметра до требуемых по стандарту $n = 230 \pm 10$ об/мин применяется двухступенчатый редуктор 4, соединенный с выходным валом электродвигателя эластичной трубчатой муфтой 3. Редуктор укреплен на стальной пространственной раме 5 (закреплена фланцевым способом на электродвигателе), к последней прикреплен испытательная камера 8, в которой испытываются образцы на трение и износ. Испытуемый образец представляет собой цилиндрический подвижный образец 7 (кольцо наружное подшипника 7250А по ГОСТ-27365, диаметром 52 мм и шириной 15 мм из стали ШХ-15 по ГОСТ-4727), закрепленный на выходном валу редуктора 4, с помощью торцевой гайки.

На конце вала подвижного образца установлен шлицевой переходник, позволяющий соединить вал со счетчиком пути трения червячного типа, унифицированного с барабанным счетчиком транспортного спидометра.

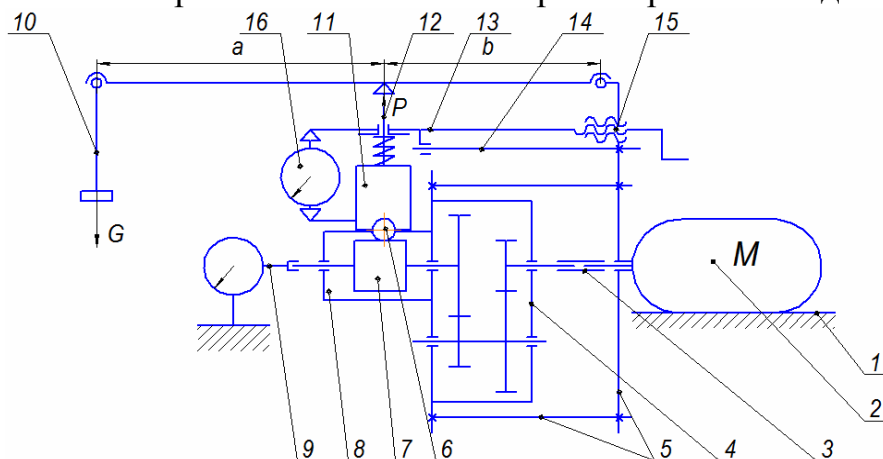


Рис. 4. Схема машины трения вращательного типа: 1 – рама, 2 – электродвигатель, 3 – муфта, 4 – редуктор, 5 – корпус, 6 – сферический образец, 7 – цилиндрический образец, 8 – испытательная камера, 9 – счетчик пути трения, 10 – балка нагружения, 11 – обойма образца, 12 – вертикальный шток, 13 – направляющая пластина, 14 – продольный шток, 15 – винтовая передача, 16 – датчик износа

К подвижному образцу 7 прижимается в верхней части сферический неподвижный образец 6 (шарик диаметром 8 мм по ГОСТ-3722 из стали ШХ-15 по ГОСТ-801), укрепленный в обойме 11, закрепленной на штоке 12. На последний воздействует рычажная система нагружения 10, создающая нагрузку $P = 147,15 \pm 5,9$ Н. Рычаг системы нагружения – двуплечий, состоит из плеч a и b , создающих на штоке 12 указанную величину нагрузки P по следующему соотношению:

$$P = G(a + b)/b, \quad (2)$$

где P – нагрузка на шток неподвижного образца, Н, G – масса груза на левом шарнирном конце рычага, Н, a и b – плечи рычага, м.

Рычаг системы нагружения шарнирно закреплен на вертикальной плите рамы 5. Направляющая втулка обоймы неподвижного образца закреплена на подвижной пластине 13, которая может перемещаться в осевом направлении (вдоль вала подвижного образца) путем перемещения по двум направляющим 14. Привод перемещения представляет собой пару «винт-гайка», при этом гайка

закреплена на вертикальной плите рамы 5. Между пластиной 13, которая лишена возможности перемещаться вертикально (по направлению к оси вала подвижного образца) и обоймой 11 находится датчик линейного перемещения индикаторного типа 16. Таким образом, при смещении вниз неподвижного сферического образца 6 по мере его износа (приближению обоймы 11 к цилиндрическому образцу) смещается и измерительная игла датчика 16, в результате последний показывает текущее значение износа неподвижного образца на протяжении всего периода испытания. Индикатор имеет дискретность отсчета 10 мкм по контролируемому параметру. В результате этого возможен оперативный расчет величины пятна износа d_{cp} неподвижного сферического образца:

$$d_{cp} = (D^2 - (D - 2h)^2)^{0,5}, \quad (3)$$

где D – номинальный диаметр сферического образца, мм, h – контролируемая по индикатору величина линейного износа, мм.

Основные параметры испытания приведены в таблице 6.

Табл. 6. Основные параметры испытаний

| Наименование параметра | Ед. изм. | Значение |
|---|----------|--------------------------|
| Вид контакта | - | неконформный |
| Вид движения | - | вращательное |
| Скорость движения подвижного образца | рад/с | 24,07 |
| Материал образцов | - | сталь ШХ-15 |
| Диаметры образцов | мм | 8 _{-0,062} /52* |
| Нагрузка на неподвижный образец | Н | 147,15±5,9 |
| Путь трения суммарный за цикл испытания | м | 61500 |

* - в числителе диаметр неподвижного шарообразного образца, в знаменателе – подвижного кольца.

Каждый цикл испытания связан с трением подвижного кольца в закрытой масляной ванне, содержащей смазочное масло, используемое в чистом виде как база сравнения, либо с добавлением различных объемных концентраций исследуемой противоизносной присадки.

Первичный трибологический рейтинг составляется для поиска наилучшей объемной концентрации присадки в режиме неконформных испытаний при взаимодействии вращающегося цилиндра и неподвижного сферического образца. Проверка величины износа на машинах СМТ и возвратно-поступательного типа выполняется в расширенном диапазоне параметров использования для создания диапазона значений контактного давления, наряду с диапазоном объемных концентраций присадки.

Таким образом, применение двойного трибологического рейтинга как средства оценки триботехнических свойств присадок дает возможность заложить диапазон конкретных величин по необходимым значениям, которые ожидаются в условиях эксплуатации дизеля для конкретного потребителя.

Выводы

1. Представлены результаты исследований по разработке противоизносных присадок «НАНОТЕКС» и эффективности технологии их создания.

2. Приведена общая характеристика и основные направления использования данных противоизносных присадок в ТНВД, КШМ и ЦПГ дизельных ДВС, а также в подшипниковых опорах судовых валопроводов.

3. Предложена и апробирована методика оценки триботехнических свойств присадок с помощью ресурсной базы, разработанной авторским коллективом исследователей.

4. Охарактеризованы основные составляющие четырехэтапной технологии апробации противоизносных присадок «НАНОТЕКС», позволяющей оценить эксплуатационные свойства присадок в требуемом диапазоне эксплуатационных характеристик судовых дизелей.

5. Приведена характеристика и описание машин трения для проведения триботехнических испытаний смазочных материалов с присадками «НАНОТЕКС», а также схема устройства роторно-пульсационной установки РПУ-0,8-55А-2,2.

Список литературы

1. Возницкий И.В. Практические рекомендации по смазке судовых дизелей. – 4-е изд. Перераб. – СПб.: Моркнига, 2007. – 128 с.
2. Хромов В.Н. О восстановлении деталей судовых дизелей термопластическим деформированием // Судостроение. – 2016. – №2(825). – С. 50-54.
3. Саидов М.А. Перекрестов А.П., Чанчиков В.А., Клыкканова А.А. Формирование антифрикционного покрытия трущихся поверхностей при использовании противоизносной присадки нового поколения // Вестник АГТУ. – 2009. – № 1(46). – С. 226-230.
4. Чанчиков В.А., Гужвенко И.Н., Перекрестов А.П., Прямухина Н.В., Павлов А.В. Повышение износостойкости узлов и деталей судовых ДВС путем модификации применяемых смазочных материалов // Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – Т. 2, № 4(46). – С. 60-69.
5. Гужвенко И.Н., Чанчиков В.А., Перекрестов А.П., Свекольников С.А., Бурмистрова О.В. Исследование влияния дисперсности слоистых модификаторов трения на противоизносные свойства смазочных материалов // Известия Самарского научного центра Российской Академии Наук. – 2016. – Т. 18, № 1(2). – С. 187-192.
6. Саидов М.А. Исследование влияния изнашивания конусного уплотнения распылителя форсунки судового дизеля на работоспособность топливной аппаратуры: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Астрахань: АГТУ, 2009. – 142 с.
7. Чанчиков В.А., Перекрестов А.П. Способы повышения работоспособности подшипников скольжения // Вестник АГТУ. 2010. – № 1. – С. 147-152.
8. Чанчиков В.А., Перекрестов А.П., Боловин В.Г. Определение оптимальной концентрации магнитной противоизносной присадки в смазочных маслах // Вестник машиностроения. – 2012. – № 9. – С. 46-49.
9. 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 // Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология. – 2022. – № 3. – С. 69-76.

Сведения об авторах:

Чанчиков Василий Александрович – к.т.н., доцент кафедры «Судостроение и энергетические комплексы морской техники»;

Гужвенко Иван Николаевич – к.т.н., старший преподаватель кафедры «Общеинженерные дисциплины и наземный транспорт»;

Прямухина Нина Владимировна – к.б.н., доцент кафедры «Теплоэнергетика и холодильные машины»;

Козлов Александр Алексеевич – аспирант.