

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

УДК 621.43

Е. В. Макарьев,

аспирант,

ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

СТЕНД ДЛЯ ТЕПЛОБАЛАНСНЫХ ИСПЫТАНИЙ СУДОВЫХ ДВС

STAND FOR THERMAL BALANCE TESTING OF SHIPS INTERNAL COMBUSTION ENGINES

В статье рассмотрена возможность создания испытательного стенда для проведения теплобалансных исследований судового ДВС с применением ультразвуковых теплосчетчиков и средств контроля теплоизлучения нагретых поверхностей.

The article considers the possibility of creation of the test stand for the conduction of heat-balanced research of ships internal combustion engines with application of ultrasonic heat meters and controls the heat radiation from heated surfaces.

Ключевые слова: тепловой баланс, ультразвуковые теплосчетчики, испытания ДВС, тепловое излучение.

Key words: heat balance, ultrasonic heat meters, testing of internal combustion engine, heat radiation.

И

ЗВЕСТНО, что тепловое состояние дизеля определяется распределением составляющих теплового баланса, величинами тепловых потоков, полями температур, их предельно допустимыми значениями и градиентами, видами теплообмена.

В зависимости от типа, конструкции и степени совершенства ДВС в эффективную работу преобразуется от 35 до 52 % теплоты, выделяющейся при сгорании топлива. Остальное составляют неизбежные тепловые потери, которые необходимо уменьшать и эффективно утилизировать.

Распределение тепловых потоков в ДВС определяется величинами составляющих теплового баланса двигателя. Указанные составляющие зависят от степени форсированности двигателя, конструкции и материалов деталей, особенностей организации рабочего процесса, характеристик систем теплового регулирования, преимущественных и предельных режимов работы, особенностей эксплуатации и качества технического обслуживания.

В работах [1, с. 16–19; 2, с. 3–7; 3] проведен статистический анализ экспериментальных данных по теплобалансным испытаниям на номинальной мощности более 30 типов поршневых двигателей. Однако представленные в них данные отражают возможности испытательных стендов и измерительной техники 1970–1980-х годов и не соответствуют современным требованиям, необходимым для обеспечения современного уровня энергоэкологического совершенства судовых ДВС [4; 5; 6, с. 50–52].

Поэтому на кафедре теории и конструкции судовых ДВС ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова под руководством д-ра техн. наук, профессора О. К. Безюкова и заведующего лабораторией СДВС М. П. Серженко был создан стенд для теплобалансных испытаний на базе судового дизель-генератора марки 3VD14,5/12-2SRW. Основные параметры испытываемого дизель-генератора представлены в табл. 1.

При создании указанного испытательного стенда коллективом кафедры решались следующие задачи:

— обеспечить возможность измерения всех величин, необходимых для определения каждой из составляющих теплового баланса испытуемого двигателя;

— осуществить возможность проведения испытаний на различных режимах работы испытуемого двигателя;

— предусмотреть возможность проведения испытаний двигателя при его работе с повышенной температурой охлаждающей жидкости (высокотемпературное охлаждение), а также при использовании различных видов теплоносителей внутреннего контура охлаждения.

Таблица 1

Основные характеристики дизель-генератора марки 3VD14,5/12-2SRW

Дизель-генератор	
Мощность, кВт	29
Напряжение,	115 В
Год производства	1987
Предприятие-производитель	VEB, Лейпциг, Германия
Дизель	
Модель	SKL, 3VD14,5/12-2
Тип	4-тактный, с водяным охлаждением, без наддува
Мощность, кВт	38
Частота вращения, об/мин	1500
Диаметр цилиндра, мм	120
Ход поршня, мм	145
Удельный расход топлива, г/(кВт*ч)	240
Генератор	
Модель	VEB GBCa 225 SIL-900S
Ток, А	278

При формулировке предполагаемого порядка проведения испытаний использовался ГОСТ Р ИСО 3046-1-99.

Для обеспечения нагрузки дизель-генератора испытательный стенд оснащен комплектом блоков резисторов, позволяющим обеспечить нагрузку дизель-генератора в диапазоне от 0 до 110 % от номинальной мощности. Управление нагрузкой обеспечивается с помощью лабораторного автотрансформатора (ЛАТР), подключаемого через выпрямитель к сети 220 В. Для определения нагрузки, приложенной к дизель-генератору, на щите управления установлены вольтметр и амперметр.

Определение составляющих теплового баланса испытуемого дизеля происходит с помощью произведения перечисленных ниже замеров.

1. Для определения теплоты, отводимой с отработанными газами дизеля, необходимо располагать значениями таких параметров, как расход и температура отработанных газов.

Значение расхода отработанных газов складывается из величины расхода топлива и количества воздуха, необходимого для его сгорания.

В собранной испытательной установке величина расхода топлива определяется с помощью лабораторных весов путем измерения времени расходования заданной навески топлива.

Расход воздуха определяется при помощи дроссельной шайбы, установленной во впускном воздушном трубопроводе, и подключенного к ней наклонного дифференциального микроманометра типа ММН. Для сглаживания пульсаций давления в воздушном трубопроводе после дроссельной шайбы установлен штатный воздушный фильтр.

2. Определение величины тепловых потоков, отводимых от двигателя с охлаждением, осуществляется следующим образом. Исследуемый дизель имеет двухконтурную систему водяного охлаждения: внутренний контур и контур забортной воды. Вода внутреннего контура охлаждает масляный холодильник, блок и головку цилиндров и выхлопной коллектор. На выходе из рубашки выхлопного коллектора установлен регулятор температуры охлаждающей жидкости, позволяющий перераспределять количество воды внутреннего контура, направляемой на водо-водяной охладитель либо в обход него на повторный цикл. Охлаждение воды внутреннего контура происходит в водо-водяном охладителе за счет перекачивания через него воды забортного контура.

Для измерения количества теплоты, отводимой от дизеля с водяным охлаждением, на экспериментальной установке смонтированы ультразвуковые теплосчетчики «Днепр-Теплоком». Указанные теплосчетчики предназначены для измерений и регистрации параметров теплоносителя (температуры, расхода), количества теплоносителя и количества теплоты (тепловой энергии) в водяных и паровых системах теплоснабжения.

Принцип работы теплосчетчика основан на непосредственном преобразовании вычислителем сигналов, поступающих от преобразователей (датчиков), в информацию об измеряемых параметрах теплоносителя с последующим вычислением на основании известных зависимостей, тепловой энергии.

В состав теплосчетчиков входят следующие средства измерений (составные части), зарегистрированные в Госреестре: расходомеры-счетчики «Днепр-7», вычислитель количества теплоты ВКТ-7, преобразователи температуры.

Общий вид основных компонентов представлен на рис. 1.

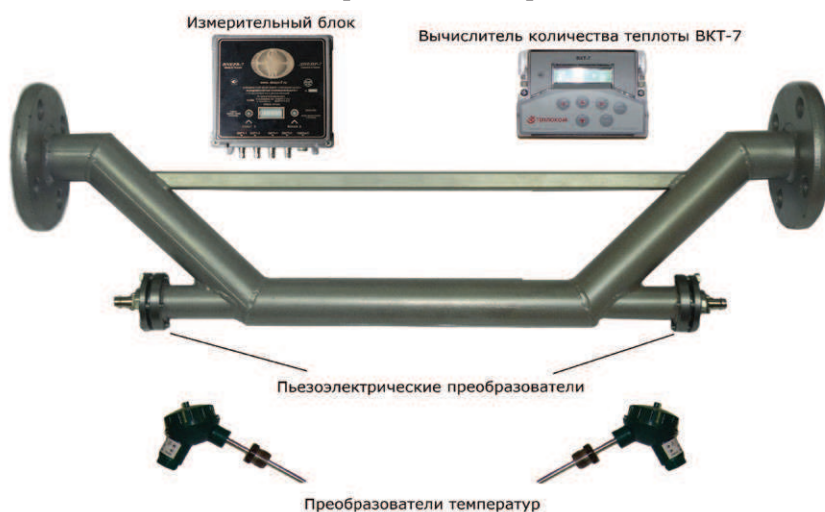


Рис. 1. Ультразвуковой теплосчетчик «Днепр-Теплоком»

Расходомер относится к ультразвуковым доплеровским расходомерам с непрерывным излучением и приемом отраженного сигнала пьезоэлектрическими преобразователями (ПП). ПП представляют собой накладные ультразвуковые датчики, выполненные с преломляющими ультразвук пластмассовыми призмами. Формирование излучаемых и принятых датчиками колебаний ультразвуковой частоты и обработка полученной информации производятся в процессорном блоке. Представление результатов измерений производится цифровым индикатором, размещенным на панели блока питания расходомера.

Вычислитель количества теплоты ВКТ-7 предназначен для измерений и регистрации параметров потока теплоносителя (горячей и холодной воды) и количества теплоты (тепловой энергии), а также количества других измеряемых сред. ВКТ-7 обеспечивает измерения тепловой энергии по одному или двум тепловым вводам (ТВ1 и ТВ2), представленным закрытой и/или открытой водяными системами теплоснабжения.

Преобразователи температуры представляют собой измерительные термопреобразователи сопротивления, соответствующие ГОСТ 6651.

Теплосчетчики обеспечивают регистрацию измерительной информации на внешнем устройстве (принтере, ПЭВМ и т. п.) посредством интерфейсов RS232, RS485, Centronics (M75), RS232 и RS485 (M77).

На созданной экспериментальной установке установлены следующие теплосчетчики:

— теплосчетчик «Днепр-7» исп. 05.080.1 RS-485, Ду36, 2-канальный — устанавливается на внутреннем контуре системы охлаждения дизеля: 1-й канал — измерение расхода воды через водо-водяной холодильник; 2-й канал — общий расход воды (на выходе из насоса внутреннего контура). Преобразователи температуры установлены на входе/выходе воды из водо-водяного холодильника, на 2-м канале установлен термометр контроля температуры воды, направляемой в обход водо-водяного холодильника;

— теплосчетчик «Днепр-7» исп. 05.080.1 RS-485, Ду36, 1-канальный — устанавливается на контуре забортной воды. Преобразователи температуры установлены на входе/выходе забортной воды из водо-водяного холодильника.

Теплосчетчики обеспечивают измерение потребленной тепловой энергии в соответствии с уравнением:

$$Q = K_q \cdot [M_{1(2)} \cdot (h_1 - h_2)], \text{ ГДж (Гкал)}, \quad (1)$$

где $M_{1(2)}$ — масса теплоносителя, отпущенная источником или полученная потребителем по подающему трубопроводу, и масса теплоносителя, полученная источником или возвращенная потребителем по обратному трубопроводу, соответственно, т;

h_1, h_2 — энтальпия теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах соответственно, Гкал/т;

K_q — системный коэффициент ($K_q = 1$ в системе МКС, $K_q = 4,1868$ в системе СИ).

Теплосчетчики обеспечивают архивирование информации о средних значениях параметров теплоносителя и тепловой энергии, а также регистрацию информации о массе и количестве тепловой энергии с нарастающим итогом.

Диапазоны измерений и пределы допускаемых значений относительной погрешности теплосчетчиков в рабочих условиях эксплуатации соответствуют значениям, указанным в табл. 2.

Таблица 2

Диапазоны измерений и пределы допускаемых значений относительной погрешности теплосчетчиков «Днепр-Теплоком»

Измеряемая величина	Диапазон измерений	Пределы относительной погрешности	Примечание
Количество теплоты, ГДж (Гкал)	0–107	$\pm(2+4\Delta t_{\text{н}}/\Delta t+0,01\text{Гв/Г})\%$	Класс С по ГОСТ Р 51649, класс 1 по ГОСТ Р ЕН 1434-1*
		$\pm(3+4\Delta t_{\text{н}}/\Delta t+0,02\text{Гв/Г})\%$	Класс В по ГОСТ Р 51649, класс 2 по ГОСТ Р ЕН 1434-1
Масса, т; Объем, м ³	0–108	$\pm 2\%$	
Расход, м ³ /ч (т/ч)	0–106	$\pm 2\%$	
Температура воды, °С	1–150	$\pm (0,35+0,005t)^\circ\text{С}$	Погрешность абсолютная
Разность температур, °С	3–150	$\pm (0,5+9/\Delta t)\%^{1)}$	
		$\pm (1+12/\Delta t)\%$	
Время, ч	49 999	$\pm 0,02\%$	
Δt и $\Delta t_{\text{н}}$ — разность температур и ее наименьшее значение, равное 3 °С; G и $G_{\text{н}}$ — значения расхода и верхнего предела диапазона измерений расходомера, м ³ /ч; t — температура теплоносителя, °С. * При применении комплектов термопреобразователей КТПТР класса 1 и КТСП-Н с минимальной разностью температур, равной 2 °С.			

Схема системы охлаждения дизеля с установленными теплосчетчиками представлена на рис. 2.

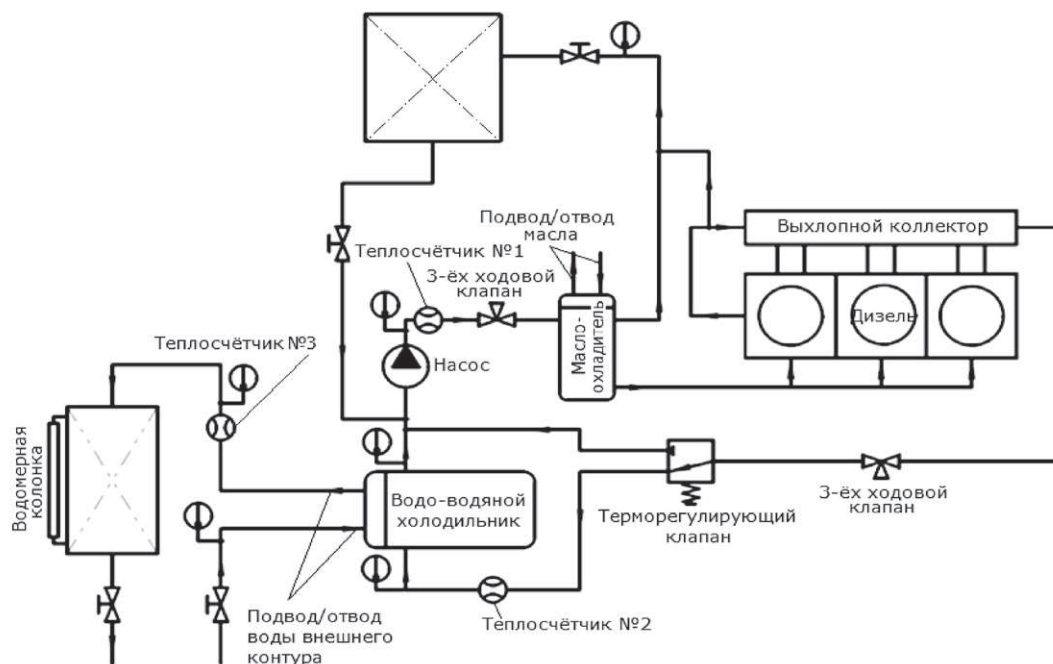


Рис. 2. Схема системы охлаждения дизеля 3VD14,5/12-2 с установленными теплосчетчиками

3. Для определения составляющей теплового баланса, связанной с отводом теплоты от смазочного масла, на входе в маслоохладитель установлен ультразвуковой расходомер «Днепр-7» исп. 05.040.1 (Ду20), а также два термометра на входе и выходе смазочного масла из маслоохладителя (см. рис. 3).

Принцип действия ультразвукового расходомера «Днепр-7» приведен выше. Однако так как штатных вычислителей количества теплоты (ВКТ), способных производить расчеты для таких сред, как смазочное масло, не существует, для созданного испытательного стенда было принято решение об использовании ультразвукового расходомера «Днепр-7» совместно с аналоговыми термометрами.

Схема системы смазки дизеля с установленными расходомером и термометрами показана на рис. 3.

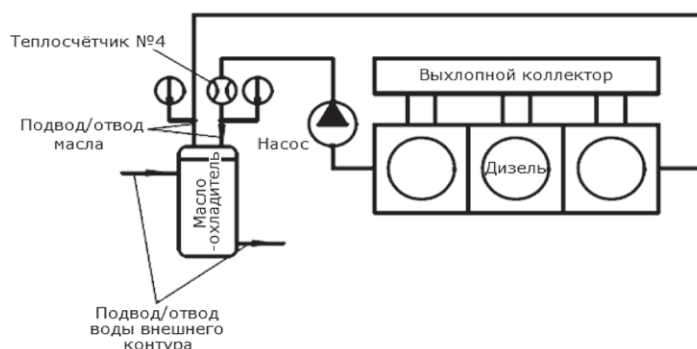


Рис. 3. Схема системы смазки дизеля 3VD14,5/12-2 с установленными расходомером и термометрами

Все измерительные блоки и вычислители количества теплоты, подключаемые к ультразвуковым расходомерам, установленным в системах охлаждения и смазки дизеля, смонтированы на общем щите.

Кроме перечисленных, на лабораторной установке смонтированы следующие приборы и оборудование, необходимые для проведения испытаний:

- 1) термометр для замера температуры окружающей среды и барометр;
- 2) термометр на коллекторе газовыпуска;

3) клапаны повышения давления на паротводной и подпорной линиях, необходимые для обеспечения работы дизеля на режиме высокотемпературного охлаждения, а также манометр, термометр и предохранительный клапан, необходимые для контроля состояния охлаждающей жидкости внутреннего контура.

Для контроля теплового состояния наружных поверхностей дизельных двигателей и соответствующей составляющей теплового баланса использованы [8, с. 83–90]:

- тепловизор TESTO 881 (Германия) (рис. 4, а):
- диапазон измеряемых температур $-20...+550\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- чувствительность $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- спектральный диапазон $8\text{--}14\text{ }\mu\text{м}$;
- погрешность измерений $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- пирометр Raynger MX4 Plus (Германия) (рис. 4, б):
- диапазон измеряемых температур $-30...+900\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- спектральный диапазон $8\text{--}14\text{ }\mu\text{м}$;
- погрешность измерений $1\text{ }\%$;
- время отклика $0,25\text{ с}$.
- терморегистрирующие устройства iButton Data Loggers (iBDL) модификации DS1922T-F5

(Dallas Semiconductor, США) (рис. 4, в):

- погрешность измерений $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- диапазон регистрируемых температур $0...+125\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- погрешности измерения текущего времени $\pm 2\text{ мин/мес.}$;
- емкость счетчика (количества измерений) $16\text{ }777\text{ }215\text{ отсчетов}$;
- масса $3,3\text{ г}$.



Рис. 4. а — тепловизор TESTO 881 (Германия); б — Пирометр Raynger MX4 Plus (Германия);
в — терморегистрирующие устройства iButton Data Loggers (iBDL) (США)

Для оценки точности определения составляющих теплового баланса на создаваемом стенде была проведена оценка погрешности измерений в соответствии с Р 50.2.038-2004 ГСИ.

Предел допустимой предельной погрешности измерительного прибора в процентах определялся по следующей формуле:

$$\delta_{\Pi} = \pm \frac{\Delta \Pi_{\text{пред}}}{A_{\Pi}} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где $\Delta \Pi_{\text{пред}}$ — предел допустимой абсолютной погрешности измерительного прибора; A_{Π} — показания прибора.

Величина предела допустимой абсолютной погрешности $\Delta \Pi_{\text{пред}}$ определялась через класс точности прибора γ и конечное значение его шкалы A_K по следующей формуле:

$$\Delta \Pi_{\text{пред}} = \pm \frac{1}{100} \cdot A_K \cdot |\gamma|. \quad (3)$$

Относительная погрешность косвенных измерений определялась по следующей формуле:

$$\xi = \pm \frac{dV}{V} = d(\ln V), \quad (4)$$

где V — исследуемая величина, являющаяся функцией нескольких независимых переменных, определяемых в результате прямых измерений.

Принципиальная схема созданного испытательного стенда представлена на рис. 5.

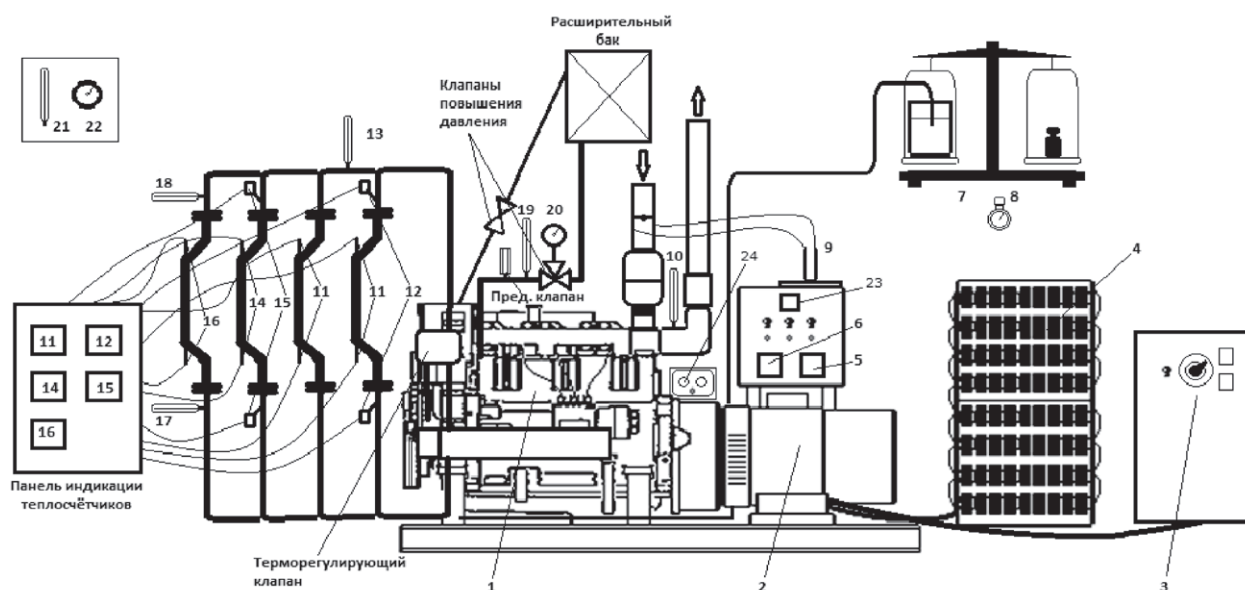


Рис. 5. Принципиальная схема лабораторной установки:

1 — дизель 3VD14,5/12-2; 2 — генератор VEB GBCa 225 SIL-900S;

3 — ЛАТР ____; 4 — блок резисторов; 5 — амперметр;

6 — вольтметр; 7 — весы; 8 — секундомер;

9 — дифференциальный микроанометр типа ММН, подключенный к дроссельной шайбе;

10, 13, 17, 18, 19, 21 — термометры;

11 — двухканальный расходомер «Днепр-7» (внутренний контур охлаждения);

12 — преобразователи температуры и блок ВКТ-7 (внутренний контур охлаждения);

14 — одноканальный расходомер «Днепр-7» (внешний контур охлаждения);

15 — преобразователи температуры и блок ВКТ-7 (внешний контур охлаждения);

16 — одноканальный расходомер «Днепр-7» (смазочное масло);

20 — манометр системы охлаждения внутреннего контура;

22 — барометр; 23 — тахометр;

24 — манометр смазочного масла

Таким образом, разработан стенд и предложен комплекс современных средств измерения, позволяющий определить с высокой точностью составляющие теплового баланса судового дизеля во всем диапазоне его нагрузок, оценить влияние степени совершенства рабочего процесса и технического состояния ДВС и его систем на распределение тепловых потерь, разработать меры по их эффективной утилизации.

Список литературы

1. Бажан П. И. Зависимости для расчета механического КПД и составляющих теплового баланса в воду и масло для среднеоборотных дизелей / П. И. Бажан, В. Я. Аладышкин // Двигателестроение. — 1986. — № 3.
2. Кривов В. Г. Комплексное электроснабжение на базе дизельных электростанций с внешней утилизацией отходящей теплоты / В. Г. Кривов, С. А. Синатов, С. Д. Гулин // Двигателестроение. — 1989. — № 9.
3. Костин А. К. Теплонапряженность двигателей внутреннего сгорания: справ. пособие / А. К. Костин, В. В. Ларионов, Л. И. Михайлов. — Л., 1979. — 222 с.
4. Пахомов Ю. А. Основы научных исследований и испытаний тепловых двигателей / Ю. А. Пахомов. — М.: ТрансЛит, 2009. — 432 с.: ил.
5. Безюков О. К. Основы комплексного совершенствования охлаждения судовых дизелей: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.08.05 / О. К. Безюков; СПГУВК. — СПб., 1996. — 48 с.
6. Жуков В. А. Автоматизация тепловых испытаний двигателей внутреннего сгорания / В. А. Жуков, Е. Н. Николаенко // Двигатели внутреннего сгорания. — Харьков: ХПИ, 2011. — № 2.
7. ГОСТ Р ИСО 3046-1-99. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Характеристики. — Ч. 1: Стандартные условия, объявленная мощность, расходы топлива и смазочного масла. Методы испытаний.
8. Безюков О. К. Средства для контроля теплового состояния деталей остова судовых дизелей / О. К. Безюков, А. А. Кардаков // Журнал Университета водных коммуникаций. — 2009. — № 2.

УДК 621.892:621.436

Ю. Н. Цветков,
д-р техн. наук, профессор,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОДИСПЕРНЫХ ДОБАВОК В СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ДИЗЕЛЯ

INFLUENCE OF SUPERFINE ADDITIVES IN LUBRICANTS ON THE PERFORMANCE OF A DIESEL

Проведен анализ влияния ультрадисперсных добавок — порошков оловянистой бронзы и фуллереновой сажи в моторное масло и порошков дисульфида молибдена и полититанатов калия в твердое смазочное покрытие на юбках поршней — на характеристики работы дизеля. Все добавки практически не влияли на механический КПД, но порошки оловянистой бронзы и дисульфида молибдена приводили к повышению индикаторного КПД дизеля. Возможная причина положительного влияния добавок дисперсных частиц на индикаторный КПД — попадание частиц с маслом в камеру сгорания и их каталитическое действие на горение топлива.