

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ
(ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)

Научная статья

УДК 621.431.74.016

**Аппаратурное обеспечение измерительного комплекса
для исследования параметров рабочего процесса и радиационно-конвективного
теплообмена в камере сгорания судового дизеля**

Борис Иванович Руднев¹, Ольга Владимировна Повалихина²

^{1,2}Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
Владивосток, Россия

^{1,2}povalichina@mail.ru

Аннотация. Сокращение сроков доводки новых моделей судовых дизелей по-прежнему остается актуальной проблемой. Это обусловлено значительным отличием расчетных и экспериментальных данных, полученных на испытательных стендах. В частности, по локальным тепловым потокам на поверхностях деталей, образующих камеру сгорания, указанное отличие составляет 25–50 % и более. Целью данной статьи является представление наиболее важных элементов (поверхностных железоникелевых термоприёмников и датчика радиационного теплового потока) измерительного комплекса для исследования параметров рабочего процесса и радиационно-конвективного теплообмена в камере сгорания судового дизеля типа 8ЧН 13/14, позволяющих получить достоверные опытные данные. Они могут служить надежной базой для верификации математических моделей, применяемых на стадии проектирования судовых дизелей.

Ключевые слова: судовый дизель, камера сгорания, радиационно-конвективный теплообмен, поверхностный термоприёмник, датчик радиационного теплового потока

Для цитирования: Руднев Б.И., Повалихина О.В. Аппаратурное обеспечение измерительного комплекса для исследования параметров рабочего процесса и радиационно-конвективного теплообмена в камере сгорания судового дизеля // Научные труды Дальрыбвтуза. 2022. Т. 62, № 4. С. 112–117.

MARINE POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS (MAIN AND AUXILIARY)

Original article

**Apparatus securing measured of complex for the investigation of parameters
of operation process and radiative convection heat transfer in the combustion chamber
of marine diesel engine**

Boris I. Rudnev¹, Olga V. Povalikhina²

^{1,2}Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia

^{1,2}povalichina@mail.ru

Abstract. Reduction of terms of drive new models of marine diesel engines is actual problem as before. This terms in based on difference of calculation and experimental data reseeded in experimental stands. As for local heat fluxes on surfaces of details combustion chamber which is 25–50 per cent. The purpose of this paper is presentation of impotent elements (shallow Fe Ni thermoreceiver and apparatus of radiative heat transfer) measured complex for the investigation of parameters of operation process and radiative convection heat transfer in combustion chamber of a marine diesel engine 8 ChN 13/14 and given reliable experimental data. They is base for verification of mathematical models used by dining designing of marine diesel engine.

Keywords: marine diesel, combustion chamber, radiative convection heat transfer, shallow thermoreceiver, apparatus of radiative heat flux

For citation: Rudnev B.I., Povalikhina O.V. Apparatus securing measured of complex for the investigation of parameters of operation process and radiative convection heat transfer in the combustion chamber of marine diesel engine. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2022; 62(4):112–117. (in Russ).

Введение

Используемые в настоящее время при проектировании судовых дизелей математические модели (ММ) не позволяют с достаточной точностью задавать граничные условия по теплообмену для деталей, образующих камеру сгорания (КС). Это приводит к существенному увеличению сроков доводки новых моделей судовых дизелей. В связи с отмеченным применение и совершенствование измерительных комплексов, реализующих современные методики и дающие возможность получать достоверные экспериментальные данные, является актуальной проблемой. Цель данной статьи состоит в представлении наиболее важных элементов (поверхностных железоникелевых термоприёмников и датчика радиационного теплового потока) измерительного комплекса для исследования параметров рабочего процесса и радиационно-конвективного теплообмена в КС судового дизеля типа 8ЧН 13/14. Указанные выше экспериментальные данные по локальным параметрам радиационно-конвективного теплообмена могут служить надежной базой для верификации ММ, применяемых на стадии проектирования судовых дизелей.

Методика экспериментального определения локальных тепловых потоков в КС судовых дизелей

В основу проведения опытов была положена методика, основанная на измерении колебаний температуры в поверхностном слое деталей КС железоникелевыми термоприёмниками специальной конструкции [1]. Расположение термоприёмников и термопар в крышке цилиндров дизеля показано на рис. 1.

Для измерения параметров рабочего процесса и локального радиационно-конвективного теплообмена использовался специальный контрольно-измерительный комплекс, ранее представленный авторами в [2].

Значение плотности суммарного теплового потока определялось на базе известного решения дифференциального уравнения теплопроводности для твердого тела без внутренних источников теплоты с граничными условиями первого рода [1]:

$$\frac{DT}{dt} = a\nabla^2 T, \quad (1)$$

где $\frac{DT}{dt}$ – полная производная от температуры T по времени t ; $\nabla^2 T$ – оператор Лапласа по температуре; a – коэффициент теплопроводности.

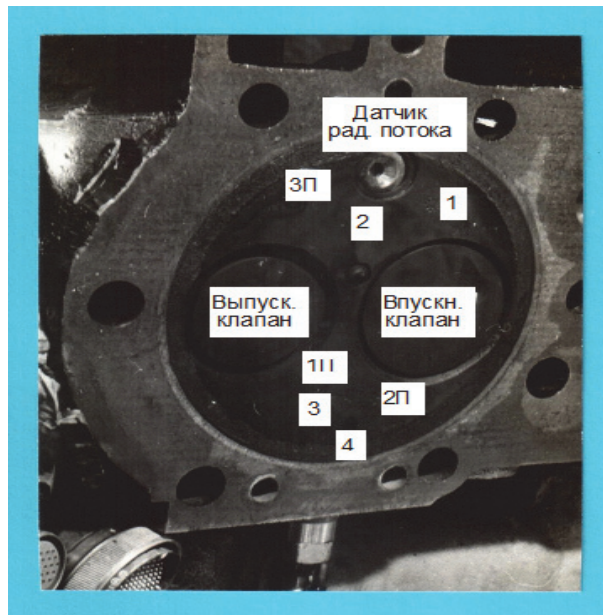


Рис. 1. Расположение термодатчиков и термопар в крышке цилиндров дизеля 8ЧН 13/14
 Fig. 1. Emplacement of thermoreceivers and thermocouples in cap of cylinders of diesel 8ChN 13/14

Для тонкого слоя стенки (толщина горячего спая использованных в настоящем исследовании железоникелевых термодатчиков составляла 20–25 мкм) с достаточной степенью точности можно считать тепловой поток одномерным [2, 3]. В этом случае уравнение (1) можно записать в виде

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}. \quad (2)$$

Полагая в (2) $a = \text{const}$, можно получить его решение. Наиболее просто интегрирование (2) осуществляется при граничных условиях первого рода $T = T(x, t)$. Решение при указанных граничных условиях известно [4–6] и выглядит следующим образом:

$$T = T_w - \frac{q_w}{\lambda} x + \sum_{k=1}^{\infty} \exp\left(-x \sqrt{\frac{k\omega}{2a}}\right) \times A_k \cos\left(k\omega t - x \sqrt{\frac{k\omega}{2a}}\right) + B_k \sin\left(k\omega t - x \sqrt{\frac{k\omega}{2a}}\right), \quad (3)$$

где T_w – стационарная температура стенки; q_w – стационарный тепловой поток; λ – коэффициент теплопроводности; A_k, B_k – гармонические коэффициенты функции $T = T(x, t)$; k – порядок гармоники; ω – циклическая частота колебаний; x – расстояние от тепловоспринимающей поверхности.

Продифференцировав (3) по x , умножив на λ и принимая $x = 0$ (условие на поверхности стенки), получим уравнение (4), характеризующее теплообмен между рабочим телом и стенками КС:

$$q = q_w + \lambda \sum_{k=1}^{\infty} \sqrt{\frac{k\omega}{2a}} \times [(A_k + B_k) \cos k\omega t + (B_k - A_k) \sin k\omega t]. \quad (4)$$

Значения коэффициентов Фурье A_k и B_k в (4) определялось с помощью экспериментальной кривой колебаний температуры, записанной железоникелевым термодатчиком [1]. При этом указанная кривая аппроксимируется рядом Фурье

$$T = T_w + \sum_{k=1}^m (A_k \cos k\omega t + B_k \sin k\omega t). \quad (5)$$

Вычисление коэффициентов A_k и B_k в (5) и расчет плотности теплового потока по зависимости (4) осуществляются по специальной программе на ЭВМ [1].

Параметры теплообмена измерялись на пяти режимах нагрузочной характеристики ($n=1700 \text{ мин}^{-1}$, $P_{\text{mec}} = 0,12 : 0,36 : 0,49 : 0,61 \text{ МПа}$).

Основные элементы аппаратного обеспечения измерительного комплекса для исследования параметров рабочего процесса и теплообмена в КС судового дизеля

Главным аппаратным элементом в измерительном комплексе [2], обеспечивающим реализацию представленной выше методики являются железоникелевые термоприёмники с толщиной горячего спая 20–25 мкм и диаметром внешнего корпуса, равным 7 мм. Их общий вид и деталировка показаны на рис. 2 и 3.

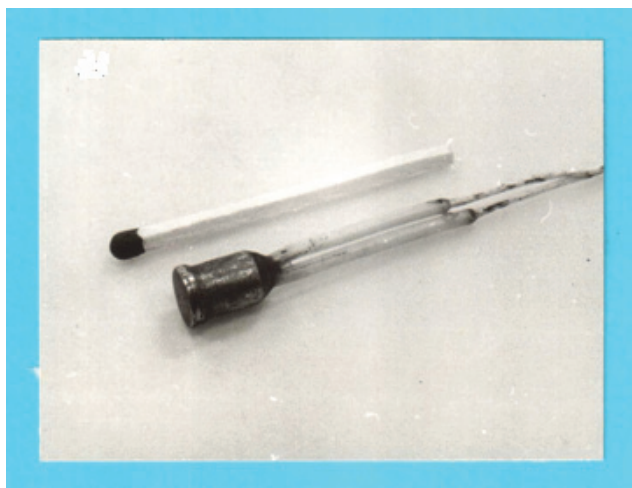


Рис. 2. Общий вид поверхностного железоникелевого термоприёмника
Fig. 2. Common outlook of shallow Fe Ni thermoreceiver

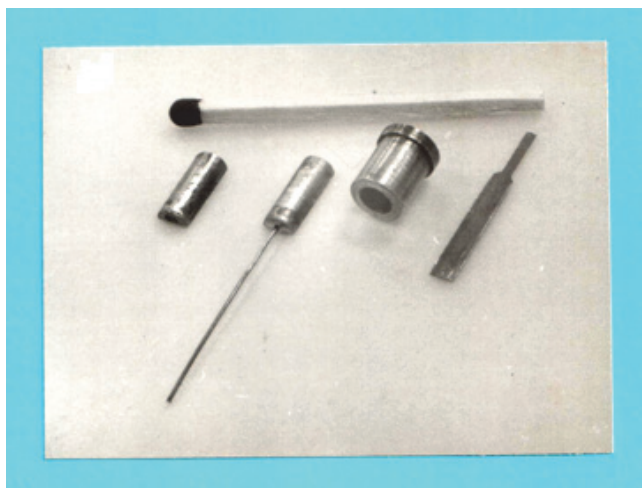


Рис. 3. Детали поверхностного железоникелевого термоприёмника
Fig. 3. Details of shallow Fe Ni thermoreceiver

Для определения локального радиационного теплового потока использовался специальный датчик, общий вид которого и его деталировка представлены на рис. 4 и 5.

Показанный на рис. 4 и 5 датчик радиационного теплового потока имеет диаметр 20 мм и устанавливается в крышке цилиндра в специальном канале, проходящем от ее огневой поверхности до кожуха газораспределительного механизма. В нем используется железоникелевый термоприёмник и окошко из лейкосапфира диаметром 9 мм и толщиной 2 мм для выделения радиационной составляющей из суммарного теплового потока.

Общий вид крышки цилиндра дизеля 8ЧН 13/14 со снятым кожухом газораспределительного механизма представлен на рис. 6.

Следует отметить, что представленные в настоящей статье поверхностный железоникелевый термоприёмник и датчик радиационного теплового потока обладают высокими метрологическими характеристиками, подтвержденными длительными (более 200 часов) испытаниями дизеля 8 ЧН 13/14 на экспериментальном стенде [1, 2].



Рис. 4. Общий вид датчика радиационного теплового потока
Fig. 4. Common outlook of apparatus radiative heat flux

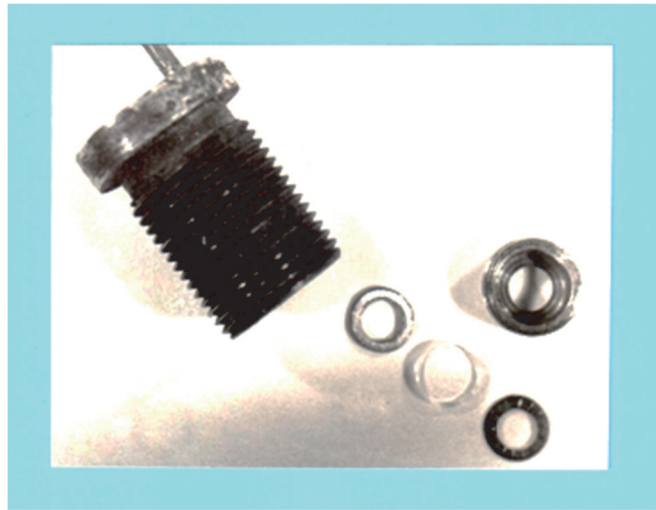


Рис. 5. Детали датчика радиационного теплового потока
Fig. 5. Details of apparatus radiative heat flux

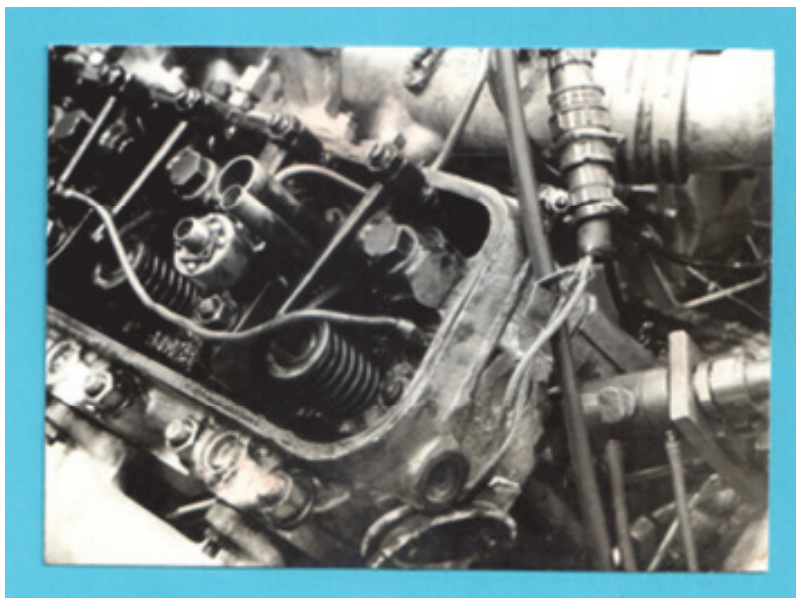


Рис. 6. Общий вид крышки цилиндра дизеля 8ЧН 13/14 с установленным каналом для датчика радиационного теплового потока
Fig. 6. Common outlook of cap cylinder diesel 8ChN 13/14 with canal for apparatus of radiative heat flux

Заклучение

Представленные в статье элементы измерительного комплекса: поверхностный железоникелевый термоприёмник и датчик радиационного теплового потока обладают высоким метрологическими характеристиками и дают возможность повысить качество проведения экспериментальных исследований и глубину раскрытия теплофизических процессов, протекающих в КС современных форсированных судовых дизелей.

Это будет способствовать уменьшению сроков доводки новых моделей судовых дизелей и созданию надежной базы данных для верификации ММ по локальному теплообмену в этом типе энергетических установок.

Список источников

1. Руднев Б.И. Процессы локального теплообмена в камере сгорания дизелей. Владивосток: Дальнаука, 2000. 221 с.
2. Руднев Б.И., Повалихина О.В. Контрольно-измерительный комплекс для исследования параметров рабочего процесса и радиационно-конвективного теплообмена в камере сгорания судового высокооборотного дизеля // Морские интеллектуальные технологии. 2022. № 2. Ч. 1. С. 73–78.
3. Овсянников М.К., Давыдов Г.А. Тепловая напряженность судовых дизелей. Л.: Судостроение, 1975. 256 с.
4. Зарубин В.С., Кувыркин Г.Н. Математические модели механики и электродинамики сплошной среды. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 512 с.
5. Бузник В.М. Теплопередача в судовых энергетических установках. Л.: Судостроение, 1967. 376 с.
6. Кавтарадзе Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 472 с.

References

1. Rudnev B.I. Processes of local heat exchange in the combustion chamber of diesel engines. Vladivostok: Dalnauka, 2000. 221 p.
2. Rudnev B.I., Povalikhina O.V. Control and measuring complex for studying the parameters of the working process and radiation-convective heat exchange in the combustion chamber of a marine high-speed diesel engine // Marine Intelligent Technologies. 2022, No. 2. Part 1. P. 73–78.
3. Ovsyannikov M.K., Davydov G.A. Thermal tension of marine diesel engines. L.: Shipbuilding, 1975. 256 c.
4. Zarubin V.S., Kuvyrkin G.N. Mathematical models of mechanics and electrodynamics of a continuous medium. M.: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2008. 512 p
5. Buznik V.M. Heat transfer in ship power plants. L.: Shipbuilding, 1967. 376 p.
6. Kavtaradze R.Z. Local heat transfer in piston engines. M.: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2007. 472 p.

Информация об авторах

Б.И. Руднев – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры холодильной техники, кондиционирования и теплотехники, заслуженный работник рыбного хозяйства России, W-3274-2017, SPIN-код: 2797-1790, AuthorID: 423385;

О.В. Повалихина – доцент, доцент кафедры холодильной техники, кондиционирования и теплотехники, SPIN-код: 9956-1129, AuthorID: 875839.

Information about the authors

B.I. Rudnev – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Refrigeration, Air Condition and Heat Engineering, Honored Worker of Fisheries of Russia, W-3274-2017, SPIN-code: 2797-1790, AuthorID: 423385;

O.V. Povalikhina – Associate Professor, Assistant Professor of the Department of Refrigeration, Air Condition and Heat Engineering, SPIN-code: 9956-1129, AuthorID: 875839.

Статья поступила в редакцию 13.12.2022, одобрена после рецензирования 14.12.2022, принята к публикации 15.12.2022.

The article was submitted 13.12.2022, approved after reviewing 14.12.2022, accepted for publication 15.12.2022.