

# СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И МАШИННО-ДВИЖИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

DOI: 10.24143/2073-1574-2019-2-48-55  
УДК 621.431.74.004

## РАСЧЕТ ТЕПЛОЕМКОСТИ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ГАЗОМОТОРНОГО ТОПЛИВА В ДИЗЕЛЯХ

*А. Н. Соболенко*

*Морской государственный университет им. адмирала Г. И. Невельского,  
Владивосток, Российская Федерация*

Задача использования газомоторного топлива – природного газа – в транспортных дизелях (судовых и автомобильных) весьма актуальна. Всё большее распространение получают идеи перевода на газомоторное топливо дизелей, используемых на судах портового флота и рыболовных судах. Важное значение приобретает уточнение расчётных методов рабочего процесса дизелей, действующих на газомоторном топливе. Отмечено, что природный газ включает в себя ряд газов: метан, этан, пропан, бутан, окись углерода и др., приводятся их процентные соотношения. Рассматривается методика расчёта теплоёмкости «чистых» продуктов сгорания, то есть при сгорании топлива с коэффициентом избытка воздуха, равным 1. По химическим реакциям окисления элементов в компонентах газового топлива при его горении определяется количество киломолей продуктов сгорания. Для определения теплоёмкости компонентов продуктов сгорания  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{N}_2$  были использованы известные таблицы свойств газов и водяного пара. В результате обработки данных были получены аппроксимирующие зависимости: линейные и квадратичные. Рассчитаны коэффициенты в линейных формулах теплоёмкости «чистых» продуктов сгорания как теплоёмкости смеси газов. В результате получена формула для определения теплоёмкости «чистых» продуктов сгорания газового топлива:  $c_{\text{пр}} = 25,03 + 0,0065T$ . Для определения теплоёмкости «чистых» продуктов сгорания газового топлива с 10 % присадкой запального дизельного топлива формула определения теплоёмкости имеет вид:  $c_{\text{вгж}} = 24,57 + 0,006T$ . Полученные зависимости достаточно точны, рекомендуется использовать их в практике перевода дизелей на газомоторное топливо, а также при выполнении исследований в области техники и технологии кораблестроения и водного транспорта.

**Ключевые слова:** газомоторное топливо, теплоёмкость, расчёт теплоёмкости, продукты сгорания, компоненты газа.

**Для цитирования:** Соболенко А. Н. Расчет теплоемкости продуктов сгорания газомоторного топлива в дизелях // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2019. № 2. С. 48–55. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-2-48-55.

### **Введение**

В существующей литературе приведены выражения для расчёта теплоёмкостей в характерных точках цикла дизелей, работающих на жидком топливе [1]. В последнее время всё более широкое применение находят судовые дизели, использующие газовое топливо и газовое топливо с присадкой жидкого топлива. Это, как правило, главные дизели судов-газовозов. Всё большее распространение получают идеи перевода на газомоторное топливо и других типов судов – прежде всего, судов портового флота, затем рыболовных судов. В этой связи приобретает значение уточнение расчётных методов рабочего процесса дизелей, работающих на газомоторном топливе.

В работе [2] приводятся выводы и результаты по расчётным значениям теплоёмкости для процесса сжатия, когда газовое топливо подаётся на всасывание четырёхтактного дизеля. Однако не существует зависимостей для теплоёмкости от температуры для «чистых» продуктов сгорания в дизелях газового топлива и газового топлива с присадкой запального дизельного топлива.

### Методика расчёта теплоёмкости продуктов сгорания

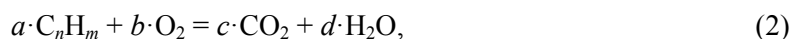
Природный газ включает в себя ряд компонентов: метан, этан, пропан, бутан, окись углерода и др. В зависимости от месторождения процентное соотношение между компонентами газа различается, но преобладающим является количество метана – более 97,8 %.

Определение теплоёмкости «чистых» продуктов сгорания, кДж/(кмоль·К), производится по обычному уравнению теплоёмкости смеси газов:

$$c_v = \frac{\sum_{k=1}^l m_k c_{vk}}{\sum_{k=1}^l m_k}, \quad (1)$$

где  $m_k$  – количество  $k$ -го компонента;  $c_{vk}$  – теплоёмкость  $k$ -го компонента;  $l$  – количество компонентов.

По химическим реакциям окисления элементов в компонентах газового топлива при его горении находим количество киломолей продуктов сгорания:



где  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , и  $d$  – коэффициенты, уравнивающие левую и правую часть уравнения (2).

В природном газе содержание компонентов зависит от месторождения. Однако оно изменяется в довольно узких пределах. Доля содержания, %, метана  $r_{CH_4}$  находится в пределах  $r_{CH_4} = 97,8 \div 98,36$ ; этана –  $r_{C_2H_6} = 0,08 \div 0,99$ ; пропана –  $r_{C_3H_8} = 0,0 \div 0,11$ ; бутана –  $r_{C_4H_{10}} = 0,0 \div 0,1$ ; азота –  $r_{N_2} = 0,5 \div 1,1$ ; углекислого газа –  $r_{CO_2} = 0,2 \div 1,0$  [3]. По аналогии, как и для дизельного топлива [1], примем, что природный газ, используемый в качестве газомоторного топлива, имеет следующий средний состав, %:  $r_{CH_4} = 98,08$ ;  $r_{C_n H_m} = 0,64$  ( $r_{C_2H_6} = 0,535$ ;  $r_{C_3H_8} = 0,055$ ;  $r_{C_4H_{10}} = 0,05$ );  $r_{N_2} = 0,5$ ;  $r_{CO_2} = 0,5$ .

Согласно (2) «чистые» продукты сгорания состоят из углекислого газа  $CO_2$  и паров воды  $H_2O$ . Кроме того, они будут включать долю чистого азота  $N_2$ , имеющегося в исходном продукте – газомоторном топливе.

Тогда общее количество  $CO_2$  в «чистых» продуктах сгорания, кмоль, определяем по формуле

$$m_{CO_2} = \sum m_{kCO_2} r_k + \frac{r_{CO_2}}{44}, \quad (3)$$

где  $m_{kCO_2}$  – количество углекислого газа в продуктах сгорания, образовавшегося от сгорания доли  $k$ -го компонента в газомоторном топливе;  $r_{CO_2}$  – относительная доля углекислого газа в исходном газомоторном топливе.

Общее количество  $H_2O$  в «чистых» продуктах сгорания, кмоль, находим по формуле

$$m_{H_2O} = \sum m_{kH_2O} r_k,$$

где  $m_{kH_2O}$  – количество паров воды в продуктах сгорания образовавшейся от сгорания доли  $k$ -го компонента в газомоторном топливе.

Общее количество азота  $N_2$  в «чистых» продуктах сгорания, кмоль, вычисляем следующим образом:

$$m_{N_2} = \frac{r_{N_2}}{28},$$

где  $r_{N_2}$  – относительная доля азота в исходном газомоторном топливе.

Для определения теплоёмкости компонентов мы воспользовались таблицами свойств газов и водяного пара [4, 5].

В результате обработки данных были получены аппроксимирующие зависимости.

Для средней мольной изохорной теплоёмкости углекислого газа  $CO_2$ , водяного пара и азота получаются линейные зависимости вида  $c_{vk} = a_{vk} + b_k T$ .

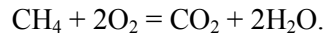
Формула теплоёмкости всех продуктов сгорания также будет линейной зависимостью  $c_{vr} = a_{vr} + b_r T$ , где коэффициенты  $a_{vr}$  и  $b_r$  определяются по формулам  $a_{vr} = \Sigma(a_{vk} m_k) / \Sigma m_k$ ,  $b_r = \Sigma(b_k m_k) / \Sigma m_k$ .

### Расчёт

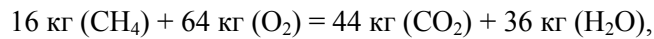
Предварительно необходимо определить объёмные доли продуктов сгорания.

Рассмотрим процесс горения компонентов газового топлива исходя из стехиометрических соотношений согласно уравнению (2).

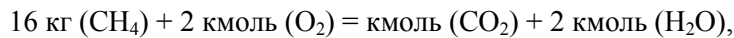
Если исходить из стехиометрических соотношений и игнорировать тепловой эффект реакции, то в результате полного сгорания доли метана в газовом топливе получим



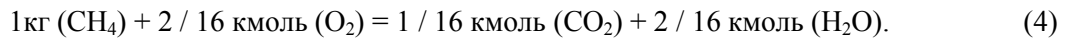
Однако если исходить из атомных весов составляющих компонентов, то можно записать для сгорания метана:



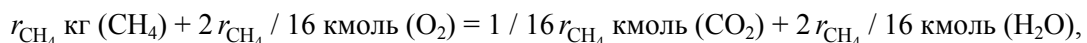
или



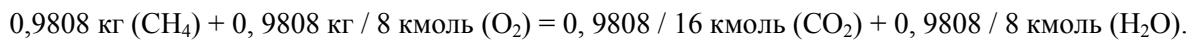
или



Учитывая, что относительная доля метана в природном газе  $r_{CH_4} = 0,9808$ , то формула (4) примет вид:

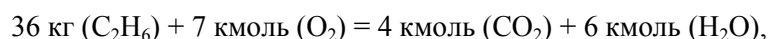
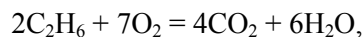


или

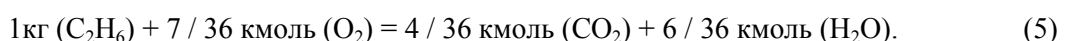


Таким образом, в результате сгорания доли метана в природном газе в дизеле мы получим  $m_{мет.CO_2} = 0,9808 / 16 \text{ кмоль } (CO_2)$  и  $m_{мет.H_2O} = 0,9808 / 8 \text{ кмоль } (H_2O)$ .

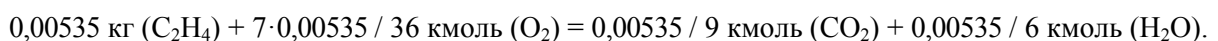
Для сгорания следующего компонента природного газа – этана:



или

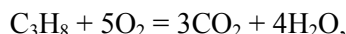


Учитывая, что относительная доля этана в природном газе  $r_{C_2H_6} = 0,00535$ , то формула (5) примет вид:



Таким образом, в результате сгорания доли этана в природном газе в дизеле мы получим  $m_{\text{эт. CO}_2} = 0,00535 / 9$  кмоль ( $\text{CO}_2$ ) и  $m_{\text{эт. H}_2\text{O}} = 0,00535 / 6$  кмоль ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

Для сгорания следующего компонента природного газа – пропана:



$$44 \text{ кг } (\text{C}_3\text{H}_8) + 5 \text{ кмоль } (\text{O}_2) = 3 \text{ кмоль } (\text{CO}_2) + 4 \text{ кмоль } (\text{H}_2\text{O}),$$

или

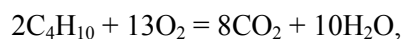
$$1 \text{ кг } (\text{C}_3\text{H}_8) + 5 / 44 \text{ кмоль } (\text{O}_2) = 3 / 44 \text{ кмоль } (\text{CO}_2) + 4 / 44 \text{ кмоль } (\text{H}_2\text{O}). \quad (6)$$

Учитывая, что относительная доля пропана в природном газе  $r_{\text{C}_3\text{H}_8} = 0,00055$ , то формула (6) примет вид:

$$0,00055 (\text{C}_3\text{H}_8) + 0,00275 / 44 \text{ кмоль } (\text{O}_2) = 0,00165 / 44 \text{ кмоль } (\text{CO}_2) + 0,0022 / 22 \text{ кмоль } (\text{H}_2\text{O}).$$

Таким образом, в результате сгорания доли пропана в природном газе в дизеле мы получим  $m_{\text{проп. CO}_2} = 0,00165 / 44$  кмоль ( $\text{CO}_2$ ) и  $m_{\text{проп. H}_2\text{O}} = 0,0022 / 22$  кмоль ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

Для сгорания следующего компонента природного газа – бутана:



$$116 \text{ кг } (\text{C}_4\text{H}_{10}) + 13 \text{ кмоль } (\text{O}_2) = 8 \text{ кмоль } (\text{CO}_2) + 10 \text{ кмоль } (\text{H}_2\text{O}),$$

или

$$1 \text{ кг } (\text{C}_4\text{H}_{10}) + 13 / 116 \text{ кмоль } (\text{O}_2) = 8 / 116 \text{ кмоль } (\text{CO}_2) + 10 / 116 \text{ кмоль } (\text{H}_2\text{O}). \quad (7)$$

Учитывая, что относительная доля бутана в природном газе  $r_{\text{C}_4\text{H}_{10}} = 0,005$ , то формула (7) примет вид:

$$0,005 \text{ кг } (\text{C}_4\text{H}_{10}) + 0,065 / 116 \text{ кмоль } (\text{O}_2) = 0,04 / 116 \text{ кмоль } (\text{CO}_2) + 0,05 / 116 \text{ кмоль } (\text{H}_2\text{O}).$$

Таким образом, в результате сгорания доли бутана в природном газе в дизеле мы получим  $m_{\text{бут. CO}_2} = 0,04 / 116$  кмоль ( $\text{CO}_2$ ) и  $m_{\text{бут. H}_2\text{O}} = 0,05 / 116$  кмоль ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

Количество азота  $r_{\text{аз. N}_2} = 1 / 28$ .

Определим общее количество кмолей углекислого газа по формуле (3):

$$\begin{aligned} m_{\text{CO}_2} &= \sum m_{k\text{CO}_2} r_k + \frac{r_{\text{CO}_2}}{44} = m_{\text{мет. CO}_2} r_{\text{CH}_4} + m_{\text{эт. CO}_2} r_{\text{C}_2\text{H}_6} + m_{\text{проп. CO}_2} r_{\text{C}_3\text{H}_8} + m_{\text{бут. CO}_2} r_{\text{C}_4\text{H}_{10}} + \frac{r_{\text{CO}_2}}{44} = \\ &= 0,9808 / 16 + 0,00535 / 9 + 0,00165 / 44 + 0,04 / 116 + 0,005 / 44 = 0,063. \end{aligned}$$

Определим общее количество кмолей водяных паров:

$$\begin{aligned} m_{\text{H}_2\text{O}} &= \sum m_{k\text{H}_2\text{O}} r_k = m_{\text{мет. H}_2\text{O}} r_{\text{CH}_4} + m_{\text{эт. H}_2\text{O}} r_{\text{C}_2\text{H}_6} + m_{\text{проп. H}_2\text{O}} r_{\text{C}_3\text{H}_8} + m_{\text{бут. H}_2\text{O}} r_{\text{C}_4\text{H}_{10}} = \\ &= 0,9808 / 8 + 0,00535 / 6 + 0,0022 / 22 + 0,05 / 116 = 0,124. \end{aligned}$$

Для определения теплоёмкости компонентов воспользуемся таблицами свойств газов и водяного пара [4, 5].

В результате обработки данных были получены следующие аппроксимирующие зависимости. Для средней мольной изохорной теплоёмкости углекислого газа  $\text{CO}_2$  – линейная:

$$c_{v\text{CO}_2} = a_{v\text{CO}_2} + b_{v\text{CO}_2} T = 28,774 + 0,00852T$$

при стандартном среднеквадратичном отклонении  $\sigma^2 = 1,464$  и коэффициенте корреляции  $R^2 = 0,93$ .

Более точная – нелинейная:

$$c_{vCO_2} = 23,422 + 0,0194T - 4,255 \cdot 10^{-6} T^2$$

при стандартном среднеквадратичном отклонении  $\sigma^2 = 0,345$  и коэффициенте корреляции  $R^2 = 0,996$ .  
Для средней мольной изохорной теплоёмкости водяных паров  $H_2O$  – линейная:

$$c_{vH_2O} = a_{vH_2O} + b_{H_2O}T = 23,22 + 0,00555T$$

при стандартном среднеквадратичном отклонении  $\sigma^2 = 0,162$  и коэффициенте корреляции  $R^2 = 0,998$ .  
Более точная – нелинейная:

$$c_{vH_2O} = 23,32 + 0,00537T + 7,662 \cdot 10^{-8} T^2$$

при стандартном среднеквадратичном отклонении  $\sigma^2 = 0,1602$  и коэффициенте корреляции  $R^2 = 0,998$ .  
Для средней мольной изохорной теплоёмкости азота  $N_2$  – линейная:

$$c_{vN_2} = 19,9 + 0,00238T$$

при стандартном среднеквадратичном отклонении  $\sigma^2 = 0,14$  и коэффициенте корреляции  $R^2 = 0,991$ .  
Более точная – нелинейная:

$$c_{vN_2} = 19,75 + 0,00262T + 9,94 \cdot 10^{-8} T^2$$

при стандартном среднеквадратичном отклонении  $\sigma^2 = 0,135$  и коэффициенте корреляции  $R^2 = 0,991$ .  
Для определения теплоёмкости «чистых» продуктов сгорания газового топлива воспользуемся формулой (1):

$$\begin{aligned} a_{vГ} &= \frac{\sum a_{vk} m_k}{\sum m_k} = \frac{a_{vCO_2} m_{CO_2} + a_{vH_2O} m_{H_2O} + a_{vN_2} m_{N_2}}{m_{CO_2} + m_{H_2O} + m_{N_2}} = \\ &= \frac{28,774 \cdot 0,063 + 0,124 \cdot 23,22 + 0,005 \cdot 19,9}{0,063 + 0,124 + 0,005} = 25,03; \\ b_{vГ} &= \frac{\sum b_k m_k}{\sum m_k} = \frac{b_{CO_2} m_{CO_2} + b_{H_2O} m_{H_2O} + b_{N_2} m_{N_2}}{m_{CO_2} + m_{H_2O} + m_{N_2}} = \\ &= \frac{0,00852 \cdot 0,063 + 0,124 \cdot 0,00555 + 0,005 \cdot 0,00236}{0,063 + 0,124 + 0,005} = 0,0065. \end{aligned}$$

Таким образом, формула для определения теплоёмкости «чистых» продуктов сгорания газового топлива имеет вид:

$$c_{vГ} = 25,03 + 0,0065T, \quad (8)$$

тогда как формула для расчёта теплоёмкости «чистых» продуктов сгорания дизельного топлива:

$$c_{vЖ} = 20,47 + 0,0036T.$$

При использовании газожидкостного цикла доля жидкого топлива выступает в качестве запальной, поэтому следует учесть изменение теплоёмкости от наличия в выпускных газах продуктов сгорания жидкого топлива. Доля жидкого топлива составляет в среднем примерно 10 %. Тогда теплоёмкость продуктов сгорания газожидкостного дизеля будет определена следующим образом:

$$\begin{aligned} a_{vГЖ} &= 25,03 \cdot 0,9 + 20,47 \cdot 0,1 = 24,57, \\ b_{vГЖ} &= 0,0063 \cdot 0,9 + 0,0036 \cdot 0,1 = 0,0067, \end{aligned}$$

$$c_{\text{вгж}} = 24,57 + 0,006T.$$

Аналогичным образом были подсчитаны значения коэффициентов  $a_{\text{вг}}$ ,  $b_{\text{г}}$  и  $c_{\text{г}}$  для более точной нелинейной модели вида:

$$c_{\text{вг}} = a_{\text{вг}} + b_{\text{г}}T + c_{\text{г}}T^2.$$

Тогда теплоёмкость продуктов сгорания по нелинейной модели газового топлива будет определена следующим образом:

$$a_{\text{вг}} = \frac{23,422 \cdot 0,063 + 0,124 \cdot 23,32 + 0,005 \cdot 19,75}{0,063 + 0,124 + 0,005} = 23,266;$$

$$b_{\text{г}} = \frac{0,0194 \cdot 0,063 + 0,124 \cdot 0,00537 + 0,005 \cdot 0,00262}{0,063 + 0,124 + 0,005} = 0,0099;$$

$$c_{\text{г}} = \frac{-4,255 \cdot 10^{-6} \cdot 0,063 + 0,124 \cdot 7,662 \cdot 10^{-8} + 9,94 \cdot 10^{-8} \cdot 0,005}{0,063 + 0,124 + 0,005} = -2,58 \cdot 10^{-7};$$

$$c_{\text{вг}} = 23,266 + 0,0099T - 2,58 \cdot 10^{-7}T^2.$$

Теплоёмкость «чистых» продуктов сгорания газожидкостного дизеля с добавкой 10 % запального дизельного топлива определяется по формуле

$$c_{\text{вг}} = 23,341 + 0,0093T - 2,58 \cdot 10^{-7}T^2. \quad (9)$$

### **Заключение**

Для расчётов по методу Гриневецкого – Мазинга [1] рабочего цикла двигателя, работающего на газомоторном топливе, следует использовать следующие формулы:

– при работе только на природном газе:

$$c_{\text{вг}} = 25,03 + 0,0065T;$$

– при работе с 10 % добавкой запального дизельного топлива:

$$c_{\text{вгж}} = 24,57 + 0,006T.$$

Для расчётов рабочего цикла методом численного моделирования [6] двигателя, работающего на газомоторном топливе, можно рекомендовать следующие формулы:

– при работе только на природном газе:

$$c_{\text{вг}} = 23,266 + 0,0099T - 2,58 \cdot 10^{-7}T^2;$$

– при работе с 10 % добавкой запального дизельного топлива:

$$c_{\text{вг}} = 23,341 + 0,0093T - 2,58 \cdot 10^{-7}T^2.$$

Сравнительные расчёты доказали, что при температуре 300 К разница в расчётных значениях теплоёмкостей «чистых» продуктов сгорания при использовании формулы для дизельного топлива и формулы для газомоторного топлива составляет 25 %, а при температуре 1 800 К – 36 %.

Разница в расчётных значениях теплоёмкостей при расчётах по упрощённой линейной модели (8) и более точной нелинейной модели (9) составляет при 300 К – 2,9 %; при 1 800 К – 10,5 %. Данное обстоятельство отразится на точности вычисления рабочего процесса двигателей внутреннего сгорания, что следует учитывать при расчётах.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Ваншейдт В. А.* Судовые двигатели внутреннего сгорания. Л.: Судостроение, 1977. 390 с.

2. *Соболенко А. Н., Самсонов А. И.* Расчёт теплоёмкости заряда сжатия в цилиндре двигателя, работающего на газомоторном топливе // Мор. интеллектуал. технологии. 2018. № 4 (42). Т. 5. С. 66–69.
3. *Пахомов Ю. А., Коробков Ю. П., Дмитриевский Е. В., Васильев Г. Л.* Топливо и топливные системы судовых дизелей. М.: Транслит, 2007. 494 с.
4. *Новиков И. И.* Термодинамика: учеб. для вузов. М.: Лань, 2009. 370 с.
5. *Овсянников М. К., Костылёв И. И.* Теплотехника: учеб. для вузов. СПб.: Эльмор, 2014. 208 с.
6. *Гончар Б. М.* Численное моделирование рабочего процесса дизелей: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Л., 1969. 24 с.

Статья поступила в редакцию 18.03.2019

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Соболенко Анатолий Николаевич** – Россия, 690059, Владивосток; Морской государственный университет им. адмирала Г. И. Невельского; г-р техн. наук, профессор; профессор кафедры судовых двигателей внутреннего сгорания; sobolenko\_a@mail.ru.



## CALCULATING SPECIFIC HEAT OF COMBUSTION PRODUCTS IN GAS MODE DIESEL ENGINES

*A. N. Sobolenko*

*Maritime State University named after Admiral G. I. Nevelskoy,  
Vladivostok, Russian Federation*

**Abstract.** The task of using natural gas-engine fuel in transport diesel engines (marine and automobile) is very actual. The trends of converting diesel engines to gas mode on ships of the port fleet and fishing vessels are becoming widespread. The importance to clarify the calculation methods of the working process for gas mode diesel engines is growing. Natural gas has been stated to comprise different gases – methane, ethane, propane, butane, carbon monoxide, etc., the percentage correlations of which being presented. There has been studied the method of calculating heat capacity of “pure” combustion products, i.e. under fuel combustion with excessive air coefficient  $\alpha = 1$ . The chemical reactions of oxidation elements of gas fuel components during its combustion determine the amount of kilomole of combustion products. To determine the heat capacity of the components of the combustion products –  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{N}_2$ , the known tables of gases and water vapor properties were used. As a result of data processing, approximating linear and quadratic dependences were obtained. Heat capacities are calculated in the linear formula of the specific heat of “pure” combustion products as the heat capacity of the gas mixture. As a result, a formula for determining the heat capacity of “clean” combustion products of gas fuel has been obtained:  $C_{VG} = 25.03 + 0.0065 \cdot T$ . For determining the heat capacity of “clean” combustion products of gas fuel with 10% additive of ignition diesel fuel the formula has the following form  $C_{VGZH} = 24.57 + 0.006 \cdot T$ . The dependences obtained are fairly accurate and recommended for using in the practice of converting diesel engines to gas-engine fuel, as well as when carrying out works and watercraft technology in building the ships and water transport.

**Key words:** gas fuel, heat capacity, heat capacity analysis, combustion products, gas components.

**For citation:** Sobolenko A. N. Calculating specific heat of combustion products in gas mode diesel engines. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies.* 2019;2:48-55. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2019-2-48-55.

REFERENCES

1. Vansheidt V. A. *Sudovye dvigateli vnutrennego sgoraniia* [Ship power combustion engines]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1977. 390 p.
2. Sobolenko A. N., Samsonov A. I. Raschet teploemkosti zariada szhatiia v tsilindre dvigatel'ia, rabotaiushchego na gazomotornom toplive [Calculation of the heat capacity of the compression charge in the cylinder of an engine powered by gas engine fuel]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*, 2018, no. 4 (42), vol. 5, pp. 66-69.
3. Pakhomov Iu. A., Korobkov Iu. P., Dmitrievskii E. V., Vasil'ev G. L. *Toplivo i toplivnye sistemy sudovykh dizelei* [Fuel and fuel systems of marine diesel engines]. Moscow, Translit Publ., 2007. 494 p.
4. Novikov I. I. *Termodinamika: uchebnik dlia vuzov* [Thermodynamics: textbook for University students]. Moscow, Lan' Publ., 2009. 370 p.
5. Ovsianikov M. K., Kostylev I. I. *Teplotekhnika: uchebnik dlia vuzov* [Heat engineering: textbook for university students]. Saint-Petersburg, El'mor Publ., 2014. 208 p.
6. Gonchar B. M. *Chislennoe modelirovanie rabocheho protsessa dizelei. Avtoreferat dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Numeric modelling of diesel operation process. Abstr. diss. Doct. tech. sci.]. Leningrad, 1969. 24 p.

The article submitted to the editors 18.03.2019

**INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

**Sobolenko Anatoly Nikolaevich** – Russia, 690059, Vladivostok; Maritime State University named after Admiral G. I. Nevelskoy; Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Ship Internal Combustion Engines; sobolenko\_a@mail.ru.

